

## Le défi créatif collaboratif comme situation favorisant les démarches d'investigation à l'école primaire

SCHUMACHER DESLARZES, Delphine

### Abstract

Constatant les limites des activités d'investigation guidées en cadre scolaire, la thèse propose un dispositif didactique innovant –le défi créatif collaboratif– notamment caractérisé par un travail collectif, une mise en situation ludique, un ensemble de contraintes interreliées, un matériel d'investigation fertile pour explorer et une pluralité de solutions possibles. Une approche compréhensive et multidimensionnelle a permis d'examiner minutieusement comment 18 groupes d'élèves de 8PH construisent un problème et élaborent des solutions en situation de défi créatif collaboratif. Un des éléments clé mis en lumière est l'élaboration progressive du problème à travers différents niveaux de problématisation. Les tâtonnements empiriques et les interactions verbales font émerger des propositions et des représentations divergentes qui représentent des sources de confrontation cognitive favorables à l'avancement de l'élaboration du problème. En prolongement de la recherche, les atouts didactiques, pédagogiques et épistémologiques du défi créatif collaboratif sont discutés, notamment [...]

### Reference

SCHUMACHER DESLARZES, Delphine. *Le défi créatif collaboratif comme situation favorisant les démarches d'investigation à l'école primaire*. Thèse de doctorat : Univ. Genève, 2015, no. FPSE 573

DOI : [10.13097/archive-ouverte/unige:103399](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:103399)

URN : [urn:nbn:ch:unige-1033992](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:ch:unige-1033992)

Available at:

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:103399>

Disclaimer: layout of this document may differ from the published version.



UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE

UNIVERSITE DE GENEVE

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education

**Le défi créatif collaboratif  
comme situation favorisant les démarches  
d'investigation à l'école primaire.**

**Focus sur la problématisation et l'élaboration  
d'hypothèses  
du côté des élèves.**

Thèse de doctorat n°573

*Présentée par*

**Delphine Schumacher Deslarzes**

*Soutenue à Genève le 4 février 2015*

**Commission du jury**

**André Giordan** (codirecteur). Professeur FPSE. Université de Genève. Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences.

**Marie-Noëlle Schurmans** (codirectrice). Professeur FPSE. Université de Genève.

**Grégoire Lager**. Maître-assistant, Hôpital Universitaire Genevois, service d'éducation thérapeutique.

**Richard Emmanuel Eastes**. Recteur de la Haute Ecole Pédagogique - BEJUNE.

**Ninian Hubert van Blyenburgh**. Ancien directeur du Musée d'Ethnographie de Genève. Chargé de cours au département d'anthropologie à l'Université de Genève.



## Préface

*A la mémoire des thés-philosophico-scientifiques effervescentes du LDES*

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont accompagnée de près ou de loin dans cette aventure doctorale ; pour commencer, l'équipe du Laboratoire de Didactique et d'Epistémologie des Sciences, dont Grégoire Lager, Anne Fauche et Laurent Dubois, et tout particulièrement André Giordan qui en tant que "poseur de défi" a su motiver en moi, avec confiance et bienveillance, l'aventure de cette thèse.

Par ailleurs, je remercie chaleureusement Alexandra Mandofia, Aurélie Surbeck, Sandra De Grazia et Julia Sallabery qui ont offert leur regard et leur acuité sur le texte, permettant d'éliminer d'innombrables coquilles. Je remercie également Leïla Schumacher pour sa précieuse participation au travail laborieux de transcription. Merci à Marie-Noëlle Schurmans, Bernard Darley, Marie-Pierre Chevron, François Lombard, Andreas Mueller, Bruno Strasser, Florence Ligozat, Laura Weiss et Christophe Litrici qui ont accepté de partager leur point de vue sur cette thèse et m'ont fait part de critiques constructives, chacun à différents moments de mon parcours.

Je souhaite particulièrement remercier tous les enfants -et les étudiants !- qui ont si bien *joué le jeu* du défi, en amont, au cœur ou en parallèle à cette recherche ; cette thèse n'aurait pu se réaliser sans leur curiosité et leur enthousiasme général comme ressources. Merci également à Sébastien Baelde, avec qui le *défi des Tours en Papier* a petit à petit pris forme jusqu'à ses premières mises en œuvre.

Au passage, je me permets de remercier Inspiration, Doute et Persévérance auxquelles de dois de précieux conseils tout au long de mon parcours ; sans oublier Caféine, Nicotine et Adrénaline, qui ont apporté leur fidèle contribution au marathon encouru. Je remercie également mes proches, et en particulier Josette ma maman, ainsi que Loïc mon époux, qui m'ont témoigné leur patience, et ont su "assurer mes arrières" avec panache. Enfin, merci à ma fille Myrine, ainsi qu'à ma sœur Leïla, à qui je passe le témoin de cette expérience, loin d'être toute tracée d'avance...

\* \* \*

Cette aventure s'est révélée passionnante, bien que semée d'embûches, d'hésitations, et de fausses pistes. Accepter l'inconfort du doute, de l'incertitude, du non-défini, des aléas... puiser dans ses ressources, ses aspirations, ses inspirations, tout cela fait vraisemblablement partie du parcours heuristique, qu'il soit vécu par un enfant ou un

adulte. Il est amusant de voir à quel point, pourtant involontairement, les observations des parcours d'investigation des élèves ont résonnés avec mon propre cheminement de recherche... et inversement. En particulier concernant le processus de problématisation, une des révélations pour moi a été de prendre conscience de l'étroite interrelation entre l'élaboration d'un questionnement, d'un problème et celle de ses réponses, ses solutions. Parfois les solutions dissolvent le problème... mais en abordant la complexité, les solutions ne font que rebondir sur de nouveaux problèmes. D'ailleurs, un défi tel que le « défi créatif » ne se *résout* pas, il se relève ! Ainsi, il offrirait un bel exercice de créativité : s'engager avec persévérance dans la recherche de solutions originales en composant au mieux avec les diverses contraintes de départ et les obstacles en cours de route !

En tous les cas, cette expérience m'a convaincu qu'il faut *laisser du temps* pour explorer, tâtonner, *entrer dans le problème*, s'y plonger, s'y emmêler, s'y perdre parfois, pour pouvoir alors s'y *retrouver*. Comment s'impliquer personnellement dans une activité et en ressortir éclairé, sans y donner soi-même du sens, sans se l'*approprier* fondamentalement ?

\* \* \*

# Table des matières

<b>Préface.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Problématique de la recherche.....</b>	<b>16</b>
2.1 Les limites des activités d'investigation scolaires .....	16
2.1.1 Une expérience au service des savoirs.....	17
2.1.2 Un modèle à reproduire .....	17
2.1.3 Peu de place pour le questionnement des élèves.....	18
2.2 Les processus d'apprentissage .....	19
2.2.1 Les composantes internes et externes.....	20
2.2.2 Les composantes sociocognitives .....	23
2.3 La démarche d'investigation en classe .....	25
2.3.1 La démarche de l'élève .....	26
2.3.2 La démarche de l'enseignant .....	30
2.3.3 La démarche du scientifique .....	34
2.4 Différents types de problèmes pour favoriser l'appropriation de démarches d'investigation .....	38
2.4.1 Les activités de résolution de problèmes.....	39
2.4.2 Les situations-problèmes.....	42
2.4.3 Les activités expérimentales (Sciences du vivant et de la terre, technologie).....	48
2.4.4 Les problèmes ouverts (Mathématiques).....	53
2.4.5 Les situations recherche (Mathématiques) .....	60
2.4.6 Le cas particulier des défis.....	62
2.4.7 Synthèse au sujet des dispositifs didactiques .....	70
2.5 Le concept de problème .....	73
2.5.1 Différents points de vue sur la problématisation .....	74
2.5.2 Les compétences en résolution de problème .....	83
2.5.3 Eléments de synthèse sur la problématisation .....	98
2.6 Questions et hypothèses générales de la recherche.....	99
2.6.1 L'élaboration du problème comme processus transversal de la recherche.....	101
2.6.2 Problématiser, ce serait poser et questionner le problème.....	101
2.6.3 La problématisation comme processus subjectif et progressif.....	102
2.6.4 Une problématisation à travers différents niveaux du problème .....	102
2.6.5 La confrontation des divergences participerait à l'élaboration du problème .....	103
2.6.6 L'épreuve des hypothèses face à la résistance du problème.....	104
<b>3 Méthodologie.....</b>	<b>106</b>
3.1 Une approche compréhensive .....	106
3.1.1 L'élaboration des hypothèses de recherche .....	108
3.1.2 L'élaboration du dispositif de recherche .....	108
3.1.3 L'élaboration du dispositif d'analyse .....	110
3.2 Dispositif de recherche : un défi créatif collaboratif – le défi des Tours en papier .....	112
3.2.1 La nature du problème .....	113
3.2.2 Les réponses possibles .....	114
3.2.3 L'énoncé du problème.....	115

3.2.4	<i>La mise en situation</i> .....	116
3.2.5	<i>La validation des réponses</i> .....	119
3.2.6	<i>Le déroulement de la séquence</i> .....	120
3.2.7	<i>La posture de l'enseignant</i> .....	124
3.2.8	<i>Les éléments de construction du problème</i> .....	126
3.2.9	<i>Un questionnement à tous les niveaux</i> .....	129
3.2.10	<i>Une démarche exploratoire, heuristique, inductive</i> .....	131
3.2.11	<i>Les objectifs d'apprentissage du défi</i> .....	132
3.2.12	<i>Le postulat pédagogique</i> .....	134
3.3	<b>Dispositif d'analyse</b> .....	136
3.3.1	<i>Les dimensions d'analyse</i> .....	136
3.3.2	<i>Les questions et les hypothèses de travail spécifiques</i> .....	138
3.3.3	<i>Le public</i> .....	140
3.3.4	<i>Le recueil de l'information</i> .....	141
<b>4</b>	<b>Résultats</b> .....	<b>146</b>
4.1	<b>Analyse P1 : Déroulement général de la séquence</b> .....	146
4.1.1	<i>T1 : Mise en situation de défi et cahier des charges</i> .....	147
4.1.2	<i>T2 : Discussion intragroupe sans matériel</i> .....	149
4.1.3	<i>T3 : Première mise en commun</i> .....	152
4.1.4	<i>T4 : Premier temps de recherche en groupe avec matériel</i> .....	155
4.1.5	<i>T5 : Mise en commun intermédiaire</i> .....	159
4.1.6	<i>T6 : Deuxième temps de recherche en groupe avec matériel</i> .....	162
4.1.7	<i>T7 : Phase tests, analyse des résultats, et explicitation des démarches</i> .....	163
4.2	<b>Synthèse et conclusion P1</b> .....	168
4.3	<b>Analyse P2 : Cheminement de recherche des groupes</b> .....	170
4.3.1	<i>Equipe Rouge Mac</i> .....	171
4.3.2	<i>Equipe Vert Mac</i> .....	174
4.3.3	<i>Equipe Bleu Mac</i> .....	179
4.3.4	<i>Equipe Jaune Mac</i> .....	183
4.3.5	<i>Equipe Violet Fed</i> .....	187
4.3.6	<i>Equipe Bleu Fed</i> .....	190
4.3.7	<i>Equipe Vert Fed</i> .....	196
4.3.8	<i>Equipe Rouge Fed</i> .....	203
4.3.9	<i>Equipe Bleu Seb</i> .....	205
4.3.10	<i>Equipe Jaune Seb</i> .....	208
4.3.11	<i>Equipe Rouge Seb</i> .....	213
4.3.12	<i>Equipe Vert Seb</i> .....	219
4.3.13	<i>Equipe Blanc Seb</i> .....	221
4.3.14	<i>Equipe Rouge Mie</i> .....	227
4.3.15	<i>Equipe Bleu Mie</i> .....	230
4.3.16	<i>Equipe Blanc Mie</i> .....	234
4.3.17	<i>Equipe Jaune Mie</i> .....	237
4.3.18	<i>Equipe Vert Mie</i> .....	240
4.3.19	<i>Phase tests et analyse des résultats en plénière</i> .....	245
4.4	<b>Synthèse et conclusion P2</b> .....	249
4.4.1	<i>L'élaboration du problème au cours de la phase I (conceptualisation des projets)</i>	

4.4.2	<i>L'élaboration du problème au cours de la phase 2 (mise en œuvre des projets)..</i>	252
4.5	Les interactions sociales comme facteur d'avancement de l'élaboration du problème	253
4.5.1	<i>La dynamique du travail d'équipe</i>	253
4.5.2	<i>L'émulation créative dans l'imagination de solutions possibles</i>	254
4.5.3	<i>La co-construction des propositions au sein du groupe</i>	255
4.5.4	<i>Les confrontations et les divergences fertiles</i>	255
4.6	Les interactions avec le matériel comme facteur d'élaboration du problème	258
4.6.1	<i>La gestion des différentes contraintes</i>	259
4.6.2	<i>La confrontation aux obstacles empiriques</i>	260
4.6.3	<i>L'attitude des élèves face aux obstacles expérimentaux</i>	261
4.7	Les représentations des élèves au sujet des défis et ses méthodes de résolution	264
4.7.1	<i>L'activité du chercheur-ingénieur et ses méthodes d'investigation</i>	264
4.7.2	<i>Les mises en commun en plénière</i>	270
4.8	Analyse P3 : Le contenu de l'activité de problématisation des élèves	274
4.8.1	<i>La phase de conceptualisation des projets</i>	276
4.8.2	<i>La phase de mise en œuvre des projets</i>	302
4.9	Synthèse et conclusion P3	317
<b>5</b>	<b>Conclusions générales</b>	<b>322</b>
<b>6</b>	<b>Discussions</b>	<b>326</b>
6.1	La problématisation comme processus subjectif, progressif et transversal	326
6.2	Le problème se construit conjointement à une solution qui y répond	326
6.3	Une problématisation à travers différents niveaux du problème	327
6.4	Diverses sources de confrontations fertiles pour l'élaboration du problème	329
6.4.1	<i>La fertilité des divergences</i>	329
6.4.2	<i>L'argumentation comme moteur à l'élaboration du problème</i>	330
6.5	Des productions révélatrices mais non représentatives	332
6.6	Entre solutions originales et inspirations mutuelles	333
6.7	Les graines d'hypothèses en germination	334
6.8	Les limites du défi	336
6.9	Les atouts du défi	336
<b>7</b>	<b>Prolongements</b>	<b>338</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>346</b>
<b>9</b>	<b>Annexes</b>	<b>360</b>
9.1	Annexe 1 Déroulement de l'activité de défi dans le temps	362
9.2	Annexe 2 Transcription des plénières de la classe Mac	364
9.3	Annexe 3 Transcription des plénières de la classe Mie	387
9.4	Annexe 4 Transcription des temps de travail en groupe de l'équipe Bleu Mac	404
9.5	Annexe 5 Exemple d'utilisation de la grille d'analyse relative à l'élaboration du problème dans les groupes	418
9.6	Annexe 6 Vue d'ensemble des sources d'inspiration des élèves	419
9.7	Annexe 7 <i>Défi des Tours en Papier</i> . Fiche d'activité pour l'enseignant	420
9.8	Annexe 8 Timing général du <i>Défi des Tours en Papier</i> . Fiche pour l'enseignant	424





# 1 Introduction

Que vise-t-on à travers l'enseignement des sciences à l'école primaire ? La transmission d'une culture générale ? Une réconciliation avec les sciences ? Une représentation plus réaliste de *la science qui se fait* ? Le développement d'un esprit ouvert, fertile et alerte capable de faire face aux nouveaux défis sociaux, économiques et environnementaux ? Ou encore, quel rôle joue l'école aujourd'hui pour la formation des citoyens de demain ?

Ces questions premières ont orienté notre recherche, touchant à la fois les dimensions didactique, pédagogique, épistémologique et parfois même politique. Elles interrogent non seulement la nature du *message* que l'on souhaite transmettre aux élèves à travers une sensibilisation aux sciences, mais aussi les conditions pour que ceux-ci puissent réellement *donner du sens* au message en question.

## Les démarches d'investigation

Depuis plus d'une dizaine d'années en Europe et aux Etats-unis, les *démarches d'investigation* sont au cœur des programmes scolaires et des recherches en didactique des sciences. Tantôt elles représentent un *objectif* d'apprentissage en soi, tantôt elles représentent un *moyen* particulièrement efficace pour acquérir de nouvelles connaissances scientifiques.

En partageant ces perspectives générales, les visées prioritaires en vigueur de l'enseignement suisse romand (PER, 2010<sup>1</sup>) concernant les sciences de la nature consistent à « *se représenter, problématiser et modéliser des situations et résoudre des problèmes en construisant et en mobilisant des notions, des concepts, des démarches et des raisonnements propres aux mathématiques et aux Sciences de la nature dans les champs des phénomènes naturels et techniques, du vivant et de l'environnement, ainsi que des nombres et de l'espace* ». Plus particulièrement concernant les *Phénomènes naturels et techniques* (Matière, Optique, Mécanique, Electricité, Energie), on vise, pour l'élève, l'exploration de ces phénomènes à l'aide de démarches caractéristiques des sciences expérimentales (MSN 26 - cycle 2). Ceci, notamment « *en observant et décrivant un phénomène naturel ou le fonctionnement d'un objet technique ; en formulant des hypothèses et en les confrontant aux résultats expérimentaux ; en anticipant un résultat expérimental à l'aide d'un modèle simple et en le confrontant aux résultats expérimentaux ; en imaginant des stratégies d'exploration et d'expérimentation [...] ; en proposant des explications et en les confrontant à celles de ses pairs ; en mettant en forme ses observations ou ses déductions* ». Dans ce cadre, le développement de la démarche scientifique est prescrit à travers plusieurs axes, notamment la *Formulation de questions*,

---

<sup>1</sup> Nouveau Plan d'Etudes Romand en ligne : <http://www.plandetudes.ch/>

*d'hypothèses ; la Récolte et la mise en forme de données ; et l'Analyse de données et l'élaboration de résultats (MSN 26).*

Outre les apprentissages disciplinaires spécifiques (*Phénomènes techniques, Corps humain, Diversité du vivant*), le plan d'études romand 2010 promeut plus globalement le développement de « *Capacités transversales* », à la fois sociales et individuelles, et qui concernent l'ensemble des domaines de formation : « *la collaboration, la communication, les stratégies d'apprentissage, la pensée créatrice et la démarche réflexive* ».

Dans l'ensemble, il semblerait que ces objectifs, qu'ils soient relatifs au développement d'une démarche scientifique ou plus globalement, aux capacités transversales visées, peinent à être mis en pratique. Une tendance forte perdure de la part des enseignants et des didacticiens à se focaliser essentiellement sur l'assimilation de notions et de modèles scientifiques disciplinaires.

Même si l'enseignant « *est appelé à favoriser le plus souvent possible des mises en situation permettant à chaque élève d'exercer et d'élargir ces cinq capacités transversales* » (PER 2010), il semblerait que la préoccupation première se porte malgré tout sur des notions disciplinaires ponctuelles, et/ou qu'il peine à mettre en œuvre des situations favorables à ce types d'apprentissage.

D'autre part, il est spécifié que « *les différents étapes de la démarche scientifique présentée correspondent à un ordre qui s'applique au modèle courant d'un compte-rendu scientifique. Dans sa mise en œuvre, cet ordre n'est pas respecté et fait, en réalité, l'objet de multiples allers-retours entre questionnement – hypothèse – constat – récolte et analyse de données – observation – expérimentation – élaboration d'un modèle explicatif...* » (MSN 26). De nombreux études dénoncent la difficulté des enseignants à gérer des démarches d'investigation, à la fois authentiques du point de vue de l'élève et représentatives des pratiques scientifiques effectives.

Pourtant, il semble que les cours de sciences seraient particulièrement propices au développement de ces capacités transversales, en ce sens qu'elles font échos aux démarches scientifiques. En effet, la collaboration, la communication, la pensée créatrice et la démarche réflexive sont des composantes importantes de la pratique scientifique. De plus, les "stratégies d'apprentissages" que l'élève doit développer n'est autre que le développement d'une *méthodologie* permettant d'aborder des problématiques et d'analyser des situations. Dans ce sens, le développement d'une *méthode heuristique* ainsi prescrite au niveau des capacités transversales du plan d'étude ne ferait-elle pas directement partie de l'apprentissage de démarches scientifiques ?

## **Pourquoi autant de difficultés ?**

Pour quelles raisons la mise en œuvre de démarches d'investigation en classe de sciences rencontre-t-elle tant de limites ? Pourquoi ne fait-elle pas encore partie intégrante des pratiques des enseignants parmi leurs autres différentes pratiques ?

Les contraintes institutionnelles (programme, temps, évaluation, etc.), les représentations erronées et les déficits de formation des enseignants sur les sciences sont les principaux obstacles présentés. Or, une difficulté à mettre en œuvre des démarches d'investigation en classe de sciences proviendrait peut-être d'une injonction paradoxale vécue par les enseignants : comment laisser une marge de manœuvre suffisante aux élèves pour qu'ils expérimentent réellement une démarche de recherche incluant leurs initiatives personnelles, tout en devant faire en sorte que les activités débouchent sur l'acquisition de connaissances ou de capacités scientifiques ?

Que faire des questions et des propositions des élèves une fois exprimées, comment poursuivre ? Que faire si les chemins explorés ne semblent pas mener "au bon endroit" ? Que faire si les expériences ne marchent pas ? Que faire si les investigations des élèves dépassent les limites du "connu" et du "maîtrisé" de l'enseignant ? Que penser d'un enseignant qui ne saurait pas lui-même répondre aux questions que l'élève se pose ? Comment institutionnaliser des résultats et des acquis variés et variables d'un cours à l'autre ?

La peur face à l'incertitude d'une situation, le risque de l'inattendu et de ne pas pouvoir "tout contrôler", le sentiment de honte face aux limites de ses propres connaissances, la crainte de ne pas savoir gérer la complexité et la diversité émergeant d'une situation, représentent sans doute des freins importants pour l'enseignant et provoquent probablement de nombreuses censures pour cette mise en pratique en classe ; ce sont des adversaires que l'enseignant doit effectivement apprivoiser lorsqu'il choisit de mettre en œuvre de démarches d'investigation dans sa classe.

Un autre obstacle pour les enseignants provient probablement du fait qu'ils se sentent dépourvus par le manque de moyens didactiques concrets adaptés. En effet, si beaucoup d'activités, dites expérimentales, sont proposées dans les manuels et/ou sur Internet, il semble que les enseignants disposent de peu d'activités sous la main, suffisamment bien construites et fiables pour mettre en œuvre des activités d'investigation efficaces.

Enfin, un dernier obstacle découlerait de l'habitude scolaire de se concentrer sur l'acquisition de notions ou de modèles et moins sur le développement de capacités, habitude reposant sans doute sur la croyance que ces dernières se développeraient "sur le tas" avec l'expérience. La même "démarche d'investigation" est la plupart du temps sollicitée comme *modèle* méthodologique à appliquer. Plus généralement, il semblerait que ce constat remonte à une tradition scolaire bien ancrée : le fait de

valoriser les *résultats*, au détriment du *processus* ou du *parcours* mis en œuvre pour y parvenir.

La question de l'évaluation scolaire et de son pragmatisme est également aussi en jeu ici. Comment considérer le parcours de chaque élève individuellement ? Comment institutionnaliser des apprentissages en termes de "démarches" ? Comment évaluer des capacités, des compétences ? Quels critères d'évaluation établir si les parcours ne sont pas comparables ? Les acquis qui ne peuvent être évalués dans le cadre d'une classe seraient-ils pour autant inexistantes pour l'élève ou sans valeur pour la suite de son apprentissage ? Devrait-on mettre en œuvre en classe uniquement ce que l'on peut être en mesure de strictement évaluer ?

### **Une « aventure » heuristique**

Et si la mise en œuvre de démarches d'investigation en classe représentait justement l'opportunité, pour l'élève et pour l'enseignant, de se lancer dans une *aventure* heuristique ? Oserait-on définir un "espace" en classe pour des démarches de recherche qui dépassent les balises didactiques traditionnelles qui s'articulent autour de notions disciplinaires très spécifiques, facilement cernables, transposables et évaluables ?

Le postulat de cette recherche s'approche de cette idée, en tentant d'aborder les démarches d'investigation sous l'angle du *processus*. Notre démarche s'écarte quelque peu des pratiques et des modèles de l'ingénierie didactique traditionnelle, pour tenter d'aborder une facette importante de la démarche d'investigation scientifique : la *problématisation* et l'*élaboration d'hypothèses*. Si ces éléments ressortent nettement dans les curricula comme des capacités visées –« *formulation de quelques questions et hypothèses au sujet d'une problématique [et] évaluation de leur pertinence (prennent-elles en compte les éléments de la situation problématique ?)* »–, peu de pistes sont données pour les évaluer<sup>2</sup>, et encore moins pour les stimuler et les développer.

Que peut-on attendre des élèves âgés de 8 à 12 ans en termes de problématisation et d'élaboration d'hypothèses ? Par ailleurs, quelles situations laisseraient suffisamment de place aux élèves pour se questionner réellement et générer par eux-mêmes des hypothèses ? Enfin, quels seraient les critères pour définir, identifier et évaluer ce processus de problématisation et d'élaboration d'hypothèses ?

---

<sup>2</sup> Les attentes fondamentales sur ce plan sont décrites ainsi : « *Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève formule au moins une question et/ou une hypothèse qui utilise(nt) les éléments de la situation au sujet d'une problématique ; choisit une piste de recherche, un dispositif d'exploration qui permet de répondre à une question de recherche (dans une liste de propositions), met en évidence quelques facteurs (des variables et des constantes) intervenant dans l'explication d'une problématique* » (MSN 26, PER 2010).

Partant du constat que les études couvrant les démarches d'investigation fournissent en réalité peu d'éléments de réponses, tant du point de vue des dispositifs d'enseignement et d'apprentissage à mettre en place, que du point de vue des concepts mêmes de problématisation et d'élaboration d'hypothèses dans le cadre didactique, nous avons choisi de nous aventurer dans ce champ de recherche à la fois très actuel et encore peu défini.

Pour tenter d'entrouvrir le couvercle de la « boîte noire », nous avons choisi d'examiner *ce qu'il se passait du point de vue des élèves* dans une situation d'investigation ouverte, plus précisément celle d'un défi créatif collectif à solutions multiples. A travers une approche compréhensive, nous avons tenté d'approcher le *processus* d'élaboration d'un problème et de ses solutions possibles, *vécu et généré* par les élèves. En tentant de saisir le « comment », voire le « pourquoi du comment », ce sont les *cheminements*, les *parcours* de recherche des élèves qui ont fait l'objet de notre étude, et non les *résultats* en termes d'apprentissage. Sans chercher à évaluer le dispositif didactique en soi –en termes de situation ou milieu didactique ou de pratique enseignante– nous avons également tenté d'identifier les *mécanismes* en jeu entre les élèves et certaines composantes de l'environnement didactique particulier mis en place pour cette recherche.

L'approche de la complexité de notre problématique nous a amenés à considérer un ensemble de liens et de tensions dynamiques et féconds ; par exemple, entre un parcours évolutif et un processus itératif, entre la construction individuelle et la construction collective, entre l'esprit compétitif et l'esprit coopératif, entre l'élaboration conceptuelle et l'élaboration matérielle, entre l'invention et l'application, entre les contraintes et les possibilités, entre la pensée créatrice et la pensée réflexive.

## **La structure de la thèse**

Plus concrètement, cette thèse comporte trois parties, suivies de conclusions provisoires qui présentent des suggestions pour la classe, ainsi que des idées de prolongements pour des recherches complémentaires.

La première partie de cette thèse présente le cadre de la recherche ; elle propose un bref état de la question concernant les démarches d'investigation, en fonction de trois différents points de vue : celui de l'élève, celui de l'enseignant et celui des pratiques scientifiques de références. Après avoir abordé les limites des activités d'investigation généralement menées en cadre scolaire, un autre chapitre présente une typologie d'activités potentiellement favorable à l'appropriation de démarches d'investigation.

Dans la deuxième partie, sur la base des observations et des limites repérées, un dispositif didactique innovant est proposé : *le défi créatif collaboratif (Défi des Tour en Papier)*. Ce dispositif didactique –notamment caractérisé par un travail collectif en

équipes et en plénière, une mise en situation ludique et immersive, un ensemble de contraintes exigeantes et une pluralité de solutions possibles– est présenté dans la méthodologie pratique : il a été choisi comme dispositif de recherche pour examiner le processus de problématisation et d’élaboration des hypothèses de la part des élèves. Nos questions et nos hypothèses de recherche se focalisent sur le concept de problématisation ; l’élaboration des hypothèses étant considérée comme partie intégrante de l’activité de problématisation.

Dans la troisième partie, des résultats sont présentés sur la base d’une analyse comprenant trois points de vue sur l’activité de problématisation des élèves : celui de la *classe* (déroulement général de la séquence), celui de l’*équipe* (cheminements de recherches des différents groupes), et celui du *contenu* de l’activité de problématisation (les hypothèses proposées par les élèves).

Les conclusions générales donnent des pistes afin de mieux cerner la nature du processus de problématisation, en particulier dans une situation de *défi créatif collaboratif*.

Enfin, les prolongements de la recherche proposent un retour spécifique sur le type de dispositif mis en œuvre ; c’est l’occasion de formuler des hypothèses quant aux effets favorables et aux limites que le *défi créatif collaboratif* présenterait pour la mise en place de démarches d’investigation en classe, et plus particulièrement son intérêt pour l’enseignement et l’apprentissage de capacités de résolution de problèmes complexes. L’enjeu étant de savoir si le *défi créatif collaboratif* permettrait une véritable *appropriation* d’un cheminement de recherche, à la fois authentique pour l’élève et qui véhiculerait une image plus réaliste sur les sciences.

**CHALLENGE ASSUMPTIONS** - Challenging assumptions is daring to question what most people take as truth.

**SEE IN NEW WAYS** - Seeing in new ways is seeing the commonplace with new perception, transforming the familiar to strange, and the strange to the familiar.



**MAKE CONNECTIONS** - Making connections is bringing together seemingly unrelated ideas, objects, or events in a way that leads to new conceptions.

**RECOGNIZE PATTERNS** - Recognizing patterns is perceiving significant differences or ideas, events, or physical phenomena.

**DO GOOD STUDENTS MAKE GOOD PROBLEM SOLVERS?**

Figure 1 Expanding Children's Thinking Through Science (Cohen & Flick, 1981)





## 2 Problématique de la recherche

En matière d'enseignement des sciences, les études révèlent à première vue un consensus entre enseignants, chercheurs, didacticiens et concepteurs de plans d'étude : l'enseignement ne vise plus exclusivement la *transmission* de savoirs scientifiques, mais aussi la capacité de l'élève à être *investigateur* et *producteur* de ce savoir (Giordan, 1978, 1999 ; Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997). La plupart des enseignants, autant que les chercheurs, adhèrent volontiers à une vision socioconstructiviste de l'apprentissage et des rapports aux savoirs (Coquidé, 1998 ; Vérin, 1998 ; Orlandi, 1991), vision qui considère le rôle actif des élèves dans leurs apprentissages et l'importance du *sens* qu'ils doivent donner aux activités éducatives (Piaget, 1966, 1969). Toutefois, ces composantes se révèlent peu prises en considération dans la pratique quotidienne de la classe.

De plus, les recherches en didactique montrent que les perspectives de l'enseignement des sciences sont généralement liées à une *initiation à l'esprit scientifique et à la démarche expérimentale* (Bachelard, 1938 ; Gohau, 1976 ; Delevay, 1989). Au-delà de simples acquis disciplinaires, on vise par-là à permettre à l'apprenant de développer sa pensée –ses capacités de raisonnement, d'abstraction, d'anticipation et de déduction– et d'organiser de nouvelles « opérations mentales » (Lalanne, 1985).

Or, d'autres études mettent en évidence également des *contradictions* qui se créent fréquemment entre les différents objectifs et contraintes auxquels l'enseignement scientifique est assigné (Favre et Rancoule, 1993, Vérin, 1998 ; Bomchil & Darley, 1998).

### 2.1 Les limites des activités d'investigation scolaires

En réalité, la recherche en didactique des sciences à l'école primaire dévoile les limites des pratiques pédagogiques en œuvre dans les classes. Elle aboutit généralement à un constat d'échec des apprentissages, tant au niveau de l'intégration de nouveaux savoirs scientifiques que dans l'acquisition de procédures expérimentales (Giordan, 1978, 1999). Le fait de « faire des expériences » ne signifie pas que les élèves « savent expérimenter » et résoudre des problèmes hors des modèles de situations connues dans lesquelles il s'agit de reproduire une méthode apprise (Dumas-Carré, Caillot, Martinez Torregrossa et Gil, 1989).

Plusieurs études mettent en lumière les nombreuses contraintes pratiques et institutionnelles ainsi que les tensions auxquelles tout enseignant est soumis (Vérin, 1998) et qui pèsent lourdement sur les *choix épistémologiques* qui caractérisent l'enseignement expérimental (Darley, 1993).

En exemples, le souci que les activités menées en classe permettent forcément l'accès au contenu du programme, que les activités se déroulent dans un espace et un temps qui ne débordent pas sur les leçons des disciplines principales, que les activités de recherche menées par les élèves aboutissent à des résultats visibles et évaluables, etc. (Bomchil & Darley, 1998). En réalité, ces recherches mettent le doigt sur un sentiment récurrent de non contrôle face à l'incertitude des situations ouvertes ainsi que sur le caractère aléatoire et subjectif du cheminement des élèves.

Les études didactiques offrent une large vision de la nature des activités dites *expérimentales* et de la façon dont elles sont concrètement menées en classe (Johsua, 1989 ; Coquidé, 1998 ; Bomchil & Darley, 1998 ; Galiana, 1999). Nous verrons en quoi les activités proposées aux élèves sont peu représentatives de l'activité réelle de recherche.

### 2.1.1 Une expérience au service des savoirs

Premièrement, le souci d'accéder à des savoirs conceptualisés en fin d'activité finit généralement par dominer sur l'intention de développer des *savoir-faire* et des compétences (Orlandi, 1991). Or, ni le statut épistémologique des élèves en tant que producteur du savoir, ni le caractère construit et social du savoir scientifique ne sont considérés (Robardet & Vérin, 1998 ; Vérin, 1998). L'expérience n'est souvent considérée que comme *média*, permettant un accès sécurisé et rapide aux savoirs notionnels visés.

Concrètement, on donne la plupart du temps à l'*expérience* un rôle de « référent empirique » (Martinand, 1986) : elle a pour fonction de démontrer des faits attendus, d'illustrer un savoir formalisé et problématisé à l'avance (Bomchil & Darley, 1998 ; Raynal, 2003). Il en est de même pour les activités de *résolution de problèmes*, où les pratiques habituelles dévoilent un « enseignement expositif suivi d'activités de résolution applicatives » (Dumas-Carré et al., 1989).

### 2.1.2 Un modèle à reproduire

Dans ce sens, l'initiation à la *démarche* et à l'*esprit* scientifique se résume généralement à la *reproduction* d'un modèle expérimental imposé. En effet, de manière à s'assurer que l'« expérience marche » et qu'elle donne accès aux savoirs visés, on demande généralement aux élèves de suivre un protocole donné d'avance (Johsua, 1989 ; Delevay, 1989). On retrouve donc régulièrement l'expérimentation comme une *application* dans une situation concrète –bien qu'artificielle– d'une méthode stéréotypée en plusieurs étapes distinctes : observation, hypothèse, expérience, résultats, interprétation, conclusion (OHERIC) (Giordan, 1978). Le

« contact avec le réel » se fait alors uniquement dans une *manipulation* programmée en vue d'une *démonstration* (Coquidé, 1998).

Ces expériences monotypiques entretiennent l'image de la *démarche expérimentale* comme une méthode unique et linéaire. Or, l'ordonnement logique des étapes de la recherche est une « illusion rétrospective » et ne correspond donc pas au fonctionnement épistémologique de la science (Giordan, 1978 ; Raynal, 2003). Tout comme la causalité linéaire stricte –inspirée du paradigme berdardien, fondé sur la relation "une cause<>un effet"– ne permet pas d'envisager des causalités *plurifactorielles*.

Les incidents critiques, les pannes, les résultats non attendus et tout ce qui fait que *le réel résiste* à l'investigation constituent cependant une dimension fondamentale de l'activité de recherche (Coquidé, Bourgeois-Victor et Desbeaux-Salviat, 1999).

### 2.1.3 Peu de place pour le questionnement des élèves

Par ailleurs, on peut constater que les expériences, ne laissant place qu'à la mise en œuvre d'une démarche fortement guidée, n'offrent que peu de place aux explorations et aux questions des élèves. Si les activités expérimentales visent l'exercice d'une *démarche*, elles n'impliquent pas forcément l'élève dans un *processus* de recherche qui favoriserait le questionnement et l'élaboration d'hypothèses (Astolfi et al. 1998). Les expériences, se limitant à une fonction de *test* servant à vérifier une hypothèse toute faite, ne favorisent ni l'engagement des élèves dans la construction d'une problématique, ni même les interrogations autour d'un nouvel objet.

Et lorsque les élèves ont la chance de se voir attribuer un temps pour formuler des hypothèses par rapport à un problème donné, très souvent, l'enseignant se résout à « aller à la pêche à la bonne hypothèse » dans les suggestions des élèves pour pouvoir rapidement passer à l'expérience (Giordan 1978 ; Bomchil & Darley, 1998).

Les élèves font en quelque sorte *semblant* d'être en recherche, en ayant comme seule perspective de vérifier une réponse déjà connue. Or, l'étape de problématisation représente une phase première de la recherche (Bomchil & Darley, 1998). En amont des hypothèses se joue le « premier esprit scientifique » : l'interrogation sur le monde, la curiosité, l'esprit créatif, l'intuition, l'analogie, l'induction, l'invention d'un monde possible, mais avec une part de cohérence : des hypothèses fondées, correspondant au problème, non opposées aux acquis (Cariou, 2009).

En fin de compte, cette « mise-en-statue de l'expérience » (Lacombe, 1989) ou encore sa « mise en scène calculée » (Astolfi et al., 1998) est généralement stérile et hermétique à tout apprentissage, qu'il vise le développement de compétences procédurales ou la construction de nouveaux concepts scientifiques. De plus, la nature des activités et la manière dont elles sont menées ne laissent qu'une faible part active aux élèves, leurs cheminements de pensée et leurs démarches intuitives n'étant pas

pris en compte. En finalité, les perspectives constructivistes de l'éducation scientifique sont facilement remplacées par des pratiques à tendance dogmatique (Bomchil & Darley, 1998 ; Favre & Rancoule, 1993) et meublées par des expériences totalement dénuées de leur dimension exploratoire et heuristique (Lacombe, 1989 ; Coquidé, 2001).

Par ailleurs, l'expérience des mathématiques est importante à prendre en compte. La plupart des recherches qui se sont penchées sur les activités de résolution de problème en mathématiques mettent en avant le fait que très peu de « *véritables problèmes de recherche* » sont proposés par les manuels étudiés. La majorité ne sont en fait que des exercices d'application. L'activité « résolution de problèmes » y est découpée en micro-compétences (Balmes & Coppé, 2002), de nombreux énoncés sont vidés de toute intention didactique (Houdement, 2002) et la démarche de recherche est bien souvent réduite à l'application d'algorithmes (Godot, 2005). Si les manuels de mathématiques parus ces dix dernières années montrent pourtant une évolution, la plupart des énoncés n'amènent pas à trouver des méthodes de résolution générales - et les problèmes ou exercices proposés comportent toujours une solution (Godot, 2005).

En somme, le simple fait de permettre aux élèves de "mettre les mains à la pâte" en "faisant des expériences" ne suffit apparemment pas à permettre l'investissement réel des élèves dans un travail de recherche. Arrivés à ce constat, nous pouvons nous demander quelles sont les composantes de l'apprentissage que les théories psychopédagogiques mettent en lumière, de manière à les prendre davantage en compte dans la conception de situations didactiques ? En d'autres termes, *que faut-il mettre en place pour que les enfants s'investissent de manière autonome dans une véritable activité de recherche ? Comment s'assurer que les investigations menées soient réellement constructives au niveau des apprentissages ? Et encore, comment s'assurer que les nouvelles connaissances potentiellement construites correspondent bien aux savoirs scientifiques de référence visés ?*

Les points suivants participent à construire des éléments de réponses. Ils font références à des champs de domaines très divers (psychologie, didactique, épistémologie) mais souvent associés. Pour commencer, les théories sur les processus d'apprentissage peuvent nous apporter un éclairage intéressant.

## 2.2 Les processus d'apprentissage

Sans proposer ici un chapitre entier sur les processus d'apprentissage, nous souhaitons présenter quelques éléments jugés utiles pour nourrir notre questionnement. Ces différents éléments sont à retenir pour notre réflexion sur le contexte didactique à mettre en œuvre. Lorsque l'on aborde des questions didactiques, souvent pointues et

concentrées sur un champ disciplinaire confiné, il nous semble important de ne pas oublier de préciser et d'intégrer ces dimensions cognitives et pédagogiques plus transversales.

### 2.2.1 Les composantes internes et externes

Tout d'abord, il nous faut considérer les approches centrées sur l'apprenant et ses composantes internes. Les psychologies constructivistes (Gagné, 1965 ; Piaget, 1969, 1966, 1967, 1977 ; Bandura, 1977 ; Ausubel, 1968), nous permettent de considérer que les causes essentielles, génératrices de l'apprendre, dépendent principalement du « sujet lui-même », et de son plaisir à découvrir, se questionner, chercher, etc. (Piaget, 1969, 1966, 1967, 1977). Les questions que l'individu se pose nourrissent sa curiosité et entretiennent un certain dynamisme favorable à l'apprentissage (Ryan & Deci, 2000 ; Weiner, 1979). Arsac, Germain et Mante (1988) en rappellent les 4 idées clés :

- 1) c'est en agissant qu'on apprend ;
- 2) l'apprentissage est le passage d'un équilibre cognitif donné à un équilibre supérieur avec intégration et réorganisation du savoir ancien ;
- 3) l'enseignement doit prendre en compte les représentations qui risquent de faire obstacle aux apprentissages ;
- 4) le conflit sociocognitif peut faciliter l'acquisition des connaissances.

Un modèle en particulier nous a paru intéressant pour aborder ces questions en termes de processus de construction : le modèle COPES (Winne & Hadwin, 1998). Le modèle COPES décrit le processus d'apprentissage autorégulé qui se produit en quatre étapes récursives :

- 1) la phase de définition de la tâche,
- 2) la phase de construction des buts et du plan d'action,
- 3) la phase de mise en œuvre,
- 4) la phase d'adaptation.

Le modèle peut être décrit ainsi : à partir de ses propres perceptions, l'apprenant génère une représentation de la tâche qui lui est propre, ce qui lui permet de déterminer ses buts et d'imaginer un plan d'action pour y parvenir. La mise en œuvre du plan s'accompagne d'une série d'opérations cognitives et métacognitives. Potentiellement, l'apprenant ajuste ses stratégies sur la base des résultats qu'il observe et évalue, et plus largement s'adapte afin d'optimiser son expérience d'apprentissage.

*« [...] according to the COPES model, self-regulated learning occurs in four weakly sequenced and recursive stages: In the task definition stage (1), a student generates her/his own perception about what the studying task is like (e.g., about constraints and resources). Based on this definition the student generates idiosyncratic goal(s) and constructs a plan for addressing that study task in the second stage of learning (2). In the enactment stage (3) the previously created plan of study tactics is carried*

*out. That is, the learner actively enacts all kind of cognitive and metacognitive operations to solve the task at hand. The optional adaptation stage (4) pertains to fine-tuning of strategies within the actual learning task as well as to long-term adaptations based on the study experience* » (Bromme et al., 2008).

Les quatre étapes itératives sont intégrées dans la même architecture cognitive générale qui peut être décrite par cinq composantes (dont l'acronyme a donné le nom au modèle) : les conditions (Conditions), les opérations (Operations), les productions (Products), les évaluations (Evaluation) et les critères (Standards).

Les conditions concernent autant les conditions externes (la tâche) que les conditions internes de l'apprenant (cognitif, métacognitif), et influencent tout le processus d'apprentissage de par leur effet direct sur les opérations et les critères. A chaque étape du processus, les opérations créent de nouveaux « produits », autant interne (par ex. une nouvelle idée) qu'externe (par ex. une nouvelle tentative, un nouvel essai).

Bromme et al. (2008) se base sur le modèle COPES pour souligner l'idée que le processus d'apprentissage est déterminé en grande partie par la manière dont l'apprenant perçoit la tâche (*epistemological beliefs*), par exemple la façon dont il évalue ses contraintes, ses ressources, ses finalités, etc. : « *epistemological beliefs impact on student's internal standards which in turn influence metacognitive monitoring and control processes* ». De cette manière, « *epistemological beliefs act as an apprehension structure through which the knowledge to be learnt is anticipated* » (Bromme et al. 2008).

Ce modèle d'apprentissage autorégulé nous semble intéressant pour aborder le processus d'investigation et plus spécifiquement le processus de problématisation. Ce modèle nous semble pertinent parce qu'il considère à la fois diverses composantes transversales fondamentales et à la fois les liens qui les unissent ; de plus il aborde le processus à travers quatre phases, non linéaires et récursives. Ensuite, il souligne l'importance de considérer le rapport de l'élève à la tâche elle-même (ce qui lui est demandé de faire), et ce au-delà des connaissances qu'il peut avoir sur l'objet (théorique, scientifique) autour duquel s'articule la tâche. En effet, nous pensons que pour rendre compte du processus de problématisation dans sa complexité, il est important de considérer la dimension propre à la représentation de la tâche (ou *epistemological beliefs*) et pas seulement la dimension propre au problème scientifique en jeu. Le modèle de COPES nous permet d'aborder ainsi la problématisation en tant que processus multidimensionnel.

Par ailleurs, d'autres théories sont à considérer, notamment celles qui considèrent la *motivation* de l'individu comme la « composante » (Host, et al., 1976 ; Viau, 2007) ou le « processus » (Giordan, 1998) qui règle son engagement dans une action. Elle pourrait être définie à travers un ensemble de facteurs physiologiques, cognitifs,

affectifs, sociaux et culturels qui interagissent de façons diverses dans une situation donnée (Nuttin, 1985 ; Lecomte, 1997, Feldmann et al., 1994).

Dans le cadre du modèle allostérique<sup>3</sup>, Giordan suppose le « désir d'apprendre » (2002) comme un « moteur premier » d'apprentissage, en le situant d'entrée dans une vision systémique, comme un « état d'activation partant de l'intérieur d'une personne » pour répondre à un motif interne à satisfaire (par exemple projet d'être, de faire ou simplement de combler un manque d'information pour trouver une solution à un problème), mais pouvant être tout autant stimulé de l'extérieur par un « environnement didactique » stimulant (Giordan & De Vecchi, 1987 ; Giordan, 1998).

De plus, les recherches cognitivistes peuvent nous éclairer sur les mécanismes internes du fonctionnement de la pensée de l'apprenant, comme par exemple les stratégies qu'il va mettre en place dans les situations de résolution de problème (Brossard & Fijalkow, 1998).

Enfin, les perspectives socioconstructivistes nous permettent de considérer le rôle des composantes *externes* d'apprentissage avec lesquelles l'élève *interagit* dans la construction de nouveaux savoirs (Vygotsky, 1935-1985 ; Brossard & Fijalkow, 1998). En effet, l'hypothèse générale selon laquelle le sujet construit ses connaissances par une interaction active avec l'environnement (objets, relations sociales) doit être considérée pour concevoir des situations didactiques fertiles. L'approche vygotskienne considère le rôle fondamental des facteurs sociaux, tels que le langage et les interactions avec les autres (élèves, enseignant, etc.). De plus, si la production d'un sujet ne dépend pas uniquement de la structure interne de ses connaissances, elle dépend aussi du type spécifique de situations-problèmes qui lui est soumis (Johsua & Dupin, 1993)<sup>4</sup>.

Du point de vue éducatif, et compte tenu de ces différentes approches, nous pouvons donc considérer l'environnement didactique à la fois comme source de *stimulation* pour provoquer la curiosité et le désir de comprendre des élèves ainsi que pour les engager en processus de recherche, et à la fois comme source de *perturbation* cognitive (Giordan & Pellaud, 2008) nécessaire à la construction de nouveaux savoirs.

---

<sup>3</sup> Modèle que nous ne développerons pas ici en détail.

<sup>4</sup> Selon Perrenoud (1993), pour que de nouvelles connaissances puissent être construites, il est question pour l'élève de construire du sens ; un sens qui ne peut être donné d'avance, et qui *se construit en situation*, dans une interaction et une relation. En outre, Brown, Collins & Duguid (1989) et les tenants de l'apprentissage contextuel (*situated learning*) soutiennent que l'acte d'apprendre est une interprétation d'une expérience, d'un langage ou d'un phénomène saisi dans leur contexte, et préconisent le recours, en situation d'apprentissage, à des tâches authentiques dans des contextes les plus réalistes possibles.



En somme, nous pouvons avancer l'idée que la conception de dispositifs didactiques prenant en considération ces éléments clés du processus d'apprentissage sont potentiellement bénéfiques pour l'apprentissage des élèves.

Une question se pose alors : concrètement, quelles formes peuvent prendre ces sources de stimulation et de perturbation dans les dispositifs didactiques ? Quels éléments concrets du milieu devraient être mis en place pour jouer ce rôle à la fois stimulant et perturbateur ?

### 2.2.2 Les composantes sociocognitives

Les approches psycho-constructivistes du développement nous semblent importantes à préciser pour faire avancer notre questionnement, et plus précisément les approches liées au travail en groupe et à l'apprentissage coopératif. Nous proposons d'en relever quelques éléments pertinents.

L'apprentissage entre pairs (*Peer Learning*) en contexte scolaire est défini par « l'acquisition de connaissances et de compétences à travers l'entraide active entre les partenaires (...). Son but est d'aider les autres à apprendre et d'apprendre soi-même en ce faisant » (Topping, 2005, traduit et cité par Buchs, Lehraus & Crahay, 2012). Dans ce cadre, la connaissance est alors considérée comme le fruit d'une entreprise collective. Ceci implique de laisser une relative *autonomie* dans le travail de groupe, sans intervention ou supervision constante de la part de l'enseignant. Toutefois, les recherches effectuées en classe portant sur le travail de groupe peu ou non structuré montrent que ces pratiques constituent rarement des contextes favorables à l'apprentissage (Kutnick, Ota & Berdondini, 2008).

Buchs et al. (2012) proposent de réserver le terme d'*apprentissage coopératif* pour désigner des dispositifs structurés par l'enseignant afin de rendre les interactions les plus constructives possibles sur le plan social et cognitif (ibid.). Les recherches montrent que les dispositifs d'apprentissage coopératif auraient des effets bénéfiques non seulement au niveau des performances, de la mémorisation des connaissances et des habiletés, mais également sur les stratégies de raisonnement, le niveau de raisonnement et la créativité (Johnson & Johnson, 1989). De plus, le travail coopératif inciterait les apprenants à avoir une réflexion métacognitive, une pensée critique et un niveau de raisonnement élevé. Enfin, les dispositifs d'apprentissage coopératif stimuleraient la motivation intrinsèque des partenaires et l'investissement dans la tâche et la curiosité épistémique (ibid.). Alors, quelles composantes sont nécessaires pour concevoir des dispositifs de type coopératif ?

Selon Davidson (1998, cité par Buchs et al., 2012) cinq critères incontournables peuvent définir les dispositifs d'apprentissage coopératifs : 1) une tâche commune 2) des groupes restreints 3) une attitude coopérative 4) une interdépendance positive entre les partenaires, et 5) une responsabilisation individuelle. Concernant l'*attitude coopérative*, Lehraus et Buchs (2008) insistent sur l'importance d'un *apprentissage*

de la coopération, impliquant un climat de classe coopératif, l'enseignement explicite des habilités coopératives et la réflexion critique sur les processus de groupe et le fonctionnement des équipes. Ensuite, l'*interdépendance positive des buts* –qui s'oppose à l'interdépendance négative dans le cas de la compétition ou de l'indépendance lors d'un travail individualiste– apparaît comme la condition indispensable pour que la situation envisagée soit de type coopératif : « les buts personnels sont reliés de telle sorte qu'un individu ne puisse atteindre son objectif que si, et seulement si, les autres le peuvent aussi, l'objectif est que le succès commun rejaillisse sur chaque individu. Par conséquent, les individus tenteraient d'atteindre des résultats qui sont bénéfiques pour tous ceux avec qui ils sont liés de manière coopérative » (Buchs et al., 2012). Les efforts de tous les coéquipiers doivent être coordonnés pour atteindre un but commun. Pour Slavin (1983, 1995, cité par Buchs et al., 2012) la présence d'une récompense (d'un renforcement) est nécessaire pour motiver les individus à s'investir dans des logiques coopératives. Toutefois, une récompense collective pourrait ne pas être suffisante pour rendre le travail de groupe efficient. Toujours pour Slavin, la *responsabilité individuelle* est un paramètre supplémentaire nécessaire. Selon lui, les récompenses attribuées aux membres du groupe ne devraient pas se fonder uniquement sur le produit collectif mais devraient aussi valoriser la contribution de chaque membre.

Après avoir mis en lumière des facteurs motivant l'investissement des élèves dans des tâches coopératives, il est intéressant de se questionner sur les conditions permettant au sein du groupe des interactions réellement constructives au niveau des apprentissages. Pour la psychologie sociale développementale le *conflit sociocognitif* s'avère particulièrement fertile pour les apprentissages (Vygotsky, 1935-1985 ; Doise & Mugny, 1997 ; Gilly, 1993). Mais dans quelle mesure et dans quelles conditions ce type de conflit peut se produire ? Comment optimiser les effets positifs des conflits ?

Pour poursuivre la réflexion, Buchs et al. (2008) proposent un éclairage intéressant sur les effets constructifs des confrontations de points de vue divergents sur l'apprentissage. Buchs et al. présentent plusieurs lignes de recherche, dont les études de Johnson & Johnson (par exemple Johnson & Johnson, 1995, Johnson et al, 2007) en contexte d'échange d'informations. On parle de « controverse coopérative » lorsque deux apprenants tentent d'atteindre une position commune alors qu'ils expriment au départ des jugements contradictoires. Les études montrent que ce type de controverse entraîne des bénéfices motivationnels, interpersonnels et cognitifs, notamment par la nécessité de prendre en compte la perspective de l'autre personne pour parvenir à un consensus. Cette idée rejoint la perspective piagétienne dans laquelle les progrès réalisés résultent de la coordination de positions alternatives à un niveau plus élaboré. Cette construction est possible grâce à la décentration, c'est-à-dire la prise de recul par rapport à sa position et la reconnaissance des positions alternatives (Buchs et al., 2008).

Toutefois les études sur l'influence sociale permettent de préciser que tout conflit ne s'avère pas forcément bénéfique, notamment lorsque le conflit est associé à une menace pour les compétences individuelles (Mugny et al., 2003). Cet effet peut se produire lorsqu'un individu se perçoit en compétition avec son partenaire. Par exemple, des individus se percevant compétents se sentent en compétition ; ils seraient moins motivés à résoudre la tâche qu'à invalider la compétence de l'autre de manière à préserver leur propre compétence (Mugny et al., 2001).

De plus, notre questionnement peut se pencher sur les effets de la divergence sur la productivité et la créativité des décisions collectives. Se fondant sur les études de De Dreu & Beersma (2001) et de Schulz-Hardt et al. (2006), Buchs et al. (2008) soulignent que l'existence d'une divergence dans les préférences individuelles avant les discussions de groupe permet d'améliorer la qualité des décisions de groupe. En effet, la divergence augmente le niveau d'intensité des discussions dans le groupe et réduit les biais intervenant dans ces discussions. Par exemple, les membres se focalisent moins sur les informations que tous les membres connaissent ou sur celles qui sont en accord avec leur préférence initiale. Les résultats illustrent le fait que « la divergence permet d'augmenter la réflexion critique et la pensée divergente, permettant ainsi aux membres d'évaluer ouvertement toutes les possibilités (...) » (Buchs et al., 2008). Dans ce sens, il apparaît que des consignes favorisant la divergence –par exemple un encouragement à la critique mutuelle– entraînent plus d'idées que celles inhibant les divergences.

Plusieurs éléments peuvent être retenus à ce stade de notre réflexion, apportant une part de réponse à notre travail. Dans la recherche de dispositifs qui jouent un rôle à la fois stimulant et perturbant, nous retenons l'idée de la divergence de point de vue comme source de perturbation potentiellement fertile. Plus précisément, il s'agirait de concevoir des dispositifs didactiques qui favoriseraient l'émergence de divergence au sein de groupes de travail partageant une tâche commune, et qui encourageraient la confrontation de points de vue chez les élèves dans un climat coopératif.

### 2.3 La démarche d'investigation en classe

A présent, nous souhaitons apporter quelques clarifications nécessaires quant à la notion de démarche d'investigation : de quelle démarche parle-t-on ? Sans présenter ici une revue de littérature didactique à ce sujet tel que le proposent notamment Calmettes et al. (2012)<sup>5</sup>, nous souhaitons simplement préciser notre postulat, et ce que nous entendons par les termes de « démarches d'investigation ». Que signifie « faire

---

<sup>5</sup> L'ouvrage présente des thématiques abordées sur trois axes principaux : 1) les références aux démarches d'investigation dans les textes curriculaires, 2) les représentations des acteurs quant aux stéréotypes de genre et aux références épistémologiques dans les démarches d'investigation, 3) les pratiques d'enseignement et de formation.

de la démarche d'investigation » en classe, tant du point de vue de l'élève que de l'enseignant ?

En référence au concept de triangle pédagogique –maître, élève, savoir– (Housaye, 2000) il est utile de distinguer trois points de vue concernant les démarches d'investigation :

- 1) la démarche *vécue* par l'élève
- 2) la démarche *mise en œuvre* par l'enseignant
- 3) la démarche scientifique à laquelle la situation fait *référence*.

Cette distinction se retrouve dans la littérature anglo-saxonne de par les différents acronymes utilisés pour définir la démarche d'investigation, marquant l'orientation prise sur l'un ou l'autre de ces points de vue : les références épistémologiques (*Inquiry Based Science Education - IBSE*), l'enseignement (*Inquiry Based Teaching, Inquiry Based Instruction - IBT, IBI*) et l'apprentissage (*Inquiry Based Learning - IBL*).

Sans chercher à rendre compte de manière exhaustive l'état de la question sur ces différentes orientations, nous proposons de mettre en lumière quelques éléments qui seront utiles à notre recherche et de faire part de notre posture en situant notre questionnement à travers ces trois points de vue. Notons qu'une distinction nette entre chacun des points de vue est parfois difficile, d'où l'entrecouplement des questions formulées. Il nous faut considérer ces points de vue en tant que « pôles » participant au même « système », afin de saisir les relations qui s'opèrent entre chaque pôle.

### 2.3.1 La démarche de l'élève

Premièrement, du point de vue de l'apprenant, la démarche d'investigation correspondrait à l'*activité subjective* que le sujet mobilise lorsqu'il investit et qu'il tente de résoudre un problème.

Elle comprendrait les questions que le sujet génère lui-même, les tentatives qu'il met en œuvre de manière autonome pour y répondre, englobant autant ses actes que ses pensées. De plus, sa démarche prend appui et s'articule autour de modèles personnels, qu'il s'agisse de représentations sur l'objet du problème (savoirs scolaires et/ou expériences vécues, etc.) ou des représentations sur la situation dans laquelle il se trouve (tâche scolaire en général et/ou tâche en particulier).

La démarche d'investigation du point de vue de l'élève devient, comme le dit De Vecchi (2006), « l'invention d'un chemin possible, de l'hypothèse à sa mise en œuvre (...) c'est ce chemin intellectuel qui apporte sa dimension scientifique à l'investigation ». Du point de vue de l'élève, le cheminement de recherche est ponctué, guidé par un questionnement permanent, qu'il soit explicite ou en partie inconscient : *Qu'est-ce que je sais ou crois savoir sur le monde qui m'entoure ?*

*Qu'est-ce que je pense de ce que j'observe et de ce qu'on me dit ? Face à une situation ou une idée, je me demande comment cela se fait que..., ou Qu'est-ce qui pose problème ? Je me demande si la raison, l'explication ne serait pas que... ou alors La solution ne serait pas de... ? Puis, Comment faire pour savoir si j'ai raison ou si j'ai tort ? Quels moyens puis-je imaginer pour vérifier la valeur de ce que je dis ? Lorsque je mets en œuvre ce que j'ai imaginé, qu'est-ce que j'observe, qu'est-ce que j'en déduis ? Est-ce que mes idées, hypothèses de départ semblent toujours adéquates, pertinentes ?, etc.*

L'idée à retenir ici est que pour qu'une démarche d'investigation soit authentique du point de vue de l'élève, il lui est nécessaire de s'approprier le cheminement dans son intégralité. Clarifions ici la notion d'appropriation.

La question de l'« appropriation du problème » de la part des élèves est très présente dans les champs de recherche sur les démarches d'investigation, mais se réfèrent à des significations différentes selon les groupes de recherche. A nouveau, les ambiguïtés sont liées à la notion de « problème » : parle-t-on de la tâche que les élèves doivent réaliser ? Parle-t-on du problème scientifique en jeu dans la tâche ? Ou parle-t-on de l'énoncé du problème, de la façon dont celui-ci est formulé dans la consigne introduisant la tâche ?

Deux points de vue distincts peuvent alors être présentés, correspondant à des niveaux de problématisation différents.

D'un côté, l'idée d'*appropriation* est considérée d'un point de vue général en lien avec les théories socioconstructivistes sur l'apprentissage : il s'agit pour l'élève de s'emparer d'une *situation-problème*, de la « faire sienne », afin qu'elle représente pour lui un véritable problème, au-delà du pur contrat didactique.

L'idée d'appropriation est aussi fortement liée au concept de *dévolution* de Brousseau qui, en complémentarité avec le concept d'*institutionnalisation*, représente les composantes de base du *contrat didactique* qui lie l'enseignant et l'élève (Brousseau, 1986, 1998). La dévolution est le processus par lequel le professeur confie aux élèves, pour un temps, la responsabilité de leur apprentissage. La dévolution est toujours, d'une certaine manière, dévolution d'un rapport à un milieu : l'élève doit assumer de travailler d'une manière déterminée dans un milieu déterminé, et accepter le fait que le professeur ne lui transmettra pas directement, pour un temps, les connaissances (Sensevy, 2001). Selon Brousseau (1988), « *l'enseignement a pour objectif principal le fonctionnement de la connaissance comme production libre de l'élève dans ses rapports avec un milieu a-didactique* ». Par « production libre », Brousseau (1988) entend « *une réponse au milieu gérée par le sens, c'est-à-dire par ce que l'élève est capable d'interposer entre ses conditionnements, externes ou internes, et ses décisions ; cela implique pour lui la possibilité actuelle, et non pas seulement potentielle, de choisir entre plusieurs voies, pour des raisons « intellectuelles », cela*

*implique aussi une production personnelle* ». Le « milieu a-didactique » se réfère au milieu « dénué d'intentions et de présupposés didactiques » (ibid.).

Enfin, cette dimension est aussi fréquemment mise en lien avec la *motivation intrinsèque* comme moteur essentiel d'apprentissage.

Pour nous, l'idée d'*appropriation* d'une démarche d'investigation signifie que l'élève génère et construit par lui-même –de manière plus ou moins accompagnée– un itinéraire de recherche qui lui est propre. L'idée que l'élève *assimile* des procédures enseignées –par le biais d'un exercice de reproduction par exemple– ne peut définir le processus d'appropriation auquel nous faisons référence. Dans ce sens, une des conditions pour que l'élève s'approprie une démarche d'investigation serait que la situation didactique permette suffisamment d'*autonomie* et d'*initiative*, et génère suffisamment de sens pour que l'élève génère et se sente responsable de son cheminement de recherche.

Cette idée rejoint la « théorie de l'autodétermination » de Deci & Ryan (2000, 2002) dans laquelle le « besoin d'autonomie » est l'un des trois besoins psychologiques fondamentaux<sup>6</sup> dont la satisfaction serait la condition nécessaire pour la croissance et le bien-être de la personnalité et des structures cognitives des individus (Deci & Ryan 2000). Dans ce cadre, le besoin d'autonomie se réfère au sentiment de se percevoir comme la propre source de ses comportements et d'agir selon ses propres valeurs et intérêts. Lorsque les individus sont autonomes, ils expérimentent leurs propres comportements comme une expression du soi, même si leurs actions sont influencées par des sources externes, à condition toutefois d'être congruent avec celles-ci (ibid.).

Ainsi, les activités demandant aux élèves de suivre un protocole de recherche donné en vue d'observer ou de vérifier un problème déjà posé ne peut être considéré comme une démarche d'investigation *authentique pour l'élève*. La motivation de l'élève peut tout à fait être intrinsèque<sup>7</sup> lorsqu'il réalise un exercice purement reproductif. Cependant, ce type de démarche ne peut véritablement lui permettre de s'approprier la situation en tant que situation-problème parce qu'elle n'offre pas de marge d'autonomie suffisante dans le processus de recherche.

Dans ce sens, il s'agit de distinguer une démarche d'investigation guidée d'une démarche d'investigation ouverte et en partie autorégulée (*Open Inquiry* ou *Self Regulated Inquiry*). Or, la distinction ne peut se limiter à opposer une conduite encadrée à une conduite autodidacte (avec ou sans l'intervention de l'enseignant).

D'un côté, Roth (1995) s'est particulièrement intéressé à la façon dont les élèves s'approprient un problème en situation expérimentale ouverte (*Open-Inquiry Laboratory Environment*) en se concentrant sur divers aspects de l'élaboration de

---

<sup>6</sup> Les deux autres besoins étant le besoin de compétence et besoin de parenté.

<sup>7</sup> Lorsqu'une action est intrinsèquement motivée, elle est conduite uniquement par l'intérêt et le plaisir que l'individu trouve à l'action, sans attente de récompense externe (Deci & Ryan 2000).

problèmes et de solutions. L'auteur se distingue du point de vue traditionnel de la science cognitive, et ses méthodes de recherche en laboratoire clos (*laboratory-bound "indoors"*) impliquent l'investigation dans des problèmes et énigmes prédéfinis (*well-defined problems and puzzles*). Sur la base d'études comparatives, l'auteur soutient que, contrairement aux problèmes traditionnels scolaires, dans les situations ouvertes de recherche tout comme dans les problèmes de la vie quotidienne, les sujets s'approprient naturellement le problème : « *problems and solutions emerged from complex interactions between individuals and their setting. As a consequence, take legitimate ownership of the problem, and this contributes to the students' motivation and sense of responsibility for their own learning* » (Roth, 1995)<sup>8</sup>.

D'un autre côté, Kirschner et al. (2010) dénoncent l'inefficacité d'un apprentissage non guidé par l'enseignant tel que le proposent (selon eux) les pédagogies de la découverte (*Unguided Discovery Learning*), l'apprentissage par problème (PBL), l'apprentissage par investigation (IBL) dans le cas où la tâche représente une charge cognitive trop importante et soutient l'efficacité d'un apprentissage fortement guidé : « *minimally guided instruction is less effective and less efficient than instructional approaches that place a strong emphasis on guidance of the student learning process. The advantage of guidance begins to recede only when learners have sufficiently high prior knowledge to provide "internal" guidance* ». En réponse à Kirschner et al., plusieurs auteurs apportent des précisions. Notamment, Hmelo-Silver et al. (2006) tiennent à préciser que l'IBL et le PBL ne peuvent être confondus avec des pédagogies de la découverte autorégulée. Au contraire, ces pratiques impliquent un guidage particulièrement bien pensé pour accompagner les élèves afin d'assurer la qualité des investigations : « *both PBL and IL<sup>9</sup> employ scaffolding extensively thereby reducing the cognitive load and allowing students to learn in complex domains* ».

Dans ce sens, Kali & Linn (2007) proposent un étayage diminuant progressivement (*disappearing scaffold*) à travers différents « niveaux d'investigation » :

- 1) l'investigation de confirmation (l'élève reçoit la question, les méthodes, les solutions),
- 2) l'investigation structurée (l'élève reçoit la question, les méthodes, mais élabore les solutions),
- 3) l'investigation guidée (l'élève reçoit la question, mais élabore les méthodes, les solutions),
- 4) l'investigation ouverte (l'élève élabore la question, les méthodes et les solutions).

---

<sup>8</sup> Avec des classes du secondaire de physique ou écologie (13-18 ans).

<sup>9</sup> Acronyme de *Investigation Learning*.

Les niveaux successifs mettent de plus en plus à contribution la capacité de l'élève à produire ses propres connaissances et à les partager sous forme de savoirs nouveaux dans la classe.

Ainsi, la démarche de l'élève, pour être fertile, nécessiterait d'être en même temps autodirigée et accompagnée de près... mais de manière *non directive* par l'enseignant. Notons que les questions de *l'authenticité* et de *l'autonomie* sont souvent relevées comme des critères importants pour assurer la qualité des investigations (Lombard, 2012).

Par ailleurs, la question de la *valeur* didactique des démarches spontanées et autorégulées par les élèves peut alors se poser. Comment permettre aux élèves de mener des démarches de manière relativement autonome tout en ayant une valeur du point de vue didactique, c'est-à-dire une valeur scientifique ou *potentiellement* scientifique. En effet, il se peut que la démarche déployée par l'élève ne lui permette pas d'aboutir aux savoirs scolaires visés par l'enseignant. L'exigence didactique incitera alors à se poser la question des possibilités et des conditions pour que les élèves puissent accéder malgré tout à un nouveau savoir, qu'ils se définissent en termes de notions ou concepts scientifiques ou en termes de savoirs méthodologiques. Par exemple, l'élève peut s'investir dans une démarche de recherche autonome qui ne s'apparente pas aux procédés et aux valeurs spécifiques de l'activité scientifique. S'ensuit alors une question pertinente : les démarches spontanées des élèves pourraient-elles servir de base pour construire des savoirs en lien avec les démarches scientifiques ? Par exemple, serait-il possible de se référer aux démarches initiales des élèves –au même sens que les conceptions initiales– pour développer avec eux une réflexion au sujet du fonctionnement de la science en général ? Ou alors, est-il envisageable de faire évoluer progressivement les démarches spontanées des élèves vers des démarches plus « scientifiques » ?<sup>10</sup>

De ce point de vue, de multiples questions peuvent être formulées : Que peut-on attendre de la part des élèves en termes de démarches ? Quels seraient les indicateurs d'un véritable processus de recherche du point de vue de l'épistémologie de l'élève ? Qu'est-ce qui peut motiver l'élève à s'investir dans une démarche de recherche authentique (pour lui) ? Quelles seraient les conditions pour pouvoir s'approprier une démarche de recherche ?

### 2.3.2 La démarche de l'enseignant

Deuxièmement, du point de vue enseignant, la démarche d'investigation est couramment considérée comme une démarche pédagogique, voire une *méthode*

---

<sup>10</sup> Nous proposons de mettre entre parenthèse ces questions et de les reprendre dans le chapitre « Prolongements de la recherche ».



d'enseignement particulièrement efficace pour favoriser des apprentissages spécifiques, souvent justifiée par les théories constructivistes qui considèrent l'apprenant comme acteur et investigateur de connaissances.

Comme dans toute situation d'enseignement, l'enseignant doit réfléchir à la fois au type de démarche de travail qu'il demande aux élèves, au type de posture qu'il adopte lui-même, au type de modèles auxquels il fait référence, au type d'apprentissages qu'il vise.

D'abord, pour la mise en œuvre d'une activité d'investigation, l'enseignant s'appuie, plus ou moins consciemment, sur des conceptions en général (pédagogiques, didactiques, épistémologiques) et des conceptions sur la démarche d'investigation en particulier, ce qui oriente fortement sa façon d'encadrer les situations qu'il propose aux élèves.

Ensuite, la condition didactique voulant que les séquences d'enseignement puissent déboucher sur l'acquisition d'un certain *savoir* scientifique, la question à préciser est alors quels types de savoir nous visons. Par le biais d'une activité d'investigation, l'enseignant peut viser des objectifs très différents. Nous proposons de distinguer très grossièrement les savoirs qui se réfèrent à des notions ou concepts scientifiques, des savoirs qui se réfèrent à des procédés, des méthodes, des valeurs, des démarches propres aux sciences. Précisons que la deuxième catégorie de savoirs regroupe à la fois des savoir-faire et des savoirs épistémologiques.

Les études montrent que les activités d'investigation en classe visent le plus souvent la construction de notions ou de concepts scientifiques (Orange, 2003, 2005 ; Fabre & Orange, 1997). On cherche alors à transformer les représentations initiales des élèves à propos d'un objet/phénomène scientifique (souvent limitées ou erronées) afin de pouvoir construire de nouveaux concepts scientifiques.

Une autre approche, plus rare, se porte moins sur les concepts scientifiques en tant que tels et vise plus globalement la construction de savoirs *au sujet* des sciences, « *about the nature of science* » (Sandoval, 2003, 2005). Il s'agit de là aussi de faire évoluer les représentations initiales, par exemple les savoirs épistémologiques au sujet des démarches scientifiques (Pélissier & Venturini, 2012) –« *epistemological beliefs about science* » (Sandoval, 2003, 2005)– et ceci pas nécessairement par le biais d'une investigation concrète. Parfois les activités d'investigation visent à développer un certain savoir procédural, des compétences méthodologiques (Defina, 2000 ; Blanquet, 2010), un esprit scientifique ou des compétences plus transversales (Giordan, 1999 ; De Vecchi, 2006 ; Astolfi et al., 1991).

En outre, concrètement, il s'agit pour l'enseignant de définir à quoi *ressemble* et *comment s'organise* l'activité d'investigation qu'il souhaite proposer aux élèves. Il s'agit de définir un environnement spécifique, de structurer les séquences dans le temps et l'espace. La question est alors : quels types de dispositifs didactiques mettre

en œuvre pour favoriser les démarches d'investigation ? Quelles en seraient les caractéristiques particulières ?

On trouve divers modèles de démarches d'investigation utilisés par les enseignants ou en formation. Par exemple, dans de nombreux sites de formation académique francophones actuels<sup>11</sup>, la démarche d'investigation scolaire est décrite en une succession de « grandes étapes » à parcourir au travers d'une ou plusieurs séquences didactiques :

- 1) le choix d'une situation-problème par le professeur,
- 2) l'appropriation du problème par les élèves,
- 3) La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles,
- 4) l'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves,
- 5) l'échange argumenté autour des propositions élaborées,
- 6) l'acquisition et la structuration des connaissances,
- 7) l'opérationnalisation des connaissances.

La démarche d'investigation décrite ici prête selon nous à confusion. Ce type de modèle est très souvent utilisé par les enseignants et les formateurs tout en étant fortement critiqué par les didacticiens des sciences. Pour les premiers, elle permet de s'assurer que l'activité en classe réponde aux exigences didactiques de base tout en s'*approchant* de certaines dimensions relatives aux démarches scientifiques. Pour les seconds, la mise en œuvre de cette approche se révèle extrêmement linéaire, formelle et stéréotypées (Johsua & Dupin, 1993 ; Darley, 1996 ; Coquidé, 1998), risquant ainsi de véhiculer et d'entretenir en classe un message limité voire erroné sur la pratique scientifique. La démarche d'investigation décrite ici correspond donc davantage à une marche à suivre pour aborder les savoirs "prescrits" par le programme scolaire.

Les questions à se poser à ce stade sont multiples. Premièrement, dans quelle mesure la démarche d'investigation autour d'un problème en classe doit être à l'image de la démarche d'investigation scientifique ? Est-il possible de mettre en œuvre une démarche d'investigation en classe qui soit représentative de l'activité scientifique, ou du moins qui n'en véhicule pas une fausse image ? A quels critères devrait répondre une démarche d'investigation *scolaire* pour être efficace du point de vue des apprentissages scientifiques ?

---

<sup>11</sup> [www.ac-grenoble.fr](http://www.ac-grenoble.fr) ; [www.pedagogie.ac-nantes.fr](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr) ; [www.montpellier.iufm.fr](http://www.montpellier.iufm.fr).

Cariou (2010) pose la question de la transposition didactique de la démarche d'investigation. Il présente diverses schématisations plus ou moins complexes élaborées par des didacticiens (Gil-Perez, 1993 ; Robardet et Guillaud, 1997 ; Giordan 1999 ; Cariou, 2010) visant à modéliser les processus de recherche scientifiques, afin de servir de support aux démarches en classes. Tous les modèles présentent en fait 6 à 7 phases clés. Ces différentes étapes sont plutôt similaires d'un modèle à l'autre. Or, la différence avec le modèle critiqué plus haut réside dans le fait que chaque modèle se présente bien schématiquement de manière linéaire, mais chaque étape est plus ou moins réursive voire cyclique.

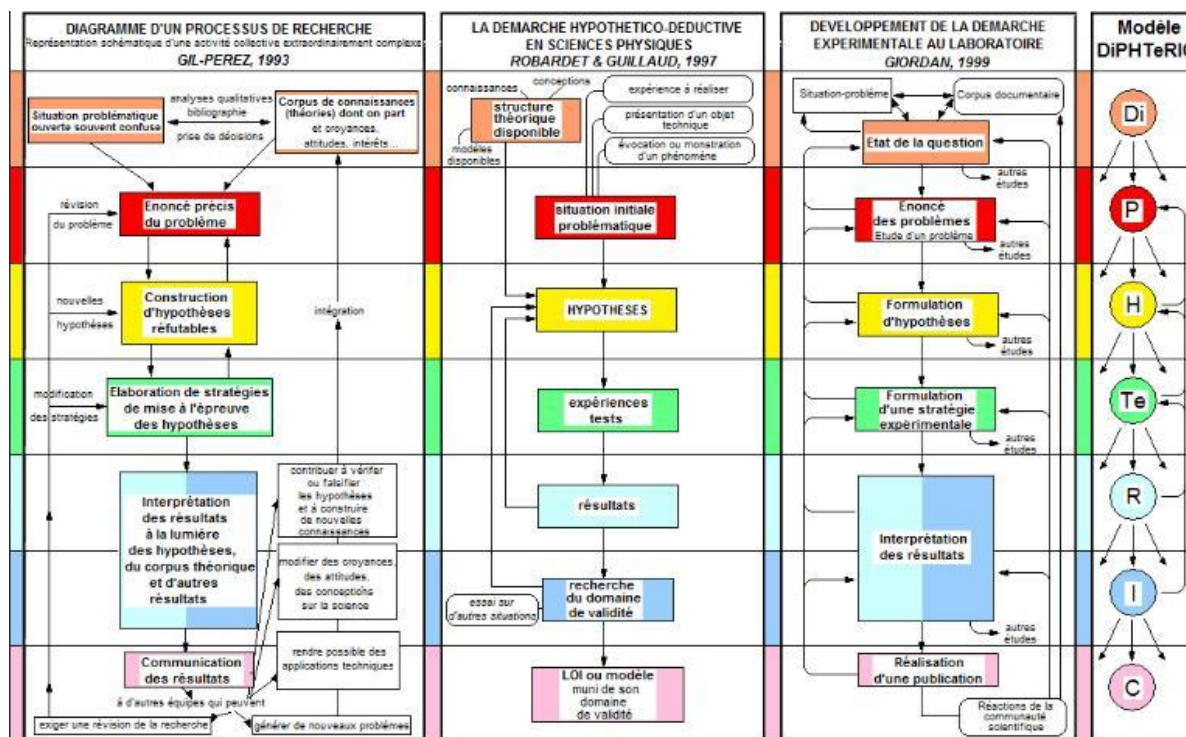


Tableau 1 Différents modèles de démarches d'investigation (Cariou, 2010)

A partir de ces différents modèles, Cariou (2010) propose de retenir 10 critères pour définir une investigation authentique en classe. Notons que ces critères correspondent à des éléments jugés essentiels par différents auteurs :

- l'instauration d'un « débat scientifique dans la classe » (Johsua & Dupin, 1993),
- la possibilité d'émettre des hypothèses alternatives (Lawson, 2005 ; Minner et al., 2010),
- la prise de risque intellectuel et la mise en jeu de la créativité (Beghetto, 2009),
- l'argumentation et la justification des assertions, la sélection des hypothèses plausibles parmi des explications en compétition et la conception d'expériences pour tester diverses hypothèses (Hofstein et al., 2008),
- la prise de décisions et la planification de tous les aspects d'une investigation ouverte (Sadeh & Zion, 2009).

Sur cette base, Cariou pose 10 critères :

- 1) le problème doit présenter un caractère énigmatique, tout en restant à la portée des élèves (une énigme, un obstacle, une rupture, une morsure),
- 2) le problème doit leur être réellement posé, c'est-à-dire en mobilisant les forces intellectuelles des élèves pour être résolu à partir de leurs propositions,
- 3) les hypothèses doivent provenir des élèves et non pas du professeur,
- 4) un débat doit être instauré entre eux sur leur recevabilité,
- 5) les hypothèses retenues doivent comporter un aspect "douteux", et porter encore sur des faits inconnus qui aideraient à résoudre le problème,
- 6) les activités (observations, expérience, documents, etc.) doivent être suggérées et conçues par les élèves afin d'éprouver leurs idées,
- 7) un débat sur la pertinence des activités proposées doit être instauré,
- 8) toutes sortes de faits évidents doivent être en lien direct avec le fil conducteur de l'investigation,
- 9) une nouvelle phase de débat doit s'ouvrir au moment d'interpréter les résultats obtenus,
- 10) les conclusions doivent être élaborées par les élèves et non dictées.

Ces critères d'authenticité proposés nous semblent malgré tout correspondre à des phases, des temps distincts de la démarche.

Le projet *Mind the Gap* propose lui aussi une définition de l'investigation scolaire (*Inquiry Based Teaching*) à partir d'une synthèse des curricula de divers pays d'Europe. Cette fois, la définition ne se présente pas selon des étapes mais selon des dimensions fondamentales. Quatre dimensions sont distinguées :

- i. « *authentic and problem based learning activities where there may not be a correct answer (problem based learning)*,
- ii. *a certain amount of experimental procedures, experiments and "hands on" activities, including searching for information ("hands on" activities)*,
- iii. *self-regulated learning activities where students' autonomy is emphasized (student's autonomy)*,
- iv. *discursive argumentation and communication with peers (argumentation and "talking science")* ».

En outre, « *the four dimensions were not designed to be mutually excluding, and the curricula texts might pay attention to all of them in different ways* » (Jorde, 2009).

### 2.3.3 La démarche du scientifique

A ce stade, il importe maintenant de préciser le type de démarches d'investigation scientifique auquel la situation didactique fait référence. Dans quelle mesure les démarches en classe doivent s'apparenter aux démarches en sciences ? A quel savoir, modèle ou critère scientifique la démarche d'investigation mise en œuvre en classe fait-elle référence ? Quelle transposition didactique est possible ? Quels sont les

critères pour évaluer la scientificité des démarches d'investigation en classe ? Quels savoirs viser en référence à différentes composantes des investigations scientifiques ?

Comme illustré plus haut, il semble que les démarches d'investigation scolaires font généralement référence à des « phases » de la recherche : définir une problématique, formuler des hypothèses, concevoir et réaliser des investigations (par ex. des protocoles expérimentaux), récolter, analyser, interpréter et communiquer des résultats, etc. Travaillée par étapes, la démarche d'investigation scolaire serait une sorte de *compromis* entre les exigences didactiques en termes de chronogenèse<sup>12</sup> et les attributs visibles d'une recherche scientifique. Toutefois nous avançons l'idée que ce compromis reflète davantage à la science littéraire (nous entendons ici la communication des résultats et de la méthodologie d'une recherche) qu'à la science qui se fait, qui se vit et qui se produit du point de vue du scientifique. Un enchaînement de phases n'est pas le reflet du *processus de construction* de savoir qu'est la recherche scientifique.

Comme l'écrit Giordan (2013), chaque investigation est fortement liée aux questions à traiter et aux méthodologies à disposition. « *L'approche cartésienne, de réduction de la complexité à des composants élémentaires, n'est adaptée à l'enseignement des systèmes stables constitués par un nombre limité d'éléments en interactions linéaires. Elle ne convient pas pour aborder un certain niveau de complexité, d'incertitude et possibilité logique émergente, comme fonctionne tous processus d'apprentissage* ».

En fait, l'expérience ne serait que tâtonnement, fausses pistes, hypothèses réfutées, nouvelles idées et nouvelles confrontations, etc. Toutefois pour ce même auteur, « la partie expérimentale n'est que la pointe visible de l'iceberg » : le cadre scientifique constitué par les théories et les concepts empiriques, qui font consensus ou qui parfois s'opposent. Cette phase émergée constitue un "jeu à trois" –questions, hypothèses, expériences– en interactions multiples et à envisager dans l'espace-temps.

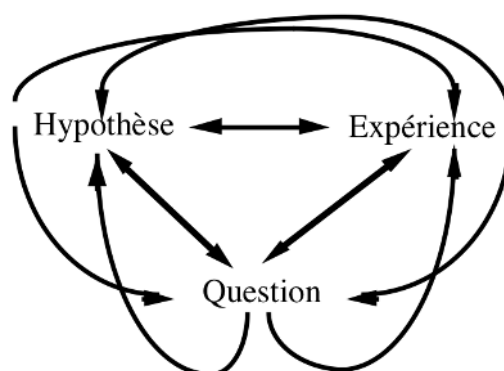


Tableau 2 L'investigation scientifique : un « Jeu à trois » (Giordan, 1999)

<sup>12</sup> « *Enseigner, c'est donc parcourir avec les élèves une séquence, une suite orientée d'objets de savoir. Cette disposition du savoir sur l'axe du temps, c'est le temps didactique, aussi appelé chronogenèse* » (Chevallard, 1991, cité par Sensevy, 2001).

La définition de Sandoval (2004) soutient cette idée : « *Inquiry is typically defined as the process of investigating natural phenomena through posing questions, designing investigations to answer them, collecting and interpreting data, and drawing conclusions. The crucial difference between current formulations of inquiry and the traditional "scientific method" is the explicit recognition that inquiry is cyclic and nonlinear* ». Comme le relève Lombard (2012), cette définition de l'investigation met au premier plan le travail sur les questions, la nature cyclique, itérative de l'investigation et l'idée que l'apprentissage se produit au cours d'un processus élaboré de construction de réponses à ces questions. « *Le questionnement de l'élève est un des moteurs de l'apprentissage attendu, mais aussi que ces questions en orientent le parcours. La manière dont se fait le choix des questions, leur élaboration, les modalités de leur négociation sont parmi les paramètres les plus cruciaux pour la construction et le pilotage des designs d'investigation scientifique* » (Lombard, 2012).

Si le fait de suivre un enchaînement linéaire d'étapes clés ne peut suffire à représenter le processus de la recherche scientifique, une nouvelle interrogation serait : *qu'est-ce qui justifie le "passage" à l'une ou l'autre des étapes et qu'est-ce qui est en jeu dans cet "aller-retour" entre les questions et les réponses ?* Quels sont les principes ou les critères qui organisent et justifient l'activité du chercheur dans ce jeu entre questions et réponses, ceci au-delà de la validité des théories ou des concepts en jeu dans sa recherche ?

Plusieurs tentatives ont été proposées pour tenter de distinguer ce qui fait science de ce qui ne l'est pas. Par exemple, Blanquet et al. (2010) propose un regroupement de plusieurs « critères de scientificité » pouvant servir notamment à distinguer les sciences des pseudosciences. Ces critères peuvent servir d'outil pour travailler les démarches d'investigation en classe, utile à l'enseignant pour clarifier ses représentations au sujet de la démarche d'investigation, de manière à être au clair sur « *ce qui fait que ce qu'ils enseignent est de la science* » (ibid.).

Parmi les nombreux critères de scientificité définis par les épistémologues, le plus connu étant sans doute celui de « réfutabilité » de Popper (1934). A sa suite, Blanquet (2010) reformule et présente un jeu de critères distinguant différents aspects de l'activité scientifique à l'école :

<b>Démarche</b>	<b>Observation/Expérience</b>	<b>Discours</b>	<b>Argumentation</b>
Recul Agilité Robustesse	Exhaustivité Rigueur Robustesse Économie Reproductibilité	Non-contradiction interne et externe Non-vacuité Économie Relativité Consensualité Réfutabilité	Cohérence logique et formelle Non-scolasticité

**Tableau 3 Quelques critères de scientificité applicables à l'école (Blanquet, 2010)**

Sans prendre le temps d'explicitier ici chaque différent critère, un exemple peut toutefois nous aider à comprendre quel enjeu ils peuvent avoir dans le cadre scolaire et comment ils peuvent être introduits pendant l'activité d'investigation. Pour Blanquet et al. (2010), le critère de *non scolasticité*, parfois exprimé en termes de refus systématique de l'argument d'autorité, « *est très ambigu à l'école, où celle du maître est avérée. Pour autant, la démarche d'investigation incite les élèves à trouver un consensus fondé sur leurs expérimentations et sur les arguments qu'ils développent eux-mêmes. Un rituel de la DI, à systématiser, appelle pour la question "Comment faire pour savoir ?" la réponse : "Il faut essayer" ; chaque tentative concrète de vérification d'une proposition est alors un pas vers l'appropriation de la démarche scientifique, définie par opposition à la démarche scolastique* ».

Les questions qui se posent ici sont alors les suivantes : pourrait-on envisager un enseignement des sciences porté spécifiquement sur l'apprentissage de démarches ? Peut-on se centrer sur la question des démarches (modèles méthodologiques) en faisant fi, même momentanément, des savoirs (modèles explicatifs) en jeu dans les tâches scolaires ?

\* \* \*

En somme, parcourir ces trois différents points de vue sur la démarche d'investigation –celle de l'élève, celle du maître, celle du scientifique– nous a permis de mettre en lumière plusieurs éléments théoriques pertinents et d'ouvrir notre questionnement. Il importe de préciser que toutes les questions soulevées plus haut ont globalement guidé notre cheminement, sans toutefois faire l'objet de notre recherche. En fait, ce questionnement illustre le cadre de pensée général qui nous a menés ensuite à formuler nos questions et nos hypothèses de recherche. De plus, une partie des éléments ont participé à constituer notre dispositif de recherche. La discussion finale de la thèse poursuivra quelques pistes de réflexion partagées jusque-là.

A présent, nous proposons de passer en revue les dispositifs didactiques pensés pour mettre en œuvre des démarches d'investigation en classe. Plusieurs types de situations d'enseignement/apprentissage s'organisant autour d'une investigation (ou d'un problème) sont présentés dans les chapitres suivants : l'activité de résolution de problème, la situation-problème, l'activité expérimentale, le problème ouvert, la situation recherche, et le cas particulier des défis.

Le point commun entre toutes ces activités est de favoriser le questionnement et les investigations autour d'une situation qui présente un problème scientifique (ou mathématique, technologique, etc.) *et* qui représente un problème authentique pour l'élève.

## 2.4 Différents types de problèmes pour favoriser l'appropriation de démarches d'investigation

Plusieurs regroupements de recherche proposent une interrogation sur la nature de l'environnement didactique à mettre en place pour favoriser l'appropriation de démarches d'investigation de la part des élèves. Chaque groupe de recherche propose un point de vue différent sur la démarche d'investigation. Certains portent leur recherche sur les caractéristiques des situations favorisant la mise en œuvre d'une démarche expérimentale plus représentative de l'activité scientifique réelle (Giordan, 1978, 1999 ; Cariou, 2010). D'autres visent la mise en place de démarches en classe qui soient plus propice à développer les aspects divergents de la pensée (Bomchil & Darley, 1998), ou qui laissent davantage de place aux initiatives dans les démarches d'investigation des élèves (Cariou, 2009, Lombard, 2012).

De nombreuses méthodes actives<sup>13</sup> partagent l'idée selon laquelle les connaissances se construisent en situation et s'intéressent à toutes *situations de recherche* qui permettent à l'apprenant « d'être acteur » de ses apprentissages scientifiques (Freinet, 1946, 1978 ; Host & Martinand, 1975 ; Host et al., 1976 ; Host & Giordan, 1978 ; Charpak, 1998). Ces méthodes donnent plusieurs exemples de pratiques pédagogiques qui visent à favoriser l'entrée dans un processus de recherche et dans lesquelles la construction de savoirs conceptuels est un objectif, certes important, mais qui ne détermine pas *a priori* toutes les séquences d'apprentissage.

Par exemple, dans *la pédagogie de projet*, c'est la situation qui fait émerger les besoins en termes d'apprentissage (*The Project Method*, Kilpatrick, 1918), tout comme *l'apprentissage par problème* (APP, ou PBL en anglais) où les élèves vont être amenés à découvrir des notions nouvelles, poussés par les contraintes du problème soumis. Ce type de situations prend appui sur un questionnement de départ, une énigme issue d'un objet ou d'une observation. C'est aussi le cas de *l'apprentissage par investigation* (*Inquiry Based Learning*), en grand développement dans l'enseignement et dans la formation.

Dans ces pratiques, la place donnée aux initiatives des élèves est un moteur prodigieux pour stimuler leur curiosité, leur motivation, leur autonomie et leur investissement dans un processus –généralement collectif– de recherche. Le principe est que les élèves n'ont au départ pas tous les moyens de résoudre le problème, et qu'ils doivent commencer par s'approprier le questionnement et mettre en œuvre leur ingéniosité pour trouver une solution, ceci en passant si besoin par l'expérience concrète.

---

<sup>13</sup> La pédagogie « de la découverte », « de projet » (Kilpatrick, 1918), ainsi que les tenants de « l'apprentissage par problème » (APP), de « l'apprentissage par l'action » (« *hands-on learning* », Dewey, 1938) ou encore de « l'apprentissage contextuel » (« *situated learning* », Brown et al., 1989).



### 2.4.1 Les activités de résolution de problèmes

Les approches par l'investigation (*Inquiry Based Learning/Teaching*) sont souvent associées aux approches par le problème (*Problem Based Learning/Teaching*).

Plusieurs types d'activités ont été pensés pour permettre aux élèves d'*investiguer sur des problèmes* (scientifiques, technologiques, mathématiques, éthiques, etc.), avec une marge d'autonomie suffisante pour accueillir les initiatives des élèves et leur permettre de s'approprier les savoirs visés. Les recherches témoignent à la fois d'une grande variété de problèmes étudiés et des références à divers cadres théoriques.

De nombreuses recherches se sont penchées sur les *activités de résolution de problèmes* en sciences du vivant et de la matière. Citons en France Boilevin (2005), Brunet (1998), Abell (1990), De Vecchi & Carmona-Magnaldi (2002), Orange et al. (1999), Orange (2005b), Robardet (1990), Rumelhard (1997), Fabre (1999).

L'expression *situation-problème*, *problème ouvert* ou encore *situation problématisante* est fréquemment utilisée depuis plusieurs années dans la littérature pédagogique (revues de publications, manuels, sites internet), autant que dans les instructions officielles et dans les documents d'accompagnement des programmes.

Une grande part de la recherche en didactique francophone vise à distinguer ces multiples terminologies, d'en éclaircir les diverses significations cachées et de mettre en évidence les possibles malentendus et raccourcis liés à la conception et à la mise en œuvre de ces activités en classe. Leurs interrogations en viennent souvent à en questionner le concept même de *problème* (Fabre, 1999 ; Arsaac & Mante, 2007).

De même, on trouve aux Etats-Unis de très nombreuses publications sur le *Problem Based Learning* (PBL), des articles qui définissent le cadre théoriques de ce type d'approche, des études qualitatives et quantitatives qui démontrent l'efficacité de ces méthodes sur les élèves et les étudiants, des séries de propositions pour la mise en œuvre efficace de ce type d'approche en situation d'enseignement-apprentissage, que ce soit de l'ordre des stratégies pédagogiques ou des types de sujets ou énoncés de problèmes favorables. On retrouve aussi fortement l'idée de situation, tâche ou problème non définis chez les Anglo-Saxons sous la dénomination de *Ill-structured problem* ou *Open-ended Problem*.

Les premières publications datent déjà de plus de 35 ans (Amstrong & Heikkinen, 1977). Dans les plus récentes, *One Day, One Problem*<sup>14</sup> est une approche de PBL dont les premières études ont été publiées en 2012 à Singapour. L'approche propose des modes d'évaluation adaptés aux spécificités de PBL. L'ouvrage propose par exemple des outils d'évaluation (O'Grady & Alwis, 2012), pour une évaluation de la compréhension (*assessment of understanding*) ou une évaluation holistique (*holistic*

---

<sup>14</sup> O'Grady G., Yew E. H.J., Goh K. P.L., Schmidt, H. G. (2012). *One-Day, One-Problem : An Approach To Problem-Based Learning*, Editors: O'Grady G., Yew E. H.J., Goh K. P.L., Schmidt, H. G.

*evaluation*), ou encore une évaluation continue (*continuous assessment*), perçue comme faisant partie intégrante de l'apprentissage.

L'apprentissage par problème (PBL) est couramment lié à l'apprentissage engagé (*engaged learning*) en tant que pédagogie alternative favorisant des expériences d'apprentissage authentiques. Dans ce cadre, des études ont tenté de définir le cadre favorable pour ce type d'apprentissage, en favorisant particulièrement la métacognition et l'autorégulation chez les élèves. « *Engaged learning is an authentic form of learning encouraging students to be self-regulated and thus metacognitive towards their own thinking and behaviors* » (Hung, Chee Tan & Seng Koh, 2006).

Dans cette lignée, de nombreux moyens pédagogiques continuent d'être édités aux Etats-Unis. Par exemple, *A Framework for K-12 Science Education : Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas* (NRC, 2012) est un des ouvrages nord-américains les plus récents présentant une approche pour l'enseignement des sciences cherchant à capturer l'intérêt des élèves de la petite enfance à l'école secondaire (*Kindergarten, Middle and High school*) autour de sujets fondamentaux de science. L'ouvrage propose toute une série d'activités qui s'articulent autour de 8 objectifs centraux : 1) poser des questions et définir des problèmes, 2) développer et utiliser des modèles, 3) planifier et mener des investigations, 4) analyser et interpréter des données, 5) utiliser les mathématiques et la pensée, 6) construire des explications et imaginer des solutions, 7) s'engager dans l'argument de preuve, 8) obtenir, évaluer et communiquer des informations.

En particulier, la *définition de problème* fait partie des idées centrales des programmes d'enseignement des sciences, autant en Europe qu'aux Etats-Unis. En plus des instructions officielles, de nombreux ouvrages continuent à être édités actuellement, proposant des activités sur divers sujets de sciences autant à l'école primaire qu'à l'école secondaire pour favoriser les capacités à formuler des questions, définir des problèmes à partir de situations qui représentent des problèmes peu ou pas définis.

Plus généralement, certaines études se sont intéressées à évaluer les apprentissages en termes de démarches (*process skills*) dans ce type d'activité d'investigation. Toutefois ces études se dirigent généralement vers les étudiants universitaires ou vers l'école secondaire, et peu souvent vers les élèves de l'école primaire. Il serait intéressant de savoir si ce type d'apprentissage est adapté à des jeunes élèves, si par exemple le travail métacognitif et réflexif est à la portée d'élèves de 10-12 ans, ou si le développement intellectuel à cet âge limiterait les possibilités d'un tel apprentissage.

Néanmoins, des études telles que celles de Susan Kirch (2007) soutiennent l'apprentissage de démarches d'investigation dès l'école primaire, alors que beaucoup d'enseignants et de chercheurs semblent convaincus que l'âge des élèves limite foncièrement ce qu'ils peuvent apprendre ou réaliser en science. Susan Kirch déplore que le programme scolaire élémentaire se focalise sur l'apprentissage isolé de

compétences, et soutient que les jeunes élèves sont capables de conjuguer à la fois l'apprentissage de démarches (*process skills*) et l'intégration de savoirs (*content knowledge*) nécessaires au raisonnement scientifique. Dans une recherche analysant les conversations des élèves entre eux et avec leur enseignant, elle démontre que de nombreuses compétences en termes de démarches apparaissent dans les conversations, y compris : le questionnement, la formation d'hypothèses, la conception de protocoles expérimentaux, l'identification des preuves pertinentes, une analyse critique des hypothèses et des prédictions, ainsi que la reconstruction des hypothèses et l'identification des variables. Elle démontre que la plupart des élèves adoptent à un moment donné un esprit critique (*a role of skeptic*) bien qu'il y ait une forte tendance initiale à se remettre à des arguments d'autorité pour résoudre les débats.

Cette étude montre que lors des investigations et des interactions entre pairs et avec l'enseignant, une philosophie des sciences (*ethos of sciences*) émerge peu à peu d'un ensemble dynamique de pratiques, de règles et de valeurs (« *as students used science process skills and interacted with each other and teacher-mediators, community practices, values, and mores were shaped and an ethos of science began to emerge* »). Un point intéressant à relever est que pour que l'apprentissage visé soit favorable, les enseignants doivent pouvoir se sentir à l'aise avec une certaine tension entre une ouverture d'esprit et un esprit critique : « *teachers who are attuned to the tension between open-mindedness and skepticism, and how they and their students cope with this dialectic, however, can actively shape the scientific ethos of their classroom community* ».

De manière générale, les moyens pédagogiques disponibles se justifient abondamment par l'explicitation de leurs objectifs en termes de démarches, toutefois, ceux-ci font très rarement l'objet d'études approfondies. Depuis quelques années, une majorité de recherches francophones en didactique traitent principalement de l'analyse de la *pratique enseignante*<sup>15</sup>. En fait, peu de recherches portent proprement sur l'*activité des élèves* en situation d'investigation. En conséquence, peu de pistes sont données pour comprendre *comment* les élèves construisent de nouvelles notions ou procédures de recherche.

De plus, il est difficile de trouver des résultats empiriques fiables concernant l'analyse des investigations des élèves, que ce soit sous l'angle des compétences ou sous celui du processus d'investigation. Il semblerait qu'aucune recherche ne se propose d'observer en quelle mesure les composantes des dispositifs mis en œuvre (les milieux au sens de Brousseau) ont concrètement un effet sur les investigations et les apprentissages des élèves.

---

<sup>15</sup> Par exemple, Hersant (2008) présente une étude sur les problèmes pour chercher, ou compare la mise en œuvre d'un même problème par deux enseignantes de niveau d'expérience d'enseignement différent. Par ailleurs, un ouvrage entier consacré à la formation et aux pratiques enseignantes vient d'être édité (Grangeat, 2013).

#### 2.4.2 Les situations-problèmes

A ce stade, nous proposons d'observer d'un peu plus près les différents types de dispositifs d'investigation afin de mettre en lumière leurs composantes.

Le concept de « situation-problème » est présent dans un grand nombre de disciplines, que ce soit en français (Meirieu, 1988), en mathématiques (Brousseau, 1980, Douady, 1984, Arsaac et al., 1991) ou en sciences expérimentales (Astolfi, 1988, De Vecchi et al., 1996, 2002, Robardet, 2001). Etant un concept en premier lieu d'origine pragmatique, il donne lieu, tout comme le concept de problème, à de nombreuses significations et usages parfois divergents suivant les divers auteurs (Boilevin, 2001). De nombreux ouvrages de pédagogie, de nombreux manuels scolaires ou guides pour enseignants fournissent des exemples de situations-problèmes. Mais la plupart ne sont que des problèmes plus ou moins ouverts : ce ne sont pas de réelles situations-problèmes. Des caractéristiques communes se retrouvent chez les différents didacticiens pour définir une situation-problème.

Pour De Vecchi & Carmona-Magnaldi (1996, 2002) la *situation-problème* est utilisable quelle que soit la discipline d'enseignement et elle correspond à « une situation de recherche porteuse de sens » pour l'apprenant. De plus, une situation-problème ne peut être considérée comme telle que pour un niveau d'apprenants donné et si elle est exploitée par le maître ou le formateur comme une réelle situation de recherche. De ce fait, plus qu'un ensemble de critères rigides, c'est surtout la mise en œuvre d'un état d'esprit qui la définit. Pour De Vecchi et al. (1996), les critères définissant de véritables situations-problèmes sont :

- a) avoir du sens (interpeller, concerner l'apprenant qui ne se contente pas d'obéir, d'exécuter),
- b) être lié à un obstacle repéré, défini, considéré comme dépassable et dont les apprenants doivent prendre conscience à travers l'émergence de leurs conceptions, faire naître un questionnement chez les élèves,
- c) créer une ou des ruptures amenant à déconstruire le ou les modèles explicatifs initiaux s'ils sont inadaptés ou erronés,
- d) correspondre à une situation complexe, si possible liée au réel, pouvant ouvrir sur différentes réponses acceptables et différentes stratégies utilisables,
- e) déboucher sur un savoir d'ordre général (notion, concept, loi, règle, compétence, savoir-être, savoir-devenir...),
- f) faire l'objet d'un ou plusieurs moments de métacognition (analyse à posteriori de la manière dont les activités ont été vécues et du savoir qui a pu être intégré).

Dans les mots de Meirieu (1988), l'organisation de la *situation-problème* doit aussi obéir à un certain nombre de caractéristiques :

- i. la situation-problème vise à enclencher chez l'élève un désir d'apprendre ;
- ii. l'élève doit accomplir une tâche qui constitue pour lui un vrai problème ;
- iii. la tâche l'oblige à effectuer un apprentissage ;
- iv. cet apprentissage revient à construire l'opération mentale correspondant au savoir recherché
- v. l'objectif d'apprentissage est compris comme objectif-obstacle ;
- vi. les contraintes structurelles de la tâche définissent des passages obligés dans la construction des savoirs mais doivent pouvoir intégrer une différenciation des stratégies.

#### 2.4.2.1 *Un vrai problème pour l'élève*

De manière générale, les *situations-problèmes* prennent appui sur un questionnement de départ, une énigme issue d'un objet ou d'une observation, et impliquent une *mise en projet* des élèves, les canalisant vers la recherche individuelle et collective de solutions. Dans ces pratiques, la place donnée aux initiatives des élèves est un moteur stimulant leur curiosité, leur motivation, leur autonomie et leur investissement dans un processus de recherche. Si l'on souhaite permettre aux élèves d'élaborer des hypothèses, il advient de leur présenter une situation qui représente « un vrai problème » pour eux (Dumas-Carré et al., 1989).

Par exemple, il est nécessaire que les élèves ne disposent pas, au départ, les connaissances nécessaires à la résolution du problème, puisqu'il est justement question de construire ces connaissances sollicitées pour parvenir à franchir l'obstacle. Pour Meirieu (1988) « *tout l'effort de la pédagogie des situations-problèmes est d'organiser précisément l'interaction pour que, dans la résolution du problème, l'apprentissage s'effectue. Cela suppose que l'on s'assure, à la fois, de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre* ». De plus, les connaissances de l'élève sont en principe insuffisantes pour qu'il résolve immédiatement le problème et la connaissance que l'on désire voir acquérir par l'élève doit s'avérer l'outil le plus adapté pour la résolution du problème (Arsac et al. 1991). Et « *c'est le besoin de résoudre qui conduit l'élève à élaborer ou à s'approprier collectivement les instruments intellectuels qui seront nécessaires à la construction d'une solution* » (Astolfi et al., 1998). Ainsi les élèves perçoivent la situation qui leur est proposée comme une véritable énigme à résoudre, mais dans laquelle ils se sentent en mesure de s'investir. « *C'est la condition pour que fonctionne la dévolution : le problème, bien qu'initialement proposé par le maître, devient alors "leur affaire"* » (Astolfi, 1993, cité par Perrenoud, 1997). La solution ne doit pas être perçue comme hors d'atteinte par l'élève, il doit toujours être en mesure de pouvoir s'engager dans la résolution du problème, imaginer le type de réponse possible. Ni trop près ni trop loin de ce que l'élève sait déjà, « *l'activité doit travailler dans une zone proximale, propice au défi intellectuel à relever et à l'intériorisation des "règles du jeu"* » (ibid.). De plus, le caractère concret, accessible ou familier de la situation

permet effectivement à l'élève d'imaginer des hypothèses, d'anticiper des résultats, des effets, des conjectures.

#### 2.4.2.2 *Créer une rupture*

Une deuxième caractéristique majeure est que le milieu doit, à un moment donné ou à un autre, donner l'occasion aux élèves de venir *confronter* leurs représentations initiales, leurs hypothèses, etc. Que cela se produise au début de l'activité en confrontant les premiers points de vue sur la question, après une activité de recherche pour mettre en commun la diversité des résultats trouvés et lancer un débat scientifique ou pendant la mise en œuvre d'expériences pour éprouver la validité d'une hypothèse. « *La situation doit offrir une résistance suffisante, amenant l'élève à y investir ses connaissances antérieures disponibles ainsi que ses représentations, de façon à ce qu'elle conduise à leur remise en cause et à l'élaboration de nouvelles idées* » (Astolfi, 1993).

De plus, la situation-problème est centrée sur le *dépassement* d'un obstacle (Orange, 2005a). En effet, les situations de résolution de problèmes sont particulièrement efficace pour le travail didactique sur les obstacles (Fabre & Orange, 1997), « *pour des raisons qui tiennent à la fois aux caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques et aux conditions psychologiques du changement conceptuel* ». Orange relie le franchissement d'obstacle et la construction de problèmes par les élèves. Le franchissement d'un obstacle représente un palier dans le développement cognitif du sujet, autrement dit un changement conceptuel. « *Si l'on veut faire évoluer les conduites adaptatrices, il faut précisément mettre les élèves dans une situation de désadaptation où les schémas habituels ne fonctionnent plus. La situation-problème définit toujours quelque chose comme un piège, ou encore une situation critique* » (Fabre, 1999).

Pour De Vecchi & Carmona-Magnaldi (1996, 2002) l'obstacle avec lequel est mis en relation l'élève est lié à des conceptions erronées et est vécu par lui comme une contradiction. Le travail sur cet obstacle s'appuie alors sur des conflits cognitifs ou sociocognitifs qui permettront de dépasser les représentations premières et de déboucher sur la construction de nouvelles.

Fabre (1999) souligne que « *chez Bachelard l'idée d'obstacle renvoi toujours à une analyse épistémologique des représentations premières dans le but d'identifier leurs contenus positifs, fonctionnels* ». Il distingue alors la *gestion pédagogique des situations-problèmes* – qui se porte essentiellement sur un axe psychologique – et la *gestion épistémologique* qui exige une analyse préalable des concepts scientifiques reliés aux représentations premières, c'est-à-dire « *une élucidation épistémologique des savoirs à enseigner* », qui permette ainsi de garantir la valeur des apprentissages. En effet, c'est toujours par rapport à un savoir de référence que ces connaissances apparaissent comme obstacles. « *L'obstacle n'est donc visible qu'à celui qui peut*

*référer les représentations à une norme qui les prend en défaut. C'est donc bien pour l'enseignant que l'obstacle se donne « à franchir ». Il est le plus souvent invisible pour l'élève » (Astolfi et Peterfalvi, 1993).*

L'obstacle épistémologique représente donc le pivot autour duquel viendra s'articuler l'activité cognitive de l'élève ; il apparaît ainsi pour l'enseignant un objectif en soi, un *objectif-obstacle* comme le propose Martinand (1986). Au niveau didactique, il s'agit d'identifier ces obstacles et les situations dans lesquelles ils seront susceptibles de se manifester, puis de les mettre en scène dans un environnement concret qui permettra au savoir enseigné de prendre tout son sens aux yeux de l'élève. En d'autres mots, le savoir à enseigner doit être contextualisé afin de se présenter de manière opératoire, en concurrence directe avec les conceptions des élèves (Robardet, 2001). Il s'agit alors de construire un *milieu* (au sens de Brousseau), d'organiser la situation autour d'un questionnement, de consignes et de contraintes précises, d'aspects matériels et organisationnels.

Ainsi pour les tenants des situations-problèmes, la *validation de la solution* ne devrait en principe pas être apportée de façon externe par l'enseignant, mais devrait résulter du mode de structuration de la situation elle-même. La situation-problème devrait permettre à l'élève d'évaluer lui-même la conformité ou la fausseté de la solution trouvée, et ainsi prendre conscience de par lui-même de l'inadéquation de ses représentations ou stratégies anciennes, sans que l'enseignant doive se positionner comme garant du savoir. Toutefois cette posture ne signifie pas que ce dernier n'a pas un rôle crucial à jouer : précisément, *accompagner* l'élève dans ce processus d'observation/déconstruction/reconstruction.

Pour l'enseignement de la physique en particulier, les situations problèmes s'organisent généralement dans un milieu matériel qui permet des interactions avec le monde tangible et vise une « résolution expérimentale du problème » (Bomchil & Darley, 1998). Une place prédominante est dédiée à l'expérimental. A partir d'une question de départ ouverte, « *on demande aux élèves guidés par leurs conceptions de prévoir et d'argumenter un effet avant d'en effectuer le constat expérimental* » (Robardet, 2001). Comme les prévisions des élèves ne résistent généralement pas à l'épreuve des faits, l'apparition de ce paradoxe permet de passer à la phase suivante du travail. En d'autres mots, la rupture épistémologique naît de la confrontation des hypothèses de départ des élèves au réel.

Lorsque la situation-problème ne permet pas une approche expérimentale, elle vise à impliquer les élèves dans la recherche d'informations, par exemple par le biais d'investigations encyclopédiques. Sinon, la rupture épistémologique est provoquée avant tout par l'énoncé de la situation, où elle met d'emblée en scène deux conceptions contradictoires censées provoquer l'élève, le déstabiliser et le motiver à se mettre en recherche de moyen pour un rééquilibrage.

### 2.4.2.3 *Organisation en phases-clé*

Robardet (2001) résume la mise en œuvre de la situation-problème en trois temps :

- une phase d'action (un moment de recherche, et de discussion en petits groupes),
- une phase de formulation (un moment d'échanges, de confrontations de points de vue),
- une phase de validation.

Les deux dernières phases sont animées en plénière par l'enseignant. La phase de recherche permet de faire émerger des propositions de solutions qui correspondent à des hypothèses explicatives.

Lors de la phase de validation il s'agira pour l'enseignant de choisir entre les différentes propositions et de recourir éventuellement à l'expérience pour trancher. La validation des résultats se fait en référence aux savoirs scientifiques (référence au "vrai") dont l'enseignant en est le garant. Notons que l'*unicité* de la solution est une caractéristique notable des situations problèmes (Boilevin, 2005). L'enseignant aide la classe à conclure à partir du compte-rendu des observations et des mesures établies. Le problème une fois résolu, le professeur institutionnalise le savoir, en le décontextualisant de la situation étudiée.

Dans plusieurs cas, le déroulement d'une situation-problème ressemblerait à une démarche hypothético déductive où, à partir d'un problème qui leur est posé, les élèves imaginent des solutions et sont accompagnés pour une validation expérimentale de leur hypothèses. Une schématisation de cette démarche pourrait être résumée ainsi :

*Problématisation → hypothèse → expérience ou démarche de recherche → mise en commun → synthèse.*

En effet, les situations problèmes impliquant l'expérimentation (les « *activités expérimentales problématiques* »), demande aux élèves de passer par une phase de *problématisation*, de *clarification* et d'*analyse du but* avant d'entreprendre des investigations (Bomchil & Darley, 1998). L'hypothèse n'ayant de sens que si elle représente le fruit d'un travail de questionnement, il apparaît alors important que la situation ne soit pas problématisée d'avance et que l'énoncé du problème soit suffisamment ouvert<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Voici quelques exemples d'énoncés : a) concernant la reproduction végétale : « *Et si un jour plus aucune fleur ne poussait sur les arbres ?* » ; b) concernant les leviers : *Stéphanie et Rémi ont placé une planche à cheval sur un rondin de bois. Chacun s'assied d'un côté. « Comment ça se fait que je descends, dit Stéphanie ? Pourtant, moi, je suis plus petite que toi, je devrais monter ! » Qu'en pensez-vous ?* » ; c) concernant les propriétés de la matière : *Un jour, un bateau en papier flotte sur l'eau ... mais, le lendemain, le bateau a coulé ! Problème*



On peut alors noter que dans la plupart des cas, la phase de problématisation et d'élaboration d'hypothèses précède l'activité de recherche, et que les mises en communs clôturent généralement la séquence.

La forme des résultats attendus de la part des élèves correspond à la *construction d'une modélisation* liée à des notions scientifiques, des savoirs de nature conceptuelle et non pas à des savoirs procéduraux, bien que, plus largement et peut-être plus indirectement, la situation-problème vise aussi l'apprentissage de démarche scientifique. Cependant une validation ou une réflexion au sujet des démarches ne semble généralement pas être prévue pendant la phase d'institutionnalisation.

Idéalement, « le réexamen collectif du cheminement parcouru est l'occasion d'un retour réflexif, à caractère métacognitif ; il aide les élèves à conscientiser les stratégies qu'ils ont mis en œuvre de façon heuristique, et à les stabiliser en procédures disponibles pour de nouvelles situations-problèmes » (Astolfi, 1993), mais dans de nombreux cas, la synthèse de d'une leçon organisée en tant que situation-problème repose essentiellement sur une institutionnalisation des savoirs scientifiques et beaucoup moins sur des procédures.

Concernant le rôle de l'expérimental, il semblerait que la place essentielle de l'expérience se situe à la fin de la phase de formulation lorsqu'il s'agit de valider ou d'invalider les propositions. L'expérience est alors associée à la recherche de preuves (Boilevin, 2005). Dans ce cas, l'élaboration du protocole expérimental et sa mise en œuvre sont assurés si possible par les élèves. On peut résumer en disant que le recours à l'expérience sert davantage au processus de validation qu'au processus de formulation, c'est-à-dire moins à la *recherche* de solutions, et encore moins à la formulation du problème.

Sur le plan didactique, quelques questions se posent encore. Par exemple, dans une situation-problème, le problème est-il toujours à construire ? Dans les situations-problèmes, il est nécessaire de bien distinguer deux niveaux dans le concept de problème :

- la problématisation,
- la résolution.

La problématisation implique que les élèves participent à la *construction* du problème au cours des interactions en classe. La résolution correspond à la fois à la recherche et à la validation de solutions. A partir d'une question de départ généralement ouverte, une situation-problème devrait permettre généralement ces deux phases. Toutefois,

---

: « Pourquoi le petit bateau flotte, puis coule ? Que se passe-t-il ? ». Exemples tirés de : De Vecchi (2004-2005). *Une banque de situations-problèmes. Tous niveaux*, Tome 1 et 2 ; et De Vecchi, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe, pour une véritable éducation scientifique*. Hachette Education.

comme le dénonce Fabre (1999) : « *En dépit de ses références quasi obsessionnelles au constructivisme bachelardien, la littérature pédagogique ou didactique sur la situation-problème fait généralement peu de cas de la construction des problèmes. Elle semble focalisée sur la solution, comme si la valeur des solutions ne dépendait pas de la manière de définir les problèmes et comme si le plus important, dans la pensée et dans l'apprendre, n'était pas de construire de "bons problèmes" ainsi que ne cesse d'ailleurs de la répéter Bachelard, si généreusement invoqué* ».

Pour résumer, nous retiendrons que la situation-problème présente des énoncés ouverts non structurés d'avance qui impliquent un travail du problème par l'élève. De plus, elle vise la construction d'un concept ou d'une notion particulière (scientifiques, mathématiques, etc.) à travers une démarche d'investigation, le plus souvent expérimentale. Elle implique que les élèves ne disposent pas a priori des connaissances nécessaires –ou du moins suffisantes– à la résolution du problème, puisque celles-ci correspondent à *la solution* que l'élève devra élaborer en situation. En outre, la situation-problème vise le franchissement d'un obstacle épistémologique basé sur une ou plusieurs conceptions initiales ; la rupture conceptuelle est :

- soit provoquée d'emblée par la situation de départ, c'est-à-dire l'énoncé formulé par l'enseignant,
- soit provoquée par la mise à l'épreuve expérimentale des hypothèses des élèves (confrontation des conceptions au monde réel).

### **2.4.3 Les activités expérimentales (Sciences du vivant et de la terre, technologie)**

Voyons maintenant plus en détail les activités permettant une mise à l'épreuve expérimentale du problème.

De nombreuses études soulignent l'intérêt pédagogique de l'*expérimentation* en sciences qui, plus que de permettre une illustration *concrète* des concepts scientifiques, vise à permettre aux élèves de découvrir des phénomènes scientifiques et de construire des savoirs au travers de situations *vécues, éprouvées* (Giordan, 1999, 2002 ; Astolfi et al., 1998 ; Astolfi, 2005). En outre, cette initiation vise à favoriser l'appropriation de compétences méthodologiques exercées en situation et en contact avec *le réel* (Giordan, 1999, 2002 ; Astolfi et al. 1991), et est souvent accompagné d'une initiation à la rigueur (Coquidé, 1998 ; Martinand, 1986).

Sur ce plan, il est important de pouvoir s'interroger sur le concept même de problème et distinguer les activités de résolution "papier-crayon" des véritables problèmes expérimentaux dans lesquels la situation n'est pas décrite à l'avance, mais existe

concrètement, et auquel la solution est elle aussi expérimentale (Dumas-Carré et al., 1989)<sup>17</sup>.

Considérant les limites des "expériences" généralement menées en classe, un premier regroupement de recherches nous invite à adopter « une vision élargie » (Coquidé, 2001), c'est-à-dire plus globale de l'expérience. En effet, une activité unique ne peut regrouper à elle seule tous les objectifs de l'éducation scientifique. C'est pourquoi il est possible de distinguer plusieurs types d'activités expérimentales visant chacun des objectifs spécifiques. Plusieurs chercheurs proposent de distinguer *l'expérience* de *l'expérimentation* (Arca, 1999 ; Kouliaidis & Tsatsaroni, 1999) et d'envisager différents *temps didactiques* pour les activités expérimentales, répondant chacun à des fonctions différentes et visant divers types d'apprentissages (Coquidé, 2000, 2001 ; Bomchil & Darley, 1998).

Ainsi, il devient possible d'envisager un certain dynamisme entre plusieurs temps dans le processus de recherche, autrement dit une « articulation de différentes postures », depuis *l'expérience vécue* favorisant une *familiarisation pratique*, en passant par les *pratiques empiriques* plus ou moins systématiques et contrôlées d'exploration et d'enquête, jusqu'aux *pratiques expérimentales*, où peut s'opérer enfin l'élaboration théorique (Coquidé, 2000, 2001).

De même, pour Bomchil & Darley (1998), la transposition de la démarche scientifique consisterait à distinguer différents temps de la recherche : le premier dans lequel toutes les hypothèses rationnellement envisageables par la classe seraient prises en compte et analysées; le second qui consisterait à faire des choix selon des critères explicites; le troisième serait une méthodologie contraignante et rigoureuse de test des hypothèses retenues. Autant d'étapes qui permettraient aux élèves de donner et de conserver son sens à l'ensemble de la procédure expérimentale. En outre, par opposition à l'idée de linéarité d'une démarche, Cariou (2009) insiste sur une dialectique nécessaire entre les différentes étapes fondamentales de la recherche.

L' "expérience-test" peut alors prendre tout son sens –du point de vue scientifique et pédagogique– si elle représente l'aboutissement d'un travail de questionnement et d'exploration. En effet, avant de se servir de l'expérience pour pouvoir *tester une hypothèse* –c'est-à-dire faire varier des facteurs séparément, principe essentiel de l'expérimentation dans la perspective bernardienne– encore faut-il que l'activité de recherche puisse mener à *élaborer* et à *formuler* cette hypothèse. Celle-ci n'a de sens que si elle représente le fruit d'un questionnement, d'une problématisation, que si elle

---

<sup>17</sup> En chimie, Laugier et Dumon (2003) se sont penché sur des activités expérimentales non traditionnelles comme moyen de répondre à une situation-problème avec des élèves du secondaire (15-16 ans). Les observations révèlent que les élèves sont prêts à dépasser leur réticence première et à s'investir avec enthousiasme et que les difficultés rencontrées (au niveau pratique essentiellement) nécessite « *de laisser les initiatives importantes aux élèves et des espaces de débat, mais également une guidance serrée de l'enseignant* ».

est née d'un choix parmi d'autres possibles, d'un isolement dans une diversité de variables en interaction (Lacombe, 1989).

On peut aussi faire référence à l'approche scientifique selon le modèle « inductivo-hypothético-déductif » de Cattell (1966, cité par Huber, 1987) qui commence par « *une première phase intuitive d'exploration, génératrice d'hypothèses, qui correspond au moment créatif de la recherche scientifique. L'observation expérimentale est alors suivie d'une démarche inductive en vue d'établir des régularités à partir desquelles on fait des déductions concernant les conséquences de la recherche, déductions qui sont formulées en termes d'hypothèses. Celles-ci conduisent à de nouvelles observations expérimentales qui donnent lieu à de nouvelles inductions, etc.* » (ibid.).

En somme, c'est dans une dialectique, entre les aspects divergents et convergents de l'activité de recherche, que les élèves seraient petit à petit amenés à développer un esprit et des démarches scientifiques. Cette perspective nous permet de mieux situer les activités que notre recherche tend à définir et d'envisager celles qui favorisent le questionnement et les cheminements exploratoires multiples comme des *situations initiales* nécessaires à l'exercice progressif vers des démarches d'investigation de plus en plus rigoureuses.

#### 2.4.3.1 *Investigations dans un réel non aménagé*

En privilégiant les aspects exploratoires de l'expérience, Coquidé définit l'« *expérientiation* » (Coquidé, 2000) comme activité impliquant davantage une posture empirique qu'une posture expérimentale au sens strict. Les situations favorisant l'entrée dans une activité de recherche pourraient être caractérisées par des expériences variées et diversifiées, des "expériences pour voir", qui offrent un espace et un temps aux élèves pour explorer, découvrir, pratiquer des essais, manipuler du matériel, et « se familiariser avec des phénomènes scientifiques et techniques » (Coquidé, 2001). Ces activités représenteraient une première phase « d'immersion, d'imprégnation, de découverte du vivant et de la matière par *expérience sensible* », sans chercher à formaliser immédiatement les savoirs en élaboration (Krustchinsky et Weiss, 1991).

Or, vouloir mettre les élèves *en contact avec le réel* implique de définir la qualité du rapport que l'on cherche à entretenir entre les élèves et le contexte. Les recherches citées montrent qu'une simple manipulation ou observation passive ne suffit pas pour impliquer véritablement les élèves dans un processus de recherche. Ces recherches indiquent que tout d'abord, les situations doivent leur permettre d'éprouver la *consistance* du réel, et surtout d'être confrontés très concrètement à sa *complexité* et sa *résistance* (Coquidé et al., 1999). Ceci implique ensuite que les élèves puissent entretenir un *rapport interactif* avec un environnement *non aménagé* d'avance, et

enfin, qu'on leur accorde une marge de manœuvre et une part d'initiative suffisante (Cariou, 2009). C'est à travers cette confrontation au réel que les élèves vont pouvoir, pas à pas, découvrir, élucider, formuler, anticiper puis formaliser les conséquences de leurs propres actions et structurer leur pensée.

Si un cadre restreint et dirigé se révèle peu propice aux investigations des élèves, encourager la part subjective et créative de leurs propositions et de leurs démarches semble nécessaire. Il s'agit dès lors pour l'enseignant de considérer les cheminements de pensée et les parcours d'investigations dans leur *diversité*, et de les accueillir sans chercher automatiquement à les diriger ou les sélectionner en vue d'un résultat unique. Cela implique aussi de pouvoir gérer une part d'incertitude, de doute, face à l'inconnu, la complexité et la part d'aléatoire de la situation, autant pour l'élève que pour l'enseignant : « *une erreur témoignant d'une recherche véritable est souvent plus utile qu'une vérité simplement répétée, parce que la méthode acquise pendant la recherche (...) constitue un vrai progrès intellectuel* » (Piaget, 1935).

#### 2.4.3.2 *Le rôle du matériel d'investigation*

Dans l'idée que toute science expérimentale nécessite l'articulation entre un système matériel et un système intellectuel, il devient nécessaire de considérer l'importance de l'*instrumentalisation* (Coquidé, 2000). Or, très peu de recherches proposent l'analyse du *matériel* expérimental et de ses emplois spécifiques dans les activités d'investigation (Chatoney, 2005). Toutefois, nous pouvons nous en faire une représentation en considérant les manuels scolaires (Guichard et al., 2002), les sites proposant des activités et les publications scientifiques proposant des outils didactiques (*La main à la pâte*<sup>18</sup>, *Les Petits débrouillards*<sup>19</sup>, etc.).

Dans les situations conventionnelles, les élèves sont amenés à manipuler eux-mêmes un matériel sélectionné, à travers une démarche expérimentale guidée (Coquidé, 2000). Ce matériel correspond généralement à un *dispositif préconstruit à manipuler* permettant ainsi la *reproduction assurée* de l'expérience que l'on souhaite voir se produire, servant à démontrer le savoir visé.

Dans le même esprit, le matériel expérimental est arrangé pour permettre une démonstration de la part d'un enseignant ou du médiateur. Dans le cas des « expériences spectaculaires », que l'on retrouve dans les musées scientifiques, celles-ci sont choisies pour produire un effet esthétique ou non attendu, ayant la vertu d'interpeller les spectateurs. Le matériel est parfois très sophistiqué et nécessite l'utilisation d'un médiateur averti. Dans le cas des « expériences contre-intuitives »

---

<sup>18</sup> La Main à la Pâte (France) : <http://www.lamap.fr>

<sup>19</sup> Les Petits débrouillards (Québec, France et autres pays) : <http://www.lespetitsdebrouillards.org>

(Eastes & Pellaud, 2004), le matériel peut être très divers et dans certain cas être manipulé par les élèves<sup>20</sup>.

Mis à part les instruments scientifiques usuels, avec lesquels les élèves peuvent se familiariser (balance, compas, thermomètre, etc.) et entreprendre des observations et des mesures, nous nous intéressons au matériel expérimental permettant des *réalisations matérielles* (Coquidé, 2000), c'est-à-dire la production d'un *objet*.

Par exemple, le matériel peut servir à la construction de *modèles* pour comprendre (Giordan, 1989) ou à la fabrication d'*instruments* visant une activité de mesure (*baromètre, pluviomètre, cyanomètre, etc.*), ou mener à des productions permettant la communication des résultats. Il peut aussi être destiné simplement à la réalisation d'objets plus ou moins technologiques pour jouer et s'amuser (par ex., *modèles réduits, four solaire, kaléidoscope, moulin-à-vent, sablier, etc.*).

Enfin, il arrive que le matériel serve à concevoir et à mettre en œuvre des *dispositifs expérimentaux* permettant aux élèves de *tester* leurs propres hypothèses (Giordan, 2002 ; Astolfi et al., 1998).

Or, les réalisations matérielles servant l'*élaboration des hypothèses* ainsi que la *recherche de pistes de solutions* restent beaucoup moins fréquentes. En réalité, rares sont les activités qui donnent la possibilité aux élèves de développer leur questionnement et d'entreprendre leurs investigations *pendant* qu'ils réalisent leurs essais et leurs constructions. Dans l'ensemble, très peu de recherches –voire aucune– nous renseignent sur le rapprochement entre les qualités du matériel mis à disposition et les qualités des hypothèses formulées par les élèves. De nombreuses activités utilisant un matériel très divers sont proposées dans les manuels ou sur des sites à dispositions des enseignants, mais il n'est pas fréquent que les résultats de la mise en œuvre de ces activités, souvent présentés sur les blogs sous forme d'albums photos, fasse l'objet de publications scientifiques ou même de discussions sur le plan didactique.

La revue Grand N<sup>21</sup> propose de présenter quelques fois les comptes rendu d'activité d'enseignants, ceci sans réflexion ou ancrage didactique particulier. En section maternelle, Farges (2002) rend compte d'une activité de formulation et tests d'hypothèses (*flotte ? ou coule ?*) autour de la construction de bateaux fabriqués avec différents papier (buvard, journal, aluminium, glacé). Chappaz & Michon (2003)

---

<sup>20</sup> La particularité des expériences contre-intuitives réside dans le fait que l'énoncé du problème se présente sous forme de petits défis ou de devinettes en apparence impossibles à résoudre, où la manipulation du matériel donné permet d'investiguer sur une solution. Par exemple : « *Deux œufs sont mis à disposition et sont marqués d'un X ou d'un O, indiquant s'ils sont crus ou cuits. Essaie de distinguer, sans casser la coquille, les œufs crus des œufs cuits* ». Source : Les Atomes Crochus (France) : <http://www.atomes-crochus.org>

<sup>21</sup> *Grand N* est une revue de mathématiques, sciences et technologie pour les maîtres de l'enseignement primaire (IREM, Grenoble).

rendent compte d'un projet mis en œuvre en classe, un « *vrai problème pour chercher, à cheval entre un défi techno et une aventure mathématique* ». Dans leur projet *Il était une fois...la boîte du pâtissier*, la réalisation d'une construction en papier 3D (boîtes parallélépipédiques selon un procédé de pliage imposé) sollicite des questions progressivement mathématiques, engageant les élèves dans un processus de véritable recherche, les incitant à formuler leurs anticipations pour mieux les confronter, et à valider leurs hypothèses. Quelques notes intéressantes à relever : « *Il a fallu parfois accompagner certains élèves un peu trop touchés dans leur affect et relativiser le statut de l'erreur, leur faire accepter que la réussite n'est pas instantanée. La prise en compte de toutes les procédures a permis de sensibiliser les élèves au fait qu'il est nécessaire, à certains moments, d'emprunter des fausses pistes pour que le groupe avance dans sa réflexion. En cela, les moments d'argumentation et de confrontation ont été souvent très intenses* ».

Un autre article (Chevalier, 1985) fait le report d'une activité « un problème non routinier en géométrie », et analyse les démarches de pensée privilégiées des élèves lors de la résolution d'un problème. Lacroix (1992) présente le compte rendu d'activité à propos des propriétés des matériaux, où les enfants sont amenés successivement à émettre des hypothèses, manipuler, schématiser.

#### 2.4.4 Les problèmes ouverts (Mathématiques)

En didactique, la terminologie « problème ouvert » fait le plus souvent référence au champ des mathématiques, bien que plus largement elle signifie qu'un problème permette plusieurs voies de résolution possible. Nous proposons ici de sortir du champ des didactiques des sciences (SVT) afin d'enrichir notre questionnement des apports conceptuels et empiriques de la didactique des mathématiques.

En mathématiques, un grand champ de recherches a été mené au sujet de *la démarche de recherche*, sur les activités de *résolution de problèmes*, sur la démarche d'enseignement/apprentissage des situations-problèmes ainsi que de *problèmes ouverts* (définis aussi par *problèmes pour chercher*), ainsi que sur les moyens de sa mise en œuvre en classe<sup>22</sup>. Contrairement aux sciences du vivant et de la terre, davantage d'études empiriques ont été menées en mathématiques dans le domaine.

De nombreuses recherches se sont portées en particulier sur les *problèmes ouverts* en mathématiques, et leur mise en œuvre en classe (par exemple Lépine, 1996 ; Truchet, 1993 ; Kosyvas, 2013).

La pratique du *problème ouvert* en mathématiques a été introduite par l'Institut de recherche de l'enseignement des mathématiques de Lyon (IERM) il y a plus de 20 ans

---

<sup>22</sup> Les Bulletin de l'APMEP (Association des professeurs des Mathématiques de l'Enseignement public) proposent quelques liens intéressants pour cette recherche. Il s'agit plutôt de proposition d'activités non traditionnelles (par exemple, « Exercices de-ci, de-là », 2013 ; « Un puzzle astucieux. Matériaux pour un problème », 2013).

et mis en pratique actuellement dans les classes de degré primaire et secondaire ainsi que dans les instituts de formation.

De nombreux documents proposent des définitions des *problèmes ouverts*. Par exemple, Charnay (1992) propose une définition du problème ouvert qu'il situe par rapport à une typologie de problèmes. Dans l'ensemble, tous convergent vers une définition similaire à celle-ci, que l'on trouve actuellement dans les documents officiels de l'éducation nationale française : ce sont « *des problèmes pour lesquels les élèves ne disposent pas de solution déjà éprouvée et pour lesquels plusieurs démarches de résolution sont possibles* »<sup>23</sup>.

L'un des buts premiers du problème ouvert est de permettre aux élèves de se faire une meilleure idée de ce que sont les mathématiques. Il s'agit tout d'abord pour l'élève de comprendre que « *la connaissance mathématique se crée en particulier grâce à cette activité de résolution de problèmes, dans laquelle les grandes conjectures mathématiques jouent un rôle important* » (Arsac & Mante, 2007).

C'est pourquoi cette pratique a été pensée comme une situation d'enseignement qui place l'élève dans « *la position d'un mathématicien confronté à un problème dont il ne connaît pas la solution* ». Il s'agit en quelque sorte de « *restituer aux mathématiques leur statut de science vivante, où il reste des zones à explorer parce que personne ne sait tout (...une science) qui a son développement propre et sa logique propre* » (ibid.).

Concrètement, il s'agit de permettre aux élèves de s'engager dans des démarches d'investigation qu'ils n'ont pas l'occasion de mettre en place dans les activités habituelles de mathématiques. C'est alors l'activité-même de résolution de problème qui est privilégiée dans le but de développer chez les élèves un comportement de recherche et des compétences d'ordre méthodologiques : émettre des hypothèses et les tester, faire et gérer des essais successifs, élaborer une solution originale et en éprouver la validité, argumenter. « *Ces situations peuvent enrichir leur représentation des mathématiques, développer leur désir de chercher, leurs capacités de résolution et la confiance qu'ils peuvent avoir dans leurs propres moyens* »<sup>24</sup>.

Dans les documents d'accompagnement des programmes en mathématique (SCEREN, CNDP), les objectifs explicités de la pratique du « problème ouvert » ou

---

<sup>23</sup> Introduction commune aux documents d'application des programmes de mathématiques, cycle 2 et cycle 3, cf. BO HS n°1 du 14 février 2002. *Horaires et programmes de l'école primaire 2002*. BO Hors-série n°1 du 14 Février 2002. En ligne sur :

<http://www.education.gouv.fr/bo/2002/hs1/default.htm>

*Documents d'application des programmes. Mathématiques. Cycle 2* (brochure CNDP n°755A0282, juillet 2002) et cycle 3 (brochure CNDP n°755A0281, juillet 2002). En ligne sur en ligne sur : <http://eduscol.education.fr/D0048/primacc.htm>

*Documents d'application des programmes. Mathématiques. Les problèmes pour chercher*. En ligne sur: <http://eduscol.education.fr/D0048/primacc.htm>

<sup>24</sup> Introduction commune aux documents d'application des programmes de mathématiques, cycle 2 et cycle 3, cf. BO HS n°1 du 14 février 2002



du « problème pour chercher » sont, entre autres, de développer la capacité des élèves à faire face à des situations inédites avec pour base –peut-être modestes, partielles, mais puissantes– ses propres connaissances en état.

Dans ce contexte, l'activité de résolution de problème permet de valoriser « *des comportements et des méthodes essentiels pour la construction des savoirs : prendre des initiatives (tenter, faire des essais), être critique vis-à-vis de son travail (contrôler, analyser ses erreurs...), s'organiser, être méthodique (réduire le hasard, le nombre de cas à envisager), communiquer (par oral, dans le groupe et face à la classe, par écrit pour rendre compte de sa recherche)* » (Arsac & Mante, 2007).

#### 2.4.4.1 *Une organisation en phases clés*

« Essayer, conjecturer, tester, prouver » sont les quatre axes principaux de la démarche d'investigation que permettent problèmes ouverts, qu'il s'agisse de la démarche scientifique de référence, de la démarche de attendue de la part des élèves et de la démarche enseignante qui vient organiser la leçon. La méthode d'enseignement du problème ouvert en classe peut être schématisée en 5 étapes : 1) lecture de l'énoncé, 2) recherche d'une procédure, 3) instanciation de la procédure, 4) exécution de la procédure et 5) communication de la réponse (Charnay & Mante, 2003). Concrètement, la première étape est individuelle et correspond au temps que l'élève a besoin pour s'approprier l'énoncé du problème. Suit un temps de recherche individuelle précédant la phase d'investigation en petits groupes (regroupant recherche-instanciation et exécution, étapes ne se faisant pas forcément distinctement). La dernière étape correspond à une mise en commun des procédures utilisées menant à une activité de débat en plénière. Une phase de validation des solutions vient clôturer la séquence.

Par ailleurs, Gueudet & Lepoche (2006) se sont interrogés sur la place des élèves qui ne parviendraient pas à progresser dans la résolution du problème, ou plus précisément qui n'auraient pas réussi à construire une solution du problème, même partielle, en dépit des aides que le maître pourrait fournir et de la communication au sein des groupes. En observant les effets de différents scénarios de mise en œuvre d'un même problème (même contenu), les auteurs relèvent l'importance de ménager des phases d'institutionnalisation, puis des séquences d'entraînement.

#### 2.4.4.2 *Un véritable problème pour l'élève*

Les *problèmes ouverts* ou *problèmes pour chercher* sont des activités qui présentent de véritables problèmes pour les élèves dans la mesure où ceux-ci ne peuvent pas parvenir à une solution sans passer par des essais-erreurs. Tout comme dans le cas d'une situation-problème, l'élève détient un minimum d'outils (connaissances partielles ou conceptions initiales) lui permettant de s'engager dans l'activité,

d'envisager ce qu'est une réponse possible au problème (stratégies initiales), mais *insuffisants* pour parvenir immédiatement à un résultat. Si dans les situations problèmes, l' "inconnue" à découvrir se porte sur des *connaissances et des concepts scientifiques*, dans les problèmes ouverts elle se porte sur des *procédures*.

« *Les élèves n'ont pas toutes les connaissances qui permettent de résoudre rapidement [le problème...]. Ils sont donc obligés de faire des hypothèses, largement suscitées par des intuitions perceptives ou par des tentatives expérimentales* » (Arsac & Mante, 2007). En effet, devant un problème inédit où l'élève ne détient pas d'avance les outils nécessaires à sa résolution, l'élève ne peut avancer que par tâtonnements. Il est ainsi poussé de lui-même à « faire des essais pour produire une conjecture, tester sa conjecture en faisant d'autres essais » puis il sera accompagné. En fait, si on veut permettre aux élèves de s'investir dans une démarche scientifique, il faut en quelque sorte « *que celle-ci constitue la stratégie la plus performante du point de vue de l'élève pour résoudre le problème. [...] Si les élèves peuvent résoudre le problème sans passer par des essais et des conjectures, alors l'objectif visé à travers la pratique du problème ouvert n'est pas atteint* » (ibid.).

Par exemple, l'élève pourra élaborer un ensemble de stratégies à sa portée (dénombrer, regrouper, distribuer, additionner) pour parvenir à une solution qui, pour un expert, serait directement atteignable par une opération de multiplication.

On comprend qu'un énoncé de problème ouvert peut représenter un problème pour un élève d'un certain niveau et n'en être absolument pas un pour un élève de degré supérieur. Par exemple, dans le cas où la réponse correcte du problème correspond à une "conjecture naturelle" de l'élève ou à la mobilisation d'une notion déjà introduites et/ou formalisée en classe, une démarche d'investigation ne sera pas motivée. Pour celui-ci, l'activité pourra servir d'activité de réinvestissement de connaissances encore fragiles, ou alors servir de simple exercice d'application en guise d'évaluation des acquis.

#### 2.4.4.3 *L'accessibilité du problème*

La stratégie principale des *problèmes ouverts* pour engager les initiatives des élèves dans des démarches d'investigation est de créer un sentiment fort d'accessibilité problème à résoudre. Plusieurs caractéristiques visent à faciliter l'entrée en démarche de recherche (Arsac & Mante, 2007).

Premièrement, le problème se trouve dans un domaine conceptuel avec lequel les élèves ont assez de familiarité<sup>25</sup>. De cette manière, ils peuvent « prendre facilement

---

<sup>25</sup> Par exemple pour des élèves de primaire (8-9 ans), des énoncés du type : « *Emma danse. Elle fait 3 pas en avant ; 2 pas en arrière et 4 pas en avant. A-t-elle avancé ou reculé ?* » ; ou « *Gelati, l'italien, vend trois parfums de glace au choix : fraise, chocolat, pistache. Sarah lui demande un cornet avec 4 boules. Quelles sont toutes les combinaisons possibles de cornets à quatre boules que Sarah peut commander ?* », ou encore « *Suzie, Antoine et Léo ont des*

possession de la situation » et s'engager dans des essais, des conjectures, des projets de résolution, des contre-exemples. A la différence des situations-problèmes, l'élève n'a pas besoin d'aller chercher *ailleurs* des connaissances pour résoudre la tâche (faire des investigations encyclopédiques par exemple). Dès qu'il prend connaissance du problème, il peut commencer à chercher par lui-même des solutions avec les outils de pensée qu'il possède.

Si pour l'élève le sentiment d'incomplétude de ses propres connaissances est pensé comme facteur motivant pour engager des processus de recherche dans des situations-problèmes, les problèmes ouverts permettent au contraire de « montrer à l'élève qu'avec ses connaissances [effectives] il est capable de résoudre un problème qui lui paraît difficile au premier abord » (ibid.). De plus, cela assure que le temps pour réaliser un essai est assez bref, compte tenu des connaissances et du matériel à utiliser pour le faire, et que le temps supposé de l'apparition d'une première conjecture est compatible avec la durée d'une séance de classe ordinaire.

Deuxièmement, l'énoncé est court. Le fait que l'énoncé soit court, permet à l'élève d'avoir une première compréhension "instantanée" et lui donne souvent l'impression que "c'est facile", que la solution est à sa portée ; cela lui donne donc l'envie de chercher. En tout début d'activité, un temps est prévu pour une lecture de l'énoncé (toujours présenté par écrit), afin que les élèves puissent se construire une représentation correcte des données, des contraintes et du but à atteindre.

Ce temps est plus favorable lorsqu'il se fait en travail individuel, car il permet à chacun de commencer à s'appropriier le problème, avant que certains élèves "rapides" produisent, voire imposent, leurs idées avant que certains autres aient seulement compris l'énoncé (dans le cas d'un démarrage immédiat en groupe). Le temps de recherche individuelle peut ne pas aller jusqu'à l'élaboration complète d'une solution, mais permet une appropriation du problème au rythme de chacun (Charnay & Mante, 1998).

Plusieurs obstacles peuvent intervenir, tels que la compréhension-même de certains termes utilisés dans l'énoncé. En effet, l'élève peut se construire une représentation erronée du problème, soit parce qu'il fait contresens sur certains mots –des terminologies comme *de plus* peut induire une idée de *somme* par exemple– soit parce qu'il ne prend pas en compte certaines contraintes, par inattention ou par oubli causés par une surcharge cognitive.

Il est alors courant que pour y remédier, l'enseignant fasse le point avec les élèves à la fin du travail individuel sur ce qu'ils retiennent de l'énoncé, et des contraintes à

---

*cheveux de couleurs différentes : noirs, châains, blonds et roux. a) Marie est rousse, b) Antoine n'est pas blond, c) l'une des filles a les cheveux noirs. Quelle est la couleur des cheveux de chacun ? ».* Source : Banque de problèmes ouverts Cycle 2, Rallye mathématique du Puy de Dôme.

respecter, sans induire pour autant de stratégies de recherche ou des solutions. Au mieux, il est souhaité que tous les élèves partent de la même représentation de la situation, qu'ils aient compris les consignes de la même façon et qu'ils fassent leurs essais sans trop de difficultés.

De plus, il est particulièrement nécessaire que l'énoncé lui-même n'induisse ni la méthode ni la solution. Il s'agit d'éviter des questions intermédiaires ou des questions du type « montrer que », et de favoriser les énoncés du type « trouve une formule », ou « rédige une méthode qui permette de », qui mette l'accent sur la nécessité de rédaction de la solution ou/et de débattre sur la validité de son message, tout en permettant de dépasser le souci souvent handicapant d'obtenir *la* solution correcte.

#### 2.4.4.4 *La construction de procédures*

Dans les *problèmes ouverts*, on s'attend à ce que les élèves imaginent et élaborent diverses *conjectures* et *procédures* pour résoudre le problème et pour arriver à un résultat. Il est d'ailleurs fréquent que plusieurs procédures soient possibles pour atteindre le résultat. Le résultat correspond généralement au produit d'un calcul mathématique ou d'un relevé géométrique, qui est généralement unique, tandis que la procédure correspond à une *façon* de procéder, à une stratégie ou un ensemble de *stratégies* qui peuvent donc varier. Une procédure peut être définie comme « *toute suite ordonnée d'opérations définie pour un dispositif et une tâche donnés, dont l'exécution a pour objectif de faire passer d'un état initial à un état final ou but* » (Charnay et Mante, 1998).

La possibilité que les élèves trouvent des solutions différentes (que les résultats soient justes ou mathématiquement faux), ou encore qu'ils ne trouvent que des résultats partiels, fait partie de l'intérêt de la pratique, en ce sens qu'il nourrira l'enjeu du débat entre les élèves. En effet, tout l'intérêt des problèmes ouverts et de donner matière aux confrontations des élèves et de donner sens à la démarche scientifique (confronter ses conjectures, tester, trouver des preuves de validation, etc.). Aussi, « *la multiplicité des voies possibles vers un succès même partiel est un caractère en général positif puisqu'il y a alors plus de chances que tous les élèves trouvent quelque résultat* ». Cela augmente donc leur motivation à chercher ce genre de problème.

#### 2.4.4.5 *Le débat comme opportunité de confrontations*

Les confrontations débutent généralement avec le travail en petits groupes. Si le travail en groupe dans la résolution d'un *problème ouvert* permet dans un premier temps d'éviter un découragement éventuel, de diminuer la peur de ne rien trouver et d'augmenter les chances de production de conjectures dans un délai raisonnable (Arsac et Mante, 2007), le problème ouvert semble surtout présenter de nombreuses opportunités de confrontations, de construction et de restructuration des idées des

élèves. Par exemple, c'est l'occasion des premières formulations de propositions et des premiers débats de validation entre les membres de chaque groupe (ibid.). La comparaison et l'explicitation des premières ébauches de solutions deviennent possibles, de même que la construction d'une solution commune et l'élaboration de tests pour trouver des preuves de validité des résultats du groupe (Charnay & Mante, 1998).

Puis la phase de débat permet de prolonger ce travail. Les élèves vont apprendre à justifier leur choix et à prouver la validité de leurs conjectures. Le temps du débat développe la socialisation des élèves, leur permet d'apprendre à s'écouter, à tenir compte de l'avis des autres, à défendre leur point de vue en suivant certaines règles. De plus, « *mettre en commun, confronter, argumenter et discuter des liens possibles entre les divers résultats, permet entre autres d'éviter le renforcement d'une idée largement répandue chez nos élèves : en maths on trouve le résultat ou on ne le trouve pas* » (ibid.).

Par ailleurs, les problèmes ouverts sont des situations fréquemment utilisées dans les rallyes mathématiques<sup>26</sup> ; quelques études ont porté leur analyse sur les problèmes proposés dans le cadre de rallyes mathématiques où les élèves doivent fournir une seule solution pour toute la classe (par exemple, Grugnetti & Jacquet, 1997<sup>27</sup> ; Bichara, 2004<sup>28</sup>).

Pour résumer, les *problèmes ouverts* représentent de « vrais » problèmes pour l'élève du fait que ceux-ci ne peuvent parvenir à une solution sans passer par des tâtonnements. L'activité de recherche est donc motivée par la nécessité d'imaginer par soi-même une voie de résolution du problème, une démarche applicative ou reproductive ne pouvant fonctionner. Toutefois, la résolution du problème s'appuie sur un minimum d'acquis scolaires préalables (par exemple l'addition, la multiplication). L'objectif d'apprentissage à construire réside non pas dans la solution du problème mais dans la démarche pour parvenir à sa résolution. Si la démarche que l'élève doit construire correspond à une *procédure* possible (un ensemble de stratégies et d'opérations mathématiques) pour résoudre le problème, le résultat du problème, lui, est généralement unique.

---

<sup>26</sup> Ceux-ci sont organisés chaque année en France (de nombreuses grandes villes organisent un rallye régional) et en Suisse (uniquement le rallye Transalpin), dans le même principe que les « défis ouverts » canadien (Québec). Mais plus rare sont les concours technologiques. L'ouvrage *Un rallye mathématique à l'école maternelle ? Oui c'est possible !* est dédié aux rallyes mathématiques et se propose comme aide à construire un rallye mathématique en maternelle. Il présente une vingtaine de fiches d'activités avec une description des objectifs et des compétences mise en jeu, du matériel nécessaire à leur mise en place ainsi que des variantes possibles pour différents niveaux de classe.

<sup>27</sup> Grugnetti, L., Jacquet, F. (1997) La résolution de problèmes par classes. *Grand N. n°61*. p. 61-69.

<sup>28</sup> Bichara, J. (2004) Rallye mathématique de l'IREM des Antilles et de la Guyane. Présentation, observations, réflexions. Repères, IREM n°56.

#### 2.4.5 Les situations recherche (Mathématiques)

Le projet de recherche de l'équipe des *Maths à modeler*<sup>29</sup> se base entre autres sur le constat selon lequel il existe « *une grande distance entre le contenu des pratiques scolaires et de médiation scientifique et la réalité de la recherche scientifique, alors que cette dernière est tout à fait susceptible de fournir des situations facilement abordables, et par ailleurs riches en possibilités d'éducation au raisonnement, à la preuve et plus généralement à une démarche scientifique* »<sup>30</sup>. Dans ce sens, l'équipe de recherche propose de nouveaux vecteurs de diffusion de la culture scientifique et technique, par exemple en concevant, réalisant et validant des *situations recherche*, situations didactiques particulières faisant référence à des problèmes de la recherche actuelle pouvant être transposés dans des pratiques scolaires et des pratiques d'animation et de médiation scientifique. Plus précisément, les *situations recherche* (Grenier & Payan, 2003<sup>31</sup>, Godot, 2005<sup>32</sup>) peuvent être caractérisée ainsi :

- le problème abordé est le plus souvent issu de problèmes de recherche actuels; il peut donc comporter une, plusieurs ou aucune solution et être encore ouvert dans la recherche mathématique actuelle,
- le point de départ est une question facilement compréhensible par celui à qui elle est posée; elle n'est pas formalisée en termes mathématiques; c'est la situation qui amène l'élève à l'intérieur des mathématiques,
- les méthodes de résolution ne sont pas désignées; plusieurs pistes peuvent être suivies,
- les connaissances scolaires nécessaires sont les plus élémentaires et réduites possibles,
- le domaine conceptuel dans lequel se trouve le problème, même s'il n'est pas familier, est d'un accès facile pour que l'on puisse prendre facilement possession de la situation, s'engager dans des essais, des conjectures, des projets de résolution,
- une question résolue peut amener à se poser de nouvelles questions; il n'y a que des critères de fin locaux.

Les *situations recherche* s'apparentent donc aux *problèmes ouverts* sous plusieurs aspects (Godot, 2006)<sup>33</sup>: l'énoncé n'induit ni la méthode ni la solution, laquelle n'est pas une application directe des résultats présentés en cours mais demeure tout de même accessible, et surtout la résolution nécessite la mise en œuvre d'une démarche de recherche.

---

<sup>29</sup> L'équipe des *Maths à modeler* est une équipe de recherche fondée en 2003 composée initialement que de chercheurs en mathématiques discrètes et de chercheurs en didactique des mathématiques. Site internet : [mathsamodeler.ujf-grenoble.fr](http://mathsamodeler.ujf-grenoble.fr)

<sup>30</sup> Source : (site internet) [mathsamodeler.ujf-grenoble.fr](http://mathsamodeler.ujf-grenoble.fr)

<sup>31</sup> Grenier, D. et Payan, C. (2003). *Situation de recherche en classe: essai de caractérisation et proposition de modélisation*, cahiers du séminaire national de recherche en didactique des mathématiques, Paris, Octobre 2002.

<sup>32</sup> Godot, K. (2005). *Situations recherche et jeux mathématiques pour la formation et la vulgarisation*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.

<sup>33</sup> Godot, K. (2006). La roue aux couleurs : une situation recherche pour apprendre à chercher dès le cycle 3. Grand N. n° 78. p. 31-53.

Cependant, plusieurs différences existent, par exemple une situation recherche peut avoir une, plusieurs ou aucune solution, contrairement à un problème ouvert qui n'en a généralement qu'une. De plus, l'énoncé d'une situation recherche ne suggère pas l'absence de solution, alors que dans le cas des problèmes ouverts, bien souvent des marqueurs langagiers tels que « *peux-tu trouver?* », « *est-il toujours possible?* » ou « *existe-t-il?* » l'évoquent.

Une des particularités des situations recherche réside dans le fait que les problèmes sont présentés sous forme de jeu. L'énoncé du problème est similaire à une règle du jeu, et le matériel d'investigation est le plus souvent un plateau de jeu avec des pions (type damier)<sup>34</sup>.

D'autre part, dans une situation recherche, les valeurs des variables de recherche ne sont pas fixées au préalable. Les *variables de recherche* sont des variables de tâches inhérentes à la situation recherche, elles définissent les différents sous-problèmes qui lui sont rattachés et impliquent des tâches différentes (Godot, 2005).

Enfin, la situation recherche met l'accent avant tout mis sur la démarche de recherche en elle-même, et ne vise pas nécessairement la mobilisation ou l'acquisition d'un savoir mathématique notionnel. C'est pourquoi, sont proposées « des situations où les savoirs notionnels ne viennent pas faire obstacle au développement de la démarche de recherche ». Les apprentissages visés sont davantage *transversaux* (apprendre à chercher, gérer ses essais, raisonner, argumenter, prouver).

Comme l'explique Godot (2006) les *situations recherche* relèvent un contrat didactique inhabituel<sup>35</sup>, qui implique des rôles d'élève et d'enseignant spécifiques.

---

<sup>34</sup> Par exemple: « *Capturez la bête ! Dans ce jeu il vous faut empêcher une bête de se poser sur un plateau. Pour cela, un seul moyen: poser des mines. Malheureusement, les mines coûtent cher et il faudra en placer un nombre minimum ! Il faut poser et enlever des mines. Si les mines posées empêchent la bête de se poser sur le plateau, la solution sera retenue. Il vous faudra ensuite l'améliorer afin d'utiliser le moins de mines possible* ». Un autre exemple: « *Chercher la frontière. Le principe du jeu : une grille est partagée en deux zones, l'une constituée de cases bleues, l'autre de cases rouges, séparées par une frontière de cases noires. Cette frontière peut être horizontale, verticale, diagonale ou même à l'extérieur de la grille. Au début du jeu, toutes les cases sont masquées par un cache blanc ; il faut retourner les cartes pour découvrir la couleur de la case. Le but du jeu est de déterminer la frontière en retournant le moins de cases possibles. Saurez-vous relever le défi?* ». Source : <http://mathsamodeler.ujf-grenoble.fr/>

<sup>35</sup> Dans le cadre de sa thèse, Godot (2005) s'est intéressée aux *situations recherche* présentées sous forme de jeu et accompagnées de support matériel. *La roue aux couleurs* en est un exemple, inspiré d'un problème non résolu en mathématiques. Ce support particulier s'avère être une *aide à la dévolution du problème* (appropriation rapide des règles du jeu) ainsi qu'une *aide à la recherche* pour les élèves. Il permet à chacun, quel que soit le niveau de connaissance en mathématiques, d'avancer dans la résolution du problème en vivant différentes composantes de la recherche en mathématiques. Il donne notamment l'opportunité de faire facilement des essais et de présenter des contre-exemples. Sans en détailler les principes et les possibilités, il permet entre autres la mise en œuvre de multiples stratégies, de plusieurs méthodes de construction et de plusieurs conjectures. Dans ce cadre, l'auteur définit

L'élève se retrouve en position de *chercheur*, mais aussi en situation de *gestionnaire* de sa propre recherche (c'est lui par exemple qui choisit et modifie les valeurs des variables de recherche). L'enseignant reste *gestionnaire* de la classe, mais est également en position de *chercheur*. S'il est conseillé que l'enseignant expérimente un minimum la situation recherche avant de la proposer à ses élèves, il est possible que dans certaines situations, il ne puisse lui-même, ni avant ni après, résoudre entièrement le problème, par exemple dans le cas de certaines situations inspirées de problèmes mathématiques encore ouverts. Sans décrire précisément ici le rôle de l'enseignant dans ce type d'activité, notons toutefois que « *le fait qu'il ait cherché préalablement différents sous-problèmes lui permet d'anticiper la majorité des réponses des élèves même s'il ne connaît pas forcément toutes les pistes qui seront explorées ni toutes les stratégies qui pourront être mises en place* » (Godot, 2006).

Les *situations recherche* offrent des possibilités intéressantes quant au travail du problème, de par le fait que les solutions et les voies de résolution possibles du problème sont multiples. Toutefois, dans l'ensemble, les problèmes mathématiques (le *problème ouvert*, ou la *situation recherche*) ressemblent peu aux problèmes scientifiques ou technologiques, en ce sens qu'ils ne représentent pas de véritables *problèmes complexes*. Lorsqu'on parle de problème complexe en mathématiques, cela se réfère à des problèmes dont la résolution nécessite la mobilisation de plusieurs catégories de connaissances (Gueudet et Lepoche, 2006), à savoir plusieurs opérations (par exemple, addition et soustraction). De plus, une tâche complexe mobilise plusieurs compétences déjà travaillées, sans faire appel à de nouvelles connaissances, et qui exige de l'élève autonomie intellectuelle et prise d'initiative<sup>36</sup>.

#### 2.4.6 Le cas particulier des défis

Les travaux relatant la pertinence pédagogique des défis sur les apprentissages des élèves sont très rares, voire absents, dans la recherche en éducation. Il importe cependant de s'y arrêter, vu leur place dans notre problématique.

On ne trouve que quelques exemples d'activités formulées en défi, dans des livres de loisirs scientifiques ainsi que sur de nombreux sites Web, ceux-ci en majorité d'origine nord-américaine (Québec). Dans les plus connus, le collectif de *La Main à la Pâte* ainsi que celui des *Petits Débrouillards* proposent des exemples de défis à réaliser à la maison ou en classe.

La majorité de ces défis représentent des situations motivantes et souvent ludiques qui interpellent et poussent les élèves à utiliser des stratégies diverses (individuelles ou de

---

plusieurs conditions de mise en œuvre pour une recherche féconde, entre autres le travail en petit groupe, les mises en commun et les communications des résultats.

<sup>36</sup> Quelques exemples de problèmes complexes mathématiques : « *Les CP et les CE1 partent en classe de neige. Il y a 47 élèves, 2 maîtresses et 2 moniteurs prévus pour le voyage. Combien de sièges resteront vides ?* ». Source : Académie de Grenoble : [http://www.acgrenoble.fr/ien.g4/IMG/pdf/TACHE\\_COMPLEXE.pdf](http://www.acgrenoble.fr/ien.g4/IMG/pdf/TACHE_COMPLEXE.pdf)



groupes) et à explorer plusieurs possibilités de résolution d'un problème difficile, en favorisant les moments d'échange et de confrontation. On peut citer les *défis mathématiques* (énigmes, casse-tête, problèmes de tout type) ou les *défis technologiques* dans lesquels les élèves sont amenés à mettre à l'épreuve plusieurs pistes de solutions au moyen d'un *matériel* spécifique afin d'aboutir à des *constructions* finales, qui soient les plus innovatrices possibles (par exemple, *construire un engin automobile, un engin flottant, etc.*), ou les plus opératives possibles (*mesurer la vitesse du vent, mesurer des distances avec la lumière du soleil, construire un pont en spaghetti, etc.*).

Plusieurs objectifs pédagogiques sont ainsi visés: valoriser l'originalité et l'ingéniosité, solliciter un travail en équipe (participation, organisation, coopération), inciter l'esprit compétitif (se donner les moyens pour atteindre un but), développer l'argumentation (débat scientifique), développer des stratégies et des procédures, et favoriser l'autonomie des élèves. Plus précisément, les élèves sont d'abord amenés à cerner un problème en déterminant leurs besoins pour la conception de leur dispositif tout en tenant compte des contraintes, à élaborer et choisir un scénario de conception en procédant à une analyse systématique des solutions envisagées, avant d'arriver à l'analyse de leur(s) solution(s) en procédant à des essais avec leur prototype.

Cependant, il faut relever que la plupart des exemples de défis présentés comme tel ne favorisent pas la créativité et la diversité des propositions : il s'agit souvent de trouver *la bonne* réponse en manipulant *de la bonne façon* un matériel déterminé, c'est-à-dire le bon agencement pour réussir l'expérience (*comment mettre une éponge dans l'eau sans la mouiller ?, comment traverser un ballon de baudruche avec un pic sans qu'il explose ?, etc.*)<sup>37</sup>.

#### 2.4.6.1 *Des exemples de défis*

Du fait de leur pragmatisme, il existe chez les Anglo-Saxons, bien plus que chez les francophones, nombre de ressources pédagogiques depuis plusieurs dizaines d'années pour tous les niveaux de la scolarité, et qui s'organisent autour de résolution de problèmes dans divers domaines scientifiques. La majorité des ouvrages témoignent du désir de favoriser le développement de la pensée des élèves en proposant des activités visant avant tout à captiver les élèves et à stimuler leur créativité, leur inventivité, sous forme d'activités de résolution de problèmes ou de *challenge*.

Le terme « *challenge* » en anglais ne fait pas toujours exclusivement référence au mot *défi* en français. Le mot *challenge* est généralement associé à une notion ludique,

---

<sup>37</sup> Dans les exemples cités, un défi comporte généralement : une mise en situation, une consigne, un matériel spécifique, un temps donné, un règlement (ou un cahier des charges) et éventuellement des indications pour le déroulement de l'activité et un cahier d'expérience pour relater les résultats et les procédures.

intrigante et captivante d'une activité, sans que celle-ci représente un véritable problème pour l'élève. Toutefois, on peut retenir que l'aspect motivant des leçons de science est une dimension souvent prise en compte dans la conception de moyens pédagogiques anglo-saxons.

Le terme « *défi* » est aussi utilisé en francophonie pour définir une catégorie d'activités attractives qui *défient* les élèves à réussir une tâche, et qui se résume souvent à trouver la bonne solution à un problème. Ces activités prennent la forme de casse-tête ou de devinette, mais ce genre d'activités est moins présent dans les livres de sciences institutionnels.

Chez les Anglo-Saxons, et principalement les Américains, les *Ressources Books* sont généralement issus de divers organismes en faveur de l'éducation scientifique, et touchent de nombreux domaines scientifiques, tel que l'astronomie, la physique, la chimie, la biologie, la technologie, etc. Une partie importante de ces ouvrages proposent des activités de résolution de problèmes qui visent à *challenger* les élèves. Un cadre pédagogique et didactique est souvent présenté en accompagnement des activités pratiques.

De brefs comptes-rendus sont donnés, qui illustrent de manière assez vague le niveau d'engagement des élèves, leurs capacités à résoudre des problèmes, les idées qu'ils se font au sujet des sciences. Toutefois, très peu d'études ont été publiées –voire aucune– sur les résultats des tests de ces activités en classe. Il existe donc peu d'informations sur la nature de l'investissement des élèves dans la tâche, la nature de leurs démarches d'investigation et de l'élaboration de leurs hypothèses, ainsi que sur la nature de leurs conceptions au sujet des sciences. Ce ne sont pas précisément ces activités qui font les objets d'analyse des études en didactique.

Toutefois, il est intéressant de se pencher sur les quelques ouvrages qui sortent de l'ordinaire et se distinguent nettement des traditionnels *Resources Books* proposant des expériences à reproduire avec un matériel préconstruit et un protocole donné. Ces ouvrages proposent des activités pertinentes qui représentent de réels enjeux cognitifs et motivationnels : elles permettent une véritable appropriation du problème à résoudre pour l'élève et une marge suffisante pour que la situation d'apprentissage s'articule autour des initiatives des élèves. Bien que datant de plusieurs dizaines d'années, ces ouvrages méritent l'attention tant par la complexité des questionnements qu'ils soulèvent que par le caractère particulièrement impliquant pour les élèves.

Parmi les exemples les plus anciens (années 70), *The Unified Science and Mathematics for Elementary Schools*<sup>38</sup> (USMES, 1976) proposait alors une série d'activités en qualité de *real problems* sous la forme de *challenges* pour les élèves du

---

<sup>38</sup> *USMES Teacher Resources Books* (1976). Unified Science and Mathematics for Elementary Schools, Newton, MA.; Education Development Center, Inc., Newton, MA.

primaire et du cycle moyen. Les activités se portent dans des domaines très élargis qui touchent les sciences, et se réfèrent à de nombreux types différents de démarches d'investigation. « *The challenge is general enough to apply to many problem-solving situations in mathematics, science, social science, and language arts at any elementary school level* » (USMES, 1976). Les problèmes à résoudre sont présentés aux élèves de manière très ouverte et ne s'accompagne d'aucune méthodologie ou protocole particulier. Toutefois, un guide pour l'enseignant comprend la proposition d'une série de matériaux, de références, un aperçu des activités possibles des élèves et des questions pouvant être posées aux élèves ainsi qu'un outil d'évaluation visant à identifier les compétences, les concepts et les démarches engagés dans l'activité. De manière générale, les activités touchent de près le quotidien de l'élève et visent à les faire réfléchir sur leur environnement naturel, social ou technique, et à imaginer des solutions pour l'améliorer.

Les défis visent en quelque sorte à responsabiliser les élèves et à développer leur esprit inventif et pratique autour de la résolution de problèmes les concernant directement. Pour la biologie, il s'agira par exemple de réfléchir à comment collecter et entretenir une variété d'animaux pour permettre leur étude en classe (*School Zoo*). D'autres défis invitent les élèves à essayer de prédire la météo pour les aider à planifier leurs activités et leur agenda (*Weather Predictions*), à trouver des choses utiles, amusantes et éducatives à faire pendant la récréation (*Using Free Time*), à imaginer et à mettre en place des moyens d'améliorer l'organisation et l'usage de la cour d'école (*Play Area Design and Use*) ou encore de trouver des moyens d'améliorer le trafic routier à certains endroits stratégiques (*Traffic Flow*) ! Même les démarches d'investigation propres au monde de l'industrie tiennent leur place : par exemple le défi *Consumer Research* demande aux élèves de déterminer quelle marque de produit est la plus efficace pour une utilisation spécifique, ou encore le défi *Soft Drink Design* implique l'invention d'une boisson rafraîchissante qui peut être produite à bas coût.

Dans les années 80, un ouvrage intéressant –*Expanding Children's Thinking Through Science, Sourcebook II*– est édité par une grande communauté de chercheurs –*The Council for Elementary Science International, CESI*– présentant toutes sortes de défis à l'attention des enseignants, afin d'être facilement intégrés dans les plans de cours. Les activités ne se portent pas exclusivement sur les sciences mais visent de manière systématique à développer la pensée des enfants. Les différents défis sont regroupés en différentes catégories : ils mettent tantôt l'accent sur la créativité, ou sur l'inventivité, tantôt sur la pensée conceptuelle/visuelle, la résolution de problème (trouver plusieurs questions à une réponse, ou plusieurs façons de trouver un même résultat) tantôt encore sur l'estime de soi. Quelques défis impliquent l'utilisation d'un matériel concret très riche et divers pour imaginer, investiguer et mettre en forme des hypothèses. Par exemple, en technologie : *Make your own thermometer from common objects which changes in length with temperature* ; ou *Invent devices that will lift weight using only power of the wind, a hair dryer or fan*; ou *Invent a counting*

*machine* ; ou encore *Construct an insect trap that will capture a particular insect but will not harm it* (Cohen & Flick, 1981).

Beaucoup d'autres défis sont des défis conceptuels. Par exemple : *Illustrate the relationships among several scientific concepts* ou *Analyze scientific concepts to see how they were produced*, sont des défis qui demandent un exercice de schématisation, de modélisation visuelle. D'autres encore se portent sur l'imagination de procédures ou d'hypothèses, du type : *Find many different ways*. Certains défis encouragent l'inventivité comme *Little big tiny enormous thing*, où il s'agit d'imaginer des pistes d'amélioration techniques possibles de certains objets couramment utilisés. Enfin, divers problèmes ouverts sur l'alimentation, le développement durable (*Describe your own civilization from your garbage* ou *Trace the paths taken and the people involved in producing a glass of chocolate milk from raw materials*), la physique (*What is the cost of boiling water in a electric coffee pot ?*), la biologie (*What do the things you find in the school yard tell you about the life and geography of the area ?*) ou encore les mathématiques (*Invent your own number system that can be used to count to infinity*) (ibid.).

#### 2.4.6.2 *Olympics: Students as inventors (Biologie)*

On associe généralement l' « imagination » et l' « invention » à la technologie et la science physique alors que la biologie continue à être perçue comme une discipline descriptive et classificatoire. Pourtant, comme le dit McCormack (1982a, 1982b), « *biology has had its fair share of imaginative and inventive thinking* ». La plus grande inventivité en biologie s'est avant tout portée sur le développement de nouvelles méthodes et dispositifs pour investiguer ce qui a permis la découverte et l'élaboration de nouvelles connaissances. Les méthodes de mesure, de comptage, d'observation et d'analyse de l'infiniment petit ont été inventées par des biologistes (Leeuwenhoek pour le microscope, etc.). Ce sont ces arguments qui poussent certains passionnés à faire vivre la science aux étudiants sous l'angle de l'invention. Approcher les sciences par l'histoire et l'épistémologie des sciences, en retraçant les découvertes et les inventions de scientifiques célèbres, est une façon d'y parvenir. Mais pour McCormack il s'agit de mettre les étudiants dans la peau d'*inventeurs* en biologie. « *Students will enjoy biology more if they become involved in the inventive and imaginative dimensions of the subject [...but] it's much more exciting to invent something yourself* ».

Dans les années 80, McCormack (1982a, 1982b) publie aux Etats-Unis plusieurs articles dans *The American Biology Teacher* au sujet de l'invention, de l'imagination et de la créativité en biologie. « *Many investigators report that the key to success in research is in inventing solutions to seemingly impossible puzzles* ». A ce titre, il organise *The Biology Olympics*, qui défie étudiants et enseignants du secondaire de toute institution à relever des défis en biologie. Pendant deux années, il présente une vingtaine de défis ou d'énigmes attractives (*challenges, puzzles*) dans plusieurs

domaines de la biologie, dont certains défis interdisciplinaires particulièrement ludiques reliant sciences et arts.

Les enseignants sont encouragés à intégrer régulièrement les différents défis dans leurs cours afin d'investir leurs étudiants dans la résolution de problèmes et la pensée créative et développer leur intérêt pour la biologie : « *Challenges are "bet-you-can't do it" brainteasers meant to grab the interest of biology students and send them to their school laboratory or some workshop to seek a solution* ». De plus, le fait que les solutions/créations les plus pertinentes des étudiants soient publiées régulièrement dans la revue vient fortement renforcer la motivation des étudiants.

Vraisemblablement le plus populaire à l'époque, le défi *Create-a-Creature* (McCormack, 1982), demande aux participants de se mettre dans la peau de biologistes de la NASA afin d'imaginer un être ou un organisme pouvant vivre dans des systèmes planétaires lointains. Des données très précises au sujet de diverses planètes imaginaires étaient fournies dès le départ, que les étudiants devaient intégrer dans leur recherche et leur création de solutions.

Un autre défi proposé porte sur les déchets et part de l'idée que la plupart des matériaux organiques généralement considérés comme des déchets inutiles (épluchures, cosses, coquilles, etc.) et pourraient être utilisés à meilleur escient que d'être jetés à la décharge... C'est précisément l'objet du défi : inventer un produit et/ou dispositif utile fabriqué avec l'un de ces éléments comme ingrédient majeur (épluchure de pomme de terre ou d'oignon, coquille d'œuf, marc de café, peaux d'agrumes et coquille de cacahuètes), le mettre en œuvre, le tester et communiquer les résultats des tests. Un autre défi similaire implique l'utilisation du papier journal.

Un peu plus tard, toujours dans l'idée de développer des activités attractives et intrigantes pour augmenter l'intérêt des élèves, McCormack publie *Magic and Showmanship for Teachers* qui propose toutes sortes d'expériences très démonstratives pour les sciences, mais aussi les mathématiques, l'art, les sciences sociales et l'art du langage, dont un chapitre particulier : *Using magic to develop creative thinking*. Les activités se réalisent avec des objets simples tels que du papier, une bouteille, un ballon, etc. « *Incorporating magic into science lessons made science more understandable and appealing for students* ».

Ensuite, dans les années 90, les ouvrages *Sciencewise: Discovering scientific process through problem solving* (Holley, 1996) continuent sur cette même lancée et proposent des activités regroupées en deux catégories : des expériences démonstratives et des défis (*Dynamo Demo et Creative Challenges*). Elles visent à permettre aux élèves de développer des démarches scientifiques –« *science process skills of observing, predicting, designing/experimenting, eliminating, and drawing conclusions* » (ibid.)– tout en développant des capacités de résolution de problèmes, ainsi que leur ingéniosité et leur pensée créative et critique. Plus précisément, *The teacher-led Dynamo Demos* aident les élèves, à travers des questions guidées et des

manipulations d'appareils et d'équipements scientifiques, à comprendre le problème, à faire des observations et des prévisions précises et pertinentes, à tirer des conclusions ou à trouver des réponses. « *While specific scientific principles and concepts are demonstrated in these activities, the primary focus is on actively involving students in the scientific process and developing problem solving and creative/critical thinking skills* » (ibid.). Dans *The student-centered Creative Challenges*, l'enseignant fonctionne alors comme un simple conseiller technique (*technical advisor*) pendant que les élèves conçoivent et développent leur solution au problème.

Plus particulièrement pour l'école primaire, on trouve divers ouvrages publiés dans ces mêmes années proposant, par exemple, *Inventors and inventions: Creative cross-curricular activities* (Egan, 1997) ou *Fun with physics : Real-life problem solving for grades K-3*<sup>39</sup> (auteur non mentionné, 1998) qui proposent une série de challenges, et *Science action labs part 3: Puzzlers* (Shevick, 1995) qui propose des activités pratiques sous forme d'énigme à résoudre en incluant la construction de gadgets, ou encore *Cognetics: Thinking Skills Activities in Inventions/Technology and Sciences* (Burr, Gourley & McDonnell, 1992) qui propose des activités pratiques liées à divers problèmes avec un guide pour réaliser les démarches (*Problem-Solving Steps, Brainstorming, Solution Inhibitors, Developing Questions*).

Plus largement, les revues américaines mensuelles publiées par le NSTA<sup>40</sup> –*Science and Children, Science Scope* et *The Science Teacher*– proposent de nombreux articles présentant des propositions d'activités alternatives (*Fresh ideas on what to teach and how to teach it*) pour les professionnels de l'enseignement primaire, moyen et secondaire. De nombreux articles se consacrent aux activités de résolution de problèmes, et certains plus spécifiquement aux activités de défis, par exemple en sciences de l'espace (Winslow, 2000), en chimie avec *Acid tests and basic fun* (McBride, 1995) et *Throw out the instructions* (Tinnesand & Chan, 1987) ou en physique (Groseclose, 1993).

Il est important de préciser que ces dernières activités sont des activités pratiques qui impliquent la manipulation d'un matériel d'investigation. Or, la plupart des dits *challenges* ne permettent pas la possibilité de trouver plusieurs solutions. Il s'agit de trouver la bonne mesure, la bonne combinaison, la bonne formule.

#### 2.4.6.3 *Sciences by Design (Technologie)*

Dans les ouvrages plus récents, les activités de résolution de problèmes visant l'apprentissage de démarches d'investigation et encourageant l'ingéniosité des élèves

---

<sup>39</sup> *Fun with physics: Real-life problem solving for grades K-3* (Auteur non mentionné, 1998). Vocational Instructional Materials Laboratory, Ohio State University, Columbus.

<sup>40</sup> The National Science Teachers Association (Etats-Unis): <http://www.nsta.org/>

se concentrent davantage sur la technologie : elles se réfèrent généralement à la démarche de *Science by design*. On trouve plusieurs propositions d'activités d'investigation, principalement pour les élèves du secondaire qui invitent les élèves à *designer* et construire des objets. Le design est souvent perçu comme un processus créatif de résolution de problèmes.

Souvent, les séquences d'activités prévoient une phase de communication pour partager les idées et parler des compétences de résolution de problèmes que les élèves développent pendant l'activité. Parfois, les activités font référence à des problèmes scientifiques ou technologiques authentiques et visent à combler les "manques" de l'éducation des sciences traditionnelle.

*Science-by-Design*<sup>41</sup> (2012) est un ouvrage particulièrement intéressant (publié par le NSTA) qui présente quatre activités d'investigation autour de la construction d'un prototype. Les activités, adressées à des étudiants du secondaire (*high school*) utilisent le design technologique et l'investigation scientifique comme démarches pour investiguer, réaliser et mettre à l'épreuve la performance de prototypes (*process of product design*).

Les activités présentent des mises en situation de départ plutôt attractives, par exemple: « *Your design challenge: As a member of a product research and development team, design an insulated glove system that keeps the tip of your index finger as warm as possible in uncomfortably cold surroundings, while maintaining dexterity for a specific function* ». Ensuite des instructions très précises sont données pour la construction (*Quick-built*) du prototype initial. Des séances d'investigation sont prévues alors autour de l'artefact, de manière à lui apporter des transformations pour améliorer son efficacité (*Research et Development*). *Construct-a-glove, Construct-a-catapult, Construct-a-boat, ou Construct-a-green house* sont des activités qui touchent tantôt la physique, les mathématiques, la modélisation, la technologie, la biologie ou encore l'histoire.

Un même type de ressources, *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas* (2012), vise à proposer des pistes de mise en œuvre pour les grandes perspectives du PBL. Par exemple, *Build It Up!* est l'une des activités particulièrement intéressantes : elle intègre sciences et mathématiques à travers une démarche qui encourage la résolution de problèmes et la créativité autour de la construction de principes en design et technologie. Ce type de dispositif offre aux élèves des opportunités de collaborer entre eux et de réfléchir au sujet de leur compréhension des concepts en jeu ainsi que sur leurs procédures (Deaton, Chessin & Coskey, 2012).

On peut citer encore quelques rares autres exemples de « défis techno » particulièrement ludiques et tout à fait propices au développement de démarches

---

<sup>41</sup> Pulis, L., Lee, F. & Baroway, W. (2012). *Science by Design. Construct a...Boat, Catapult, Glove and Greenhouse* (nouvelle éd.), NSTA Press, 1840 Wilson Blvd., Arlington

d'investigation par l'expérimentation, comme l'élaboration d'un modèle réduit de montagnes russes<sup>42</sup> ou encore la construction d'un véhicule à traction souricière<sup>43</sup>.

#### 2.4.6.4 *Engineering by Design (Sciences de l'espace)*

Concernant les sciences de l'espace, *The International Technology Education Association (ITEA)*, financée par la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, a développé des unités sur l'exploration spatiale pour les tous les degrés scolaires (5-18 ans)<sup>44</sup>. Les unités sont intégrées dans un programme d'enseignement de la technologie connue sous le nom de *Engineering by Design*. Les unités se concentrent sur les questions que les ingénieurs et les scientifiques de la NASA doivent prendre en considération (ainsi que les générations futures d'explorateurs !) et sont présentées sous forme de *Design Challenges*. Par exemple, *Lunar Plant Growth Chambers* est une activité particulièrement intrigante –*Growing plants on Earth can be hard enough, but what about growing plants in outer space ?*– qui implique la construction d'une chambre de croissance de plante lunaire (grandeur nature ou à l'échelle réduite), utilisant le processus de conception d'ingénierie (*design, built and evaluate*). Les enseignants peuvent s'inscrire pour la réalisation de ces activités dans le cadre de l'école, mais celle-ci impliquent une implication particulière de la part des enseignants qui dépasse les activités clés en main. « *The materials presented here are more than a bit fun, and they may get students thinking about a future career in engineering or the space sciences* ».

#### 2.4.7 Synthèse au sujet des dispositifs didactiques

Les recherches théoriques et empiriques au sujet des différents types de situations proposés justifient et témoignent de leur efficacité concernant l'implication des élèves dans la résolution du problème. Les problèmes, présentés de manière plus ou moins ouverte ou attractive, permettent aux élèves de s'appropriier le problème et de s'engager de manière autonome dans des démarches d'investigation, ceci en générant des initiatives, sous forme de questions, d'hypothèses, de pistes de solutions, ou encore de procédures. Les études témoignent aussi de leur efficacité concernant l'acquisition de concepts ou de procédures.

---

<sup>42</sup> Roy, D. (1995). Coaster construction: Rolling physics and amusement into one, *Science Teacher*, 62(6), 20-23.

<sup>43</sup> Roberts, E., & Gonzalez-Espada, W. (2006). Snap! Catch students' attention with mousetrap vehicles. *Tech Directions*, 65(10), 15-18.

<sup>44</sup> <http://www.nasa.gov/audience/foreducators/plantgrowth/home/index.html>

Caron, D. W., Fuller, J., Watson, J., & St. Hilaire, K. (2007). *Lunar plant growth chamber: Human exploration project STS-118 design challenge. A standards-based high school unit guide. Engineering by design: Advancing technological literacy. A standards-based program series.*



Compte tenu de toutes les différentes approches présentées dans le chapitre précédent –les *situations-problèmes* et les *activités expérimentales* en Sciences du vivant et de la terre, les *problèmes ouverts* et les *situations recherche* en mathématiques, ainsi que les différents types de *défis*– plusieurs éléments peuvent être dégagés.

Nous proposons ici un tableau afin d'en faciliter une vue d'ensemble. Pour chaque type d'activité, sont définis : le type de situation de départ proposé (type d'énoncé), les facteurs motivants incitant l'élève à s'impliquer dans la situation, le type de solution qu'elle permet et leur(s) moyen(s) de validation, le type de matériel d'investigation utilisé, ainsi que les finalités qu'elle vise en priorité.

	<b>Situation de départ</b>	<b>Motivation</b>	<b>Solution du problème</b>	<b>Validation des solutions ou procédures</b>	<b>Matériel d'investigation</b>	<b>Objectifs</b>
<b>Situation-problème (SVT)</b>	Question ouverte ancrée dans un contexte concret (quotidien de l'enfant)	Incomplétude des connaissances Dépassement de la contradiction (rupture)	Solution unique (« Vrai ») mais complexité	Référence au « Vrai », Références encyclopédique /medias/experts	Références encyclopédique/ médias/experts	Découverte et (dé)construction des connaissances Emergence des représentations, Construction de questionnement, "pose" d'un problème
<b>Activité expérimentale (SVT)</b>	Très divers	Manipulation d'instruments ou élaboration de dispositifs	Solution unique (« Vrai ») mais complexité  Protocole donné	Confrontation au monde tangible	Dispositif organisé ou préconstruit, Instruments scientifiques	Mise à l'épreuve / validation des solutions (hypothèses) Développer des compétences procédurales
<b>Problème ouvert (maths)</b>	Enoncé court, ancré dans contexte concret	Sentiment d'accessibilité	Multiplicité des procédures, Résultat unique	Débat sur les procédures	aucun (calcul)	Découverte, construction de procédures Résolution de problème
<b>Situation recherche (maths)</b>	Similaire à une règle de jeu	Jouer	Multiplicité des procédures, Résultat multiple (voire pas de solution)	Débat sur les procédures	Type plateaux de jeu	Découverte, construction de procédures Résolution de problème
<b>Petits défis, Expériences contre-intuitives et casse-tête (divers)</b>	Type devinette Aspect ludique, apparente difficulté	Découvrir la solution, Dépasser la contradiction (rupture)	Procédures et solution unique, (dénouement)	Confrontation au monde tangible	Des objets	Ouvrir un questionnement Résolution de problème
<b>Défi techno</b>	Ludique	Relever le défi, Construction d'un objet, d'une maquette	Solutions multiples, solution optimum, Produit fonctionnel	Confrontation au monde tangible	Divers matériaux à disposition, possibilités d'agencement généralement multiples	Imagination et mise à l'épreuve de dispositifs Résolution de problème

**Tableau 4** Tableau comparatif des différentes situations didactiques

Dans les chapitres précédents, plusieurs éléments mis en relief dans la présentation des différents types de situation nous permettent de préciser notre questionnement et de fonder quelques hypothèses.

La première question générale à laquelle nous souhaitons répondre est la suivante :

***Que faut-il mettre en place pour que les enfants s'investissent de manière autonome dans une véritable activité de recherche ?***

Plusieurs pistes peuvent être apportées pour nous aider à définir un environnement didactique efficace.

Tout d'abord, une idée récurrente et commune aux différents dispositifs présentés apparaît comme centrale : les investigations s'organisent autour d'un problème. Plus précisément, il s'agit de favoriser le questionnement et les investigations autour d'une situation qui présente un problème scientifique (ou mathématique, technologique, etc.) et qui représente un problème authentique pour l'élève<sup>45</sup>.

Ensuite, si tous les différents types de situation ont leurs particularités, nous pensons qu'il est possible de combiner certaines de leurs caractéristiques respectives afin de définir un nouveau type de dispositif didactique particulièrement approprié.

Une première facette à définir concerne l'énoncé du problème. Nous émettons alors l'hypothèse qu'un énoncé du problème à la fois ouvert et complexe (tel que le proposent particulièrement les *situations-problèmes*), attractif et ludique (tel que le proposent par exemple les *situations recherches* ou les *défis*), et provoquant d'emblée une certaine rupture épistémologique (tel que le proposent par exemple les *situations contre-intuitives* ou les *situations-problèmes*), pourrait favoriser l'appropriation d'un questionnement et de démarches d'investigation de la part des élèves.

Une deuxième facette concerne le type de solution et de résolution que le problème engage. Nous faisons l'hypothèse qu'un problème qui favorise la multiplicité de procédures de résolution (tel que le propose par exemple les *problèmes ouverts*) et à la fois une multiplicité de réponses possibles (tel que le propose parfois les *défis-technos*) favoriserait particulièrement l'investissement et les initiatives des élèves.

Une troisième facette concerne le mode d'investigation et de validation des solutions. Nous faisons l'hypothèse qu'une résolution du problème passant par une confrontation au monde tangible est favorable à l'appropriation d'une démarche d'investigation dans son ensemble, dans le sens où les élèves peuvent par eux-mêmes mettre à l'épreuve leurs idées de solutions et juger de la validité de celles-ci (tel que le proposent les *activités expérimentales*). Enfin, nous avançons l'hypothèse qu'un dispositif favorisant les confrontations sociocognitives (tel que le proposent les *situations-problèmes* dans la construction du questionnement ou les *problèmes*

---

<sup>45</sup> Cette notion de *problème* mérite encore d'être précisée. C'est ce que nous proposons de faire dans le chapitre suivant.

*ouverts* lors de la validation des solutions) participe favorablement à la construction d'un questionnaire.

Ces différentes hypothèses nous serviront avant tout à concevoir notre dispositif de recherche<sup>46</sup>. En effet, ces hypothèses, fondées théoriquement et empiriquement, nous permettent de définir les composantes de base, nécessaires pour un dispositif didactique favorable à l'appropriation de démarches d'investigation de la part des élèves.

En soi, ces hypothèses ne correspondent pas, à proprement parler, à nos *hypothèses de recherche*, dans le sens où cette thèse ne cherchera pas à les mettre rigoureusement à l'épreuve. En effet, nous ne cherchons pas à évaluer l'efficacité du dispositif en tant que tel, bien que nous y apporterons des éléments de réponse sur la base de nos observations générales. Nous cherchons à observer de près les effets que peuvent avoir ces différentes composantes sur les investigations des élèves, en partant du postulat que le dispositif ainsi conçu nous *permet* cette observation.

Il reste maintenant à définir plus précisément ce que l'on chercherait à "provoquer" du côté des élèves, ce que l'on souhaiterait qu'ils apprennent à travers ces « activités d'investigation ».

De manière générale, il ressort une volonté de permettre aux élèves de « travailler des problèmes », qu'ils soient mathématiques, scientifiques, technologiques ou sociaux-environnementaux. Or, il semblerait que le « travail du problème » ne soit pas considéré sous le même angle suivant les cas.

Afin de définir précisément l'objet de notre recherche –le processus d'élaboration d'un problème de la part des élèves–, nous avons commencé par étudier les *objets d'analyse* habituellement traités par les études se portant sur les activités de résolution de problème. Plusieurs questions ont guidé notre analyse : *Comment est perçu le travail du problème à travers les différentes situations d'apprentissage ? Sur quoi se penchent les études lorsqu'elles observent les élèves travailler autour de problèmes ?*

## 2.5 Le concept de problème

De manière générale, il semble que la notion même de problème prête à confusion. Effectivement, si l'idée de problème est très largement répandue dans le cadre scolaire et académique, elle cache de nombreuses significations qui ne soutiennent

---

<sup>46</sup> Le dispositif est présenté au chapitre 2 Méthodologie.

pas les mêmes perspectives épistémologiques, psychologiques, pédagogiques et didactiques (Fabre, 2009)<sup>47</sup>.

Après avoir présenté dans les chapitres précédents les différents dispositifs didactiques proposant diverses *mises en scène* de problèmes de différentes disciplines (SVT, maths, technologie, etc.), nous proposons ici de clarifier le concept de problème et de problématisation sous un angle plus théorique.

Cet exercice nous permettra de répondre à notre deuxième question générale :

***Sous quel angle observer le « travail du problème » par les élèves ? Qu'est-ce que « problématiser » ?***

### **2.5.1 Différents points de vue sur la problématisation**

Tout comme la notion de problème, le concept de *problématisation* est elle aussi polysémique et fait référence à plusieurs cadres théoriques de référence. Même au sein d'un regroupement de recherche, les significations et les implications didactiques et pédagogiques varient (Orange, 2005a). Des tentatives d'explicitation théorique ont été entreprises concernant ce concept, visant à clarifier les points de vue psychologiques, épistémologiques et didactiques (Fabre, 1999 ; Boilevin & Dumas-Carré, 2001). Le champ de recherche qui traite de cette thématique nous permet en effet de mettre en lumière plusieurs points de vue pertinents à prendre en compte dans notre questionnement.

Tout d'abord, le point de vue psychocognitif s'intéresse à l'activité du sujet résolvant le problème en considérant le processus de résolution, l'élaboration de la solution (Weil-Barais, 1991). Dans une logique constructiviste, *l'instabilité* liée à l'existence du problème à résoudre semble fournir une situation particulièrement favorable à l'apprentissage (De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 1996).

Toujours du point de vue de l'élève, il est fréquent que les études se portent sur la représentation que le sujet se fait de la tâche. Dans ces perspectives, proposer un problème à la classe exige tout un travail didactique de *dévolution* (Brousseau, 1998) pour que celui-ci représente un vrai problème pour les élèves et qu'ils puissent se l'approprier.

Autour de la question première : *qu'est-ce que problématiser ?*, de nombreuses autres questions peuvent surgir (Fabre, 2009). Du point de vue de l'élève : Quels processus de pensée sont en jeu dans une démarche de problématisation ? Ces processus sont-ils nécessairement les mêmes dans toutes les disciplines ? Comment les caractériser lorsqu'il s'agit d'entrer dans un projet de recherche, notamment dans les sciences ou

---

<sup>47</sup> Par exemple, Fabre (1997) tente de cerner les ambiguïtés de l'idée de situation-problème et mesure bien souvent la perplexité, voire le désarroi que le flou pédagogique ou didactique génère chez les enseignants.

la technologie ? Que peut-on raisonnablement attendre d'un élève en la matière ? Quels obstacles un élève rencontre-t-il pour problématiser, et pour faire cet apprentissage ?

Comme le fait remarquer Orange (2005a), une différence remarquable concerne la façon dont *le travail du problème* est envisagé, plus exactement « *ce que l'élève doit faire entre la question qui lui est posée, d'une manière ou d'une autre, et la résolution du problème* »<sup>48</sup>.

Pour certains la problématisation correspond au développement d'un questionnement (Toussaint et Lavergne, 2005). D'autres la définissent par la formulation et la représentation des problèmes par les élèves (Girault et Lapérouse, 2005), ou encore, dans le cas des problèmes ouverts en physique, il s'agit pour les élèves d'exprimer des questions en termes de concepts physiques par une modélisation du problème (Boilevin, 2005).

Albe (2005) indique que, pour les problèmes socio-scientifiques que les élèves étudient à travers le jeu de rôle, la problématisation correspond à l'élaboration collective d'un ensemble de représentations de la controverse. Beorchia (2005) et Lhoste (2005) traitent en particulier du *débat* en classe dans l'activité de problématisation, la première visant à suivre le parcours cognitif des élèves au cours du débat, le deuxième analysant du point de vue langagier, la construction et la négociation des schématisations de solutions possibles.

Fabre (1999) repère trois formes d'enseignement ou modèles d'apprentissage qui définissent chaque fois un statut différent au problème en milieu scolaire : la pédagogie de la réponse (ou de la compréhension), celle de la résolution de problème et celle de la problématisation (ou de la construction du problème). Pour l'auteur, c'est la *détermination* du problème qui s'avère capitale pour l'apprentissage. En effet, pour l'enseignant, dans une pédagogie de *construction* du problème, l'objectif n'est plus seulement que les élèves trouvent la solution au problème posé mais bien qu'ils construisent une problématique pertinente par rapport à la question traitée. De plus, « *l'idée ne peut s'évaluer en termes de vrai ou de faux (à moins de porter le vrai et le faux au niveau des problèmes eux-mêmes !), mais en terme d'intérêt, de fécondité. D'une idée on ne se demande pas d'abord si elle est vraie mais si elle est féconde... si elle permet d'avancer* » (Fabre, 1999).

Pour Fabre & Orange (1997), c'est avant tout la construction et la reconstruction des problèmes par l'apprenant qui doivent être étudiées par les didacticiens et travaillées en classe. Dans ce cadre, le problème correspond au savoir scientifique en jeu, aux *savoirs problématisés* (Fabre, 1999 ; Orange, 2000). « *Les élèves, armés de leurs connaissances, peuvent être confrontés à des événements qui font problème (...). Cela peut se faire spontanément dans ou hors de la classe, ou être provoqué, par exemple*

---

<sup>48</sup> Le n°40 de la Revue Aster dédié au problème et à la problématisation (2005) est un bon exemple de cette hétérogénéité.

*au cours d'une situation-problème. Entre ce problème qui apparaît à l'élève et le problème résolu, il y a tout un processus, fondamental, qui est généralement peu étudié en didactique, et qui consiste en une construction ou une reconstruction du problème, ou problématisation. Ce processus transforme le problème perçu en un problème construit ou, plus généralement, en un ensemble articulé de problèmes construits (problématique) ».*

Toujours selon Fabre et Orange (1997) le processus de construction du problème implique la définition concrète par l'élève d'un *espace-problème*, laquelle aboutit à une *représentation* du problème. Définir un espace implique alors de définir un ensemble de « possibles » et de « nécessités » propre au problème scientifique en jeu. Ici, le problème en question se limite au problème scientifique *pur*, au « savoir problématisé » à construire. L'idée plus générale de *représentation de la tâche* n'est par contre pas considérée dans le processus.

Musquer (2009) reprend le concept d'*espace problème* pour illustrer le décalage qui peut exister entre la proposition pensée par l'enseignant et sa compréhension par l'élève. Plus précisément, elle tente d'identifier « *cet écart entre l'espace problème de recherche et l'espace tâche de recherche* ». En effet, à lecture d'un problème, chaque élève construit un *espace problème de recherche* et exécute une *procédure* qui lui est associée, mais chaque problème renvoie à un *espace tâche de recherche* (*symbolisation experte*) plus ou moins éloigné de celui élaboré par l'élève.

Dans le processus de construction et reconstruction du problème en vue des savoirs problématisés, Orange propose une schématisation de la modélisation, qui considère trois registres : le registre empirique, le registre explicatif et le registre des modèles (ou registre interprétatif)<sup>49</sup>.

---

<sup>49</sup> Ce modèle se rapproche du modèle de Martinand (1996) qui distingue : 1) *la matrice cognitive*, regroupant à la fois les paradigmes épistémiques (conceptions de ce que doit être la connaissance, les formes des « bonnes pratiques » théoriques ou empiriques) et les ressources théoriques (langages, schémas, théories) ; 2) *l'élaboration représentative* (les modèles ou les concepts) et 3) *le référent empirique* (les phénomènes).

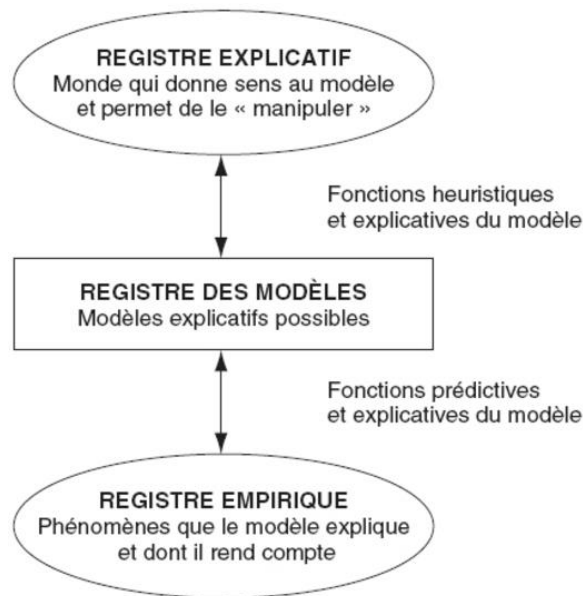


Figure 2 Problématisation, Orange (2006)

Pour Orange Ravachol, construire le problème est plus que le représenter ou le modéliser, c'est s'engager dans un processus rationnel correspondant à une exploration du possible, de l'impossible et du nécessaire. Et « *cet accès aux nécessités –pas simplement « savoir que » mais « savoir pourquoi cela ne peut pas être autrement »– caractérise le dépassement de la connaissance commune et l'accès aux savoirs scientifiques* » (Orange Ravachol, 2005). Dans ce cadre, la problématisation des élèves, comme celle des scientifiques, peut être représentée par « *des espaces de contraintes qui mettent en tension registre empirique et registre des modèles* ».

Analysant le concept de paradigme de Kuhn (1962), Rumelhard (2005) affirme que « *la pensée scientifique s'exerce, à un moment précis du travail, dans un contexte donné, à l'intérieur de contraintes qui déterminent les problèmes qui méritent attention. Le paradigme délimite également le jeu des possibles dans la recherche de solutions* ». Enfin, Orange (2005a) relève que « *le cadre dans lequel les élèves pensent un domaine scientifique* », qu'il soit nommé *paradigme* (Kuhn, 1962), *cadre épistémique* (Piaget et Garcia, 1983) ou *registre explicatif* (Orange Ravachol, 2005), a une grande importance pour comprendre comment ils construisent des problèmes

### 2.5.1.1 *Un regard particulier sur l'épistémologie du problème et de la problématisation*

Un point de vue complémentaire intéressant se réfère à l'épistémologie et à la philosophie des sciences et met en évidence l'activité du scientifique, du chercheur, en tant qu'activité de résolution de problème (Fabre, 2007, 2009). Nous proposons ici de développer un peu plus ce point de vue.

Plusieurs écrits de Fabre (2007, 2009) apportent un bon éclairage sur l'héritage de la pédagogie et de la didactique actuelle. L'auteur propose de construire un paradigme commun de la notion de problème qui regroupe diverses sources philosophiques et qui intègre les apports de la didactique et de la pédagogie (2009).

Pourquoi les cours de sciences s'organisent le plus souvent autour de la diffusion des *réponses* qui ne répondent plus à aucune question ? Des réponses qui occultent même leur caractère de réponses ? Des réponses qui ne sont susceptibles d'alimenter aucun questionnement ? Certes, c'est la tradition, l'évidence pédagogique même. Toutefois les nouveaux programmes, quels que soient le pays ou les formations innovantes, ne parviennent pas à transformer ces habitudes bien ancrées.

Partant du constat que les savoirs scolaires sont couramment présentés sans aucune relation aux problèmes dont ils constituent pourtant les réponses, Fabre (2007) tente de saisir l'origine de cette tendance à réifier les savoirs, afin de mieux comprendre les difficultés que possède l'école à faire valoir la place et le sens du problème dans la pratique quotidienne en dépit des injonctions officielles et des multiples sollicitations pédagogiques.

En étudiant quatre philosophies du problème –Dewey (1933, 1938), Bachelard (1938, 1949), Deleuze (1968, 1969) et Meyer (1979, 1986)– il est possible de retracer les genèses épistémologiques du paradigme du problème. Si chacune de ces philosophies sont différentes par leurs finalités, leurs principes et leurs présupposés convergent manifestement vers une définition commune des critères de la *problématisation*. Sans approfondir les différentes philosophies, quelques idées sont à retenir dans cet exercice d'articulation entre épistémologie et pédagogie.

Tout d'abord, le problème chez Dewey désigne une rupture dans la continuité de l'expérience, ou encore un déséquilibre entre le sujet et son milieu. Et l'*Enquête*, comme concept spécifique de la problématisation, est une opération visant à rétablir l'équilibre perdu. « *L'Enquêteur n'est pas cette éponge empiriste qui s'imprègne du milieu, Il est plutôt l'homme d'expérience* ». Ainsi, la problématisation vise, dans la dialectique d'indices et de preuves, à « *déterminer ce qui ne l'est que très partiellement* », à relier les éléments épars d'une situation, à l'unifier en un tout cohérent. Dewey (1933, 1938) met au point « *une méthode du problème* » en cinq points.

La première étape de cette méthode, intitulée reconnaissance du problème, commence par quelques situations empiriques<sup>50</sup>. La deuxième étape, définition de ce problème, concerne la rencontre avec une difficulté. La troisième étape réside dans l'analyse des données qui peuvent induire une solution à travers les expériences passées. A travers ces données, une hypothèse peut être formulée « *en vue de restaurer la continuité interrompue de l'expérience* ». Pour cela, il est nécessaire d'envisager les

---

<sup>50</sup> Pour l'éducation des enfants, ces activités ont pour source essentiellement les activités de la maison et de l'environnement.



conséquences probables, les résultats possibles. Enfin, la dernière étape réclame que l'on mette l'hypothèse à l'épreuve de l'expérience.

Ensuite, pour Bachelard (1938, 1949), l'objectif de la problématisation est moins de rétablir un équilibre que de *renouveler* la pensée en retravaillant sans cesse « le passé de la pensée » : les représentations, les préjugés, le savoir en place, « le savoir mort ». Dans une dialectique maître/élève la formation d'un « esprit scientifique » est liée de près à l'exercice de la problématisation, gouvernée par une éducation à la rigueur.

Se libérer des dogmes qui réduisent la pensée à redécouvrir le déjà-là, penser autrement, rejeter l'assimilation de l'idée à un modèle, caractérise « *l'anarchisme théorique et créatif* » de Deleuze (Fabre, 2009). « *Faire de la philosophie, c'est constituer des problèmes qui ont un sens et créer les concepts qui nous font avancer dans la compréhension et la solution des problèmes* » de notre époque. Sa philosophie s'articule autour de cette *déconstruction* qui en réalité constitue une puissante critique de la raison pédagogique dans la mesure où « *l'école traditionnelle apparaît comme la matrice d'une image dogmatique de la pensée privilégiant les réponses sur les questions et ignorant le domaine du sens. C'est encore l'école qui accrédite cette division intellectuelle du travail, lourde de présupposés politiques, selon laquelle il revient à l'autorité de poser et de construire les problèmes et aux subordonnés de les résoudre sans pouvoir contester la manière dont ils sont énoncés* » (Fabre, 2009). A partir de cela, Deleuze élabore une philosophie de l'invention dans laquelle créer, inventer, apprendre, c'est effectuer ou ré-effectuer la genèse des solutions à partir de la détermination progressive des problèmes. « *Créer, c'est déployer les devenirs d'une structure instable ou métastable d'une problématique* » (Deleuze, 1968, 1969).

Birck (2009) complète ces idées en donnant un aperçu de la *pédagogie transformée* que Deleuze propose. Dans ce cadre, les problèmes, « *considérés dans l'acte libre de leur position ou de leur création (...) ordonnent alors le mouvement de l'apprendre et la genèse d'une vérité produite plutôt que reçue ou reconnue* ». Perspectives qui, à nouveau, diffèrent largement des problèmes généralement présentés à l'école, le plus souvent envisagés sous la seule perspective du *résultat*, c'est-à-dire de leur *résolution*, en vue de l'acquisition d'un savoir, de sorte que reste méconnu ce que sont les problèmes *en tant que tels*.

Firode (2009) vient compléter ce questionnement en présentant des éléments de la pensée poppérienne au sujet du concept de problème. Pour Popper (1985), la solution ne consiste pas à ramener l'inconnu au connu mais au contraire à « expliquer le connu par l'inconnu », à produire une « conjecture audacieuse », une invention théorique que rien ne laissait prévoir. A la différence des problèmes, les solutions ne sont donc jamais découvertes, mais *inventées*. Il en résulte qu'il n'y a chez Popper aucune « méthode de résolution de problème », aucune « théorie de l'enquête », aucun « art de bien poser les problèmes » qui serait en même temps celui de les résoudre. La méthode, ce que Popper appelle la « logique de la découverte scientifique » (Popper,

1973), consiste uniquement dans le processus de *sélection* critique des solutions. Elle ne dit rien de leur production, qui échappe à toute régulation méthodologique.

Dans la pédagogie canonique de la « situation-problème », fortement présente à l'école et dans les secteurs de formation, le problème apparaît essentiellement comme un « *instrument d'action psychologique* », nous explique Firode. S'écartant radicalement des théories considérant l'action pédagogique comme moyen de transformer l'état mental (les représentations des élèves), l'auteur présente alors une *pédagogie du problème*, tout comme l'épistémologie poppérienne, « *résolument anti-psychologiste, aux antipodes de la réduction du pédagogique au psychologique qui résulte actuellement du règne de la psychopédagogie sur la pensée de l'éducation* ».

Pour lui, « *un enseignement soucieux de donner une exposition réellement problématisante des savoirs ne devrait pas seulement veiller à les présenter comme réponse à un problème, mais aussi toujours en même temps comme producteurs de nouveaux problèmes* ». Proche de la *pensée rationnelle* de Popper, l'auteur rejoint l'idée d'apprentissage comme processus dynamique d'approfondissement des problèmes, plutôt qu'une accumulation progressive de solutions ou « *comme un entassement au fil des ans de connaissances positives* ». De ce point de vue, l'auteur conclut que le moteur de l'apprentissage y serait moins le désir de posséder des réponses closes et définitives que de rencontrer des questions intellectuellement toujours plus stimulantes.

En s'appuyant sur certains développements de la tradition philosophique et pédagogique allemande, Goubet (2009) tend à rapprocher la problématisation de l'*esprit objectif*, sans nier les aspects subjectifs de la découverte ou de la résolution de problème. « *La résolution d'un problème n'est pas toute entière expression de soi, activité par sa propre initiative en vue d'exercer des savoir-faire, d'acquérir des compétences. Il faut aussi y surmonter un contenu primitivement étranger, se former dans la formation d'une matière résistante* ». Il déplore que l'*objectivité du problème* soit souvent occultée par les prismes d'analyse psychologiques et cognitivistes présents habituellement dans le cadre scolaire.

Fabre (2007) propose d'aborder la *problématologie* de Michel Meyer (1986) qui dénonce « *le refoulement du problème* » sous-tendant la pensée philosophique, épistémologique et logique depuis Platon, « *aussi bien l'empirisme que le rationalisme kantien et jusqu'à l'épistémologie néo-positiviste contemporaine* ». Pour Meyer (1986), tout commence depuis Platon avec le dilemme du *Menon*, une impasse logique inaugurant l'oubli du problème et détournant le questionnement de sa fonction heuristique. En deux mots, l'argument du *Menon* se décrit en ces termes : si en effet je sais déjà ce que je cherche, toute recherche est inutile. Mais si je ne le sais pas, alors la recherche est impossible. Car je ne sais quoi chercher et à supposer que je trouve quelque chose, je ne pourrais savoir si ce que j'ai trouvé correspond bien à ce que je cherchais. Dans ce paradigme, la question n'a alors d'autre fonction que de déclencher la réponse, laquelle n'a de valeur qu'en elle-même et pour elle-même et

sans rapport au questionnement. « *Cet oubli des problèmes atteint la conception-même de la pensée dans le propositionnalisme de la logique aristotélicienne et frégréenne, dans la mesure où elles s'ingénient à évacuer de la proposition toute trace de questionnement* » (Fabre citant Meyer, 2007).

Selon Meyer (1979), l'épistémologie a cette tendance à décontextualiser la base empirique des savoirs de leur cadre théorique et à privilégier la question de la justification par rapport à celle de la découverte. Plus précisément, le postulat positiviste est celui-ci : il existe des faits que l'on peut établir tels quels. Une fois établis, ils peuvent ensuite être compris et expliqués scientifiquement. La Science apparaît ainsi comme un ensemble de questions résolues et de faits établis. La primauté des *résultats* fait disparaître l'importance du *processus* par lesquels ils ont pourtant été construits. De plus, peut-on séparer les faits de leurs interprétations ? Meyer conteste non seulement cette « autonomie plus que relative » entre empirisme et théorique - comme si les deux pouvaient se construire indépendamment l'un de l'autre -, mais aussi la « suprématie de la justification » sur l'activité de production.

Avec la « problématologie », Meyer (1979, 1986) élabore une épistémologie de la découverte qui prolonge la *Théorie de l'Enquête* de Dewey (1938). Les concepts fondamentaux de la démarche scientifique (les idées d'explication, de causalité, etc.), sont repensés dans une théorie dite du *questionnement*.

Plus généralement, un deuxième aspect notable de l'épistémologie est sa difficulté à penser la recherche autrement que comme processus psychologique d'invention, explique Fabre (2007). En effet, le psychologisme considère bien le moment de la découverte mais il le réduit à un phénomène purement subjectif : un mélange de hasard, d'intuition et de créativité, voire de génie. Or, pour Meyer (ibid.), le niveau problématologique possède une dimension objective, une forme de rationalité propre, irréductible à la logique déductive de la justification.

Sans poursuivre de grandes réflexions, il apparaît que l'histoire de la philosophie et l'épistémologie sont fortement marquées par cet « oubli du problème »<sup>51</sup> et cette « chosification des savoirs » ; ses conséquences paraissent immenses sur le savoir en général et sur le savoir scolaire en particulier (Fabre, 2007).

En bref, tout savoir constitue bien une réponse, mais cette réponse, une fois obtenue, refoule la question à laquelle elle répond en occultant du même coup son caractère de réponse. Elle paraît alors subsister en soi, valoir de soi. « *Les réponses ainsi oubliées des questions paraissent décrire le réel, tel qu'il se donne immédiatement et indépendamment de toute enquête. Comme s'il était évident, de toute éternité, que*

---

<sup>51</sup> Quelques philosophes pédagogues comme Tozzi (1992, 2001) ont bien essayé dans leur enseignement d'induire une problématisation. Toutefois dans le rituel de la dissertation philosophique, celle-ci reste malgré tout très artificielle.

*la Terre tourne autour du soleil, que les trajectoires des planètes soient elliptiques (...)* ».

De plus, comme le souligne également Astolfi (1993), l'école est à la fois déconnectée de l'origine de la production du savoir et de son application dans les problèmes effectifs de la recherche ou du travail, ce qui fait qu'elle tend toujours à valoriser cet état intermédiaire, « neutre » du savoir, produisant ainsi des savoirs coupés de toute référence aux problèmes. Pour reprendre les mots de Fabre, le problème scolaire se réduit, faute de penser ce caractère « problématologique » du savoir, à n'être qu'un artifice pour enclencher l'apprentissage. Lorsque le problème n'est que l'occasion d'apprendre et disparaît tout entier dans la solution trouvée, le savoir retrouve son statut propositionnel classique. « *La critique de la réification du savoir questionne donc toute pédagogie du problème qui ne pense pas le savoir scolaire comme problématologique, c'est-à-dire comme ayant son fondement, et pas seulement son occasion, dans les problèmes* » (Fabre, 2007).

Ainsi, la critique de la « chosification » du savoir scolaire ne reprend donc pas l'opposition classique entre les mots et les choses, la théorie ou la pratique. Il s'agit de définir un équilibre. En effet, les pratiques donnent bien du sens au savoir, mais en le contextualisant, elles risquent de lui faire perdre son caractère général et sa puissance heuristique. Les textes au contraire décontextualisent bien le savoir pour le rendre disponible pour d'autres pratiques, mais risquent de le « chosifier » (Fabre, 2007).

Une des propositions principale de Meyer est de contrer le dogmatisme scolaire en travaillant *la dialectique de contextualisation et de décontextualisation* du savoir, c'est-à-dire en n'omettant pas de considérer le savoir à la fois comme réponse à une question et base pour un nouveau questionnement.

Une deuxième proposition notable de Meyer (1986) est de restaurer le pouvoir heuristique du questionnement dans une logique de la recherche, en commençant par faire une *distinction problématologique* entre *savoir répondre* et *savoir questionner*. Toute problématisation exige un savoir des questions distinct du savoir des réponses.

Dans ce sens, problématiser serait travailler suffisamment la question pour pouvoir anticiper et la forme et le contenu des réponses possibles. Autrement dit, « *problématiser c'est prendre les risques calculés d'un saut dans l'inconnu* ».

C'est dans ce sens que Fabre met en lumière la « *triple exigence* » de l'enseignement « *il revient, tantôt de revitaliser le savoir en réeffectuant le questionnement qui lui a donné naissance, tantôt au contraire de refouler temporairement ce questionnement originel pour que, ce qui était réponse devienne alors la base d'un nouveau problème et tout ceci sans que le savoir ne retombe pour autant dans cet état intermédiaire ou neutre dans lequel il se chosifierait* » (Fabre, 2007).

Pour conclure, il est ainsi possible de définir les implications pédagogiques de ces idées-clés dans la conception même des dispositifs didactiques en matière de

situations-problèmes. Ceci éclaire d'une part la nature de l'activité de problématisation, à accompagner chez les élèves en tant que *travail de la question* et anticipation approximative des réponses possibles. D'autre part, cela permet de considérer la façon d'aborder en classe non seulement les savoirs de références – l'idée de savoirs problématisés– mais aussi les propositions des élèves lors d'activités de résolution de problèmes, comme base pour l'élaboration de nouveaux problèmes.

### 2.5.2 Les compétences en résolution de problème

L'éclairage théorique sur la problématisation ayant été apporté, nous pouvons à présent présenter l'état de la recherche empirique sur la pratique du problème et les types d'apprentissage qui lui sont liés.

Tout d'abord, nous pouvons distinguer les études qui se portent sur les capacités de résolution de problème de celles qui se concentrent sur la construction ou l'acquisition de concepts disciplinaires. D'un côté le « problème » qui est travaillé concerne la tâche donnée aux élèves, présentée sous la forme d'un problème. De l'autre, le problème concerne le savoir scientifique en jeu dans la tâche, parfois elle aussi présentée sous forme problématique.

Les principales recherches en didactique des sciences, relatives à l'expérimentation dans l'éducation scientifique, se centrent le plus souvent sur l'acquisition de savoirs conceptuels (Giordan, 1987, 1998 ; De Vecchi et Carmona-Magnaldi, 1996 ; Astolfi et al, 1998, 2005 ; Driver, 1994 ; Orange, 2003, 2005a, 2005b), parfois sur l'acquisition de démarches méthodologiques (Giordan, 1978 ; Cariou, 2009 ; Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1991 ; Roth & Roychoudhury, 1993), et de compétences techniques (Clarke & Fujimura, 1996) ou sur le développement d'opérations mentales (Host, 1980 ; Pauker & Roy, 1991). Plus rares sont celles qui proposent un regard sur les situations expérimentales favorisant le questionnement des élèves (Giordan, 1999, 2002 ; Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1998 ; De Vecchi, 1996).

Ensuite, la plupart des activités de résolution de problèmes sont justifiées comme étant des activités favorisant des capacités de résolution de problèmes. Or, tant au niveau empirique que théorique, peu de pistes sont données pour *évaluer ces compétences* chez les élèves. Plus largement, il semble que peu d'outils soient proposés pour *analyser le processus* de résolution de problème en termes de démarche du point de vue des élèves.

Quelques références peuvent toutefois être citées en mathématiques. Notamment, les travaux de Julo (1995, 2002) traitent des méthodes de résolution de problèmes en mathématiques et se penchent plus particulièrement sur le processus de construction de la représentation de problèmes. Tout d'abord, il met en lumière trois processus qui interagissent de manière simultanée dans la représentation des problèmes –et non de manière linéaire– (1995), qui peuvent se résumer ainsi :

1. Le *processus d'interprétation et de sélection*. L'individu se construit une représentation du problème à partir d'un contexte sémantique qu'il lui faut interpréter pour avoir accès aux informations nécessaires à la résolution, celles-ci n'étant généralement pas visibles d'emblée. Les connaissances a priori guident cette interprétation.
2. Le *processus de structuration*. La représentation d'un problème ne se construit pas de façon juxtaposée, mais elle forme un tout cohérent qui se structure ; c'est aussi pour cela qu'il ne s'agit pas seulement d'apprendre des éléments juxtaposés pour réussir.
3. Le *processus d'opérationnalisation*. C'est le processus qui permet le passage à l'action effective (calculs, tracés, etc.) ou mentale (déductions, etc.). Ce passage à l'action résulte de la mise en œuvre de connaissances.

Ensuite, l'auteur défend l'idée selon laquelle les capacités de résolution de problèmes peuvent s'apprendre en classe, en particulier en proposant des aides à la représentation de problèmes (2002) permettant aux élèves de mieux identifier le type de problème auquel ils sont confrontés. L'intention est d'aider à la représentation de problèmes, de favoriser autant que possible l'émergence d'une démarche d'invention de procédure, et la réussite dans la résolution du problème. C'est d'ailleurs ce qui définit pour Julo une authentique résolution du problème : « *d'abord on ne peut pas réaliser le but proposé au moyen d'une application plus ou moins routinière de ses connaissances procédurales, ensuite on trouve soi-même, sans guidage, un moyen de réaliser ce but* » (ibid.).

De plus, les processus spécifiques de l'activité de résolution de problèmes ont un versant opératoire (les stratégies de résolution) et un versant représentationnel (les schémas de problèmes). L'auteur distingue alors plusieurs sortes de schémas de problèmes. La mémoire de « schémas de problèmes » (Julo, 2002) facilite le processus essentiel de structuration. Elle se forme à partir des différents problèmes que l'élève rencontre, des représentations qu'il construit et des analogies qu'il perçoit. Dans ce sens, il n'existe pas de méthodologie générale de résolution, car chacun recourt à une mémoire personnelle des problèmes (Houdement, 2003). A partir de l'hypothèse que les représentations construites lors de la résolution de différents problèmes s'organisent progressivement en schémas de problèmes, Julo (2002) propose aussi quelques éléments d'ingénierie qui enrichissent les réflexions au sujet des pratiques de tutorat et d'étayage.

#### 2.5.2.1 *Entre appropriation, définition et compréhension du problème*

Une partie des études qui s'intéressent aux compétences de résolution de problèmes se sont penchées en particulier sur la capacité des élèves à *définir un problème*. Par

exemple, la question de la lecture et de la compréhension de l'énoncé fait sujet d'étude depuis près de 15 ans en mathématiques (Duval, 1992 ; Peroz, 2000 ; Moulin, 2010 ; Peltier-Leculée & Sayac 2004 ; Houdement, 2003 ; Coppé & Houdement, 2002).

Dans le cas des problèmes ouverts en mathématiques, la définition du problème correspond au moment où, dans le processus de résolution, les élèves s'emparent du problème une fois énoncé. Il s'agirait d'une phase préalable, distincte de la phase de résolution, liée à la lecture de l'énoncé du problème qu'il s'agirait de « régler » avant de pouvoir définir des stratégies de résolution. Lorsqu'on souhaite que les élèves *s'approprient* le problème, on entend par là qu'ils *comprennent* correctement l'énoncé avant de pouvoir le résoudre efficacement. Ici, définir un problème pour l'élève signifie plus exactement définir la *tâche* qu'il doit exécuter.

Dans ce sens, plusieurs études se portent sur la capacité de l'élève à sélectionner les bonnes informations et à rejeter les informations inutiles à la résolution du problème. Dans la pratique du problème ouvert en mathématiques par exemple, un temps est prévu en début de séquence pour s'assurer que tous les élèves ont bien compris l'énoncé et que tout le monde puisse partir d'une représentation identique de la tâche à réaliser.

Par exemple, Gilbert (1992) s'est particulièrement intéressé au travail de questionnement en classe de sciences et souligne l'importance de la façon dont sont posées et formulées les questions de départ dans les activités de résolution de problèmes. A ce titre, et en faveur des enseignants, il propose une taxonomie de référence pour la rédaction de questions.

Peroz (2000) participe à cette réflexion sur la lecture des énoncés mathématiques, et, sans tenir compte de leur difficulté sur le plan proprement mathématique, l'auteur tente d'analyser les difficultés liées à la formulation des énoncés. Il se propose de vérifier si des outils linguistiques, ordinairement utilisés dans l'étude des textes, peuvent aider à identifier les lieux de confusion possibles et à apprécier le degré de difficulté des énoncés.

En outre, Moulin (2010) fait l'hypothèse qu'une bonne résolution de problème commence avant tout par une bonne lecture de l'énoncé et se questionne sur les moyens d'amener les élèves à lire les énoncés, de manière à leur permettre par la suite de raisonner pour résoudre les problèmes sans recourir à des procédures automatiques. L'auteur propose de travailler avec les élèves autour d'un contrat de lecture des énoncés de problèmes de mathématiques.

Convaincues de l'importance de la lecture des énoncés, Peltier-Leculée & Sayac (2004) rendent compte d'un travail spécifique qui vise à permettre aux élèves d'améliorer leur représentation de la situation. Elles proposent un dispositif qui associe un protocole de questionnement de texte à la résolution du problème.

Bien qu'il porte principalement sur les mathématiques, cet éclairage nous semble pertinent pour plusieurs raisons.

Du point de vue du dispositif didactique à mettre en place, il souligne l'importance de la présentation du problème et de son impact sur la compréhension et la représentation que l'élève s'en fera. Ceci nous mène à penser que la façon dont un problème est présenté aux élèves, la façon dont les différents éléments du problème sont mis en mots, voire « mis en scène » joue un rôle important, dès le départ, dans le processus de problématisation de l'élève et oriente fortement les investigations qui en découlent. Toutefois, relevons que dans le cadre de recherche présenté, si l'enjeu pour l'élève est de *bien comprendre* l'énoncé, cela sous-entend qu'il n'y a qu'*une façon* de comprendre le problème présenté. Des divergences dans la représentation du problème sont ici considérées comme des biais ou des freins à la réussite de l'élève.

Il faut préciser que les orientations de ces recherches visent plus à développer des capacités de *reconnaissance* de problèmes types que sur des capacités de *construction* de problèmes non définis et complexes.

#### 2.5.2.2 *Entre construction de notions et construction de compétences*

Une question intéressante soulevée dans ce cadre de recherche en mathématiques est de définir si les compétences de résolution de problèmes devraient ou non être développées indépendamment des savoirs disciplinaires.

Un groupe de recherche (Balmes & Coppé, 1999 ; Houdement, 1999 ; Coppé & Houdement, 2002) défend une position centrale de la résolution de problèmes pour l'apprentissage des mathématiques à l'école. Le groupe a réalisé plusieurs études sur les activités des manuels de mathématiques dans la rubrique « résolution de problèmes » (dont Hatier 1995, Nathan 1993) afin de mettre en lumière et en question les compétences visées en termes de résolution de problèmes. Plusieurs aspects importants sont soulignés par les auteurs.

Tout d'abord, Houdement (1999) aborde en particulier la question de la vraisemblance des énoncés, de la définition du problème de mathématique par rapport au problème en général, de la distance entre la problématique mathématique et celle du réel. Balmes et Coppé (1999) étudient plus particulièrement les chapitres concernant les aides méthodologiques à la résolution de problèmes. Les auteures relèvent une certaine uniformité dans les divers manuels de l'époque (Cycle 3). Les activités sollicitent des compétences transversales de résolution de problèmes d'ordre métacognitif et souvent dénuées d'intentions purement mathématiques : par exemple, définir ce qu'est un problème, repérer les données utiles, manquantes ou superflues, trouver des questions que l'on pourrait se poser à propos d'un énoncé, construire un énoncé à partir d'une opération, apparier des textes qui deviendront des énoncés et des calculs qui seront les solutions, etc.



Il semblerait que les objectifs des activités sont traités de manière isolée dans les activités (Balmes & Coppé, 1999). Et, comme le relève Rey (1996) rien ne dit que la juxtaposition d'activités visant une micro compétence permet au sujet de recomposer des compétences générales de résolution de problèmes. Ensuite, les manuels se focalisent le plus souvent sur la lecture et le tri des informations, entraînant « *une réduction des connaissances nécessaires à la résolution de problèmes aux informations à y lire pour le traiter* » (ibid.). De cette manière les problèmes présentés reflètent que très partiellement la variété des problèmes mathématiques. Enfin, il semblerait que de manière générale, les élèves travaillent sur les problèmes, sans les résoudre réellement.

De même, Houdement (2003) s'interroge sur la pertinence d'un découpage de l'enseignement en questions de lecture et de traitement de l'information avant de passer aux connaissances mathématiques en jeu, comme le préconisent certains manuels scolaires en mathématiques. Pour l'auteur, la question est certainement complexe. Une étude de situation-problèmes le mène à conclure que la résolution de problèmes n'est pas dissociable de la maîtrise des connaissances mathématiques nécessaires pour les résoudre.

En somme, ces différents auteurs convergent et concluent par la proposition d'éviter de traiter l'aide à la résolution de problèmes en dehors de cette même résolution.

### 2.5.2.3 *Entre formulation de problèmes et formulation d'hypothèses*

La plupart des articles ou ouvrages de référence portant sur les démarches d'investigation citent l'élaboration ou la validation d'hypothèses comme l'un des éléments clés de cette approche parmi d'autres (définition du problème, questionnement, observation, argumentation, etc.). Plusieurs références définissent l'élaboration des hypothèses comme *une étape clé* d'un processus linéaire ou cyclique, plus que comme une *composante transversale* du processus de recherche. Dans ce sens, la construction des hypothèses *suivrait* une phase de définition du problème et *précéderait* une phase de validation des hypothèses. Et, nous l'avons vu précédemment, l'expérience avec le monde tangible (par exemple l'expérimentation) est perçue comme moyen de validation des hypothèses permettant de trancher parmi les diverses hypothèses des élèves afin d'en extraire « la bonne ». Toutefois, on parle moins des moyens de favoriser l'imagination et la formulation de ces hypothèses. De plus, l'expérience concrète n'est pas perçue en soi comme utile pour formulation d'hypothèses. La formulation du problème se fait-elle de manière distincte de la formulation de solutions ? Qu'est-ce qui précisément dans l'activité d'investigation est susceptible de favoriser un travail d'élaboration et de formulation d'hypothèses ?

Quelques pistes peuvent toutefois être mentionnées, notamment chez Kochen & Badre (1973) qui se sont intéressés aux effets des investigations ouvertes sur le développement de la capacité à reconnaître, sélectionner et formuler des problèmes.

Les activités en question se déroulaient autour de problèmes non définis et inscrit dans un contexte réel : « *a problemator task that is generated in the real world rather than presented as a well-defined problem-statement of the kind encountered in textbooks or psychological laboratories* ». Les auteurs ont mesuré la capacité à formuler des problèmes et la qualité des questions d'élèves du primaire et d'étudiants. Les résultats suggèrent une corrélation entre la capacité à formuler des problèmes et la formulation d'hypothèses : « *children learn problem recognition and formulation if they are exposed to inquiry-provoking situations where they have to form hypotheses* » (ibid.).

Plus récemment, Tomkins & Tunnicliffe (2001) ont étudié les effets d'une activité d'observation prolongée et non dirigée (en laboratoire de biologie autour des écosystèmes) sur la production d'hypothèses chez les élèves. Les résultats indiquent entre autres que ce type de séance d'observation libre peut servir de base favorable pour l'élaboration d'hypothèses plus fines au moment d'investigations plus dirigées découlant ensuite.

En outre, Spires et al. (2011) démontrent<sup>52</sup> que l'*exploration* effective et la "navigation" dans l'espace des hypothèses lors d'une tâche de résolution de problème de sciences seraient propice à l'apprentissage de contenu scientifique, autant que des capacités de résolution : « *From the analysis, we concluded that hypothesis testing strategies play a central role in game-based learning environments that involve problem-solving tasks, thereby demonstrating strong connections to science content learning and in-game performance* » (Spires, Rowe, Mott & Lester, 2011).

Wenham (1993) souligne que la création d'hypothèses a beau être une partie essentielle de n'importe quelle enquête scientifique, aucun concept cohérent d'hypothèse ne peut pourtant être tiré de la littérature actuelle sur l'enseignement des sciences. Généralement, un concept de base est proposé, se référant au rôle de l'hypothèse comme « solution provisoire pour résoudre un problème ». L'auteur propose de développer et différencier ce concept en relation aux divers types de connaissances que l'enseignement des sciences cherche à promouvoir, lui permettant d'avancer l'idée que *reconnaître plusieurs types d'hypothèses* peut permettre de clarifier autant les objectifs que les méthodes de l'investigation scientifique à l'école.

Comme le relève Kyza (2009), si le concept de validation d'hypothèses (*hypotheses testing*) est largement répandu dans la littérature, l'étude des hypothèses alternatives (*alternative hypotheses*) a été beaucoup moins étudiée en éducation. Pourtant, « *the examination of alternative hypotheses can initiate students into scientific practices and equip them with scientific literacy skills that will help them participate in ongoing debates involving complex socio-scientific problems* ». Kyza contribue à ce corpus de

---

<sup>52</sup> Résultats d'une étude sur des étudiants du secondaire autour d'un concept de jeu interactif impliquant la résolution d'un "mystère scientifique" (*science mystery*) basé sur des contenus microbiologiques

connaissances en menant une étude<sup>53</sup> sur l'élaboration et la validation d'hypothèses alternatives (*generating and testing hypotheses*) de la part d'étudiants du secondaire dans une situation d'investigation autour d'un problème socio-scientifique complexe (*a data-rich, scientific problem*).

Dans l'ensemble les résultats sont plutôt significatifs au niveau des apprentissages, cependant l'idée que l'on peut retenir ici est que plusieurs problèmes épistémologiques ont fait surface concernant la perception de l'utilité de la recherche autour d'hypothèses alternatives dans la situation d'apprentissage. Kyza conclut en soulignant le rôle d'une réflexion sur les sciences accompagnant les investigations pour donner sens au débat, soit « *the importance of epistemologically targeted discourse alongside guided inquiry experiences, and (...) the need for further examination of appropriate scaffolding to support students' scientific reasoning processes* ».

Enfin, Flände (2003) teste deux séquences –autour de mesures de pendules– qui favorise une démarche de type expérimental et notamment la vérification expérimentale d'hypothèses portant sur l'éventuel rôle d'un facteur ou de plusieurs facteurs sur un phénomène. Il suggère la répétition de ce type d'activités expérimentales afin d'optimiser l'intégration des démarches qui lui sont liées.

#### 2.5.2.4 *Construction du problème et argumentation*

L'argumentation acquiert de plus en plus une place centrale dans l'enseignement des sciences en relation avec la résolution des problèmes autant en francophonie (Buty & Plantin, 2008 ; Orange, 2003b, 2012 ; Simonneaux, 2003) qu'en anglophonie (Newton et al., 1999 ; Duschl & Osborne, 2002 ; Kuhn, 2010). On peut relever deux types de justification pédagogique concernant l'engagement des élèves dans une argumentation scientifique : la première étant que l'argumentation est une pratique centrale des sciences, elle devrait donc être au cœur des sciences de l'éducation ; la deuxième est que la compréhension des normes de l'argumentation scientifique peut conduire les élèves à mieux comprendre les fondements épistémologiques des pratiques scientifiques. C'est sur ce point que Sandoval (2003, 2005) concentre ses recherches afin de comprendre comment les pratiques scientifiques de l'argumentation chez les élèves reflètent leur compréhension de la science (*student's epistemological ideas about science*).

Comme le dit Orange (2003b), l'importance des interactions langagières dans les pratiques scientifiques ne fait plus aucun doute, mais leur prise en compte dans une problématique didactique qui considère la spécificité des savoirs à construire n'est pas immédiate (Orange, 2003b). « *Il faut pour cela que les relations entre savoirs et langages soient organisées par des repères épistémologiques précis* » (ibid.).

---

<sup>53</sup> L'analyse se base sur les discours, les actions, les résultats de l'investigation, ainsi que les interactions avec l'enseignant et avec les camarades de six sujets.

Dans le cadre théorique de la construction des problèmes, plusieurs auteurs (Orange, 2005 ; Lhoste, 2005 ; Girault & Laperouse, 2005) se penchent sur le débat scientifique dans la classe sous le double aspect de la construction des raisons et de l'argumentation<sup>54</sup>. Le travail d'argumentation est dans ce cadre étroitement lié au processus de construction, de la part des élèves, de « problèmes scientifiques problématisés » (Fabre, 1999 ; Orange, 2000). Les nécessités fondamentales du problème en jeu dans les situation-problèmes (le plus souvent en SVT) sont présentes même si elles ne sont pas claires et explicites pour chacun des élèves (Orange, 2003b). L'objet central de ces études se porte davantage sur la construction par les élèves *des notions et concepts scientifiques* en jeu dans la situation, et moins sur la façon dont ceux-ci construisent une *démarche* d'investigation autour d'un problème.

Par ailleurs, pour Duval (1990, 1992), l'argumentation est une démarche dans laquelle des aspects très différents se trouvent étroitement associés, surgissant dans toute situation d'interaction sociale où il faut persuader un interlocuteur ou réfuter une thèse. Pour Plantin (1995, 1996), l'argumentation est une opération qui prend appui sur un énoncé assuré (accepté) –l'argument– pour atteindre un énoncé moins assuré (moins acceptable) –la conclusion. Argumenter, c'est donc adresser à un interlocuteur un argument, c'est-à-dire une bonne raison, pour lui faire admettre une conclusion et l'inciter à adopter les comportements adéquats. Les travaux de Plantin (1996) proposent une modélisation du discours argumentatif en quatre stades : point de vue, opposition, questionnement et arguments.

Si de nombreuses études ont été menées sur la construction d'arguments dans l'enseignement des sciences, seulement un petit nombre ont porté leur étude sur l'argumentation des élèves en situation de recherche lors d'une *activité expérimentale*.

Parmi les plus récentes, retenons particulièrement celles de Katchevich, Hofstein et Mamlok-Naaman (2013) qui s'intéressent au processus par lequel les élèves construisent leurs arguments en laboratoire de chimie, tout en menant divers types d'expériences. Elles ont constaté que les expérimentations en situation ouverte (*open inquiry*) peuvent servir de base potentiellement efficace pour le travail d'argumentation en raison des caractéristiques propre à cet environnement d'apprentissage : « *inquiry experiments have the potential to serve as an effective platform for formulating arguments* » (Katchevich et al., 2013). Contrairement aux discours formulés pendant des expériences de type démonstratif (*confirmatory-type experiments*), les discours des élèves lors des investigations (*inquiry-type experiments*) se révèlent très riches en arguments. De plus, « *the arguments, which were developed during the discourse of an open inquiry experiment, focus on the hypothesis-building stage, analysis of the results, and drawing appropriate conclusions* ».

---

<sup>54</sup> Mathé (2004) penche aussi son travail sur l'argumentation (en géométrie), et propose une revue de littérature sur l'argumentation.

Reiser, Berland, & Kenyon (2012) ont concentré leur observation en classe<sup>55</sup> sur l'explication causale et l'imagination de solutions (*constructing explanations and designing solutions*) ainsi que sur l'activité d'argumentation (*engaging in argument from evidence*). Après avoir examiné respectivement les deux pratiques, les résultats mènent les auteurs à la conclusion majeure que les deux dépendent l'une de l'autre : « *for students to practice explanation construction, they must also engage in argumentation* ». Ils ajoutent que l'argumentation peut aider à améliorer et renforcer les explications causales des élèves, et donc à favoriser la construction de connaissances « *we see that students arguing for their explanations can strengthen those explanations and help construct a consensus explanation* ». Visiblement, le fait d'être poussé à argumenter, à défendre ses arguments pour convaincre les autres et à tendre vers une explication consensuelle, mène les élèves à construire des explications plus élaborées, plus précises et plus en mesure de résister à d'éventuelles contradictions.

Les auteurs révèlent que les élèves s'engagent dans une réelle pratique scientifique qui se distingue de l'apprentissage de méthodes (*processes*) ou de compétences (*skills*) scientifiques : « *they were working to make sense of scientific phenomena rather than working to replicate the understandings communicated by a textbook or other authority* ». Les auteurs soulignent ainsi l'importance de considérer le rôle de la pratique de l'argumentation scientifique dans la construction de concepts explicatifs. A ce titre, Berland & Hammer (2012) indiquent de quelle manière le climat de classe peut soutenir l'engagement significatif des élèves dans une pratique scientifique : « *We, as educators, must create situations that enable students to interpret the practices of explanation and argumentation as something they could reasonably do to construct knowledge* ». Cela nécessite de se concentrer sur l'explication, la justification des idées, plutôt que seulement sur la précision d'une idée particulière (Sutherland et al. 2006). Dans ce contexte, on comprend que l'argumentation et la construction d'explications vont de pair.

#### 2.5.2.5 *La problématisation des problèmes complexes*

La problématisation des problèmes complexes<sup>56</sup> demanderait un état spécifique, mais ce point est peu développé en didactique des sciences. On trouve plus de recherches

---

<sup>55</sup> Les auteurs ont étudié des élèves de différents degrés (de 5 à 14 ans) dans des activités de sciences proposées dans le *Framework for K-12 Science Education* autour de divers sujets de sciences (condensation, chute des corps, tectonique des plaques et changement des populations).

<sup>56</sup> En psychologie, plusieurs études s'intéressent à la résolution de problème complexe. Je n'en proposerai pas ici une vue d'ensemble, mais citerai simplement Buchner (1995), pour qui : « *Complex problem solving (CPS) is the successful interaction with task environments that are dynamic (i.e., change as a function of user's intervention and/or as a function of time) and in which some, if not all, of the environment's regularities can only be revealed by successful exploration and integration of the information gained in that process* » (Buchner, 1995). On peut retenir l'idée que pour résoudre un problème complexe, le sujet doit interagir

en éducation à l'environnement et au développement durable (Giordan & Souchon, 2008 ; Giordan & Pellaud, 2008 ; Audigier et al., 2011) ou en éducation à la santé (Golay, Lagger et Giordan, 2009).

En effet, les questions environnementales, sociales ou éthiques nécessitent particulièrement d'être abordées dans leur complexité. Ces questions portent souvent l'intitulé de « *controverses* » ou de « *questions socialement vives* » (Legardez & Simonneaux, 2006). Pour pouvoir se former une opinion éclairée et prendre position face à une problématique complexe, l'individu doit certainement pouvoir comprendre un minimum les différents concepts qui les sous-tendent mais aussi être capable de pensée à la fois réflexive et créative pour pouvoir prendre des décisions ou trouver des solutions<sup>57</sup> (Giordan & Pellaud, 2008).

La complexité des problèmes travaillés en classe se porte notamment dans le fait qu'ils font appel à des systèmes de valeurs (des sociétés, des élèves) souvent divergents et qu'ils correspondent à des questions d'actualité recoupant à la fois des dimensions éthiques, sociales, politiques, culturelles, etc. Les objectifs de cette éducation sont de former à l'argumentation à travers l'analyse des discours produits par différents acteurs aux points de vue divergents, de construire des compétences afin d'appréhender la complexité des savoirs non stabilisés et de travailler la prise d'information et de décision raisonnée concernant les questions socialement vives. (Fink & Haerberli, 2010). Pour Audigier (2007, cité par Fink & Haerberli), l'enjeu pour les élèves est de participer à des débats ou du moins d'en comprendre les enjeux, d'identifier les différents points de vue et les valeurs, croyances, attentes, valeurs qui les soutiennent, ainsi que la capacité à anticiper les conséquences des choix qui seraient faits.

Diverses études sur le mode de raisonnement révèlent que les adolescents développent des stratégies particulières pour l'acquisition de compétences leur permettant de juger, d'apprécier et d'argumenter face à des problèmes complexes (Zimmerman, 2000 ; Kuhn, 2001). Certaines études font état de l'argumentation proposée (Simonneaux, 2007) ou du mode de prise de décision face à des sujets controversés (*socio-scientific issues*) (KolstØ, 2001 ; Sadler et al. 2004). Toussaint et Lavergne (2005) ont étudié le raisonnement d'adolescents confrontés à des problèmes complexes flous dans des thématiques environnementales liées au maintien de la biodiversité<sup>58</sup>. L'équipe néerlandaise Wüstenberg et al. (2012) examinent le processus de résolution de problèmes complexes en sciences et distinguent trois dimensions : les stratégies pour

---

avec la situation afin d'en élucider les divers enjeux en explorant et en intégrant les diverses informations du contexte.

<sup>57</sup> Ces problèmes correspondent généralement à des situations réelles, des problématiques authentiques, c'est-à-dire à des questionnements auxquels réfléchissent les communautés de scientifiques.

<sup>58</sup> Par exemple : « *La forêt boréale : une ressource naturelle illimitée ? La nature a-t-elle besoin d'aide ? Neuf milliard de personnes, est-ce possible ? Le maintien de la biodiversité : les parcs nationaux sont-ils la solution ? etc.* ».

identifier le problème (*rule identification*), la connaissance générée (*rule knowledge*) et la capacité de contrôle ou la mobilisation de la connaissance en situation (*rule application*).

Dans l'ensemble, il est important que les élèves confrontés à ce type de problèmes à résoudre en classe comprennent que plusieurs solutions sont possibles, qu'il n'y a pas de solutions jugées valables *a priori*. Les réflexions qui se construisent en classe se teintent des avis, des perceptions et des expériences individuelles des élèves (Toussaint et Lavergne, 2005). Les capacités de réflexion de l'élève sont essentielles pour percevoir les liens entre différents paramètres d'une question et trouver les meilleures solutions possibles à diverses situations-problèmes (ibid.).

Enfin, la résolution de problèmes complexes est liée à plusieurs aspects de la pensée : pensée créative, pensée réflexive, raisonnement (*reasoning skills*, Zimmermann, 2000). Toutes ces capacités sont très probablement mobilisées simultanément lors de la résolution de problèmes complexes.

#### 2.5.2.6 *Investigation et pensée réflexive*

Selon Dewey (1930, 1933, 1938) la *pensée réflexive* est seulement initiée au vu d'un problème réel et qui ne peut être résolu par la seule logique. Le recours à la pensée réflexive aurait lieu lorsqu'une situation fait réellement problème et engendre une controverse. Le problème ne sera considéré comme résolu qu'après identification d'une solution qui met temporairement fin à la situation.

La « *pensée réflexive* » (*reflective thinking*) se distingue des autres formes d'opérations cognitives parce qu'elle implique pour l'individu d'abord « *un état de doute, d'hésitation, de perplexité, de difficulté mentale, desquelles provient la pensée* », puis « *une action de recherche, d'investigation, afin de se doter d'instruments de résolution du doute, de se stabiliser et de se débarrasser de l'état d'incertitude* » (Dewey, 1933). Apprendre à affronter des obstacles en devenant « *capables d'orienter ses activités avec discernement et de les planifier en fonction de la finalité voulue* ». L'élève s'approprie le problème qu'il affronte en « *se questionnant sur sa propre conception de la connaissance et de l'apprentissage afin de porter des jugements qui soient le résultat d'un raisonnement adéquat* » (Dewey, 1930).

King et Kitchener (1993, 1994, 2002) présentent un modèle de *jugement réflexif* (*the reflective judgment model*). L'idée d'*incertitude* est ici à retenir : le jugement réflexif implique la capacité de mettre en doute les certitudes et d'accepter l'incertitude de certains problèmes. L'acquisition des connaissances et le développement de la pensée constituent un processus constructif qui peut se définir en différents « *niveaux* » épistémiques successifs. Ce modèle s'élabore sur la base des théories antécédentes sur le développement de la pensée et de la connaissance –Dewey et la *pensée réflexive* (1930, 1933, 1938), Bachelard et la *formation de l'esprit scientifique* (1938), Piaget et l'*épistémologie génétique* (1950), Flavell et les *Metacognitive aspects of problem-*

*solving* (1976), Fischer et la *Cognitive skill theory model of the development of complex reasoning* (1980). Sans détailler ce modèle on peut retenir que les principaux fondements du modèle de jugement réflexif est d'une part le mode de perception de la connaissance (*view of knowledge and process of knowing*) et d'autre part le mode de justification des croyances (*justification of beliefs*). Chaque niveau successif d'hypothèses (*assumptions*) épistémologiques se caractérise par une forme plus complexe et efficace de justification. Les 7 étapes du développement du modèle peuvent être résumées en 3 niveaux :

- 1) La pensée pré-réflexive : l'individu perçoit la connaissance comme étant absolue et concrète (« *knowledge is gained through the word of an authority figure or through firsthand observation, rather than, for example, through the evaluation of evidence* »),
- 2) La pensée quasi-réflexive (l'individu conçoit le caractère partiellement incertain de la connaissance),
- 3) La pensée réflexive : l'individu est critique par rapport à la connaissance, il pense qu'il doit « *actively construct [his] decisions, and that knowledge claims must be evaluated in relationship to the context in which they were generated to determine their validity. [He] also readily admit [his] willingness to reevaluate the adequacy of [his] judgments as new data or new methodologies become available* » (King & Kitchener, 2002).

#### 2.5.2.7 *Investigation et créativité*

La créativité tient une grande place dans les recherches anglo-saxonnes sur le PBL. De nombreuses études ont été publiées dans le domaine de l'éducation scientifique et s'étendent à de nombreuses disciplines (science de l'espace, technologies émergentes, médecine, etc.).

Par exemple, *The Journal of Creative Behavior* regroupe depuis plus de 40 ans des recherches sur la créativité dans divers milieux. Plusieurs auteurs s'intéressent particulièrement à la relation entre la créativité et l'apprentissage par problème (Tan, Chye & Teo, 2009 ; Neber & Neuhaus, 2013). Des ouvrages s'y consacrent parfois entièrement<sup>59</sup>. Or, le lien spécifique entre créativité et démarches d'investigation en cours de science fait bien moins souvent l'objet d'étude (voir Evans, 1987).

Adams & Hamm (2010) fournissent des principes et des stratégies pratiques pour promouvoir le travail créatif et novateur en mathématiques, en sciences et en technologie (pour le primaire et le secondaire). Les auteurs portent une attention particulière à la nature sociale de l'apprentissage et comment la collaboration peut susciter l'intérêt des élèves en situation de problème ouvert. La pensée créative et innovante (*Creative and Innovative Thinking*) est présentée ici comme un concept central et un outil privilégié pour la formation des futurs citoyens.

---

<sup>59</sup> Par exemple, l'ouvrage de Tan (2009).



Pour Neber & Neuhaus (2013) le PBL peut aussi contribuer à l'acquisition de capacités de raisonnement et de pensée créative : « *(PBL) supports the development of strategies for productive reasoning and creative thinking for generating knowledge by solving instructional problems* ». Dans ce cadre, sont définies des composantes de l'environnement éducatif favorable au développement de processus créatifs et à la pensée divergente dans la résolution de problème. De plus, la mise en situation des élèves dans des activités de recherche exploratoire ouverte (*non-structured pre-experimental activities*) semble être particulièrement favorable pour aider les élèves à améliorer la formulation et la qualité des hypothèses.

Par ailleurs, le *Problem Finding* est une forme d'apprentissage ouvert et créatif dans lequel les étudiants sont amenés à imaginer eux-mêmes des sujets d'étude originaux et adaptés. Une étude qualitative a été menée par La Banca (2008) sur des étudiants de l'école secondaire dans des activités d'investigation ouverte et authentique (*authentic, novel and open inquiry*) avec pour cadre les théories de l'apprentissage en situation (*situated learning*) et pour focus la créativité et les stratégies de recherche. Il apparaît que ce type d'activités d'investigation permet une juxtaposition de la pensée créative et de la pensée logique/analytique que d'autres formes d'investigation ne permettent pas. L'auteur définit des stratégies pédagogiques favorables pour la mise en œuvre de ce type de démarche.

De même, Florence Sullivan (2011), qui s'intéresse à la créativité collaborative (*collaborative creativity*), présente les résultats d'une analyse microgénétique sur les types de stratégies et de raisonnement dans le développement de solutions créatives venant d'étudiants de 11-12 ans travaillant en collaboration face à un problème de robotique. Les résultats révèlent l'importance de divers aspects contextuels sur le développement de solutions créatives : d'une part, le fait que la situation proposée est une situation ouverte orientée vers un but (*open-ended, goal oriented tasks*) ; d'autre part, les interactions avec les outils fournis et l'environnement mis en place ont permis aux élèves de co-construire des solutions communes en alternant entre différentes postures de recherche, autrement dit « *to move between dual modes of interaction : seriousness and play (...) to jointly develop a shared understanding achieved through tool-mediated, communicative, and cognitive interaction* ». Ses résultats révèlent que le jeu est un mode important de recherche si l'objectif d'apprentissage est la créativité. L'auteur discute de l'implication de sa recherche dans la création de situation d'apprentissage (*design of learning space*).

Une équipe de recherche coréenne (Cho, Chung, Choi, Seo & Baek, 2013) s'est intéressée, elle, à l'émergence de la créativité des élèves dans le cadre scolaire, en particulier dans les deux domaines : les sciences et les sciences sociales. Les résultats relèvent trois types de créativité émergents du processus d'enseignement /apprentissage : 1) *heuristic creativity*, lorsque les élèves expriment leurs réflexions sur un nouveau concept basé sur leur expérience, 2) *interpretive creativity*, lorsque les élèves expliquent le sens de leurs solutions à partir de leurs conceptions premières, 3) *integrative creativity*, lorsque les étudiants génèrent de nouvelles solutions ou

élaborent de nouveaux concepts en fonction de leur connaissance intériorisée. Les résultats donnent des pistes aux enseignants pour identifier et faciliter la créativité de leurs élèves lorsque ceux-ci interprètent des données ou des documents relatifs au contenu du curriculum<sup>60</sup>.

Par ailleurs, Eyster (2010) souligne la difficulté à ce que la créativité puisse prendre place à l'école, due en partie à l'influence du contrat didactique scolaire traditionnel : « *Although science is a creative endeavor (NRC, 1996), many students think they are not encouraged –or even allowed– to be creative in the laboratory. When students think there is only one correct way to do a lab, their creativity is inhibited* ». Park & Seung (2008) plaident l'importance de la créativité dans les classes de sciences, et définissent des stratégies pédagogiques pour la favoriser. Eyster (2010) complète ce travail en décrivant plusieurs façons, rapides et peu coûteuses, d'encourager la créativité et les compétences de résolution de problèmes dans le laboratoire.

Enfin, pour Furio Mas et al. (1994), une des caractéristiques fondamentales d'un processus de résolution de problèmes cohérent avec un processus de recherche est l'exercice de la créativité. Du point de vue psychologique, la créativité peut être définie comme une capacité suprême de la résolution de problèmes et inclut des transformations nouvelles et originales des idées. De plus, Furio Mas et al. (1994) soulignent la relation épistémologique entre la recherche et la production de connaissances scientifiques, selon laquelle la science elle-même peut être considérée comme « *un processus créatif de résolution de problèmes* », un processus générant des solutions nouvelles sous forme d'hypothèses. Plus précisément, « *l'émission d'hypothèses constitue une phase fondamentale du processus scientifique car le chercheur généralement ne part pas de données mais au contraire il les cherche en utilisant une spéculation créative fondée sur la théorie existante* » (ibid).

Du point de vue didactique, les mêmes auteurs soulignent les limites des énoncés standards traditionnellement présentés en classe qui ne favorisent pas de réelle activité de recherche. Les énoncés fermés –qualifié alors d'exercices et non de problèmes– mènent à une résolution routinière non réfléchie de l'élève en ce qu'ils visent la reproduction correcte de procédures de résolution, ce qui ne favorise ni l'analyse de la situation problématique, ni le développement de la créativité, ni l'exercice de la pensée divergente (Furio Mas et al., 1994). Concrètement, l'équipe propose en particulier une approche constructiviste cohérente avec la créativité du travail scientifique avec la mise en œuvre situations problématiques ouvertes qui ont un intérêt pour l'élève et qui favorisent la pensée productive.

Il s'agit de problèmes ouverts de physique et chimie visant à augmenter la créativité et la pensée divergente. Ici, c'est la prise de décision face aux problèmes présentés qui

---

<sup>60</sup> Une autre étude publiée dans le *Journal of Creative Behavior* s'est intéressée à la relation entre la pensée créative et les compétences de résolution de problèmes scientifiques (Shahrin, M., Toh, K., Ho, B., & Wong, J., 2002).

semble être un élément important pour développer ces facultés. Contrairement aux énoncés standards qui ne permettent pas une analyse de la situation problématique, le résolveur doit, dans les problèmes ouverts, prendre des décisions afin de délimiter le problème, de le préciser et finalement de le concrétiser. De plus, « *pour favoriser l'exercice de la pensée divergente (...) le processus de résolution doit favoriser les prises de décisions, telles que l'émission d'hypothèses, l'élaboration de différentes stratégies de résolution et inclure des actions telles que la conception et la réalisation de confrontations expérimentales* ». Toutefois, les exemples proposés ici sont en général des problèmes sans données numériques (problèmes papier/crayon) qui impliquent une résolution littérale et ne permettent pas d'exploration au niveau expérimental. De plus, bien que les résultats de ces expériences soient visiblement positifs, aucune information n'est donnée sur comment les séquences sont menées du point de vue didactique.

#### 2.5.2.8 *Une éducation des sciences plus proche de l'activité scientifique*

Depuis plusieurs décennies, des recherches ont défendu les liens entre résolution de problèmes et activité du chercheur (Giordan, 1978). Une des caractéristiques des sciences est que les chercheurs n'abordent pas des problèmes complètement définis initialement : une phase d'analyse préalable permet de construire, de définir les objets d'étude et d'établir les conditions délimitant le problème<sup>61</sup>.

Depuis longtemps également, plusieurs programmes alternatifs de recherche, généralement fondés sur l'histoire, la philosophie des sciences et sur l'épistémologie, proposent la mise en œuvre de démarches en classe en accord avec les processus de construction scientifiques. IBL, « problèmes ouverts » (Arsac & Mante, 2007 ; Arsac et al., 1991 ; Charnay & Mante, 2003, etc.), « situation-problème » (Astolfi, 1988 ; De Vecchi et al., 1996, 2002 ; Robardet, 2001 ; etc.), « modèle de résolution de problèmes comme recherche » (Gil et Martinez Torregrosa, 1983), etc.

Ces programmes considèrent la résolution de problèmes comme activité de recherche et ont comme caractéristiques communes de se référer aux contenus et aux procédures que les sciences mettent en œuvre dans la résolution de problèmes. (Gil et Carrascosa, 1992 ; Gil, 1993). A ce titre, Furio Mas et al. (1994) fondent leur approche sur le postulat d'un « *isomorphisme certain entre, d'une part, l'apprentissage de l'élève par construction de ses connaissances à partir de ses conceptions et, d'autre part, la recherche scientifique comme construction de connaissances* ». Ils poursuivent l'objectif de familiarisation à la méthode scientifique née dans les années 60-70 en y

---

<sup>61</sup> Enfin, les caractéristiques de la démarche scientifique peuvent être complétées par les aspects sociologiques. Cela implique de reconnaître que : le corpus de connaissances est le résultat des apports des générations antérieures ; la connaissance scientifique est produite dans des structures institutionnelles par petits groupes (Bernai, 1967 ; Kuhn, 1971) ; ces groupes sont en interaction avec d'autres groupes.

intégrant « *un nouveau fondement où sont intégrés les contenus procéduraux, les contenus conceptuels et les contenus comportementaux* » (ibid). Ils retiennent l'idée que sans changement épistémologique et méthodologique, il ne peut y avoir de changement conceptuel, ce qui dépasse donc la simple distinction concepts-processus.

### 2.5.3 Éléments de synthèse sur la problématisation

Les perspectives psychocognitives, mises en lumière plus haut nous paraissent importantes à retenir pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, elles soulèvent les limites d'une *méthodologie unique* de résolution de problèmes. Ensuite, elles questionnent la possibilité d'une indépendance entre l'apprentissage de notions disciplinaires et l'apprentissage de compétences liées à des *démarches* de résolution. De plus, elles soulignent le lien qui nous semble essentiel entre *définition* du problème et *représentation* du problème.

Néanmoins, les perspectives décrites comportent selon nous certaines limites. En effet, les études en mathématiques reflètent l'idée selon laquelle apprendre à définir et résoudre un problème en reviendrait à apprendre à *reconnaître* un type de problème afin de mieux être en mesure d'y répondre<sup>62</sup>.

De plus, il semble que les concepts *d'appropriation* et de *définition* de problèmes fassent généralement référence à une étape préalable du processus de construction du problème, distincte de la phase de résolution.

Enfin, il semblerait qu'en didactique des sciences (biologie, physique, etc.) le concept de problématisation –ou construction de problèmes– fasse exclusivement référence à l'idée de constructions de concepts scientifiques.

D'un autre côté, les théories épistémologiques du problème apportent plusieurs éléments que nous jugeons importants.

D'abord, nous retenons l'idée fondamentale selon laquelle problématiser ne se limite pas au fait de (se) *poser des questions* mais implique de *travailler les questions*. Il s'agirait d'un processus d'approfondissement des problèmes impliquant avant tout d'entrer dans le problème, de le poser, et d'*explorer le champ des possibles*.

Nous relevons également l'idée d'une dialectique entre une dimension créative, productive, inventive et un effort de sélection critique fondée sur la (re)*mise en question* continue et la confrontation des idées premières à une certaine résistance du

---

<sup>62</sup> Notons qu'un problème mathématique et qu'un problème scientifique ne sont pas de même nature. En effet, un problème mathématique correspond le plus souvent à une réponse unique (même si les stratégies de résolution peuvent différer) et non complexe (même si la solution implique plusieurs opérations).

problème. L'activité de problématisation pourrait se définir comme un *aller-retour* itératif entre différentes postures : entre une contextualisation et une *décontextualisation* des savoirs (Meyer, 1979, 86), entre une pensée divergente et une pensée convergente (Guilford, 1950), entre les problèmes et leurs solutions, entre des questions et des réponses ; une sorte de « respiration » de l'activité de recherche.

Au niveau des implications didactiques, nous pensons également que les propositions des élèves (questions, réponses possibles, etc.) doivent être considérées comme des matériaux pour faire avancer la construction du problème en tant que nouveaux problèmes. De plus, il nous paraît nécessaire de bien réfléchir à l'adéquation entre les caractéristiques des situations proposées aux élèves et les objectifs d'apprentissage que l'on souhaite travailler.

Par ailleurs, il semble que peu de tentatives ont été initiées pour évaluer les démarches subjectives des élèves en activité d'investigation. L'intérêt pour les démarches d'investigation en tant que *processus* semble ne pas faire l'objet de recherche ni en didactique des sciences ni en didactique des mathématiques<sup>63</sup>. Par exemple, peu de pistes sont données pour évaluer les *cheminements* de recherche des élèves et pour observer comment ils se construisent à travers les différentes composantes de l'environnement didactique mis en place. De même, peu d'éléments sont donnés pour tenter de comprendre quel *rapport* les élèves ont avec un problème complexe et comment ce rapport évolue à travers leurs investigations, au cours d'une séquence didactique.

## 2.6 Questions et hypothèses générales de la recherche

Tout d'abord, des éléments de synthèse ont été présentés concernant les caractéristiques d'un dispositif didactique jugé favorable aux investigations (c.f. point 2.4.7), ce qui nous a permis de répondre à notre première question : *I. Que faut-il mettre en place pour que les enfants s'investissent de manière autonome dans une véritable activité de recherche ?*

Ensuite, notre synthèse concernant le concept d'élaboration du problème (c.f. point 2.5.3) nous a permis de répondre à notre deuxième question : *II. Sous quel angle envisager le « travail du problème » par les élèves ? Qu'est-ce que « problématiser » ?*

---

<sup>63</sup> Sans pouvoir l'affirmer, il semble que même les recherches en psychologie qui se portent sur les processus de résolution de problème portent elles aussi généralement leur regard sur les *stratégies* de résolution utilisées par les sujets davantage que sur les *cheminements de recherche* plus globaux.

A ce stade, il est possible de définir notre postulat personnel face aux concepts abordés, ceci en reformulant nos questions initiales et en proposant de nouvelles hypothèses pour guider la suite de notre recherche. Cela nous mène à définir un dispositif didactique potentiellement favorable à la problématisation des élèves, d'une part, et à avancer dans la définition du concept de problématisation, d'autre part.

**I. Comment favoriser l'élaboration de problèmes par les élèves ?**

*Quel type de dispositif d'apprentissage faudrait-il mettre en place pour favoriser l'élaboration d'un problème par les élèves ? Quelles composantes devraient comporter l'environnement didactique pour favoriser un travail de problématisation ?*

- Une situation ouverte présentant un problème non défini et débouchant sur plusieurs solutions possibles serait favorable à l'activité de problématisation des élèves.
- Une situation impliquant plusieurs sources de confrontations –empiriques et sociocognitives– pour mettre à l'épreuve les solutions, serait favorable à l'activité de problématisation des élèves

**II. Comment définir l'activité d'élaboration de problèmes ?**

*Quelles critères devraient définir l'activité des élèves pour que celle-ci soit considérée comme une véritable activité d'élaboration de problème ? Quelles caractéristiques devraient définir l'activité des élèves pour témoigner d'une véritable appropriation du problème ?*

- La génération d'un questionnement et l'imagination de diverses pistes de solutions subjectives et collectives témoigneraient d'une véritable appropriation et élaboration du problème.
- L'évolution progressive des hypothèses des élèves –questions et/ou solutions– à mesure de la confrontation collective témoignerait d'une véritable élaboration du problème.
- L'évolution progressive des hypothèses des élèves –questions et/ou solutions– à mesure des confrontations avec la « résistance » du problème témoignerait d'une véritable élaboration du problème.

Nous proposons maintenant de développer nos hypothèses concernant l'activité de problématisation en situation d'investigation ouverte.

### 2.6.1 L'élaboration du problème comme processus transversal de la recherche

Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéresserons principalement aux démarches d'investigation en tant que *processus*. Nous souhaitons observer les *cheminements* de recherches des élèves, *comment* ceux-ci se "dépatouillent" pour tenter de comprendre et de résoudre un problème. Il nous intéresse particulièrement d'observer la *progression* de cette élaboration du problème, et d'examiner la façon dont les idées émergent et se transforment au fur et à mesure.

L'idée de « cheminement » englobe pour nous à la fois la démarche de pensée de l'élève et les actes qu'il produit dans une situation. Dans une situation ouverte –sans protocole de recherche imposé– nous nous attendons à observer des cheminements relativement sinueux et laborieux, ainsi que des parcours très divers d'un élève ou d'un groupe d'élèves à l'autre.

Notons toutefois que nous ne chercherons pas à évaluer les démarches des élèves en tant que *comportements* ou *façons de faire* plus ou moins scientifiques par rapport à des critères particuliers. Par exemple, nous ne nous soucierons pas de savoir si les élèves se montrent davantage capables de mener leur recherche "de manière scientifique" suite aux séquences d'enseignement, ou s'ils ont effectivement pu développer de nouvelles connaissances au sujet des démarches scientifiques<sup>64</sup>.

Dans cette recherche, nous souhaitons plutôt observer le processus par lequel les élèves élaborent un problème à travers leurs investigations. *A partir d'un problème complexe, comment les élèves posent-ils le(s) problème(s) ? Comment élaborent-ils leurs solutions ? Comment s'y prennent-ils pour "attaquer" le problème et faire avancer son élaboration ?*

### 2.6.2 Problématiser, ce serait poser et questionner le problème

Dans notre perspective, problématiser serait avant tout *poser* un problème. Nous l'avons vu, l'idée d'observer la manière dont les élèves *posent* un problème implique un point de vue différent de celui d'observer la manière dont ils *résolvent* le problème. Nous partageons le point de vue de Bachelard (1938) pour qui : « *avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique* ». Or, « *poser un problème...pose un problème ! Car il ne suffit pas de le soulever...encore faut-il le construire et bien le formuler !* » (De Vecchi, 2006).

---

<sup>64</sup> Tenter de répondre à ces questions en reviendrait sans doute à devoir préciser de toutes autres questions encore, et les résultats de notre recherche ne nous permettent pas d'établir des conclusions. Mais des pistes à ce sujet sont proposées dans le point *Prolongements*.

Alors, *poser* un problème ce serait en quelques sortes *questionner* le problème lui-même : Dans cette situation donnée, quel est (sont) le(s) problème(s) ? En fait, qu'est-ce qui pose problème ? Qu'est-ce qui est possible ou impossible de faire pour résoudre ce(s) problème(s) ? A quoi devraient ressembler la (les) solutions(s) ? Comment m'y prendre pour chercher/trouver des solutions adéquates ?

Ce questionnement –plus ou moins conscient et explicite– permettrait de construire, de *définir* progressivement le problème. Et cette élaboration subjective –qu'elle soit personnelle ou collective– serait *la voie d'appropriation* du problème.

### 2.6.3 La problématisation comme processus subjectif et progressif

La problématisation pourrait être envisagée comme une composante intégrante et évolutive du processus de résolution. Définir un problème correspondrait à une dimension *transversale* du travail du problème de la part de l'élève. Dans ce sens, la distinction *poser vs résoudre* un problème correspond à un point de vue différent, mais pas forcément à un temps différent de la recherche. En effet, quel que soit la dénomination –poser, définir ou s'approprier un problème– l'acte ne pourrait se résoudre à une *étape préliminaire* de la démarche de résolution, comme certaines orientations de recherche le sous-entendent<sup>65</sup>.

Comme le dit De Vecchi (2006) la problématisation est souvent pensée comme allant de soi ou comme activité séparée des moments de recherche qui doivent lui succéder. Or, « *une question ne paraît jamais bien posée qu'au moment où elle reçoit une solution, c'est-à-dire au moment où elle s'évanouit comme question* » (Canguilhem, cité par De Vecchi, *ibid.*).

Une véritable élaboration personnelle du problème serait un processus long et évolutif, accompagnant toutes les étapes d'une recherche. En outre, l'élaboration du problème se ferait progressivement et conjointement à l'élaboration de sa (ses) solution(s). La définition du problème et l'imagination de solutions seraient deux activités élaboratrices mutuellement favorables, voire dépendante l'une de l'autre.

Dans le point suivant, nous tenterons de définir plus précisément en quoi consisterait l'activité de problématisation des élèves, dans l'environnement didactique particulier que représenterait un défi technologique, ainsi que les caractéristiques que devraient comporter ce dispositif pour favoriser cette problématisation.

### 2.6.4 Une problématisation à travers différents niveaux du problème

De notre point de vue, le travail du problème dans le cas d'un défi ne se limiterait pas à la construction des notions scientifiques (ou techniques) "pures". L'élaboration du

---

<sup>65</sup> Comme exposé en amont, le processus de résolution est souvent limité à l'exécution d'une stratégie (sa mise en œuvre plus que sa conception).



problème, intégrerait également les éléments *périphériques*, faisant partie de la situation-problème à résoudre. Nous entendons par éléments périphériques tous les éléments en lien plus ou moins direct avec les paramètres scientifiques, que comporte plus largement *la tâche* donnée aux élèves.

Ainsi, le travail du problème se ferait sur plusieurs *niveaux*. La manière dont un élève appréhende, se représente et investit un problème comprendrait non seulement ses représentations concernant le problème scientifique (paramètres, notions, concepts), mais aussi plus largement sa représentation de la tâche à réaliser (enjeux, contraintes, possibilités). Travailler le problème se serait *explorer un espace de contraintes et de possibilités*.

Dans ce sens, un environnement didactique qui accueille plusieurs solutions possibles serait favorable à la problématisation des élèves, car il engendre potentiellement une grande palette d'hypothèses, pouvant se référer à différents niveaux de problématisation.

### 2.6.5 La confrontation des divergences participerait à l'élaboration du problème

Les différents *niveaux de problématisation*, impliqués dans le cas d'un problème complexe tel qu'un défi, occasionneraient des divergences quant à la manière d'aborder et de se représenter le problème. Ces divergences ne seraient alors pas considérées comme un biais pour le travail du problème mais comme faisant partie intégrante et nécessaire du travail du problème.

De plus, dans le cas d'un problème non défini, l'élaboration du problème commencerait au moment même de la transmission des consignes en début d'activité, lorsque les élèves tentent de saisir les enjeux de la tâche, avant même de réfléchir à la dimension scientifique du problème. Dans ce cas, il est probable que dès le départ différentes interprétations de la tâche à réaliser et différents points de vue sur le problème apparaissent.

Dans ce fait, nous pouvons nous attendre à ce que la manière dont un problème est *présenté* aux élèves à travers les consignes de départ joue un rôle important. Car, l'*énoncé* du problème fournirait en partie les *matériaux de travail du problème*, et ces matériaux seraient travaillés et retravaillés tout au long du cheminement de recherche.

En outre, on peut faire l'hypothèse que les élèves pourraient *faire avancer* l'élaboration du problème au moment où ils prendraient conscience, de la *subjectivité* et de leurs représentations<sup>66</sup> et de la *disparité* existante des hypothèses au sein de la

---

<sup>66</sup> Le terme de subjectivité n'est pas à opposer ici à la notion d'objectivité, ce qui impliquerait une évaluation des représentations des élèves du point de vue de leur justesse/fausseté scientifique. Chaque sujet élabore des représentations personnelles, comprise en tant que

collectivité. Le travail du problème pourrait alors évoluer dans une suite de confrontations de ces divergences. Cette idée rejoint celle de Giordan & De Vecchi (2002), pour qui c'est souvent en résolvant un problème qu'on le construit progressivement et qu'il se clarifie : « *nous devons donc laisser aux élèves entrer dans le problème et c'est en le discutant, en se l'appropriant peu à peu que la formulation s'affinera* ».

Aussi, nous pouvons nous attendre à ce que les premières représentations se transforment et continuent d'évoluer au cours de l'élaboration de la tâche, jusqu'à la fin, lors de l'analyse des solutions obtenues.

Sur le plan didactique, nous pouvons alors avancer l'hypothèse qu'un dispositif didactique engageant les élèves à expliciter et à confronter leurs représentations du problème et leurs pistes de solution –par exemple par un travail en groupe, ou en plénière–, participerait favorablement à l'avancement de l'élaboration du problème.

En somme, les multiples niveaux du problème créerait des opportunités de "confrontation fertile" entre les élèves, autour de leurs différentes représentations du problème et des hypothèses formulées pour y répondre.

#### **2.6.6 L'épreuve des hypothèses face à la résistance du problème**

Enfin, le fait de pouvoir *éprouver la résistance* du problème par le biais de l'expérience sensible, participerait non seulement à une meilleure représentation de la complexité du problème, mais permettrait aussi de *faire émerger* des hypothèses concernant sa résolution. De ce point de vue, l'expérimentation du problème ne servirait pas uniquement à *tester* des hypothèses déjà formulées en amont, mais représenterait justement l'opportunité de les formuler.

Ainsi, en partant de l'hypothèse que le problème et la solution se construisent conjointement, les élèves qui seraient amenés à expliciter le problème seraient mieux capables d'imaginer et élaborer des solutions. De plus, le fait de devoir trouver des solutions opérationnelles<sup>67</sup> inciterait les élèves à mieux définir le problème en amont. Enfin, l'opportunité de mettre à l'épreuve leurs idées de solution leur permettrait d'accéder à une représentation plus fine et plus complexe du problème.

\* \* \*

---

constructions de sens subjectif, qui viendront être confrontées à d'autres constructions subjectives ou autres référents (empiriques, théoriques).

<sup>67</sup> Nous entendons par solutions opérationnelles, des solutions avant tout possibles et adéquates par rapport aux contraintes imposées par la tâche, et au mieux, efficace du point de vue technoscientifique.

Ces différentes hypothèses ont servi à fonder et à mettre en œuvre notre dispositif de recherche (méthodologie pratique), ainsi que notre dispositif d'analyse (méthodologie d'analyse). Ensuite, pour pouvoir mener notre recherche empirique, nous avons dû à nouveau reformuler nos questions et nos hypothèses plus précisément de manière à les rendre opérationnelles. Ces questions dites "de travail" seront présentées et articulées avec les dimensions d'analyse et les différents points de vue considérés pour la recherche. Toutefois, un retour sur ces premières hypothèses sera proposé en conclusion.

### 3 Méthodologie

Les chapitres précédents ont permis de poser, de clarifier et d'enrichir un cadre conceptuel permettant de mieux définir : d'une part, la nature de l'activité de problématisation dans le cadre d'une démarche d'investigation ouverte ; d'autre part, les conditions d'un environnement didactique favorisant l'activité de problématisation en classe de sciences.

Les différents éléments conceptuels mis en lumière permettent maintenant de fonder, de constituer les outils de recherche appropriés, afin de répondre à notre question de recherche générale : *Comment favoriser une authentique élaboration du problème par les élèves en situation d'investigation ?*

La méthodologie de recherche sera présentée en deux parties : la méthodologie pratique et la méthodologie d'analyse. La première correspond au *dispositif de recherche*, outil permettant de générer des données liées au questionnement de départ. La deuxième correspond au *dispositif d'analyse* permettant de traiter ces données, et de présenter les résultats.

Avant de présenter les deux dispositifs élaborés pour cette recherche, nous souhaitons préciser quelques éléments concernant la méthodologie de recherche.

#### 3.1 Une approche compréhensive

Cette recherche s'ancre dans une approche compréhensive de type qualitatif. Sa finalité n'étant pas d'*expliquer* mais plutôt de *comprendre*, elle ne tend pas à tirer des conclusions généralisantes sur la base d'une validation/invalidation d'hypothèses explicatives, tel qu'une démarche hypothético-déductive le viserait. En effet, l'approche compréhensive semble particulièrement adaptée à l'observation de la problématisation en tant que *processus* complexe. Elle permet la prise en compte de plusieurs dimensions entrecroisées en œuvre dans ce même processus. Bien que le questionnement et les hypothèses soient présents dans notre recherche depuis le départ, notre recherche s'apparente à une étude exploratoire, pour plusieurs raisons.

Premièrement, si le concept de problématisation fait l'objet de plusieurs écrits théoriques, l'activité de problématisation définie comme processus *et* considérée du point de vue des élèves font pourtant l'objet de très peu de recherches empiriques en didactique. Ou alors ces recherches se focalisent essentiellement sur les contenus scientifiques en jeu. C'est pourquoi, la recherche mise en œuvre vise deux finalités. D'une part, elle représente une première tentative de « transposition » de concepts théoriques existants dans une recherche empirique en situation réelle. D'autre part, elle contribue à élargir et à alimenter les concepts de problématisation relatifs à

l'activité de l'élève, encore peu développés. Ceci, en cherchant à savoir ce qu'on pouvait concrètement attendre des élèves en termes d'élaboration du problème. Dans ce cadre, un « déchiffrement » du terrain se révèle nécessaire afin d'en faire ressortir des éléments significatifs, loin des variables scolaires ou didactiques habituelles, trop souvent centrées sur les savoirs et les résultats.

Deuxièmement, si plusieurs types de situations didactiques sont proposés dans la littérature, leur mise en application n'ont rarement fait l'objet de recherche à part entière, ou du moins peu de résultats empiriques publiés sont disponibles. De plus, les situations traitées nous semblent plutôt limitées et peu fertiles pour l'appropriation d'une démarche d'investigation et d'une activité de problématisation. C'est pourquoi, l'imagination et la mise en œuvre d'un dispositif innovant, spécialement conçu pour favoriser ce type de processus chez les élèves, nous a semblé pertinent et nécessaire. Cette recherche est donc à la fois l'occasion de proposer un dispositif innovant –le *défi créatif*– et d'observer ses effets sous l'éclairage du concept de problématisation.

Dans ce cadre, nous n'avons donc ni souhaité nous restreindre à l'évaluation globale du dispositif didactique, ni à l'évaluation des apprentissages des élèves à l'issue de l'activité. C'est l'observation de processus en situation qui motive notre recherche. Ainsi, plutôt que de chercher à *savoir si* notre dispositif permettait aux élèves de problématiser, nous avons souhaité *comprendre en quoi* ce dispositif pouvait y contribuer. Le dispositif d'analyse n'a donc pas été pensé pour évaluer l'efficacité du dispositif didactique dans son ensemble, tel que l'aurait permis par exemple une analyse comparative. Il n'a pas non plus été conçu pour évaluer l'acquisition des objets d'enseignement visés par les élèves, tel que l'aurait sans doute rendu possible une analyse longitudinale. Le dispositif d'analyse a été conçu pour pouvoir observer en détail l'activité des élèves dans une situation particulière : plus précisément, l'activité de problématisation des élèves en situation de défi créatif.

Par conséquent, pour pouvoir apporter des éléments de réponses empiriques à nos premières questions de recherche d'ordre conceptuel, il nous faut reformuler notre questionnement. En effet, compte tenu de la complémentarité des deux objets de recherche –d'une part le dispositif didactique, d'autre part, l'activité des élèves en *réponse* à ce dispositif– nos questions de recherche doivent être pensées autrement. Pour pouvoir aborder l'interrelation entre le contexte particulier du défi et l'activité d'élaboration du problème par les élèves, nos deux questions (c.f. point 2.6) peuvent être fusionnées pour formuler une nouvelle question de recherche générale :

- I. *Comment favoriser l'élaboration de problèmes par les élèves ?*
- II. *Comment définir l'activité d'élaboration de problèmes ?*
- ***Comment les élèves problématisent-ils en situation de défi créatif ?***

Ensuite, de manière à aborder cette question dans sa complexité, plusieurs dimensions ont été définies pour guider et structurer la recherche empirique. Ces dimensions ont été définies sur la base des éléments théoriques synthétisés en amont, et sont présentées en même temps que les questions de recherche dans le chapitre 3.3 (*Methodologie – Dispositif d'analyse*).

### 3.1.1 L'élaboration des hypothèses de recherche

S'attaquant à un objet de recherche encore peu défini, cette recherche tend davantage à étayer des hypothèses qu'à les confirmer/infirmer pour en tirer des généralités. Ensuite, il faut préciser que de nombreuses hypothèses ont accompagné le cheminement de cette recherche. Qu'elles concernent la nature de l'activité de problématisation ou qu'elles soient relatives à un environnement didactique censé la favoriser, les hypothèses de recherche n'ont cessé d'évoluer.

D'une part, les recherches bibliographiques préliminaires ont fortement contribué à l'élaboration des hypothèses. D'autre part, la recherche sur le terrain ainsi que les premières ébauches de résultats à partir des données brutes ont participé à mieux définir sous quel angle de véritables résultats de recherche pouvaient être constitués, et lesquels seraient pertinents par rapport à la problématique générale. Pour les mêmes raisons explicitées plus haut, cette démarche inductive n'a probablement de valeur scientifique que dans une démarche compréhensive où l'objectif est justement de parvenir, d'une manière ou d'une autre, à "dégager" de nouvelles dimensions conceptuelles.

### 3.1.2 L'élaboration du dispositif de recherche

Si cette recherche comporte la mise en œuvre d'un dispositif expérimental permettant d'observer des processus particuliers difficilement observables en situation réelle de classe, elle n'a cependant pas été menée comme une démarche expérimentale au sens traditionnel.

Pour commencer, le dispositif de recherche choisi n'est pas un dispositif expérimental au sens strict –une situation "de laboratoire"– mais bien un dispositif didactique en soi, mis en place en situation réelle. A partir des fondements théoriques mis en lumière en amont, nous avons fait l'hypothèse que la situation didactique mise en œuvre pouvait représenter un dispositif de recherche adéquat pour notre observation, comme pourrait l'être dans un autre cas un entretien ou un questionnaire de recherche. Ainsi, la description du dispositif didactique représente en fait la *methodologie pratique* de cette recherche.

Toutefois, il est important de préciser que ce choix méthodologique a présenté quelques tensions avec lesquelles il a fallu composer. En effet, il a fallu considérer simultanément des exigences didactiques –s'assurer que la situation soit porteuse au

niveau des apprentissages des élèves– et des exigences épistémologiques –s’assurer que la situation soit porteuse au niveau de la problématique de recherche. Si certains "entrecouplements" ont été évidents, d’autres aspects ont été plus délicats à concilier, et des questions déontologiques se sont posées.

Par exemple, le dispositif initial a subi des transformations, il a été parfois modifié, adapté sur le terrain, en cours d’activité de manière à répondre du mieux possibles aux différentes exigences. En situation de laboratoire, il aurait été peu souhaité de modifier le dispositif "en cours de route" parce que cela aurait remis en question la validité scientifique de la démarche et des résultats. Mais, dans notre situation, si certaines modifications majeures peuvent être clarifiées, il n’aurait été ni possible ni pertinent de rendre compte de ces variations dans les détails<sup>68</sup>.

En effet, rappelons que cette recherche ne vise ni à *vérifier* l’efficacité du dispositif ni à *évaluer* les apprentissages effectifs des élèves. Contrairement à une démarche hypothético-déductive, qui tendrait à vérifier la validité d’une hypothèse forgée en amont, notre démarche, compréhensive, vise à faire émerger de nouveaux éléments pour préciser la problématique de recherche et façonner des hypothèses plus pointues. Elle tend à observer les *processus* qui émergent du côté des élèves et à identifier les éléments du dispositif qui auraient un effet sur ces processus. C’est pourquoi, au niveau méthodologique, il a été question d’optimiser les possibilités d’observer ces interactions entre l’environnement mis en place et l’activité des élèves.

Le dispositif conçu et mis en œuvre pour cette recherche, peut être considéré comme innovant dans la mesure où il se distingue nettement des activités d’investigation le plus souvent menées en classe. Néanmoins, il réunit et intègre des caractéristiques propres à différents types d’activités plus connus et explicités en amont (c.f. chapitre 2.4), tel que les problèmes ouverts en didactique des mathématiques ou les situations-problème en didactique des sciences du vivant et de la terre<sup>69</sup>.

Le type de dispositif –nommé « défi créatif »– implique un ensemble de caractéristiques complémentaires, à savoir, le fait de présenter un problème non défini, un ensemble de contraintes une multiplicité de solutions possibles, ainsi que des moyens possibles pour confronter les hypothèses. De plus, nous verrons qu’il a notamment pour particularité d’impliquer des aller-retours entre des phases de recherche en groupe et des phases de discussion en plénière, de conjuguer le débat et

---

<sup>68</sup> Les transcriptions intégrales des séquences permettent de se faire une idée des variations du dispositif, comme par exemple la durée et le rythme de la séquence, le nombre et la nature des interventions de la part de l’enseignant, certains éléments des consignes de départ plus ou moins clarifié, etc. toutefois, ces éléments ne sont pas mis en relief dans l’analyse et leurs effets n’ont pas spécifiquement fait l’objet de comparaison et d’évaluation.

<sup>69</sup> Il faut préciser que la recherche bibliographique a certainement contribué à l’élaboration du dispositif, mais son élaboration repose surtout sur une expérience personnelle conséquente en matière de conception et de mise en œuvre d’activités pédagogiques créatives en milieu scolaire et extrascolaire.

l'expérimentation comme moyens de confronter les hypothèses des élèves, et de stimuler différents niveaux de problématisation.

Un chapitre est entièrement consacré à la présentation de ce dispositif (voir chapitre *Dispositif de recherche : le défi des Tours en Papier*).

### 3.1.3 L'élaboration du dispositif d'analyse

Dans la même logique, le dispositif d'analyse a été réalisé "sur mesure" pour cette recherche. Vraisemblablement, aucun outil propre aux didactiques n'est encore adapté pour aborder et analyser les différentes dimensions de la problématique de cette recherche. Par exemple, l'« analyse de la situation didactique » dans la tradition de l'« ingénierie didactique » ne correspondait ni à l'objet ni au postulat de recherche. En effet, cet outil est davantage adapté à l'observation de la pratique enseignante et des processus d'enseignement (de type transmissif), beaucoup moins à l'observation de l'activité des élèves et des processus d'apprentissage (de type constructif). De plus, elle considère généralement la *situation didactique*, et particulièrement le *milieu* mis en place, principalement comme un moyen de transposer et transmettre des objets de savoirs. Rappelons que le milieu didactique est la partie de la situation d'enseignement avec laquelle l'élève est mis en interaction. Il est défini par des aspects matériels (instruments, documents, organisation spatiale, etc.) et la dimension sémiotique associée (que faire avec, pourquoi faire avec, comment faire avec...) (Brousseau, 1986).

Les objets de savoirs, souvent réduits à des contenus disciplinaires, n'ont pas fait l'objet de notre problématique. Toutefois, quelques réflexions sont partagées en conclusion quant à la nature des savoirs visés –ou des objets d'apprentissage potentiellement sollicités– dans ce type de situation proposé.

Seul le *synopsis*<sup>70</sup>, et l'*analyse a priori*<sup>71</sup> de la situation, outils traditionnellement utilisés en didactique, ont été utiles pour la conception et la présentation du dispositif didactique mis en œuvre (découpage de la séquence en unités d'enseignement ; indications temporelles, organisationnelles et matérielles concernant la tâche, etc.), plus que pour définir le dispositif d'analyse.

---

<sup>70</sup> « *Le synopsis est avant tout un outil méthodologique qui sert à condenser en une unité manipulable une grande masse de données, en l'occurrence les transcriptions des séquences d'enseignement filmées, pour les rendre comparables et analysables. Il doit permettre la compréhension de la structuration d'une séquence, de ses différentes parties, ainsi que la visualisation des principaux contenus abordés* » (Daunay, Reuter & Schneuwly, 2011).

<sup>71</sup> On limite souvent l'analyse a priori à sa fonction de prédiction des procédures des élèves, mais en fait, la question qui est au cœur de l'analyse a priori est : « *avec tout ce que mes élèves savent et ce qu'ils ont à disposition –le milieu– comment la question que je leur pose ou le problème que je leur soumet peut-il prendre sens –problème de dévolution– et que doivent-ils apprendre de nouveau pour arriver à le résoudre ?* » (Dorier, 2010).



L'outil d'analyse général choisi pour cette recherche est une analyse multidimensionnelle. Pour cela, différentes grilles d'analyse considérant différentes dimensions du même processus ont été établies. De plus, des observations qualitatives ont participé en grande partie à présenter certaines catégories de données afin de fournir des éléments de compréhension. Enfin, une analyse « à la loupe », similaire à l'analyse micro-génétique utilisée en psychologie du développement<sup>72</sup> pour l'approche sociocognitive des apprentissages, a été utile pour observer le rôle des interactions sociales dans l'élaboration du problème par les élèves.

Par ailleurs, la définition des modalités d'analyse, pertinentes par rapport à la problématique générale, s'est réalisée très progressivement. Ceci dans une double action, à la fois déductive et inductive : d'une part en tentant d'opérationnaliser les hypothèses de départ (en définissant des indicateurs, *qu'est-ce que je peux m'attendre à observer qui me permettrait d'évaluer la pertinence de mes hypothèses*) et d'autre part, par tâtonnement avec les données brutes (en dessinant progressivement des catégories, *de quelle manière je peux faire parler mes données*).

Différentes grilles d'analyse ont été produites et mises en application, mais une grande partie ont été abandonnées en cours de route, parce qu'elles s'avéraient inappropriées au moment de l'opérationnalisation. Non pas parce que les résultats ne correspondaient pas à ceux attendus ou qu'ils n'étaient pas significatifs : les données brutes ne pouvaient être traitées et catégorisées selon les dimensions établies, et aucun résultat à proprement parlé de pouvait être ainsi dégagé. Ces multiples tâtonnements ont eu des répercussions sur la définition de la problématique même de la recherche. A plusieurs reprises, il a fallu faire le choix d'abandonner ou de modifier des questions et des hypothèses de recherche à défaut d'avoir trouvé des indicateurs "opérationnels" ou des catégories de données pertinentes par rapport à la problématique générale<sup>73</sup>. Plusieurs remarques à ce sujet seront partagées dans la discussion de cette recherche (c.f. chapitre 6).

Enfin, le dispositif d'analyse ainsi que des questions de recherche dites opérationnelles seront explicités après la présentation du dispositif de recherche (c.f. chapitre 3.2).

---

<sup>72</sup> L'analyse micro-génétique s'inscrit dans un cadre méthodologique compréhensif, et tente une compréhension fine de la genèse et de l'évolution des interactions. Voir par exemple Balslev & Saada-Robert (2007).

<sup>73</sup> Remarque personnelle : j'aurais peut-être pu m'arrêter sur ce constat et tirer des conclusions de cette "impossible validation", mais il m'a semblé particulièrement difficile de *prouver cette impossibilité* de valider une hypothèse ! J'ai souhaité éviter les conclusions hâtives envers le dispositif de recherche, alors que c'était le dispositif d'analyse qui posait problème.

### 3.2 Dispositif de recherche : un défi créatif collaboratif – le défi des Tours en papier

Cette partie présente en détail le dispositif didactique auquel les élèves ont été confrontés en participant à cette recherche. Il s'agit d'un *défi créatif collaboratif* ("le défi des Tours en Papier"). Ce dispositif représente le *dispositif de recherche* spécialement conçu pour générer des données susceptibles de répondre aux questions soulevées dans la thèse.

C'est l'environnement didactique *dans son ensemble* qui est considéré, c'est pourquoi chaque composante n'a pas été observée de manière isolée. Toutefois, des hypothèses complémentaires seront formulées en aval concernant la pertinence et les limites de chaque élément.

Ici, les diverses caractéristiques du défi seront explicitées, illustrées et justifiées afin de mieux comprendre le milieu dans lequel l'activité des élèves se déroule, et permet en quelque sorte de contextualiser les résultats de l'analyse présentés dans le chapitre suivant.

Les questions abordées sont les suivantes : *Quel est le rôle de chaque élément de l'environnement mis en place dans lequel l'activité des élèves évolue ? Et, en particulier, quels sont les éléments prévus pour favoriser l'activité d'investigation des élèves, ainsi que la problématisation et l'élaboration d'hypothèses ?*

Le tableau suivant permet une vision synthétique des composantes fondamentales du défi des Tours en Papier.

<b>Nature du problème</b>	Situation de défi Situation problème ouverte Problème complexe Problème flou, <i>ill-structured problem</i> Problème techno Situation collaborative	Problèmes, hypothèses, stratégies de mise en œuvre et démarches non définis d'avance	Multiples dimensions du problème et multiples éléments à prendre en compte
<b>Enoncé du problème</b>	Mise en situation symbolique	Situation future alarmiste Se mettre dans la peau de chercheurs, ingénieurs, architectes Imaginer, designer des tours résistantes à diverses catastrophes naturelles	Multiples éléments sémantiques
	Cahier des charges	Concevoir et construire une tour en papier de 1 mètre de haut qui tient debout et qui résiste à divers tests	Multiples contraintes tangibles

<b>Matériel d'investigation</b>	Simple, restreint, peu coûteux	Papier journal et un peu de scotch	Multiples possibilités d'utilisation
<b>Réponse, Résultat attendu</b>	Production matérielle, Stratégies de mise en œuvre Dispositif expérimental	Elaboration d'une maquette Stratégies de fabrication	Solution "optimale" Multiples solutions possibles
<b>Validation des réponses</b>	Négociation, argumentation Mise à l'épreuve empirique	Echanges entre <i>pairs</i> (membres du groupe) Le tâtonnement avec le matériel Les tests en plénière	Multiples confrontations
<b>Démarche d'investigation mise en place par l'enseignant</b>	Alternance entre :  Phases travail de groupe  Phases de mise en commun en plénière	Séquençage rythmé : <b>T1</b> (problématique de départ), <b>T2</b> (phase conception), <b>T3</b> (avancement problématique), <b>T4</b> (phase I mise en œuvre, mise à l'épreuve), <b>T5</b> (communications) <b>T6</b> (phase II mise en œuvre 2), <b>T7</b> (tests, analyse et comparaison des résultats, etc.)	Favoriser l'expérience de diverses facettes ou <i>moments-clés</i> d'une recherche scientifique Favoriser des aller-retour entre démarche divergente et convergente, et entre action et réflexion Travailler autour de l'obstacle, de l'erreur
<b>Démarches d'investigation vécues par les élèves en situation</b>	Démarche exploratoire,  Heuristique,  Inductive	Problématiser, imaginer, inventer, concevoir, anticiper, prévoir, établir des choix, des priorités, négocier, argumenter, débattre, tâtonner, essayer, mettre en œuvre, réguler, tester, observer, analyser, comparer, valider, communiquer (ses résultats, observations, stratégies, démarches), etc.	Multiples cheminements de recherche  Multiples <i>phases</i> de la recherche scientifique vécues dans un ordre non défini, voire simultanément  Démarches spontanées, intuitives

Tableau 5 Le défi des Tours en Papier

### 3.2.1 La nature du problème

Tout d'abord, le problème donné aux élèves comporte un ensemble important de paramètres à identifier et à prendre en compte pour la résoudre. C'est une des raisons pour laquelle elle peut être envisagée comme *problème complexe*.

Ensuite, la situation peut être définie comme *un problème flou ou mal structuré (ill-structured)* car le problème n'est pas clairement défini a priori. C'est une situation problème au sens où les objectifs sont clairs mais les moyens pour y arriver sont inconnus. Les élèves ne possèdent pas les éléments de résolution du problème ; notamment les notions scientifiques en jeu n'ont pas été travaillées en classe en amont. De plus, les élèves vont être amenés à *identifier* les différents éléments

constituant le problème, et petit à petit à les *préciser*. Les élèves devront donc *poser*, *construire* le problème pour pouvoir avancer dans leurs investigations et trouver des solutions efficaces.

En outre, le problème présenté est un *problème technologique*, il implique l'élaboration d'un dispositif qui tend à être testé et évalué. La démarche d'investigation mise en œuvre se réfère donc davantage à une démarche technologique qu'à une démarche expérimentale, bien qu'il soit prévu que les élèves conçoivent un dispositif, une maquette expérimentale. D'un certain point de vue, dans la démarche technologique, l'expérimentation concerne la validité du dispositif lui-même. Alors que dans la démarche expérimentale, il semblerait que l'expérimentation permette de tester la validité d'une ou plusieurs hypothèses, au moyen d'un dispositif plus ou moins *indépendant*.

Toutefois, notons que plusieurs modèles (de référence ou explicatifs) sous-tendent à la conception d'un dispositif techno. En effet, un dispositif testé et évalué comme efficace (répondant au critère donné) ne suffit pas en soi à valider les modèles qui l'ont fondé. Précisons que la mise à l'épreuve du dispositif se déroule autant dans la phase test finale (dans le défi, le dispositif construit doit passer divers tests, dit de simulation) que lors de la mise en œuvre du projet initial. En effet, la mise en œuvre du projet est rarement une *transposition* du projet conceptuel sous sa forme matérielle. La phase de recherche représente à la fois l'exécution du dispositif imaginé et déjà sa *mise à l'épreuve*. Les stratégies de mise en œuvre sont en fait mises à l'épreuve en cours d'élaboration. Les obstacles éventuels impliquent alors des régulations, elles aussi *en cours*, jusqu'à l'obtention d'un résultat satisfaisant. La phase tests sert alors à évaluer les *résultats* de la mise en œuvre.

Enfin, c'est une situation *collaborative*, car les élèves travaillent en groupe et en plénière vers un but commun. Chaque membre de l'équipe est responsable de la réussite de la tâche.

### 3.2.2 Les réponses possibles

La situation permet une *multiplicité de réponses possibles*. Dans ce sens, le matériel d'investigation fourni est un matériel simple permettant une multiplicité d'utilisations possibles.

Les élèves sont informés qu'il n'y a pas qu'une solution possible et que la solution doit venir d'*eux-mêmes*. Pour élaborer une solution, les élèves doivent en quelque sorte sortir du paradigme juste/faux et accepter d'entrer dans la complexité du problème. Ce qui implique aussi d'avancer dans une certaine incertitude tout au long du processus. De plus, les élèves devront trouver des moyens de se mettre d'accord pour une solution qu'ils choisiront de mettre en œuvre.

Toutefois, un grand nombre de contraintes composant la situation viennent réduire les possibilités. La plus importante est la nécessité de mise en œuvre sur le plan expérimental : les élèves ne peuvent se contenter de se laisser aller à l'imagination de toutes sortes de possibles, ils doivent impérativement trouver une solution qui puisse être *opérationnelle*, c'est-à-dire *réalisable*, réaliste sur le plan matériel. En effet, les investigations doivent déboucher sur la création d'un *produit*, d'un *objet tangible* : une maquette expérimentale.

De plus, il faut que la solution soit *efficace*, qu'elle intègre au mieux les différentes contraintes données. Il est important de préciser qu'une solution efficace représente un certain *compromis* dans la gestion des différentes contraintes, d'où la possibilité d'une diversité de réponses. Autrement dit, les solutions répondent parfois en priorité à certaines exigences au détriment d'autres. En fait, une hiérarchisation des contraintes et des choix doivent être établis pour parvenir à un résultat.

Une solution est ainsi considérée comme un *optimum*, ou une proposition *optimale*, et non parfaite, pour résoudre un problème. Cela signifie d'une part que la solution peut toujours être *améliorée*, et d'autre part qu'elle peut toujours être *discutée*. Enfin, pour les élèves, cela implique de pouvoir expliciter les choix entrepris, et d'être capables de les justifier si nécessaire.

Voyons maintenant de plus près les contraintes qui composent la situation de défi. Une partie des contraintes de la situation sont *explicitées* clairement lors des consignes. Il s'agit des contraintes pratiques à considérer dans l'élaboration des réponses (une tour en papier de 1 mètre de haut qui tient debout et qui résiste à divers tests, etc.). Une autre partie des contraintes avec lesquelles les élèves devront interagir ne sont pas explicitées. Il s'agit des paramètres technoscientifiques du problème, en jeu de manière implicite et inter reliée dans la situation (solidité, stabilité, rigidité, hauteur, poids, etc.). Comme mentionné, ces éléments ne sont pas définis au départ, c'est en grande partie lors de la phase de mise en œuvre, que les élèves vont y être confrontés, en tant qu'obstacles expérimentaux. Ces paramètres pourront toutefois être anticipés par les élèves lors de la phase de conceptualisation.

Voyons également sous quelles formes les contraintes sont exposées aux élèves, et de manière plus générale comment le défi est présenté aux élèves.

### 3.2.3 L'énoncé du problème

*Comment le défi est-il présenté ? Comment l'énoncé du problème est-il formulé ? Quelles sont les consignes ? Quelles informations et quelles contraintes sont explicitées ? Pour quel résultat ?*

Concrètement, dans le défi des Tours en papier, les élèves vont devoir inventer et réaliser des modèles de tours imaginaires. Tout d'abord, à travers une sorte de mise en

scène servant de « mise en situation », les élèves vont prendre connaissance d'une partie de la situation problème. Puis, un « cahier des charges » est fourni aux élèves.

Les deux parties constituent les *consignes* du défi. Elles regroupent des informations, des *indications* fournies au départ à l'oral sur la base d'un texte écrit en plénière. Notons au passage que la lecture d'un texte écrit vise à permettre aux élèves de donner du crédit à la tâche, et à les rassurer sur le fait que les indications fournies sont fixes et non arbitraires. La deuxième justification du texte écrit est de servir de référence commune au cas où un élève viendrait contester l'omission d'une ou l'autre information par l'enseignant.

### 3.2.4 La mise en situation

*« Nous sommes en 2022. De plus en plus de catastrophes naturelles surviennent sur notre planète terre : tremblement de terre, ouragan, avalanche, tsunami, etc. Il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de supporter diverses catastrophes naturelles pouvant advenir à tout moment.*

*Vous êtes des ingénieurs venant des 4 coins du monde et venez participer aujourd'hui à un symposium international très important : nous devons aujourd'hui réfléchir ensemble pour concevoir un modèle de tour très résistante, à moindre coût, et intégrant les normes écologiques usuelles ».*

Cette partie de la consigne a plusieurs objectifs. Premièrement, elle permet aux élèves d'entrer dans « le jeu » du défi, en construisant un environnement sémantique dans laquelle la tâche prendra du sens.

Ensuite, il vise à créer un environnement à la fois attrayant et motivant. En effet, la mise en situation vise à captiver la curiosité des élèves en leur demandant –plus ou moins explicitement selon les fois– de sortir de leur rôle habituel d'élève pour entrer dans la peau d'un ingénieur (chercheur, architecte, etc.) : « *vous êtes des ingénieurs (...) et venez participez aujourd'hui à un symposium très important* ». L'image de l'ingénieur ou de l'architecte est potentiellement douée d'attraits pour les élèves de par l'idée d'ingéniosité et de créativité qu'il véhicule. Dans le même sens, la situation est volontairement imaginaire et romancée afin de projeter les élèves dans une fiction futuriste attrayante (« *Nous sommes en 2022, de plus en plus de catastrophes naturelles surviennent sur notre planète terre (...)* » etc.). De plus, la situation fait référence à des problèmes environnementaux contemporains plausibles voire probables, offrant ainsi une certaine crédibilité à la tâche. De cette façon, les élèves sont interpellés comme des sauveurs de demain face à des problèmes qui les menacent eux-mêmes, ce qui est susceptible de nourrir un sentiment de responsabilité qui dépasse l'exécution pure de la tâche. Le sentiment de risque et d'urgence véhiculé par la situation (« *Il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de*

*supporter ces catastrophes pouvant advenir à tout moment (...) ») vient renforcer le caractère à la fois engageant et excitant du défi.*

Dans l'ensemble, cette partie fournit des éléments d'inspiration pour l'imagination de solutions, en commençant par ouvrir le champ des possibles. A ce stade, la situation est encore floue, les élèves ne savent pas encore ce qu'il leur sera demandé, mais l'opportunité de pouvoir imaginer par eux-mêmes des solutions est potentiellement séduisante.

Par ailleurs, le rôle de la mise en situation ne se limite pas à planter le décor et à enjoliver la situation pour la rendre plus attrayante. Elle ne devrait pas non plus être perçue comme un moyen de rendre le problème plus complexe ou de brouiller les pistes. Les éléments symboliques permettent de créer du sens autour des consignes purement matérielles qui seront données ensuite et de mieux s'imaginer leurs implications potentielles. Enfin, cette partie de l'énoncé joue un rôle important pour l'activité de problématisation des élèves. Nous reviendrons sur ce dernier point plus loin puisqu'il correspond à l'objet central de l'analyse présentée dans cette thèse.

#### 3.2.4.1 *Cahier des charges*

Une fois les élèves mis en situation, un « cahier des charges de l'ingénieur » leur est transmis. Celui-ci donne des directives quant à la tâche à réaliser concrètement dans le temps qui suivra, ce qui permet aux élèves de se faire une représentation plus précise de ce qui les attend.

*« Chaque équipe de recherche doit construire une maquette en papier de 1 mètre de haut. Vous n'aurez à disposition que du papier journal (5 doubles feuilles au départ), quelques bouts de scotch (2 bandes de 50 cm au départ). Vous n'avez pas le droit de fixer votre construction sur la table avec du scotch (car elle doit pouvoir s'adapter à n'importe quel sol), et devra supporter le poids de panneaux solaires (livre) que vous devrez installer au sommet de la manière que vous voulez sans utiliser de scotch.*

*Important : vous avez la possibilité de venir rechercher du matériel supplémentaire à tout moment. Les dépenses seront comptabilisées pour une meilleure visibilité des procédés de fabrication.*

*Vous avez une heure pour imaginer et réaliser votre tour, en sachant que vous devrez vous présenter à plusieurs réunions générales entre temps. A la fin, votre tour sera soumise à un exercice de simulation, et vous devrez vendre votre projet devant le comité. Les idées les plus efficaces et les mieux défendues lors de ce symposium serviront de base à la création d'un futur modèle. Avertissement : Il n'y a pas qu'une seule solution possible : toutes les pistes de solutions utilisant le matériel donné et respectant le cahier des charges sont acceptées ! »*

D'abord, les élèves apprennent qu'ils devront travailler en groupe pour concevoir un projet de construction, et qu'ils devront se montrer capables de le réaliser

concrètement. L'opportunité de pouvoir mettre en formes et de voir se réaliser leur idée en trois dimensions a une valeur forte pour les enfants et pourra servir de moteur tout au long de l'activité.

Cependant, le cahier des charges transmet un ensemble important de contraintes. Il focalise cette fois l'attention des élèves sur des aspects très pragmatiques venant confronter les aspects plus conceptuels de la première partie de la consigne. Cet environnement contraignant vise un double effet : l'ensemble des contraintes qui sont présentées viennent réduire le champ des possibles et impliquent par-là même une précision du problème ; les nécessités et les possibilités sont ainsi définies.

Ensuite, le matériel mis à disposition pour réaliser les constructions est limité : uniquement du papier journal et quelques bouts de scotch seront distribués. Le choix du matériel d'investigation mis à disposition comporte plusieurs caractéristiques intéressantes. En effet, le papier permet une multitude de possibilités d'utilisation (coupé, déchiré, froissé, plié, roulé, etc.) mais comporte à la fois de grosses limites en tant que matériel de construction (peu de rigidité propre), contrairement par exemple à du carton ou des plots de bois. C'est principalement autour des limites et des possibilités du matériel que devra se construire le questionnement et l'investigation des élèves : le défi a beau comporter de nombreuses contraintes, l'efficacité de la solution se joue avant toute chose au niveau de l'utilisation du papier.

De plus, la quantité de matériel donné au départ est restreinte, et les élèves sont encouragés à faire preuve d'économie dans l'usage du matériel. Les élèves peuvent toutefois venir chercher autant de matériel supplémentaire dont ils ont besoin, celui-ci sera simplement comptabilisé dans le carnet de bord collectif. L'intérêt de distribuer une quantité restreinte de matériel est multiple : d'abord, pour ne pas gaspiller du matériel, les élèves sont incités à réfléchir à des moyens d'optimiser le matériel, évitant ainsi qu'ils se lancent tête baissée dans une construction peu réfléchie. De plus la faible quantité de papier donnée incite les élèves à devoir converger vers une stratégie d'utilisation commune et à impliquer directement tous les membres du groupe sur la même construction pour ne pas gaspiller de matériel. La quantité restreinte ne devrait cependant pas empêcher les élèves de tâtonner et de réaliser des essais avant de choisir une stratégie. Enfin, cette contrainte participe au dépassement d'une représentation susceptible de faire obstacle chez les élèves, selon laquelle il faudrait nécessairement une grande quantité de papier pour construire quelque chose de solide.

En outre, la construction doit mesurer un mètre de haut. Cette contrainte est du même type que la dernière. Elle vise les élèves à réfléchir sur des moyens d'optimisation du matériel. De plus, elle vise à dépasser la représentation selon laquelle il faut nécessairement beaucoup de papier pour construire quelque chose de haut.

Des contraintes supplémentaires viennent complexifier la tâche : il est interdit de fixer la tour sur la table de travail avec du scotch, un livre doit être fixé au sommet de la



construction, et un exercice de simulation visant à tester la résistance des constructions sera mis œuvre. Toutes ces contraintes visent un objectif commun : inciter les élèves à réfléchir à de moyens d'obtenir de la solidité, de la rigidité et de la stabilité.

Dans l'ensemble, la situation de défi proposée s'inscrit dans un milieu fortement *antagoniste* au sens de Brousseau (1986)<sup>74</sup> de par les contraintes fortes qu'il implique, et le réel particulièrement *résistant* avec lequel les élèves vont interagir.

Enfin, la situation particulièrement contraignante crée justement l'intérêt du défi : si le but semble d'emblée très accessible, même si les moyens pour y arriver ne sont pas définis, l'enjeu du défi peut sembler faible. Au contraire, si la tâche semble soudainement plus difficile qu'elle n'y paraissait au départ, mais que les élèves se sont déjà « fait prendre au jeu » lors de la mise en situation, les nouvelles contraintes peuvent se montrer d'autant plus stimulantes. Il est possible que l'incertitude ou l'appréhension de ne pas arriver à relever le défi puisse minimiser pendant un court instant la motivation de certains élèves... mais la peur de ne pas être capable ressentie individuellement peut se dissoudre grâce au travail d'équipe (partage de la responsabilité). De plus, le fait que tous les élèves de la classe soient mis au défi en même temps à partir des mêmes contraintes de départ est susceptible d'encourager chacun à entrer dans l'aventure. Enfin, le fait de savoir qu'il n'y a pas de solution unique et qu'une diversité de solutions pourra être accueillie encourage les élèves à s'impliquer dans la recherche de solutions personnelles et à faire preuve d'initiatives.

### 3.2.5 La validation des réponses

Une autre caractéristique de la situation de défi concerne les différents modes de validation des solutions des élèves. La validation des solutions peut se produire à différents moments de l'activité et correspond à différents niveaux de l'activité : elle peut résulter d'échanges entre les membres d'un groupe de travail (pairs), ou résulter des mises à l'épreuve des solutions avec le matériel expérimental (tâtonnements, tests). La validation des solutions se fait ainsi en partie sur un plan *sociocognitif* et en partie sur un plan *expérimental*.

Au départ (T1), les élèves doivent négocier entre eux pour parvenir à un consensus et *valider* la solution qui sera ensuite mise à l'épreuve. Cette négociation –pour autant qu'elle doive se produire– est fortement susceptible de faire l'objet de confrontations diverses au sein du groupe. Ces confrontations sont perçues comme favorables dans le sens où elle peuvent favoriser un dépassement des représentations personnelles de

---

<sup>74</sup> Le milieu est défini comme un système antagoniste à l'élève (Brousseau 1986). Dans ce sens, la construction d'une nouvelle connaissance se fait « contre » le milieu, qui sanctionne les choix inadaptés de l'élève.

départ, qu'elles s'opèrent dans un conflit sociocognitif ou non, et à travers une argumentation fondée ou non.

Après avoir été mis à l'épreuve du jugement des pairs, le projet est *mis à l'épreuve du réel*. Le passage à l'opérationnalisation représente une étape de la validation de la solution : les élèves pourront constater si les stratégies choisies sont efficaces du moment même où ils commenceront à les mettre en œuvre. Ainsi, l'élève valide ou invalide ses stratégies en partie dans le courant de ses tâtonnements avec le matériel.

Compte tenu des limites du matériel d'investigation (notamment par la faible rigidité propre du papier) on peut s'attendre à ce que les élèves rencontrent divers obstacles, qu'ils devront faire en sorte de dépasser (notamment en mettant au point des stratégies de régulation) s'ils souhaitent persévérer.

Enfin, une fois le temps imparti écoulé, une phase de test est prévue et participe à valider les réponses des élèves. L'analyse et la confrontation des différents résultats prolongent elles aussi la validation des solutions. Cette étape sera décrite plus en détail dans le point suivant.

En résumé, l'ensemble des composantes du défi participent à la constitution d'un milieu fortement antagoniste, de par les multiples confrontations qu'il implique, autant au niveau sociocognitif qu'au niveau empirique.

### 3.2.6 Le déroulement de la séquence

Plusieurs étapes ponctuent le déroulement de la séquence<sup>75</sup>. Chaque passage à l'étape suivante représente un changement de milieu pour l'élève. La partie qui suit présente en détail les différentes étapes, en explicitant les intentions didactiques respectives. Il est expliqué comment chaque étape vise à favoriser l'élaboration du problème par les élèves, en décrivant la posture de l'enseignant ainsi que les milieux topo-, méso- et chronogénétique (Brousseau, 1998, cité par Sensevy, 2001).

Une grande caractéristique du défi proposé est une alternance entre les moments de travail en groupe et les moments de travail en plénière. Les temps de travail en groupe correspondent à des temps d'investigation avec ou sans matériel, et les plénières permettent des mises en commun. Toutefois, une grande partie du travail en groupe se construit dans la mise en commun et la confrontation d'idées plus ou moins divergentes. De plus, les moments de plénière permettent parfois, en particulier la phase test, de prolonger l'investigation collectivement, afin de confronter les différentes observations/interprétation face aux mêmes résultats<sup>76</sup>.

---

<sup>75</sup> Une fiche d'activité est disponible en annexe.

<sup>76</sup> Précisons, que chaque étape est variable en temps, l'enseignant devant juger selon la dynamique et l'état d'avancement général qu'il observe dans les groupes.

<b>T1</b>	5 min	Lecture des consignes en plénière	Enoncé du problème, problématique de départ
<b>T2</b>	5-10min	Travail en groupe	Investigations sans matériel Phase de conception du projet
<b>T3</b>	10 min	Mise en commun en plénière	Avancement de la problématique « Problèmes identifiés »
<b>T4</b>	15-20 min	Travail en groupe	Investigations avec matériel Phase I mise en œuvre du projet
<b>T5</b>	5-10 min	Mise en commun en plénière	Communications des observations et des résultats en cours « Problèmes rencontrés »
<b>T6</b>	15-20 min	Travail en groupe	Finalisation des projets Phase II mise en œuvre 2
<b>T7</b>	30-45 min	Mise en commun en plénière	Tests, analyse et comparaison des résultats Explicitation des démarches entreprises Imagination de pistes d'amélioration possibles

Tableau 6 Etapes du défi et Timing

L'activité commence par la lecture en plénière de la mise *en scène* puis *du cahier des charges* par l'enseignant (**T1**), permettant d'*engager* les élèves dans la problématique<sup>77</sup>. Après la récolte des premières réactions à froid (*par ex. le défi vous semble-t-il possible ? pourquoi ? etc.*), une première phase de recherche en petit groupe débute (**T2**, 5-10 min), où il est demandé aux participants de discuter de leur premières idées et voir comment ils vont s'y prendre avant d'avoir accès au matériel. Il est aussi proposé aux élèves de noter leurs premières idées sur une feuille de brouillon et/ ou de dessiner schématiser leur projet.

Le travail en petit groupe est l'occasion pour les élèves de partager leurs interrogations, leurs appréhensions et leurs propositions face au défi proposé. A cette étape, le matériel d'investigation n'est pas distribué pour plusieurs raisons. Premièrement, il s'agit de faire évoluer la construction du problème sur un plan conceptuel, autrement dit, de laisser les élèves *réfléchir* au problème avant d'être confrontés à des problèmes exclusivement empiriques. C'est aussi un moyen d'exercer les élèves à *explicit*er leurs idées, à formuler des *prévisions* vis-à-vis des obstacles potentiels, et à *anticiper* des moyens de mise en œuvre. En creusant un peu autour des consignes, les élèves peuvent commencer à repérer les différents

<sup>77</sup> La façon dont la formulation de la situation permet de motiver et d'engager les élèves est décrite plus haut dans le point énoncé du problème et sera reprise plus loin lors de l'analyse – phase de conceptualisation.

problèmes (*le papier c'est trop léger, 1 mètre c'est quand même haut*) et à mettre en mots ou en formes leurs premières pistes de solutions (*on pourrait faire comme ça, mon idée c'est, etc.*). Dès le départ, les élèves ont sûrement des représentations de départ différentes du problème, et des propositions de solutions diverses. Or, les élèves doivent se mettre d'accord, d'une manière ou d'une autre, pour converger vers une seule solution. Dans cette perspective, les confrontations –voire les conflits sociocognitifs– occasionnées entre pairs sont susceptibles de faire évoluer les propositions ainsi que les représentations qui les sous-tendent.

Ensuite, une première « réunion générale » est annoncée par une clochette, elle correspond à la première plénière (**T3**), servant à mettre en commun les « problèmes identifiés ». L'enseignant pose des questions à chaque groupe, du type « *qu'est-ce qui pose problème dans ce défi ? Qu'est-ce qu'il vous semble difficile à réaliser ?* » et note les observations des élèves dans le « carnet de bord collectif » (au tableau noir) sous forme de mots clé. Ici l'enseignant vise à prolonger le travail initié en petits groupes en favorisant l'explicitation et la métaréflexion, au moyen de plusieurs relances et reformulations. L'enseignant essaie du mieux que possible de reprendre les mots des élèves, or l'effort de résumer leurs idées par des mots-clés que tout la classe comprend et valide, participe non seulement à l'activité d'élaboration du problème, mais permet aussi d'institutionnaliser les connaissances en cours de construction. Cette partie dure environ 10 minutes.

Suite à cela, les élèves se retrouvent en petits groupes et se lancent dans la première phase de recherche avec matériel (**T4**, 15-20 min). Dans cette phase de travail, c'est l'occasion pour les élèves de mettre en forme les idées émergées en amont, cette fois par tâtonnements direct avec le matériel. Ici, les élèves devraient se confronter à des obstacles qui les poussent à reconsidérer leurs représentations, au mieux les faire évoluer, et à mettre en œuvre des stratégies de remédiations. Les différents points de vue impliqués par les observations est susceptible de faire émerger de nouvelles confrontations entre pairs. Les groupes s'organisent comme ils l'entendent, des moments de tâtonnement individuel viennent sans doute se mêler à une co-construction générale de groupe. Dans cette étape, l'enseignant fait le tour des groupes et il représente le témoin du cheminement de chaque groupe, il intervient peu verbalement, si ce n'est pour recadrer les élèves sur la consigne<sup>78</sup>.

Puis, une deuxième « réunion générale » vient rompre l'activité des élèves (**T5**, 5-10 min). Il est demandé aux élèves de s'arrêter là où ils en sont pour venir se réunir en plénière et mettre en commun les observations, et démarches entreprises. Cette plénière est nécessaire pour faire le point et inviter les élèves à *prendre du recul* par rapport aux constructions en cours. L'enseignant questionne les élèves au sujet des

---

<sup>78</sup> En cas de panne ou de démotivation générale (les fausses pistes ne sont pas nécessairement à recadrer !) l'enseignant propose une relance pour un ou tous les groupes à partir d'un petit défi complémentaire (faire un livre sur une seule feuille de papier) pendant un « temps mort ». Ceci favorise la prise de recul avec la complexité du défi principal et l'émergence de nouvelles pistes.

obstacles rencontrés, afin de compléter le carnet de bord collectif, « *quels problèmes avez-vous rencontrés ? Qu'est-ce qui pose problème exactement ? Comment faire pour améliorer ?* ». Une mise en commun des solutions et des régulations déjà mises en œuvre est aussi proposée. L'enseignant encourage à nouveau l'effort d'explicitation et de métaréflexion chez les élèves, et tente de les confronter sur certains résultats observables à ce stade.

De suite, les élèves regagnent leur groupe pour une deuxième phase de recherche (T6, 15-20 min). L'écoulement du temps est annoncé régulièrement, jusqu'aux deux dernières minutes fatidiques. Les élèves doivent avoir fait en sorte d'avoir fini leur construction au temps imparti. Au cours de la mise en œuvre, l'enseignant peut intervenir dans les groupes pour questionner/confronter les élèves sur l'intégration des éléments discutés lors de la précédente plénière.

Enfin, la réunion générale finale (T7) vient boucler la séquence. Elle commence par la présentation des résultats des constructions. Chaque groupe est d'abord amené à rendre compte de ses *démarches*, en explicitant par exemple les différentes étapes par lesquelles il est passé pour arriver au résultat : « *Comment en êtes-vous arrivé là ? Comment avez-vous procédé ? Quelles sont les stratégies de fabrication que vous avez trouvées ? Quels changements ont dû être mis en œuvre depuis l'idée initiale ? Pourquoi ? Etc.* ». Pour cela, les résultats des constructions servent de points de repère pour se remémorer le chemin parcouru. De plus, chaque groupe est encouragé à « vendre son projet » aux autres groupes en tant que « membres de la communauté scientifique » : « *Notre projet de départ était de..., mais nous avons constaté que... alors, nous avons essayé de..., cela nous a permis de..., finalement a trouvé que..., etc.* ». L'exercice implique une explicitation et une justification des choix établis – plus ou moins consciemment à l'origine – et des « procédés de fabrication ». Ceci prolonge le travail de formulation du problème : « *Nous avons choisi cette piste parce que c'était une bonne manière de solidifier le papier ; nous avons préféré nous concentrer avant tout sur la hauteur plutôt que la solidité, etc.* ».

Après chaque présentation, une « phase test » comprend le relevé de plusieurs résultats<sup>79</sup> : la mesure de la hauteur de la tour, l'évaluation de la résistance à différents « tests de simulation de catastrophes naturelles » (le tremblement de terre est simulé par un branlement de la table et l'ouragan, par un sèche-cheveux), ainsi que le calcul de la quantité de matériel utilisé en supplément (papier/scotch). La diversité des constructions est favorable à un travail d'analyse et de comparaison permettant d'aider les élèves à identifier les différents paramètres technoscientifiques en jeu, etc. Devant les résultats des tests, les élèves tentent de répondre à diverses questions posées par l'enseignant : « *Pourquoi ça marche, pourquoi ça marche pas ? Qu'est-ce qui marche et qu'est-ce qui ne marche pas exactement ?* ». Les résultats sont discutés en plénière et tout le monde participe à l'imagination de pistes d'amélioration possibles des dispositifs : « *Quels sont les points forts ? les points faibles ? Quelles*

---

<sup>79</sup> Cf. annexes critères d'évaluation dans le tableau des résultats.

*pistes d'amélioration peut-on imaginer ? Si c'était à refaire, que feriez-vous différemment ? Que garder pour la suite ?* ». Les constructions servent de support tangible à la réflexion, et favorisent ainsi la formulation d'hypothèses plus opérationnelles<sup>80</sup>.

En plus de la confrontation aux tests, diverses critiques suggestives envers les propositions peuvent émerger de la part des autres groupes, ou de l'enseignant. Un petit bilan permet de compléter le tableau de bord et d'institutionnaliser les différents « points importants » à retenir. Il faut un certain temps pour faire le tour de tous les groupes et permettre à chacun d'exprimer ses points de vue. Pour cette raison, il faut compter entre 30 à 45 minutes au minimum.

En cette dernière étape du défi, l'objectif est d'une part de conduire les élèves à prendre conscience de l'évolution de leurs idées et des étapes de leur mise en formes afin d'être capable d'en rendre compte explicitement a posteriori. Ensuite, il est question de les aider à conscientiser leurs démarches de recherche spontanées, c'est-à-dire les moyens<sup>81</sup> mobilisés pour permettre l'avancement du projet : *Qu'est-ce qui vous a permis de décider si... ? Comment avez-vous fait pour savoir si... ? Pourquoi vous avez choisi de... ? Avez-vous discuté ou fait des essais avant de... ? Sur quel objectif votre groupe s'est principalement focalisé ?*

Les élèves sont aussi amenés à témoigner de la dynamique de leur groupe (phase de motivation, de découragement, etc.) et de la manière dont celui-ci s'est organisé à l'interne –plus ou moins consciemment– pour partager les tâches, se mettre d'accord, prendre des décisions, etc. Cette partie de l'activité est particulièrement exigeante en ce qu'elle demande aux élèves un recul suffisant pour aborder les résultats de l'activité sous différents points de vue et différents niveaux de réflexion (conceptuel, expérimental, métaréfléxif).

### 3.2.7 La posture de l'enseignant

De manière générale, l'enseignant tient une posture de guide, de tuteur, de « coach ». Pendant les moments d'investigations, il évite de diriger et d'orienter les élèves dans des directions qu'il pourrait juger meilleures ou moins incertaines. S'il *oriente* les élèves, c'est en les ramenant systématiquement au processus de questionnement et de réflexion, en invitant les élèves à préciser leur regard –*qu'est que tu observes ? qu'est-ce que tu attends à voir ?*– leur pensée –*qu'est-ce que toi tu penses, tu imagines ? comment tu expliques cela ?*– et leurs gestes –*qu'est-ce que tu fais ? qu'est-ce que tu cherches ?* –.

---

<sup>80</sup> Nous entendons par *hypothèses opérationnelles*, des hypothèses qui puissent être mises en œuvre pratiquement.

<sup>81</sup> À la différence des *stratégies* qui sont comprises dans cette recherche comme relevant du contenu.

Il ne cherche donc pas à répondre aux questions des élèves, même si ceux-ci le sollicitent, mais veille particulièrement à tenir leur questionnement en éveil. Il rebondit par exemple sur les questions des élèves en les relançant sur d'autres questions.

La posture de l'enseignant dans le défi est loin d'une posture de détenteur de savoirs : il ne détient pas la clé du défi, puisque les solutions pour le relever sont multiples. De plus, il ne peut anticiper exactement les points d'arrivée des cheminements des élèves et ne connaît pas forcément les stratégies « les plus efficaces ». Mais ayant lui-même expérimenté le défi précédemment<sup>82</sup>, il est plus à même de suivre les élèves dans leur cheminement propre tout en faisant en sorte que les orientations prises puissent être fécondes d'une manière ou d'une autre (cf. objectifs d'apprentissage visé).

Ses *propres* interrogations peuvent être utiles au questionnement des élèves. La part d'incertitude inhérente au défi proposé est une composante essentielle en ce qu'elle plonge aussi l'enseignant dans un questionnement en suspens. A ce propos, l'enseignant doit être capable de donner lui-même l'exemple de sa capacité à questionner.

Enfin, ce n'est pas l'enseignant qui valide les réponses des élèves et les résultats des investigations. De manière générale, il tient un rôle de garant et de témoin de *ce qu'il se produit au moment présent* dans la classe. Dans ce sens il est encouragé à exploiter le plus possible ses observations *in situ* pour faire avancer les cheminements de recherche des élèves. A nouveau, des connaissances a priori sur les problèmes technoscientifiques en jeu et au sujet des représentations généralement partagées par les élèves peuvent servir de points de repères pour orienter le questionnement.

Concrètement, l'enseignant commence par avertir les élèves du type de tâche qu'il leur demandé (« *Aujourd'hui je vous propose de relever un défi....pour cela vous travaillerez par groupe et ferez attention de bien écouter les consignes* »). C'est l'enseignant qui définit les groupes de travail (3 à 4 élèves de préférence), en fonction des affinités et des différences (de niveaux, de tempéraments, etc.), pour créer selon son souhait des groupes plutôt homogènes ou plutôt hétérogènes. Il aura aussi préparé 1. au tableau noir les différents points du « *cahier de bord collectif* » ainsi que le « *tableau des résultats des groupes* » (c.f. annexes), 2. préparé des petits paquets de 5 feuilles double et des bandes de scotch prédécoupées de la bonne longueur (50 cm).

Pour commencer, il met les élèves en condition de défi en lisant la petite mise en scène d'un air sérieux et énigmatique, puis le cahier des charges (T1). Il n'intervient

---

<sup>82</sup> Il est essentiel que l'enseignant expérimente lui-même le défi, pour se faire une idée personnelle et sur une base empirique de la nature du problème, et mettre à l'épreuve ses propres représentations sur la question. Une fois ses expériences et ses observations *digérées*, l'enseignant peut ainsi plus facilement et consciemment mettre à l'écart ses *a priori* afin de ne pas venir parasiter le cheminement subjectif des élèves. Ensuite, le fait de pouvoir se raccrocher à des éléments qu'il *connaît* permet en quelque sorte de rassurer l'enseignant face à l'incertitude occasionnée par la diversité des cheminements subjectifs qu'il devra accompagner.

pas verbalement pendant la première discussion en groupe (T2), si ce n'est pour rappeler les consignes à ceux qui demandent des précisions.

Pendant les temps des investigations en groupe (T4, T6), il veille à accompagner chaque groupe dans son cheminement de recherche propre, en posant des questions plutôt qu'en amenant des solutions (du type : *qu'est-ce qui est important à votre avis ? Qu'est-ce qui pose problème ? Comment il faudrait faire pour... ? Quelle est votre idée ? Qu'est-ce que vous êtes en train de faire, expliquez-moi ? Pourquoi vous avez abandonné l'autre idée ? Comment vous pensez faire ensuite ? Etc.*). De manière générale, il encourage les élèves à poursuivre leurs investigations dans un esprit collaboratif et les incite à la métaréflexion concernant les démarches entreprises : « *Comment vous procédez dans votre groupe ? Est-ce que les idées de tous ont pu être entendues ? Est-ce que tout le monde participe ? Tout le monde sait ce qu'il doit faire ? Comment vous pouvez vous partager les tâches ? Prenez peut-être un peu de temps pour réfléchir, pour faire des essais, des tests, puis comparer, etc.* ».

Pendant les moments de plénières (T3, T5), il s'aide du *carnet de bord collectif* pour demander aux élèves de formuler, expliciter leur cheminement de recherche (problèmes identifiés, pistes de solutions). L'enseignant ne retranscrit pas mot pour mot les dires, il tente déjà de faire émerger les concepts/variables sous-jacents au problème (*ce qu'il y a derrière*) en aidant les élèves à trouver des mots-clés résumant leur idée. En somme, il sollicite, soutient et participe à l'activité de problématisation.

### 3.2.8 Les éléments de construction du problème

La situation problème présentée aux élèves fournit un ensemble d'éléments avec lesquels ceux-ci vont travailler. Il s'agit à la fois d'informations contextuelles, de contraintes techniques et de contraintes organisationnelles. Certains seront moins essentiels que d'autres pour parvenir à relever le défi, mais tous les éléments représentent des "matériaux" potentiels pour la *construction* du problème. En effet, l'activité de problématisation des élèves ne se résume pas à l'identification des éléments importants ou non importants cités dans les consignes. La problématisation est considérée ici comme le processus progressif de construction et de mise en liens qui s'opère en intégrant les différents éléments du problème (nous reviendrons sur ce point plus loin).

Tout d'abord, il est important de pouvoir bénéficier d'une vue d'ensemble des différents éléments constituant le problème. Le tableau suivant présente à la fois les différents *niveaux* et les différents *éléments* le composant.



Défi		Différents niveaux du problème				
Différents éléments du problème	Conception d'une tour	Registre conceptuel		Registre opérationnel		
		Contraintes symboliques « Mise en situation »		Contraintes matérielles « Cahier des charges »	Paramètres techno-scientifiques	Variables d'action
		imaginer une tour		construire une tour	design	forme générale
		qui résiste aux catastrophes naturelles		tient debout	hauteur	modes d'assemblage des segments de papier
				mesure 1 mètre	solidité générale : stabilité & rigidité de la structure	
				résiste aux tests de simulation		
		adaptable à divers sols		pas fixé à la table		
		écologique	doté de panneaux solaires	maintient et soutient un livre au sommet		
			fait avec des matériaux fabrication peu coûteux	avec peu de matériel	économie matériel	quantité
	en situation d'urgence, de danger potentiel		en peu de temps	économie de temps	simplicité	
Travail d'équipe	rôle de chercheur, ingénieur, scientifique, architecte	équipes de recherche	travailler en groupe	questionnement entre pairs		
		réunions générales	travailler en plénière	questionnement entre tiers		

Tableau 7 Les différents niveaux de problématisation

Premièrement, les éléments qui constituent le problème se portent sur quatre niveaux :

Le premier niveau correspond aux **éléments symboliques** de la tâche, éléments transmis dans *la mise en situation* de défi : dans une situation d'urgence, futuriste mais probable, il s'agit de concevoir un modèle de tour fonctionnelle (bâtiment habitable, sécurisé), spécialement résistante (face à diverses catastrophes naturelles),

et de préférence écologique. A cela vient s'ajouter le rôle du scientifique (chercheur, ingénieur, architecte), le travail en équipe de recherche (collaboration), ainsi que les réunions générales (communication).

Le deuxième niveau est celui des **contraintes matérielles** de la tâche, contraintes explicitées dans le *cahier des charges* : concrètement, dans le moment présent, il s'agit de construire en peu de temps, avec un matériel restreint (papier journal, scotch) et en quantité limitée, une construction en papier, qui tient debout, qui mesure un mètre de haut, et susceptible de résister à divers tests de simulation.

Le troisième niveau correspond aux **paramètres technoscientifiques** sous-jacents aux contraintes du défi ; ces paramètres interagissent entre eux : rigidité, solidité, stabilité et hauteur de la construction. L'économie de temps et de matériel sont également en jeu ici.

Un quatrième niveau correspond aux **variables d'action** sur lesquelles il s'agit d'agir pour gérer au mieux les différents paramètres cités en amont. La forme à donner au papier (façonnage), la forme générale de la construction (assemblage) ainsi que la quantité de matériel.

Chaque élément de ces différents niveaux fait partie du problème dans son ensemble. Autrement dit, l'élaboration du problème s'établit au milieu de tous ces éléments.

Au niveau des éléments explicités dans les consignes, le problème présente **des contraintes sur deux registres différents** :

- le *registre conceptuel* (contraintes explicitées dans la mise en situation de défi),
- le *registre opérationnel* (contraintes transmises par le cahier des charges).

On peut voir que chaque élément du registre conceptuel *correspond* à un élément du registre opérationnel. S'il y a correspondance entre les éléments, ceux-ci ne sont cependant pas interdépendants. Par exemple, la prise en compte d'un élément symbolique n'est pas nécessaire à la gestion d'une contrainte matérielle : la tour peut être pertinente et fonctionnelle du point de vue conceptuel, sans être efficace du point de vue opérationnel.

Il est important de préciser que les deux points de vue sont valables et justifiables dans la recherche de solutions pour relever le défi. Ceci, autant du point de vue des objectifs de la recherche (éléments de l'activité de construction de problème) que du point de la tâche (éléments pouvant constituer l'argumentation des élèves dans le but de « vendre » leur projet). Les divergences susceptibles d'apparaître ne signifient pas que certains élèves auraient *mal compris* les consignes en comparaison des autres. De plus, chaque représentation peut être justifiée (les élèves savent qu'ils devront expliciter et justifier leur choix lors de la présentation des résultats). Par exemple, si certains éléments retenus comme importants dans la conceptualisation du projet et se montrent non déterminant pour sa réalisation effective, ils peuvent toutefois avoir leur

importance lors de la justification des choix entrepris au moment de la dernière séance en plénière.

En effet, l'attention particulière portée à certains éléments des consignes risque de différer selon les groupes. Les divergences qui sont susceptibles d'apparaître pourraient provenir de différences de registres soit d'une attention portée sur des éléments différents du même registre. De plus, les différentes représentations auront probablement des effets différents sur l'orientation des investigations, et sur les solutions recherchées. Par exemple, il se peut qu'une fixation sur des éléments exclusivement contextuels dans le questionnement puisse représenter un obstacle pour parvenir à l'objectif opérationnel de la tâche (en d'autres termes, parvenir à *réaliser* le projet de tour en papier en tenant compte des différentes contraintes tangibles). De plus, une différence de représentation du problème est susceptible d'être l'occasion de plusieurs confrontations au sein du groupe.

### 3.2.9 Un questionnement à tous les niveaux

Comme développé plus haut, les différentes étapes de la séquence ainsi que la posture de l'enseignant encadrant l'activité vise à stimuler le questionnement des élèves à différents niveaux. De plus, le questionnement favorisé par la situation de défi est riche, puisque les problèmes impliqués par la situation sont multiples et inter reliés (problème complexe). Le questionnement des élèves peut se porter à tous les niveaux du problème présentés plus haut (contraintes symboliques, contraintes matérielles, paramètres technoscientifiques, variables d'action). En référence aux diverses contraintes explicites, les élèves doivent questionner l'enjeu du défi : « *Que doit-on faire exactement ? Qu'est-ce qu'il nous est demandé ? A quoi devront-nous faire attention ?* ». De plus, ils sont amenés à s'interroger sur les problèmes implicites de la situation : « *Qu'est-ce qui pose problème ? Quels sont les obstacles qu'on risque de rencontrer ?*, et à essayer formuler des hypothèses concernant les résultats qu'ils observent « *Pourquoi ça marche/ ça marche pas ? Etc.* ».

Plus particulièrement, le *noyau* du questionnement stimulé par le défi réside dans la tension entre les divers paramètres technoscientifiques problématiques en jeu dans la situation. Chaque élément du problème est inter relié à un autre : par exemple la question de la solidité générale implique la question de la rigidité du papier et de la quantité nécessaire, la question de la hauteur implique à la fois le problème de solidité et de stabilité, etc.

Pour relever le défi, les élèves doivent mettre en question tous ces éléments, de manière plus ou moins consciente et plus ou moins explicite. Les propositions des élèves sont chacune des *réponses* aux différents problèmes. Certaines répondent à un seul des éléments du problème, d'autres intègrent plusieurs éléments du problème.

La progression visée concernant le questionnement des élèves, réside dans la capacité à répondre le mieux possible au plus grand nombre de paramètres problématiques

simultanément. Dans l'approche systémique encouragée ici, il est question d'élaborer une *solution optimale*. Pour cela il s'agit d'être capable d'*identifier* et de *distinguer* les différents paramètres du problème, et plutôt que de chercher à les isoler dans l'expérimentation, c'est-à-dire à les traiter séparément, il s'agit justement de saisir les liens et les tensions qui s'exercent entre eux, et de proposer une solution qui les intègre au mieux.

Le tableau qui suit présente le "noyau du questionnement" relatif au défi des Tours en Papier.

Paramètres techno-scientifiques	Représentations attendues <i>C'est impossible !</i>	Questionnement sollicité	
		<i>Qu'est-ce que qui pose problème ? (quels sont les paramètres du problème en jeu ?)</i>	<i>Comment je peux faire pour le résoudre ? Sur quoi je peux agir ? (quelles sont les variables d'action possible ?)</i>
Rigidité du papier journal	<i>Le papier, c'est trop fragile !</i>	Comment faire quelque chose de <i>solide</i> avec quelque chose de <i>souple</i> ? Comment faire pour éviter que le papier s'affaisse, qu'il se plie ou se déchire ? Est-il possible de rendre le papier plus <i>rigide</i> ?	Comment le rendre <i>le plus rigide</i> possible ? Que faire avec ces feuilles de papier ? Comment le façonner ?
Solidité de la construction	<i>Ça ne tiendra jamais !</i>	Comment construire une structure <i>solide</i> ? Comment faire pour que la tour ne s' <i>effondre</i> pas ?	Quelle <i>forme</i> générale donner à la construction pour qu'elle soit solide ? Comment <i>assembler</i> les différentes parties de la structure de manière solide ?
Hauteur de la construction	<i>Un mètre, c'est trop haut !</i>	Comment faire pour construire une tour assez <i>haute</i> avec un matériel si <i>fin</i> , et avec si <i>peu</i> de papier ? Comment faire une construction à la fois haute et <i>solide</i> ; à la fois haute et <i>stable</i> ? Comment la faire tenir droit, la faire tenir en équilibre ?	Comment gagner de la hauteur en optimisant la <i>grandeur</i> des feuilles de papier ? Comment <i>assembler</i> les différentes parties de la structure pour atteindre 1 mètre ?
Quantité de matériel	<i>Quelques feuilles de papier, c'est trop peu !</i>	Comment faire une construction assez haute, solide, stable, avec si <i>peu</i> de papier ? Comment rendre la construction plus <i>solide</i> ou plus <i>haute</i> sans forcément augmenter la quantité de	Comment gérer l'utilisation du papier ? Comment l'économiser / éviter de le gaspiller ? Comment optimiser les feuilles de papier ?

		papier ? ...et sans trop augmenter le <i>poids</i> de construction ?	
Poids du livre	<i>Un livre, c'est trop lourd !</i>	Comment soutenir le poids du livre ? Comment le faire tenir sans que la construction s'écroule ? Comment le faire tenir en équilibre au sommet ?	Quelle <i>position</i> et quelle <i>fixation</i> prévoir pour le livre ? Quel support prévoir ? Quelle structure suffisamment solide pour supporter le poids du livre ?
Stabilité de la construction	<i>Ca ne serait jamais assez résistant !</i>	Comment résister à la fois au vent, aux tremblements, etc. ? Comment faire pour que la tour soit <i>stable</i> , et qu'elle résiste aux tests ? Comment maintenir l'équilibre de la construction ? Comment éviter qu'elle <i>bascule</i> ?	Que rajouter à la construction pour augmenter la stabilité ? Quelle forme générale de la construction (forme de la base, répartition du volume, du poids, etc.) ?

Tableau 8 Noyau du questionnement

### 3.2.10 Une démarche exploratoire, heuristique, inductive

Somme toute, la démarche sollicitée par le défi et de la part des élèves est bien *une démarche de questionnement permettant d'accéder à une meilleure compréhension* plus qu'une démarche de validation visant à la construction d'une explication. La recherche de réponses et d'explications tire en quelque sorte le processus en avant, mais ne représente pas la finalité visée. En ce sens, la démarche favorisée prioritairement est *une démarche exploratoire, heuristique et inductive* prenant source dans l'exploration collective et le tâtonnement avec le réel.

La démarche vise à laisser l'élève *découvrir* le problème par lui-même, de manière à favoriser son *appropriation*. Le fait de laisser l'élève se "frotter" au problème, s'y "dépatouiller", s'y imprégner par l'expérience sensible, y participe particulièrement. Or l'expérience du réel peut être vécue en tant qu'*épreuve* que si elle est prétexte au questionnement et si l'espace d'exploration permet vraiment de stimuler et/ou d'accueillir les initiatives des élèves. En effet un *guidage* trop sévère des démarches – par exemple un exercice de reproduction– ou au contraire trop mou –une simple manipulation du matériel ou une situation faiblement contraignante– n'est probablement pas propice au questionnement subjectif des élèves.

Ensuite, la démarche heuristique encouragée est caractérisée par des *approches successives* « *en éliminant progressivement les alternatives et en ne conservant qu'une gamme restreinte de solutions tendant vers celle qui est optimale* »<sup>83</sup>. De plus,

<sup>83</sup> Pappert (1967), ss la Dir J. Piaget, *Logique et connaissance scientifiques*, Encyclopédie de la Pléiade, vol. XXII, p.838

*l'hypothèse heuristique* peut être considérée comme une « *hypothèse adoptée provisoirement comme idée directrice indépendamment de sa vérité absolue* »<sup>84</sup>.

En outre, une démarche heuristique est avant tout une démarche vécue et réfléchie *subjectivement* : « *Il y a bien une critique des valeurs et des moyens de la science, mais l'art de trouver (quoiqu'on l'ait baptisé euristique), demeure aussi personnel que tous les autres arts* »<sup>85</sup>. Enfin, la démarche heuristique est « *plus une réflexion sur l'activité intellectuelle du chercheur que sur les voies objectives de solution* »<sup>86</sup>.

### 3.2.11 Les objectifs d'apprentissage du défi

Le fait de *réussir le défi* en trouvant une solution optimale efficace répondant à tous les critères ne représente pas en soi un objectif d'apprentissage, il représente uniquement le but de la tâche à réaliser. Il serait peu intéressant d'évaluer les élèves sur l'efficacité de leur construction. Par exemple, il se peut qu'une construction n'ait pas pu être menée à bout alors que les élèves venaient d'identifier un élément essentiel du problème et qu'ils n'aient pas réussi, par manque de temps, à imaginer ou mettre en œuvre une stratégie pour y remédier. Il se peut aussi qu'une construction se montre très efficace sans que le groupe ait véritablement travaillé le problème. Dans ce cas, le groupe serait peut-être incapable d'explicitier *ce* qui permet à leur solution d'être efficace et *pour quelles raisons*.

L'objectif pédagogique du défi se porte davantage sur le *processus de recherche* mis en œuvre pour arriver aux résultats, que sur la *pertinence des résultats* en tant que tels.

Néanmoins, les résultats des productions des élèves représentent des *supports essentiels* pour le travail visé. En effet, elles permettent un travail principalement centré sur l'observation et l'analyse des obstacles et des erreurs, dans une perspective de dépassement et d'amélioration. De même, les notions scientifiques véhiculées par la situation constituent les matériaux essentiels avec lesquels s'opère le travail, bien que leur acquisition ne représente pas l'objectif principal.

Dans ce sens, il est important que l'enseignant puisse centrer son attention sur les activités des élèves, sur la manière dont ils se comportent dans leurs investigations, en s'"allégeant" dans un premier temps de l'obligation d'aboutir à la construction de nouvelles notions scientifiques. De plus, ce sont les démarches ainsi que les attitudes (le « comment » plutôt que le « quoi ») qui sont considérés comme savoirs scientifiques à construire prioritairement.

---

<sup>84</sup> Marcel, G. (1914), *Journal métaphysique*, Paris, p.6

<sup>85</sup> Valéry, P. (1926), *Entretiens* [avec F. Lefèvre], Les nouvelles Littéraire, Paris, p. 133.

<sup>86</sup> Birou, A. (1966), *Vocabulaire pratique des sciences sociales*, Eds Economie et humanisme, Paris \*les quatre citations proviennent du CRNTL, lien : <http://www.cnrtl.fr/>

Ensuite, le type de démarche encouragée (décrite au point 1. 9) permet de travailler sur différentes facettes des démarches scientifiques au sens large. Du point de vue de la *démarche d'investigation mise en place par l'enseignant*, un déroulement de la séquence par étape vise à permettre aux élèves d'assurer un *passage symbolique* à travers différentes *facettes* ou *moments-clés*<sup>87</sup> de la recherche, à savoir : construire la problématique, élaborer des hypothèses, tester, mettre à l'épreuve ses hypothèses, observer, mettre en œuvre des moyens de régulation, communiquer ses résultats, rendre compte de la démarche de recherche. Or la démarche proposée est suffisamment souple pour que chaque *moment clé* ne doive pas être amené de manière linéaire et prédéfinie, mais en fonction des démarches des élèves. De plus, l'alternance entre le travail en groupe et le travail en plénière favorise l'occurrence et la répétition cyclique de ces différents moments-clés.

Du point de vue des *démarches d'investigation vécues* par les élèves, on peut s'attendre à des cheminements relativement intuitifs et spontanés, des logiques d'action multiples. De plus on peut s'attendre à ce que les différentes facettes de la recherche soient vécues non seulement dans un ordre non défini d'avance, mais pas nécessairement distinctement, ni forcément consciemment, et qu'elles apparaissent à tout azimut, voire en synchronie.

Les objectifs d'apprentissage visés sont :

- la capacité à construire un problème, une problématique,
- la capacité à imaginer des réponses possibles, à élaborer des hypothèses,
- la capacité à imaginer des moyens, des stratégies, des dispositifs pour mettre en œuvre ses hypothèses,
- plus généralement, la capacité de concevoir un projet et se donner les moyens de le *réaliser*, de lui donner forme, matière, et de lui permettre d'évoluer,
- la capacité à faire recours à l'empirie et/ou à une argumentation pour évaluer la pertinence ou l'efficacité d'une hypothèse.

Plus précisément :

- la capacité à identifier, définir les différents éléments composant un problème complexe,
- la capacité à faire des liens et à considérer les tensions qui s'exercent entre différents éléments d'un problème complexe,
- la capacité à anticiper les différents obstacles pour imaginer des solutions possibles pour les dépasser,
- la capacité à observer et analyser ses résultats afin de mettre en œuvre des moyens de régulation possibles,
- la capacité à hiérarchiser les priorités, faire des choix,

---

<sup>87</sup> L'idée de *moments-clés* doit être comprise comme *composantes* ou *dimensions* de l'activité de recherche, non comme *étapes* successives d'un processus linéaire.

- la capacité à expliciter et justifier ses choix, ses points de vue, sur la base d'une argumentation pertinente ou et/ou sur la base d'observations empiriques,
- la capacité à remettre en question ses idées premières, et à (dans le meilleur des cas) transformer ses représentations du problème en fonction des constats empiriques et/ou de l'argumentation entre pairs,
- la capacité à prendre du recul sur ce qui est fait ou ce qui est en train de se faire, pour y réfléchir.

Il est nécessaire de préciser qu'il n'est absolument pas attendu des élèves qu'ils maîtrisent tous ces éléments à l'issue d'une séquence unique. La séquence est perçue comme un moyen d'initier, de démarrer un travail qui se doit d'être prolongé ensuite<sup>88</sup>.

Toutefois pour participer à l'activité, il est attendu des élèves qu'ils soient capables au départ, de :

- exprimer comment ils comprennent, perçoivent le problème, en identifiant au moins un aspect du problème en particulier,
- se représenter l'enjeu essentiel du défi : « construire une tour en papier » répondant aux divers critères donnés, au plus tard lors de la phase de mise en œuvre (T4),
- expliciter leurs idées et leurs stratégies, sans forcément pouvoir d'emblée les argumenter,
- de travailler en groupe, et de comprendre la nécessité d'accorder sur une solution commune.

### 3.2.12 Le postulat pédagogique

Cette recherche part du postulat principal que pour apprendre à mener des démarches d'investigation, il faut pouvoir en *éprouver* l'expérience, ce qui ne peut se limiter à la *reproduction* du modèle ou à la *manipulation* d'éléments tangibles. Il s'agit d'apprendre les démarches d'investigation *en faisant* des démarches d'investigation, soit de faire vivre des démarches de recherche aux élèves pour apprendre à développer des démarches de recherche. Cette précision paraît peut-être futile, mais très souvent les démarches d'investigation mise en œuvre en classe, pour autant qu'elles favorisent *réellement* des démarches de la part des élèves, cherche de manière prédominante à déboucher sur la construction de notions scientifiques, ce qui ne met difficilement l'apprentissage de *démarches* dans une "place de choix".

Dans cette perspective, il semble nécessaire de donner les opportunités aux élèves de pouvoir mener des démarches de recherche *authentiques*, c'est-à-dire des situations où les élèves *génèrent* et *construisent eux-mêmes* un questionnement, une problématique,

---

<sup>88</sup> Des propositions à ce sujet sont présentées dans le chapitre 7 (*Prolongements*).



des hypothèses pour tenter d'y répondre, et des moyens pour tenter de mettre celles-ci en œuvre. Si l'on veut que les élèves s'approprient un problème, la condition reste qu'ils soient "d'accord" de s'y coller et en plus de cela, de s'y impliquer avec persévérance malgré les nombreux obstacles ! La motivation requise pour le travail exigé prend probablement source dans la curiosité et l'enthousiasme naturels de l'enfant... encore faut-il les déclencher ! Il s'agirait de faire en sorte que le problème vienne le chercher, le titiller, le provoquer, et que l'élève puisse y répondre en suivant un *élan* personnel.

Selon le point de vue de cette recherche, la curiosité et le plaisir que peut ressentir l'élève ne sont pas considérés comme un "plus" pouvant "rendre la chose plus agréable", mais comme la composante fondamentale de tout élan permettant une véritable *appropriation* de la part de l'élève, ainsi qu'une mobilisation dans la situation.

Il s'agit alors de créer un environnement autour duquel l'enfant peut donner du sens, construire *son sens* au milieu des autres et avec les autres. Cela implique de créer un environnement à la fois ludique et plein de mystères, de zones non définies, mais comprenant à la fois beaucoup de contraintes qui donnent matière à réfléchir et à construire.

Cela implique, du moins dans un premier temps, d'accueillir les initiatives de élèves, leurs démarches personnelles, intuitives, leurs cheminements spontanés. Il s'agit de créer un espace de tâtonnements favorisant de multiples possibles, de laisser les élèves se confronter aux obstacles, à leurs erreurs, aux limites de leurs représentations. Car les erreurs et les obstacles représentent justement les matériaux fertiles et riches de sens pour les élèves à partir desquels travailler. En effet, l'idée n'est pas de laisser les élèves là où ils en sont, dans leur confort ou leur inconfort... l'objectif est bien de leurs permettre d'avancer, de progresser, de faire mûrir leur questionnement, de développer leur sens critique, de dépasser les représentations qui leurs font obstacles, d'accepter l'incertitude et la complexité. Cet apprentissage requière un effort considérable, autant pour l'enseignant que pour l'élève ! Un travail *éprouvant*, avec une part d'incertitude importante, peut être parfois inconfortable, déstabilisant, mais aussi un travail particulièrement fertile, prenant, vivant !

### 3.3 Dispositif d'analyse

Comme annoncé lors de la présentation des hypothèses de recherche générales (voir point *Questions et hypothèses générales de la recherche*), la présentation du dispositif d'analyse me permet de définir les dimensions prises en compte dans l'analyse et d'introduire mes questions et hypothèses de travail.

#### 3.3.1 Les dimensions d'analyse

L'outil d'analyse choisi pour cette recherche est une analyse multidimensionnelle. Plusieurs dimensions d'analyse, entrecroisées, permettent d'aborder la problématisation en tant que processus complexe.

Premièrement, trois dimensions générales ont été choisies pour l'analyse. Celles-ci ont été établies sur la base des trois dimensions conceptuelles constituant les hypothèses de recherche exposées en amont.

D1. La dimension subjective	D2. La dimension évolutive	D3. La dimension contextuelle
-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

La dimension subjective correspond à l'activité de problématisation vécue par les élèves (leur engagement dans un questionnement et une élaboration de solutions personnelles).

La dimension évolutive correspond à la progression de l'élaboration du problème au cours de l'activité d'investigation.

La dimension contextuelle correspond aux effets de l'environnement sur l'activité de problématisation (les différentes dispositions du milieu, les éléments externes avec lesquels les élèves doivent composer).

Nos questions générales peuvent alors être reformulées et développées ainsi :

***Comment les élèves problématissent-ils en situation de défi créatif ?***

- 1) *Les élèves s'approprient-ils le problème ? Problématissent-ils ? De quelle manière ?*
- 2) *L'élaboration du problème évolue-telle au cours de la séquence ? De quelle manière ?*
- 3) *L'environnement participe-t-il à l'avancement de l'élaboration du problème ? De quelle manière ? Quelles composantes en particulier ?*

A partir de ces questions, plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- Les élèves s'empareraient, se représenteraient, élaboreraient et résoudre le problème de différentes manières. On peut s'attendre à une **pluralité** de cheminements, de propositions et de points de vue de la part des élèves.
- L'élaboration du problème évoluerait du début à la fin de la séquence. On peut s'attendre à ce que des **transformations** de représentations s'opèrent et que des régulations soient mises en œuvre au fur et à mesure de l'avancement de l'activité.
- Certaines caractéristiques de l'environnement didactique stimuleraient l'avancement de l'élaboration du problème, et plus particulièrement lorsqu'elles représenteraient des sources potentielles pour **confronter** les hypothèses des élèves à la résistance du problème.

Ensuite, de manière à explorer ces différentes hypothèses, trois points de vue différents sur les mêmes séquences sont proposés pour l'analyse :

1. La classe	2. L'équipe	3. Le problème
--------------	-------------	----------------

L'analyse propose un entrecouplement entre les trois points de vue et les trois dimensions, chaque chapitre d'analyse traitant un point de vue particulier. L'analyse tend à gagner en profondeur à mesure qu'on avance dans le texte.

Le premier point de vue examine le répondant général des élèves face à l'activité, leur participation et l'intérêt qu'ils expriment face à l'activité de défi proposée. Ici, le problème considéré est la situation de défi dans son ensemble, par exemple le fait que celle-ci présente un enchaînement particulier d'étapes, notamment, une alternance entre les phases de travail de groupe et les phases de discussion en plénière. Ce regard permet d'offrir une vision générale et synthétique du déroulement global de la séance. Il apporte en "avant-goût" quelques éléments de synthèse –éléments développés dans les deux autres parties d'analyse– propre aux différentes étapes de l'activité, de manière à contribuer à cette vision d'ensemble.

Si le point de vue précédent relate majoritairement ce qui est *visible* dans la classe d'un point de vue extérieur, ce deuxième angle de vue approche l'*intimité* des élèves, intimité que l'on peut découvrir grâce aux enregistrements audio. En effet, il aborde le cheminement et le fonctionnement de recherche personnels des élèves lorsqu'ils travaillent en équipe. Sous cet angle, le problème est davantage considéré du point de vue de la solution, comment celle-ci émerge dans le groupe et comment elle se

transforme et se bâtit progressivement. Ce regard offre une perspective sociocognitive sur le processus complexe de problématisation et les mécanismes qui s'opèrent au cœur des groupes de travail pour tenter de résoudre le problème. Suite aux 18 portraits révélant les particularités de chacune des équipes, plusieurs points supplémentaires permettront mettre en lumière les régularités significatives observées dans l'ensemble des équipes.

Le troisième point de vue, rendu possible grâce au décorticage du discours, étudie les éléments constituant le travail du problème. Ici, c'est le cœur du problème qui est examiné, en tant qu'ensemble de contraintes et de possibles (contraintes symboliques, contraintes matérielles, paramètres scientifiques, variables d'action, etc.). Pour approcher le processus, ce ne sont plus les *interactions* avec l'environnement social et matériel qui sont observées, mais le contenu, la *consistance* de l'activité cognitive de l'élève qui est examiné.

Enfin, chaque point de vue d'analyse abordera les trois sous-questions de recherche encadrées ci-dessus, en référence aux trois dimensions d'analyse (subjective, évolutive, contextuelle). Précisons que les questions seront adaptées aux particularités du point de vue abordé. Le tableau suivant présente une vision d'ensemble des questions de recherche.

### 3.3.2 Les questions et les hypothèses de travail spécifiques

En considérant les trois dimensions ainsi que les trois points de vue choisis pour l'analyse, plusieurs questions peuvent être formulées. Le tableau suivant permet une vision d'ensemble des questions de recherche entrecoupant les différents points de vue.

<b>Questions de Recherche</b>	<b>Dimension subjective</b>	<b>Dimension évolutive</b>	<b>Dimension contextuelle</b>
<b>Point de vue général</b>	<i>Les élèves s'approprient-ils le problème ? Problématisent-ils ? De quelle manière ?</i>	<i>L'élaboration du problème évolue-telle au cours de la séquence ? De quelle manière ?</i>	<i>L'environnement didactique participe-t-il à l'avancement de l'élaboration du problème ? Quelles composantes en particulier ?</i>
<b>Point de vue 1 La classe</b>	<i>Quel est le répondant des élèves face à l'activité proposée ?</i>	<i>Comment l'activité d'élaboration du problème évolue-t-elle globalement au cours des différentes étapes de l'activité (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7) ?</i>	<i>Quelles sont les réactions des élèves face aux différentes consignes données par l'enseignant ?</i>

<b>Point de vue 2</b>  <b>L'équipe</b>	<i>Quels sont les cheminements de recherche des différentes équipes ? Quelles solutions s'élaborent au cœur du groupe en réponse au défi ?</i>	<i>L'élaboration du problème évolue-t-elle pendant les moments de travail en groupe ? Les solutions imaginées subissent-elles des transformations lors du passage à leur mise en œuvre ?</i>	<i>Comment l'élaboration évolue-t-elle à travers les interactions avec le matériel et les interactions entre les membres de l'équipe ?</i>
<b>Point de vue 3</b>  <b>Le problème</b>	<i>Quelles représentations du problème se font les élèves ? En quoi consistent leurs questionnements et leurs hypothèses ? Quelles différentes composantes du problème sont identifiées par les élèves, et intégrées dans leur recherche de solutions ?</i>	<i>Les représentations du problème évoluent-t-elle au cours de la séance ? Les solutions évoluent-elles en conséquence ? De quelle manière ?</i>	<i>Comment la problématisation des élèves "navigue"-t-elle entre la pluralité des contraintes, les différents niveaux de problématisation, et les obstacles empiriques ?</i>

Tableau 9 Questions et hypothèses de travail

Voici, sous forme de tableau, un aperçu du dispositif d'analyse mis en œuvre pour aborder les trois dimensions d'analyse selon les différents points de vue :

Dimensions  Points de vue	D1 - Dimension subjective  <i>différentes productions et comportements des élèves</i>	D2 - La dimension évolutive  <i>à différents moments-clé de l'activité</i>	D3 - La dimension contextuelle  <i>en réponse à la multiplicité des contraintes/ sources de résistances potentielles</i>	Approche
<b>P1- La classe</b>	Répondant (enthousiasme, investissement, etc.)	Déroulement de la séquence, segmentée en 7 différentes étapes successives (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7)	Différentes dispositions de l'environnement didactique	Observations générales  Comportement dynamique générale

<p><b>P2 - L'équipe</b></p>	<p>Chemine- ments des élève- s Concep- tion et mise en œuvre des solutions</p>	<p>Dynamique des échanges à travers deux grandes étapes : a) phase de conceptualisation (travail en groupe T2) b) phase de mise en œuvre (travail en groupe T4, T6)</p>	<p>Interactions, confrontations entre pairs et avec le "réel" (matériel d'investigation)</p>	<p>Analyse "à la loupe" de l'activité des élèves, approche micro- génétique</p> <p>Echanges verbaux intragroupe (18 équipes)</p>
<p><b>P3 - Le problème</b></p>	<p>Problèmes identifiés et solutions imaginées</p>	<p>Evolution des hypothèses/proposition à travers deux grandes périodes : a) phase de conceptualisation (T1, T2, T3) b) phase de mise en œuvre (T4, T5, T6, T7)</p>	<p>Différentes composantes du problème (différents niveaux de problème)</p>	<p>Analyse détaillées Propos individuels</p> <p>Contenu de l'activité cognitive sous formes verbales (propos individuels) et matérielles (productions)</p>

**Tableau 10 Aperçu synthétique du dispositif d'analyse**

Par ailleurs, précisons que chaque point de vue est l'occasion de proposer des *déclinaisons* particulières des questions de recherche. En effet, une série de questions sera proposée à chaque sous-chapitre. Celles-ci permettent de préciser le questionnement et de pointer le regard sur certains aspects respectifs de chaque point de vue.

### 3.3.3 Le public

La problématique de cette recherche touche principalement l'enseignement primaire. C'est pourquoi le public visé ici concerne les classes de l'école élémentaire. Toutefois, il faut préciser que le dispositif didactique avait déjà plusieurs fois été testé en amont avec un public mixte (enfants, étudiants), ce qui a participé à son optimisation.

Quatre classes ont été choisies pour l'expérimentation du dispositif : quatre classes d'une même école publique genevoise située en plein centre-ville. Deux classes de 7P Harnos (10-11 ans) et deux classes de 8P Harnos (11-12 ans) ont été sélectionnées : au total, 67 élèves ont participé, dont 39 filles et 28 garçons. Parmi tous les élèves, aucun n'avait réalisé une activité similaire au défi des tours en papier.

La conduite des séances a été menée par moi-même. La première fois, la séance a été menée en binôme avec un collègue de l'université (Sébastien Baelde), avec lequel l'activité avait déjà été réalisée en amont.

La première séance a eu lieu en avril 2010, les trois autres deux années plus tard, en février et mars 2012. Comme mentionné, sur la base d'observations immédiates, le dispositif a été adapté, régulé entre les deux passations.

L'activité s'est déroulée une fois dans chaque classe pendant 1h30 à 2 heures de temps, lors de l'après-midi à école. Avec la première classe, la séance s'est déroulée en partie dans la classe habituelle (deux groupes de travail) et en partie dans les couloirs de l'école (deux groupes de travail). Avec les trois autres classes, l'activité s'est déroulée dans une classe vide, spécialement prévue pour des activités sortant du quotidien scolaire. Avant que l'activité ne commence, l'espace classe était modulé de manière à constituer plusieurs espaces collectifs pour les temps de travail en groupe (en réunissant des pupitres et des chaises). Pour les temps de plénière, tous les élèves étaient invités à se réunir dans un espace commun (s'ils étaient dispatchés) ou à se tourner dans la même direction (s'ils restaient à leur place de travail).

Comme le dispositif choisi le prescrivait, le groupe classe était la moitié du temps divisé en 4 à 5 groupes de travail (de 4 à 6 élèves par groupe) pour former des équipes. Ces équipes ont été constituées de manière libre, selon les affinités des élèves. En fait, pour les trois dernières classes, les élèves se sont librement installés autour des différents espaces prévus, puis les consignes concernant le travail de groupe et les enjeux de l'activité ont été explicités.

Pour finir, une deuxième séance de défi sur les tours en papier a été réalisée dans chaque classe, dans l'intention d'augmenter aussi bien la quantité que la qualité des données. Cette deuxième séance était organisée autour du même objet d'étude mais proposait des approches différentes pour reprendre et prolonger l'activité d'élaboration du problème. Toutes les séances ont été enregistrées de la même manière que la première, et une partie a même fait l'objet de retranscription. Si des observations générales ont pu être relevées concernant le prolongement de l'activité et ses effets sur les apprentissages des élèves, le choix a été fait de ne pas exploiter ces données brutes pour cette thèse. Ceci, en partie par manque de temps et parce que cela aurait impliqué des questions et des points de vue d'analyse supplémentaires, sans forcément permettre d'apporter des observations complémentaires aux premières perspectives d'analyse choisies.

### **3.3.4 Le recueil de l'information**

Pour recueillir les données, plusieurs moyens d'enregistrement ont été prévus. Le corpus est ainsi constitué est celui-ci :

- des enregistrements audio. 5 à 6 micros fonctionnant en parallèle dans la classe,
- des enregistrements vidéo. 2 caméras fonctionnant en parallèle dans la classe,
- des photographies. Plusieurs prises à plusieurs moments clés de la séance,
- des croquis et des notes des élèves.

Les enregistrements audio ont constitué la majeure partie des données brutes, sous forme de verbatim. Deux types de données sont à distinguer :

1. Le verbatim qui restitue les interactions en plénière. Pour cela, un micro a été placé de manière à couvrir toute la classe.
2. Le verbatim qui rapporte les échanges en petits groupes. Pour chaque groupe, un micro a été placé au centre de manière recueillir les propos de chaque élève distinctement.

Bien que l'activité n'ait été menée qu'avec quatre classes, le corpus est plutôt conséquent : 18 équipes de travail ont été examinées en détail, ainsi que les différentes plénières. Au total, 20 heures d'enregistrements (chevauchements mis à part).

Tous les enregistrements ont été écoutés une première fois dans leur intégralité. Tout d'abord, cette première lecture a permis un découpage de la séquence en unités clé (relatives aux étapes du défi prévues) et l'élaboration d'un timing, tous deux légèrement différents pour chaque classe.

Ensuite, cette première lecture était supposée suffire pour identifier les éléments remarquables, tirer des données de certains passages significatifs, et ainsi éviter de retranscrire la totalité des enregistrements. Mais l'écoute seule s'est révélée insuffisante pour cette tâche : les données significatives, les indicateurs, les catégories d'analyse ont été tous définis à partir du texte brut retranscrit, et de plus est, très progressivement.

Ainsi, tous les enregistrements ont finalement été retranscrits, en commençant par les plénières. Les quelques rares passages, qui n'avaient aucun rapport, de près ou de loin, avec l'activité en cours n'ont pas été retranscrits. Certains passages, particulièrement significatifs, ont été retranscrits mot par mot. D'autres, notamment une partie des interactions en groupe, n'ont été retranscrits que sous formes de notes, de manière à conserver les informations qui seraient utiles à la constitution des données. Les longs passages de silence ou de bruitage ont été mentionnés comme tel. Je n'ai pas jugé utile de joindre l'intégralité des transcriptions en annexe, ce qui représente plus de 200 pages de transcriptions, rien que pour les temps de travail en groupe<sup>89</sup>. De plus, j'ai choisi d'illustrer la présentation de mes résultats avec

---

<sup>89</sup> Ce corpus, exploité qu'en partie, pourrait servir à des recherches ultérieures. Seul le verbatim intégral relatif à une équipe est donné en exemple en annexe, de manière à donner une idée de la densité du débit de parole, et de la dynamique générale du temps de travail en groupe. De plus, la transcription des plénières de deux classes sont jointes pour illustrer les



beaucoup de citations tirées des temps de travail en groupe, et parfois des pans entiers de discours. Les transcriptions des plénières quant à elles sont toutes présentées en annexe.

Par ailleurs, il faut préciser que la transcription des interactions verbales en situation de travail en groupe a été nettement plus complexe et laborieuse que la transcription des interactions en plénière, où les interventions sont structurées par l'enseignant. En effet, lors du travail en groupe, il est arrivé fréquemment que les élèves se coupent la parole, parlent en même temps, commencent une phrase et ne la finissent que plus loin, sans compter les fois où un groupe se scindait en deux pour pouvoir interagir sur des éléments différents en aparté. De plus, le public étant des enfants, et l'activité plutôt stimulante, le débit de parole a été généralement très élevé. En outre, il était parfois difficile d'identifier les différents interlocuteurs, de par la similarité de leurs timbres de voix. Pour ces raisons, il était rare que les propos soient intelligibles à la première écoute. Enfin, les propos étaient parfois couverts par un bruit de fond dû au matériel utilisé pour l'activité (froissement de papier). Heureusement, la majeure partie des échanges et les propos les plus significatifs sont ressortis hors des moments d'interaction avec le matériel, ou alors avant et après les manipulations.

Les enregistrements vidéo et les photographies ont eu un rôle différent dans la production des données. Plutôt que de représenter une source de données à part entière, les enregistrements visuels ont été complémentaires au traitement des données audio. Ils ont permis de repérer des indices d'analyse complémentaires et ont servi de « contrôle » sur les autres données, notamment les interactions verbales. En effet, les films ont représenté des points de repères importants pour contextualiser les données du discours, par exemple, pour parvenir à discerner les interlocuteurs et pour situer les échanges dans l'avancement de l'activité.

De plus, certains propos, pourtant significatifs, auraient été incompréhensibles et jugés impertinents sans le support visuel, par exemple des exclamations, des gestes servant à expliciter les propositions faiblement commentées, du type « regarde on pourrait faire comme ça, comme ça, etc. ». Les enregistrements visuels ont aussi été utiles pour évaluer la dynamique générale de la classe ainsi que celles des équipes respectives, notamment pour rendre compte de l'enthousiasme des élèves. Plus particulièrement ils ont contribué à se faire une idée du rôle des tâtonnements (silencieux) avec le matériel sur l'évolution de la solution (autant sur le plan pratique que conceptuel).

Ensuite, les images ont permis une meilleure représentation des propositions de solutions imaginées par les élèves, des étapes de fabrication ainsi que des résultats. Notons que dans notre dispositif d'analyse, les productions matérielles (les

---

similitudes et les variations quant à la manière dont les séquences ont été menées en classe, et pour rendre compte de la dynamique générale de la classe en situation de défi créatif collaboratif.

constructions en papier, les croquis<sup>90</sup>) ont été considérées comme l'expression concrète des hypothèses des élèves.

\* \* \*

---

<sup>90</sup> Les croquis et les notes des élèves « carnets de route » n'ont finalement pas pu être intégrés dans le corpus.



## 4 Résultats

Les résultats de la thèse sont présentés en plusieurs parties, qui représentent respectivement plusieurs points de vue sur l'activité des élèves en situation de défi.

Trois grandes parties générales, elles-mêmes divisées en plusieurs points, offrent des points de vue d'analyse entrecroisés et complémentaires. Le lecteur est invité à aborder chaque partie dans le sens qui lui convient.

Chaque point de vue présente ses questions de recherches spécifiques ainsi que des éléments de réponse spécifiques. Mais l'analyse se portant toujours sur la même activité, des entrecouplements n'ont pu être évités.

La conclusion présente les points saillants de l'analyse concernant l'activité de problématisation des élèves en regard des différentes composantes de l'environnement mis en place, afin de formuler des hypothèses quant à l'efficacité de la situation de défi et à ses implications didactiques.

### 4.1 Analyse P1 : Déroulement général de la séquence

Le point de vue proposé ici est celui du *groupe classe*. Cette partie de l'analyse vise à présenter comment la séance de défi prévue s'est concrètement déroulée dans les classes. Une vision d'ensemble, chronologique et relativement synthétique de l'activité peut ainsi être construite par le lecteur. Ce point de vue général permet de contextualiser les résultats présentés dans les parties suivantes.

Cette partie se concentre sur le répondant des élèves face à l'activité qui leur est proposée, et plus spécifiquement face aux différentes consignes qui leur sont données. Ce "répondant" peut être défini en termes de dynamique, de motivation ou d'engagement. Les réactions des élèves, leurs comportements et leur degré de participation sont les indicateurs susceptibles de fournir des éléments de réponse à nos questions.

Basée sur des observations qualitatives, cette présentation propose ainsi un premier *retour* sur la mise en œuvre du dispositif, en identifiant ses effets immédiats sur l'activité des élèves. Elle vise à mettre en lumière la façon dont les consignes ont été présentées par l'enseignant, comment les élèves ont été conduits à chaque étape du défi et comment ceux-ci ont réagi à ce qui leur était demandé ; enfin, quelle dynamique générale s'est créée en classe et si celle-ci variait selon le moment de l'activité.

Cette première partie de l'analyse traite des trois dimensions de notre problématique (1. subjective, 2. contextuelle et 3. évolutive), en abordant trois questions générale :

1. *Quel est le répondeur des élèves face à l'activité proposée ?*
2. *Quelles sont leurs réactions face aux différentes consignes données par l'enseignant ?*
3. *Comment l'activité d'élaboration du problème évolue-t-elle au cours des différentes étapes de l'activité (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7) ?*

Plusieurs questions spécifiques sont posées graduellement de manière à faire ressortir des éléments significatifs particuliers en lien avec les différentes étapes de l'activité de défi.

Enfin, cette partie n'entre pas encore en détail dans l'analyse du *processus* d'élaboration du problème (les cheminements, les démarches des élèves) et du *contenu* de la problématisation (les problèmes identifiés, les solutions imaginées). Néanmoins, quelques éléments de synthèse seront avancés ici, de manière à bénéficier rapidement d'une vision chronologique et complète, regroupant les différents points de vue (P1, P2, P3). Par exemple, des éléments concernant l'activité d'élaboration du problème pendant le travail en groupe (T2, T4 et T6), à travers les dynamiques des interactions sociales ainsi que les interactions avec le matériel, sont abordés. D'autre part, des remarques se portant en particulier sur le travail en plénière sont exposées. Enfin, quelques lignes informent de l'état d'avancement général du problème au cours des différentes étapes.

De manière générale, pour éviter la redondance avec d'autres chapitres d'analyse qui citent et détaillent de nombreux extraits, peu de propos d'élèves sont donnés en exemple dans cette partie pour appuyer les observations relatives à l'activité de problématisation. Ces différents points seront amplement détaillés dans les parties d'analyse suivantes et permettront d'illustrer nos remarques par des résultats plus pointus.

#### **4.1.1 T1 : Mise en situation de défi et cahier des charges**

*Quelle est la dynamique qui émerge au tout départ de l'activité ? Quelles réactions provoque la lecture des consignes ? Quels sentiments sont-ils perceptibles chez les élèves ?*

Comme prévu, l'activité a commencé dans les classes par la lecture de la *Mise en situation*, puis du *Cahier des charges*<sup>91</sup> par l'enseignant. Cette étape de l'activité a duré entre 7 et 11 minutes selon les classes.

(T1, Classe Mac) *Delphine : Maintenant il va falloir ouvrir bien grand vos oreilles (...) Alors c'est un moment où vous allez vous mettre un peu en situation, vous allez oublier que vous êtes un élève à l'école, aujourd'hui, et vous allez essayer, bon vous pouvez fermer les yeux mais vous n'êtes pas obligés, de vous mettre en situation, aujourd'hui c'est un jour un peu spécial, vous êtes quelqu'un d'un peu spécial....vous allez savoir qui. Je vais lire le petit papier.*

*« Nous sommes en 2022. De plus en plus de catastrophes surviennent sur notre planète terre. Tremblement de terre, ouragan, tsunami, avalanches... Il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de supporter ces différentes catastrophes naturelles qui peuvent advenir à tout moment. Vous, vous êtes des ingénieurs, des scientifiques (rires des enfants), des architectes venant des quatre coins du monde et vous venez participer aujourd'hui à une journée très importante, une sorte de grande conférence, qui est une conférence internationale. Nous devons aujourd'hui réfléchir ensemble pour concevoir des modèles de tours très résistants, à moindre coût et qui soient écologiques ». Ça veut dire qu'on doit réfléchir à créer des bâtiments capables de supporter ces catastrophes naturelles, ok ? (...) Alors pour ça vous avez un cahier des charges, ça veut dire une liste de chose à faire aujourd'hui, donc vous vous êtes mis un petit peu en situation, vous savez qui vous êtes, pourquoi, maintenant on va vous demander quelque chose de très précis aujourd'hui, et c'est surtout ça qu'il faut bien écouter : « chaque équipe de recherche doit construire une maquette en papier journal de... 1 mètre de haut » (Delphine montre la règle de 1 mètre)*

Pendant la lecture des consignes, les élèves se montrent très attentifs et témoignent de leur curiosité et de l'intérêt. C'est pendant la lecture des premiers éléments du cahier des charges qu'il y a le plus de réactions, par exemple :

(T1) *E.Blanc1Mie : oh !*  
(T1) *E.Vert2Mie : ouh là !*  
(T1) *E.Rouge2Mie : mais non...*  
(T1) *E.Jaune3Mac : hein ?...c'est difficile*  
(T1) *E.Bleu2Mac : quoi !?*  
(T1) *E.Rouge1Mac : cool !*  
(T1) *E.Vert3Mac : hein mon dieu !*  
(T1) *E. Bleu2Fed : yes !*

Les élèves se montrent à la fois réjouis et inquiets, certains pensent qu'on les charrie, d'autres se montrent déjà très sûrs d'eux. Dans l'ensemble, une émulation générale

---

<sup>91</sup> Les consignes de départ ont été transmises aux élèves par oral, sur la base d'un document écrit, identique pour les quatre classes. Toutefois certaines variations ont été apportées sur le moment, selon les réactions et les questions des élèves. En exemple, la transcription des plénières de deux classes, dont la lecture des consignes, est disponible en annexe.

s'empare de la classe, preuve que l'activité qui leur est proposée les interpelle, les provoque et suscite leur désir de relever le défi. Dans certaines classes, l'effervescence est telle qu'il en vient parfois nécessaire de calmer ou prévenir l'agitation des élèves et de rappeler les consignes de discipline en classe.

(T1, Classe Mie) *D*<sup>92</sup> : *comme c'est une activité un petit peu spéciale, on a tendance à devenir un petit peu fufou, donc je vous rappelle qu'on est quand même à l'école, on est en classe, et on fait une activité très sérieuse, parce que vous verrez que ce n'est pas si simple ce que je vous demande (...)*

De nombreux autres éléments indications sont encore apportés par l'enseignant (moi-même) pour préciser et compléter les consignes<sup>93</sup>. De manière générale peu de questions émergent dans les classes. Est-ce un signe de clarté ? Un signe de perplexité ? Apparemment l'enjeu du défi semble clair, mais probablement que les élèves n'ont pas encore une idée assez construite de la tâche pour poser des questions précises. Quelques questions sont toutefois posées et permettent de préciser certains éléments des consignes –quelques "contraintes" en particulier fournies par le cahier des charges– et ainsi, initie le processus d'élaboration du problème en collectivité.

#### 4.1.2 T2 : Discussion intragroupe sans matériel

Après avoir eu leur accord pour les enregistrements, quelques minutes ont été prises au départ pour expliquer leur fonction (me permettre de comprendre comment chaque groupe allait procéder pour relever le défi) et pour rappeler de ne pas toucher aux micros. Pendant les premières minutes, les élèves se sont montrés intrigués, excités ou parfois gênés par cet « intrus » qui allait être le témoin de leur travail. Mais très vite, une fois pris dans le jeu du défi, les enregistrements nous montrent que les élèves en oubliaient parfois même sa présence.

*Que se passe-t-il une fois que les consignes sont explicitées ? Quelles dynamiques se vivent dans les groupes ? Comment les élèves attaquent-ils le problème ?*

(T2, Classe Seb) *D*: *donc la première étape, je vais vous donner 10 minutes, pour simplement discuter entre vous dans le groupe et puis vous pourrez noter sur une feuille vos idées, des mots clé ...*

---

<sup>92</sup> Toutes les consignes, les questions et remarques lors des réunions générales ainsi que les interventions auprès des groupes sont menées par moi-même, et signalées à partir de maintenant par l'initiale « D » (à l'exception de quelques remarques venant de l'enseignant(e) ou de la remplaçante(e) de la classe qui seront signalées par « Ens »). De plus, pour assurer la plus grande transparence possible, chaque propos est contextualisé et référencé au moyen de plusieurs informations : 1. L'étape de l'activité où il est produit (T2 ou T3, etc.), 2. La classe (Classe Mie, Classe Mac, Classe Fed, Classe Seb), 3. Le groupe (Groupe Rouge Mie, groupe Vert Mac, etc.), 4. Les élèves sont distingués entre eux par des numéros (E.Rouge1Mie, E.Vert3Mac, etc.).

<sup>93</sup> Il n'a pas été jugé utile de tout mentionner ici. Pour des informations supplémentaires, se référer aux transcriptions des plénières en annexe.

*E on doit faire un schéma ?*

*D: exactement, vous allez faire... des schémas, des dessins, ou prendre des notes, comme vous voulez, d'autres idées...*

*D: c'est parti, vous avez 10 minutes !*

*(T2, Classe Mie) D : (...) pendant ces 10 minutes, je vous donnerai le départ (montre la sonnette), vous allez vous concerter pour voir quelles sont vos idées et puis si vous notez des choses, vous dessinez, vous faites des schémas. Attention le départ (E : on a pas de crayon !) ben réfléchissez déjà ensemble avant de dessiner, on va venir vous en amener (fait sonner la clochette) ça y est la séance est ouverte !*

Une fois les consignes lues, le travail en équipe débute. Après les premiers instants de familiarisation avec les instruments d'enregistrement, les groupes attaquent les discussions. Les élèves se montrent très empressés de trouver une solution ; stimulés, à la fois par l'envie que cette solution soit originale, et par le désir que cette solution vienne d'eux.

Dès le départ, une dynamique d'équipe s'installe, dans un esprit plus ou moins collaboratif selon les groupes. Le fait que les élèves se plongent immédiatement dans le jeu indiquerait que les élèves s'approprient très vite le défi, le problème devenant "leur affaire", et de plus est, une affaire d'équipe. Tous se montrent prêts à s'investir personnellement et collectivement pour relever le défi, mis à part une exception (l'élève E.Bleu4Mie, dans la première phase de l'activité).

Plusieurs types de comportement sont identifiables. Certains groupes commencent par réfléchir ensemble sur les consignes, d'autres commencent immédiatement à proposer leurs pistes de solutions.

La plupart des élèves tentent de faire passer leur idée et cherchent à convaincre les autres de sa pertinence, en s'aidant souvent de croquis sur un papier brouillon, de gestes mimant des formes ou des mouvements, ou encore en faisant référence à divers éléments pour appuyer leur argumentation.

Au niveau de la dynamique générale du travail en groupe, les élèves parviennent facilement à coopérer et à s'organiser, à quelques exceptions près<sup>94</sup>. Certaines dynamiques sont plus consensuelles que d'autres. Evidemment, certains ont plus de mal que d'autres à se faire entendre, la prise de parole n'est pas distribuée de manière équitable, tout le monde ne prend pas le temps d'écouter rigoureusement les propos des autres. Les quelques leaders ont une influence forte sur les orientations que prendra le cheminement du groupe. Toutefois, on remarque qu'une piste de solution possible se profile et se co-construit petit à petit : chacun apporte sa version, son point de vue, ses inquiétudes, ses critiques et vient enrichir cette solution commune en construction.

---

<sup>94</sup> Notamment, le groupe Blanc Seb et le groupe Blanc Mac.



Du point de vue du problème, une appréhension générale est exprimée face à l'idée de « faire tenir » la tour. Pour tous les élèves, il paraît difficile de construire une tour *en papier*, d'autant plus si la quantité est limitée, si elle doit mesurer un mètre, et si, en plus de cela, elle doit être spécialement résistante. Le problème apparaît comme un réel défi aux yeux des élèves. Certains doutent même de la possibilité de parvenir à le relever.

(T2) *E.Jaune2Mie : ça va être un peu dur*

(T2) *E.Jaune3Mie : ça va être galère*

(T2) *E.Rouge1Seb : putain mais ça va vraiment être chaud*

(T2) *E.Jaune3Seb : ben il y aurait plus de boulot ça c'est sûr*

(T2) *E.Jaune1Seb : on n'arrivera jamais !*

(T2) *E.Vert1Seb : et si on essayait en rond...ça serait plus facile ?*

(T2) *E.Jaune3Mac : c'est impossible !*

De plus, les premiers échanges reflètent une impression générale encore assez floue du problème face aux diverses contraintes imposées (quantité et qualité des matériaux mis à disposition, hauteur de la construction, résistance aux tests, etc.). A ce stade, les élèves n'ont pas encore identifié que le fait de construire une tour en papier englobe à la fois le problème de la consistance du papier (rigidité), le problème de la solidité de la construction (assemblage des parties), et le problème de la stabilité (équilibre général).

Par ailleurs, les interactions en groupe révèlent que les élèves n'ont pas tous la même représentation des enjeux du défi, par exemple, tous ne portent pas leur attention sur les mêmes éléments des consignes. Cela ressort également dans la diversité des réponses que proposent les élèves. De plus, les propos des élèves attestent la présence de différences individuelles dans la manière de se représenter le problème technoscientifique, et des différentes corrélations établies entre les paramètres qui le composent.

De manière générale, on peut remarquer que les confrontations entre ces différentes représentations participent à l'avancement de la construction du problème. Au fur et à mesure de la séquence, les élèves se font une idée de plus en plus précise du problème : de mieux en mieux ils distinguent, et à la fois mettent en lien, les différents paramètres problématiques.

En effet, les désaccords ou les incompréhensions mutuelles se révéleraient souvent fertiles pour l'avancement du projet, car ils impliqueraient le plus souvent des négociations pour permettre au groupe de se comprendre et se mettre d'accord. Ces négociations engendreraient des argumentations et des explicitations. Cet effort de verbalisation participerait à une meilleure définition du problème.

En mettant en commun leurs points de vue, les élèves sont ainsi parvenus à *débroussailler* le problème et à mettre en relief ses différents enjeux (éléments

techniques, symboliques, etc.). Ceci leur a alors permis de préciser, compléter, parfois même de transformer leurs représentations. De plus, la plupart des confrontations débouchent sur l'obtention d'une représentation partagée du problème qui permet au groupe d'avancer ensemble.

Ainsi, même si la majorité des élèves ont commencés par proposer des solutions sans chercher à *poser* le problème, on peut néanmoins remarquer que l'élaboration du problème et de la solution a énormément avancé durant cette première étape, et ceci en moins de 10 minutes.

Pour finir, cette première phase de l'activité s'est montrée très foisonnante : une profusion de questions et d'idées ont émergés dans les groupes. Au début, un grand nombre de propositions de solutions se sont exprimés aléatoirement, des plus réalistes au plus extravagantes. Puis petit à petit les élèves sont parvenus à converger vers une ou deux idées de design en particulier. En devant tenir compte des nombreuses exigences du défi, la majeure partie des groupes se sont orienté, progressivement, vers les propositions les plus opérationnelles.

A la fin du T2, la majorité des groupes ont réfléchi à des stratégies concrètes de construction de leur tour, voir des stratégies précises pour façonner le papier. Dans ce sens, des interventions extérieures (enseignants) ont lieu auprès de chaque groupe pour les rendre attentifs à la nécessité et à la difficulté du passage à la mise en œuvre de la solution au moyen du matériel prévu.

Enfin, les dix minutes prévues pour cette étape ont été écourtées dans les 4 classes (entre et 7 et 9 minutes), sur demande des élèves, de manière à pouvoir commencer au plus vite les constructions.

#### **4.1.3 T3 : Première mise en commun**

*Quels sont les effets de la première mise en commun sur l'avancement de l'élaboration du problème ? Comment les élèves perçoivent-ils le rôle de cette étape de l'activité ?*

La première plénière (entre 5 et 9 minutes selon la classe) a permis de mettre en commun l'état d'avancement du problème et des pistes de solutions imaginées par les élèves. Les extraits suivants permettent d'illustrer comment le travail de verbalisation de l'activité de recherche était introduit par l'enseignant, et développé progressivement avec les élèves.

*(T3, Classe Mac) D : ok ! Les dix minutes sont écoulées ! Réunion générale ! (...)* La plupart d'entre vous sont déjà sur des pistes et avant de commencer, ce qu'il y a de très important, c'est de clarifier un petit peu les choses (...)  
*sûrement il y a des choses qui vous sont apparues comme des problèmes... Dans ce que je vous ai demandé de réaliser aujourd'hui, qu'est ce qui semble*

*le plus difficile à faire ? (...) Est-ce qu'il y a d'autres choses encore qui vous sont apparues comme des problèmes ?*

*(T3, Classe Seb) D : il nous reste 5-10 minutes pour mettre à plat deux trois choses. Il y a des questions qui ont été posées, il y a pleins d'idées différentes dans les groupes...(...) Alors pour commencer par exemple, qui peut me dire, dans ce défi, dans cette activité : qu'est ce qui pose problème?*

*E1 : on sait pas si ça va tenir*

*D: (acquiesce) Déjà il faut que ça tienne...que ça tienne... mais qu'est ce qui tient? Qu'est ce qui doit tenir? Pourquoi ça ne tiendrait pas?....*

*E1 : le papier*

*D : (...) qu'est-ce qu'il a ce papier?*

*E2 : il est trop fin*

*D : il est fin, le papier c'est fin déjà, oui (écrit au tableau). Et pourquoi c'est embêtant qu'il soit fin ?(...)*

*E2 : C'est que ça risque de pas tenir*

Cette étape de l'activité incitait les élèves à verbaliser leur démarche de recherche et à expliciter les différents éléments du problème qu'ils avaient identifiés en groupe. Les interventions du type « *mais qu'est ce qui tiendrait pas ? Qu'est ce qui doit tenir ? Pourquoi ça ne tiendrait pas ?* » ou « *qu'est-ce que vous comptez faire pour que ça tienne bien ?* », ont particulièrement participé à mieux préciser le problème. De part ces questions les élèves étaient invités à entrer dans un niveau de problématisation plus profond, en essayant notamment d'identifier et de verbaliser les paramètres technoscientifiques en jeu.

Il est difficile d'évaluer l'impact de cette invitation au questionnement et à l'analyse sur les représentations des élèves. Toutefois, ce que l'on peut remarquer à travers les réponses des élèves est que le fait de devoir trouver les mots pour expliciter leurs idées et leurs "impressions du problème" encore très intuitives, représente un réel effort pour les élèves.

Ainsi, la mise en commun permettrait d'enrichir les représentations de chacun, en mettant en lumière des éléments du problème restés dans l'ombre ou en proposant des éclairages différents sur les mêmes éléments<sup>95</sup>.

---

<sup>95</sup> Du point de vue méthodologique de ma recherche, cette étape de la séquence ainsi que l'effort d'explicitation exigé était aussi conçue comme une opportunité de rendre compte le plus fidèlement possible de l'état d'avancement de la définition du problème par les élèves. Or, les résultats montrent que les mises en commun ne restituent qu'une faible partie du travail encouru et ne rend pas compte de la complexité du travail de construction qui s'opère dans les groupes. En effet seuls certains éléments du problème sont amenés en plénière. Toutefois cette étape participe elle aussi à l'avancement de la problématisation.

Ce fût aussi l'occasion de sensibiliser les élèves à l'importance de trouver une idée potentiellement réalisable avec le matériel donné, et de les rendre attentifs au passage sensible de la mise à l'épreuve de leur projet :

(T3, Classe Mie) *D : Alors dans toutes vos pistes, c'est sûr que c'est des bonnes pistes, parce que déjà vous en avez. Après tout ça, ça reste à voir avec quand vous devrez commencer à construire, hein. C'est toutes des pistes ça, ça veut dire qu'il faut, comme des hypothèses, il faudra après les vérifier...*

(T3, Classe Seb) *D : il y a pleins d'idées différentes dans les groupes...(...) et puis vous êtes la plupart très impatients de pouvoir "tester" vos idées, ça veut dire voir si avec ce papier vous allez réussir à construire vos idées. Peut-être que vous y arriverez, peut-être qu'il y aura des petits réajustements à faire, peut-être que vous allez devoir changer d'idée....à voir. En tout cas c'est ça qui m'intéresse, et c'est ça aussi qui vous intéresse parce que c'est là en tout cas où il y a des choses à apprendre....*

En outre, les élèves étaient encouragés à entrer dans un esprit plus collaboratif que compétitif dans l'idée d'« optimiser les résultats de la communauté » :

(T3, Classe Seb) *D : donc je vous rappelle, c'est sûr que vous travaillez en équipe mais en même temps, à la fin, on va mettre en commun toutes les idées et même au mieux, hein, de nos activités, on va mettre en commun, ça veut dire que.... ben y en aura qui vont dire " ah non ça c'est notre idée, on veut pas dire...", il y en a peut-être d'autres qui vont comprendre que si on met en commun, peut-être qu'on arrivera tous à avoir des meilleures idées en partageant, et pis à la fin peut-être qu'on arriverait encore mieux à imaginer une tour encore plus résistante, ok ?*

Or, on peut relever une certaine réticence chez les élèves à dévoiler les pistes de solutions qu'ils avaient imaginées. Même si la consigne expliquait que les mises en commun faisaient partie de la tâche, celles-ci furent plutôt perçues comme un risque de perte des idées originales du groupe qu'une possibilité de « gagner » ou de s'enrichir de nouveaux éléments pour aller plus loin. Le souci de garder le secret, décelé dans les enregistrements mais pas forcément exprimé en plénière, témoigne de la représentation que les élèves ont eu sur les défis en général, à savoir une activité qui malgré tout mettrait en *compétition* les différents groupes participants. Cela laisse transparaitre une compréhension limitée de la tâche, où les mises en commun auraient peu d'importance pour l'avancement général de la classe.

Bien qu'à priori réservés sur la question, les élèves se sont montrés tout à fait capables de présenter succinctement leurs pistes de solutions lorsque cela leur était demandé<sup>96</sup>.

---

<sup>96</sup> Les chapitres d'analyse P1 et P2 présentent de nombreux extraits venant appuyer ces observations.

A ce stade de l'activité, l'enjeu général du défi, construire une tour en papier, « quelque chose qui tienne » semble clair pour tous. A travers les propos échangés, on remarque que problème de la solidité générale de la tour s'est précisé. Grâce à l'activité collective, les différents paramètres qui le sous-tendent vont être progressivement distingués et explicités.

#### **4.1.4 T4 : Premier temps de recherche en groupe avec matériel**

*Les investigations avec matériel favorisent-elle l'avancement de l'élaboration du problème ? Cette étape est-t-elle l'occasion de nouvelles confrontations entre pairs ? Les élèves rencontrent-ils des obstacles expérimentaux ? Le passage à l'expérimentation permet-il aux groupes de valider leurs hypothèses ? Ces confrontations favorisent-elles l'avancement du cheminement de recherche ? Les idées évoluent-elle à travers une co-construction, à la fois cognitive et matérielle ?*

(T4, classe Fed) *D : alors vous êtes tous prêts pour commencer ?*

*Es : (en cœur) oui !!!!*

*D : alors c'est parti (distribution des feuilles de papier journal) !*

A ce stade, les élèves se sont tous montrés très impatients de pouvoir obtenir le matériel de construction ; les dix minutes de travail en groupe précédentes ayant, pour certains, suffi largement aux préparatifs avant la construction<sup>97</sup>.

Il est intéressant de relever ici, que les élèves n'ont pas tous procédé de la même façon une fois le matériel en mains. Un certain nombre d'élèves se sont emparés immédiatement des feuilles des papiers et se sont laissé découvrir par tâtonnements divers modes de façonnages. D'autres ont essayé d'emblée de réaliser les idées discutées dans la phase précédente. Par exemple, certains ont commencé par rouler les feuilles de papier de différentes façons en cherchant à évaluer comment obtenir le plus long rouleau possible, ou le plus rigide (une feuille entière, une demi-feuille, deux feuilles, dans le sens de la longueur, de la largeur, plus ou moins serré, etc.). D'autres ont commencé par découper les feuilles en cherchant à optimiser la quantité de papier donnée.

D'un autre côté, des groupes ont préféré poursuivre la discussion initiée dans la phase précédente, interrompue par la "réunion générale", et ont ressenti la nécessité de préciser encore leur projet, de faire quelques changements, de continuer les négociations, ou de peaufiner les croquis. D'autres encore ont initié de nouveaux questionnements à la simple vue des feuilles de papier et ont réorientés parfois leurs pistes de solutions prévues au départ.

De manière générale, il apparaît nettement que la mise en contact avec les matériaux a aidé les élèves à s'approprier d'avantage le problème et à préciser leur questionnement et leurs idées.

---

<sup>97</sup> Cette phase de l'activité s'est déroulée entre 19 et 28 minutes, selon la classe.

Malgré les obstacles et les régulations mis au point en conséquence, un très petit nombre de projet fût abandonné lors du passage à la réalisation du projet. Plusieurs nouvelles idées –ou idées complémentaires– sont apparues une fois le matériel dans les mains, mais dans la majorité, les idées mises en œuvre au T4 –design, mode de façonnage, stratégies de consolidation– avaient déjà émergé au T2.

Toutefois, la mise en œuvre n'a pas été une simple exécution ou une simple mise en forme du projet, et s'est rarement déroulée de manière linéaire. Les élèves rencontrent de nombreux obstacles dans leur réalisation, et l'appréhension face à la faisabilité de leur projet et plus généralement le sentiment incertain de pouvoir relever le défi perdure tout au long de l'activité : « *les gars ça va jamais tenir là ! (...) mais les gars ça va être chaud de faire tout tenir ! (...) mais ça va pas marcher comme ça (...) c'est foiré... je sens que...(...) mais de toute façon c'est impossible* »<sup>98</sup>.

Par ailleurs, certains propos témoignent de l'émulation importante créée par l'activité de défi. Le désir de relever le défi a visiblement permis de dépasser le découragement parfois ressenti. Un esprit de compétition est percevable dans plusieurs groupes, mais il ne s'exprime étonnement que vis-à-vis d'un seul aspect du défi : la capacité du groupe à économiser le matériel ; élément perçu comme critère de distinction et de valorisation par rapport aux autres groupes. C'est d'ailleurs à cette seule occasion que les groupes ont parlé d'« équipe » : « *ça va nous aider à avoir plus de points parce qu'on va utiliser moins de scotch* », « *mais regarde notre équipe tout le matériel qu'elle a pris !* », « *on est à égalité avec les rouge (...) les blancs c'est les moins économiques* »<sup>99</sup>.

(T4) *E.Vert1Mie : on est les plus économes !*

*E.Vert4Mie : on est les seuls !*

*E.Vert2Mie : ils disent qu'on va jamais réussir*

*E.Vert1Mie : mais nous on prend des petits bouts*

*E.Vert2Mie : nous on fait de l'économie !*

(Plus tard)

*E.Vert1Mie : ouais on va vraiment être les plus économes*

*E.Vert2Mie : j'aimerais trop qu'on gagne !*

*E.Vert1Mie : regarde notre trophée de la victoire !*

*E.Vert3Mie : ouais bon, y a pas de gagnant alors (rires)*

*E.Vert1Mie : oui mais ça c'est pour notre planète je vous rappelle (rires)*

Les obstacles que les élèves ont rencontrés lors de la mise en œuvre de leur projet sont de diverses natures. D'une part, ils se sont confrontés concrètement aux diverses contraintes explicites du défi (restriction de matériel, restriction de temps, etc.). D'autre part, ils se sont confrontés aux différents paramètres technoscientifiques en jeu (rigidité, stabilité, hauteur, etc.), sous-jacents au problème plus général de la

---

<sup>98</sup> Propos de E.RougesSeb.

<sup>99</sup> Propos de E.BleusFed, E.JaunesSeb et E.BleusMie.

solidité de la construction. Sur ces deux niveaux, les élèves ont éprouvé les tensions qui s'exercent entre les différents éléments du problème.

Ces tensions ont elles aussi donné sujet à confrontation entre les membres du groupe, qui percevaient ou hiérarchisaient souvent différemment les différents éléments. Enfin, l'effort pour surpasser ces obstacles, qu'ils soient expérimentaux ou sociocognitifs, ont permis au groupe d'*avancer* dans son cheminement de recherche et de construire des représentations de plus en plus précises du problème.

Au niveau pratique, plusieurs stratégies de régulations ont été mises en œuvre pour compenser le manque de solidité ou de stabilité des constructions (obstacles les plus importants). Dans l'ensemble, le problème général de construire une tour *qui tienne* s'est progressivement précisé. Il semble que les élèves aient pris conscience que réaliser une tour implique de tenir compte à la fois de sa *solidité* (liée au mode de façonnage du papier et de l'assemblage des différents segments) et de sa *stabilité* (son équilibre, influant notamment sur sa résistance aux tests).

Plusieurs interventions de la part des enseignants<sup>100</sup> sont venues ponctuer le travail des groupes. Ces interventions visaient soit à sensibiliser les élèves à la nécessité de pouvoir par la suite rendre compte en plénière de leurs démarches et des étapes de constructions<sup>101</sup> –« *Comment vous avez fait ? (...) vous avez commencé par faire quoi ?* »– ou à les sensibiliser au fait de pouvoir anticiper les étapes futures – « *comment vous allez faire après ?* ». Il s'agissait aussi de sensibiliser les élèves au fait de pouvoir orienter les tâtonnements et la capacité à observer et comparer différents résultats de manière à évaluer la meilleure stratégie :

(T4, Classe Seb) *D : vous avez chacun trouvé, ou essayé une technique différente pour rouler le papier, on dirait ? C'est laquelle la plus efficace ?*

*E.Blanc2Seb : la nôtre*

*D : oui mais... vous avez trouvé des différentes pistes... entre vous vous avez comparé ? Il faudrait peut-être vous mettre d'accord ?*

Ce fût aussi l'occasion de rendre attentifs les élèves au fait que chaque groupe élaborait une solution dans une gestion différentes des multiples contraintes, et qu'il était contraint de faire des choix dans l'impossibilité de gérer parfaitement tous les paramètres de manière optimale.

(T4) *E.Rouge3 (à Delphine) : mais il faut que ça soit fermé ?*

*Del : peu importe, mais il faut que ça tienne debout et que ça fasse un mètre*

*E.Rouge3Seb : mais vous allez calculer ?*

*Del : ah ben oui je vais mesurer*

*E.Rouge3Seb : mais on pouvait pas savoir*

*Del : mais si je vous l'ai dit au début*

---

<sup>100</sup> Moi-même et l'enseignant titulaire de la classe ou le remplaçant en charge.

<sup>101</sup> Ceci, en particulier en prévision de la phase finale des tests et de l'analyse des résultats en plénière.

*E.Rouge3Seb : mais allez s'il vous plait, c'est bon, c'est pas grave si c'est comme ça*

*Del : oui, essayez déjà comme ça... et peut-être que celles des autres groupes n'arriveront pas non plus jusqu'à un mètre, vous pouvez prendre ce risque et vous concentrer sur d'autres choses*

*E.Rouge2Seb : ouais là-bas c'est plus de 1 mètre !*

*Del : ça peut être un premier début... soit vous essayez de continuer la même en plus grand... soit vous essayer autre chose...c'est vous qui jugez (...)*

Plus généralement, les interventions ont invités les élèves à se poser la question à chaque étape de la mise en œuvre : « *Qu'est-ce que je suis en train de faire ? et pourquoi exactement ?* ».

*(T4) Del : qu'est ce qui est important de faire ici ? Qu'est-ce que vous cherchez à faire quand vous faites vos rouleaux là ? Est-ce que vous arrivez à dire ?*

*E.Bleu1Fed : à mettre de la hauteur*

*Del : d'accord... mais... pourquoi vous le faites en forme de rouleaux alors ? Je vois par exemple vous faites un rouleau puis après vous plier en deux le rouleau ? (si c'est pas la longueur du rouleau) c'est quoi qui est important dans le rouleau pour vous ?*

*E.Bleu1Fed : (très embêté) mais là ya tout qui est en train de se détruire, qu'est-ce qui se passe ...!*

*E.Bleu4Fed : avant c'était tout droit*

*Del : ouais, ça tient ne pas... Qu'est-ce qui ne tient pas ?*

*E.Bleu2Fed : on devrait mettre une feuille...qui permette de tenir tous les papiers*

*Del : pour pas que les papiers s'enlèvent tu dis ?*

*E.Bleu2Fed : oui*

*Del : peut-être vous pouvez commencer par faire ça (...)*

En somme, à travers leurs explorations avec le matériel, leurs tâtonnements et leurs essais, les élèves ont investigué des stratégies de construction, pour parvenir réaliser leur projet encore au stade conceptuel quelques minutes avant. La vue ou le toucher du matériel a participé à faire avancer le problème, car il a permis aux élèves de se représenter concrètement certains aspect du problème, même si ceux-ci avaient déjà été anticipés. Ensuite, les élèves se sont confrontés à divers obstacles qui leur faisaient souvent reconsidérer leurs stratégies, et du même coup les représentations qui les sous-tendaient. Ainsi, la phase de mise en œuvre a, en quelque sorte, forcé les élèves à éprouver concrètement les paramètres technoscientifiques sous-jacents au problème, et les a forcé à devoir trouver des moyens de les gérer simultanément.



#### 4.1.5 T5 : Mise en commun intermédiaire

*Comment la réunion intermédiaire est-elle vécue par les élèves ? Quelle participation peut-on observer ? Que partagent les élèves lors de la mise en commun ? Comment la plénière participe à l'avancement des investigations ?*

Dans l'ensemble, dans les mêmes buts que la première mise en commun, il a été proposé aux élèves de faire le point sur l'"avancement des travaux". Mais à ce stade, les élèves étaient dans le "feu de l'action", ils étaient plongés dans la mise en forme de leurs constructions. La réunion générale, imposée par l'enseignante, est venue créer une certaine rupture dans l'élan des investigations<sup>102</sup>.

(T5, Classe Fed, Delphine actionne la petite sonnette) *D : réunion générale !*

*E.Vert2Fed : non ! c'est pas le moment !*

*E.Vert2Fed : ouais faut pas arrêter au milieu du truc !*

Une baisse générale de régime se laisse percevoir au niveau de la participation des élèves à ce moment-là. Dans un premier temps, en effet, les élèves se sont montrés peu loquaces et ont semblé ne pas saisir l'intérêt d'un « temps mort » pour mettre en commun les observations, alors qu'ils n'avaient pas encore finalisé leur projet<sup>103</sup>.

(T5, Classe Seb) *D : (d'un ton théâtral) chers ingénieurs et ingénieuses, vous êtes en pleins dans vos activités en cours... je vois quelques fois la sueur perlée sur vos fronts... allez-vous arriver à relever ce défi !?*

*E : non*

*E2 : non...*

*D : ...quelques fois beaucoup d'encouragement ! ...quelques fois plus de désespoir, mais ce n'est pas fini ! Vous aurez encore un moment le temps ! Mais ces réunions générales sont très importantes, elles permettent un petit peu de "hou !" allez, pour vous solidariser un peu... (...)*

(T5, Classe Mie) *D : (...) au début on en a pas du tout envie, on a pas envie d'être sortis de notre activité, vous êtes « en plein dedans » comme tu dis, sauf que, quelques fois un peu de recul fait toujours du bien, soit pour mettre en commun nos difficultés ou nos bonnes idées, soit tout simplement pour regarder ce que l'on a fait sans forcément être plongé tout entier dans l'activité (...)*

Certaines attitudes non verbales laissent penser que les élèves se sont sentis coincés, et que l'impatience de voir leur projet prendre forme se décuplait de plus belle. Ils n'attendaient plus que de pouvoir retourner "sur le terrain" pour tenter de finaliser leur projet. Les élèves attendaient probablement de pouvoir se faire une idée une fois parvenu au résultat.

---

<sup>102</sup> Cette phase a duré entre 6 et 8 minutes.

<sup>103</sup> Plusieurs explications sont proposées plus loin à ce sujet.

(T5, Classe Mie) *D : par rapport aux problèmes -je ne vais pas vous retenir trop longtemps, hein, chers ingénieurs je sais que vous êtes impatients de vous remettre à l'action, mais, par rapport à toutes les choses qu'on avait vues au départ, les problèmes, est ce qu'il y a autre chose qui sont apparues? Est ce qu'il y a des nouvelles choses qui sont venues vous embêter dans la réalisation de vos idées ?*

(Silence général)

*E.Blanc1 : non, pas spécialement*

*D : non rien de nouveau ? pas de nouvelles ou mauvaises surprises en tout cas ?*

*E.Blanc1 : des problèmes non.*

*D : pas de problème... Par contre dans les pistes est-ce qu'il y a des nouvelles choses ? oui ?*

*E.Blanc1 bah en fait pour faire exactement 1 mètre avec les rouleaux de papier, on les a emboîtés.*

D'abord, la plénière a permis dans certains cas de débriefer les obstacles rencontrés au niveau de la dynamique de travail :

(T5, Classe Seb) *D : déjà, j'ai besoin de savoir si vous avez rencontrés de nouveaux problèmes?*

*E: on n'est pas en accord avec notre équipe*

*D: ha! ça c'est un problème de taille dans une équipe, donc on va mettre ça (s'apprête à écrire au tableau), quoi : dynamique dans l'équipe? "Dynamique de travail" ? Comment vous appelez ça?*

*E : on n'est pas en accord avec les autres dans l'équipe (...)*

(T5, Classe Mac) *D : (...) moi j'ai remarqué un problème, qui arrive souvent dans les équipes de chercheurs, il y a des moments des fois, des coups de mou, on se démoralise. Pourquoi on se démoralise ? déjà un, ça marche pas forcément comme on avait pensé...deuxième raison, on arrive pas à se mettre d'accord. Ça c'est dur on ne trouve pas les bons arguments pour... mais après, ce qui est important c'est de rester soudés, hein, et puis de faire au fur et à mesure. Et puis, il y a des groupes pour qui c'était très difficile et puis après ils ont retrouvés plein d'énergie, et puis ils sont sur des bonnes pistes. Et puis il y en a d'autres, par exemple vous vous avez pu retrouver une façon de vous mettre d'accord ?*

*Es : non*

*D : non. C'est difficile, hein, il y a beaucoup de groupes dans lesquels aujourd'hui, c'est ça qui pose problème, ça fait partie, ça fait partie de l'activité du chercheur, c'est sûr. Donc ne vous découragez pas, moi c'est ça que j'ai envie de vous dire, ok ? Et puis... est ce qu'il y a pour certains groupes pour qui c'est tout facile, tout roule comme ils avaient prévu ?*

(Silence, puis rire général)

*D : (...) quelques fois ça fait du bien, hein, de se faire des moments où on est tous solidaires, même si on travaille dans des équipes différentes. On va mettre en commun un petit peu, et puis on va voir si on peut peut-être s'entraider, ok ?*

Ensuite, il s'agissait de faire avancer la construction du problème en incitant les élèves à expliciter le plus précisément les observations qu'ils avaient menées "sur le terrain". La demande d'explicitation était justifiée par le fait de devoir trouver un mot-clé permettant de résumer l'idée avancée pour l'inclure dans le tableau de bord collectif.

(Classe Mac) *D : alors, moi j'ai besoin de savoir : est ce qu'il y a des nouveaux problèmes que vous avez rencontré ?*

*E.Jaune1 : la structure n'est pas assez solide*

*D : la structure n'est pas assez solide... donc vous vous avez eu une idée de structure, mais c'est pas assez solide, mais ça veut dire que par rapport à ton idée de départ, ça fait pas aussi solide que tu pensais ? ou est ce qu'il y a un autre problème ?*

*E.Jaune1 : ben non ça fait pas aussi solide que je pensais.*

*D : donc « structure » (note au tableau)... mais là par exemple, ça tient tout seul ! Pourquoi tu voudrais que ça soit plus solide ?*

*E.Jaune1 : on a mis des poteaux dedans mais ....*

*E.Jaune2 : si on continue...*

*E.Jaune1 : Si on continue ça va s'écraser.*

De plus, la plénière a permis d'exercer les élèves à faire part de leur cheminement de recherche, et ainsi à faire prendre conscience de la nécessité de justifier les directions choisies –*D : (...) par rapport à votre idée de départ, est ce qu'il y a eu beaucoup de changements, est ce qu'il y a des idées abandonnées ? (...) est ce qu'il y a de nouvelles idées qui sont apparues ?*–, et ainsi d'anticiper des stratégies pour remédier aux obstacles potentiels –« *Et qu'est-ce que vous comptez faire pour que ça tienne bien ensemble ?* ».

Enfin, la plénière a permis de parler de la manière dont les élèves géraient les différentes contraintes de l'activité, et de faire prendre conscience des conséquences qu'engendraient certains choix :

(T5, Classe Mac) *D : est ce qu'il y a d'autres problèmes rencontrés, là, le groupe rouge par exemple ?*

*E.Rouge : bah euh... l'économie.*

*D : l'économie, oui. L'économie de papier (note « économie » au tableau), mais je veux quand même vous dire qu'il ne faut pas que ça vous bloque. Vous utilisez autant de papier que vous voulez (...) Donc euh, est ce qu'il y a d'autres problèmes qui sont arrivés dans les équipes ? oui ?*

*E.Jaune : économie de scotch aussi.*

*D : ah ! De scotch aussi. Mais pourquoi vous voulez économiser vous, votre groupe ?*

*E.Jaune : ben, parce que on a pas très envie d'utiliser plein de papier.*

*D : pourquoi ?*

*E.Jaune : ben parce que après, il n'y en aura plus et tout, on aura jamais assez pour atteindre le haut.*

*D : d'accord, donc c'est plutôt en anticipant que si dès le départ il t'en faut beaucoup, il t'en faudrait beaucoup pour continuer et du coup, peut-être, il y en aurait pas assez. C'est ça ?*

*E.Jaune : acquiesce*

*D : ok, c'est une bonne idée, après on peut décider d'utiliser peu de papier juste pour essayer de faire une tour économe. Après si ça nous empêche de construire jusqu'au bout, c'est dommage (...)*

Un autre exemple de divergence entre pairs partagé lors de la plénière a permis de sensibiliser les élèves au rôle de l'argumentation comme moyen de négociation et de validation.

(T5, Classe Mie) *E.Bleu2 : moi j'avais dit de prendre ça et puis de le mettre ici comme ça ferait plus d'économie et puis ça tombera pas mais eux ils veulent en mettre absolument trois*

*D : (...) si vous avez de la peine à vous concilier dans le groupe il faut pouvoir amener des arguments... donc toi tu aimerais, ton argument ça serait d'économiser du matériel ?*

*E.Bleu1 : oui en le mettant ici... et puis ça fait peu (de matériel)*

*D : Voilà. Et puis l'argument de ton collègue, c'est...*

*E.Bleu2 : de tous mes collègues*

*D : de tous les collègues, c'est que ce soit plus solide, c'est ça ?*

*E.Bleu2 : oui*

*D : pour assurer plus de stabilité ?*

*E.Bleu1 : quand on met ici, ça pourrait tomber ici*

*E.Bleu2 : ben non celui-là il le tiendrait*

*D : alors il faudrait essayer... (...)*

Sommes toutes, il est difficile d'évaluer l'impact qu'ont porté les plénières sur l'activité des élèves *par la suite*, mais l'activité qui se mène *pendant* la plénière a permis de faire avancer le questionnement et l'élaboration du problème.

#### **4.1.6 T6 : Deuxième temps de recherche en groupe avec matériel**

*Quelles dynamiques se vivent dans les groupes dans la dernière partie de la mise en œuvre ? Émulation, découragement, dispersion ?*

Le T6 est le prolongement et la finalisation de la phase de mise en œuvre des projets de tours<sup>104</sup>. Par rapport au début des constructions, on peut relever une évolution notoire de la dynamique générale de la classe. Plus on se rapproche de la fin, plus la dynamique devenait intense et pleine d'émulation.

A ce stade, la contrainte du temps restreint était ressentie très fortement par tous les élèves, forçant ceux-ci à aller à l'essentiel. Les interactions sont plutôt limitées. Le

---

<sup>104</sup> Cette étape a duré entre 9 et 39 minutes.

plus souvent, les élèves ne prenaient plus le temps de *discuter*, ni de réfléchir ensemble sur les obstacles qu'ils continuaient pourtant de rencontrer. Les échanges se résument à des injonctions permettant d'organiser la mise en œuvre. Ceux-ci concernent presque tous l'utilisation du scotch dans les dernières minutes (perçu comme l'ultime moyen de compenser le manque de solidité de la tour). Un partage des tâches se mettait généralement tout seul en place, chacun contribuant de manière plus ou moins engagée à la mise en forme de la tour. Le plus souvent c'est l'initiateur du projet qui tenait le lead des constructions.

Néanmoins, en s'approchant de la fin, une bonne partie des groupes ont constaté les limites de leur projet et ont anticipé l'échec. Dans plusieurs groupes, l'idée de changer de direction s'est posée devant des obstacles trop importants. Suite à des négociations plus ou moins argumentées, les groupes ont fait des choix différents. Certains ont décidé de persévérer dans la même direction en misant sur toutes les chances de parvenir à relever le défi au moyen de la solution qu'ils avaient imaginée, en quelque sorte dans l'espoir de la *valider*. D'autres groupes se sont aventurés à transformer leurs constructions, en défaisant et en agençant différemment les segments confectionnés de manière à obtenir un meilleur résultat. Même si les résultats n'ont pas toujours été satisfaisants, et que parfois un certain découragement s'est laissé sentir chez quelques élèves en particulier, aucun groupe n'a baissé les bras, et le désir ou le plaisir de relever le défi s'est maintenu jusqu'à la fin.

#### 4.1.7 T7 : Phase tests, analyse des résultats, et explicitation des démarches

*Quelle dynamique peut-on observer lors des tests ? Quelle est participation des élèves lors de la mise en commun des résultats ?*

(T7, Delphine actionne la clochette)

*Es : NON !!* (cris, excitation)

*D : calmez-vous, calmez-vous, posez toutes vos affaires... on va discuter...*

(...cris, excitations)

*D : (fait sonner une deuxième fois la clochette) Votre attention s'il vous plaît ! très chers ingénieurs, je suis très fière de cette grande réunion aujourd'hui, vous avez, dans chacune de vos équipes, vraiment, vous avez donné de vous-même, avec vos têtes, avec vos mains, avec votre équipe, super ! (...)*

La dernière mise en commun a permis de rendre compte en collectivité de la diversité des propositions<sup>105</sup>. A ce stade, tous les élèves ont pu mener à bout leur projet initial<sup>106</sup>, ce qui n'a pas empêché que la réunion générale vienne rompre ou écourter pour certains la mise au point des tours avant les tests. A la fin, certaines tours ne tenaient toujours pas debout, d'autres ne mesuraient pas un mètre, d'autres semblaient plutôt bien construite et prête à surpasser les tests.

<sup>105</sup> Cette dernière étape a duré entre 12 et 30 minutes.

<sup>106</sup> Pour s'en assurer, un temps supplémentaire était accordé dans la mesure du possible.

A cette étape, il était demandé aux élèves d'explicitier leur démarche et leurs pistes de solutions, en d'autres termes quelles étaient leurs idées de départ « *comment (ils) en (sont) arrivés là* ». Plus qu'une présentation des solutions trouvées pour relever le défi, les élèves étaient sollicités à rendre compte de leur cheminement de recherche :

(T7, Classe Mac) *D : alors, ce qui est important, bien sûr c'est le résultat, mais pas seulement, et c'est loin d'être seulement le cas, car j'ai besoin de savoir, savoir comment vous en êtes arrivés là (...) Est-ce que vous seriez capable de refaire la même chose ? (...) vous vous souvenez comment vous avez fait? (...) Vous pouvez expliquer un petit peu comment ça s'est passé ?(...)*

Notons qu'on observe de manière générale une dynamique plus participative qu'à la dernière mise en commun. A ce stade, comme lors de la plénière précédente, tous les groupes ont été capables d'explicitier rétrospectivement le cheminement de recherche parcouru.

De plus, cette plénière a entraîné les élèves à expliciter les stratégies de mise en œuvre et de remédiation, impliquant une première comparaison des différents procédés :

(T7) *D : vous avez utilisé du papier pour renforcer mais alors plutôt que de mettre plusieurs couches vous avez créé des... c'est quoi ça ?*

*E.Vert1Mac : des piliers ?*

*E.Vert2Mac : des barres, des bâtons, des bâtonnets...*

*E.Vert3Mac : des piliers*

*E.Vert1Mac : des rouleaux*

L'explicitation des démarches entreprises a révélé que les élèves étaient capables de justifier les changements de pistes ou les transformations et régulations qu'ils avaient dû mettre en œuvre pour parvenir aux résultats.

(T7) *E.Vert2Mac : en fait, en premier, euh c'était euh un peu tordu et du coup si on soufflait ça tombait alors on a renforcé avec les bâtons autour (...)*

(T7) *E.Rouge1Mac : c'était censé être un mur...et après un autre mur/ mais ça faisait trop long parce qu'il faudrait faire plusieurs étages et...*

*(...)*

*E.Rouge4Mac : et au début on avait plus la taille alors on a rajouté le haut*

La phase tests débutait ensuite. Le constat des résultats a permis de valoriser les productions de chacun mais surtout les démarches entreprises et les efforts fournis pour parvenir au résultat, même peu satisfaisant.

(T7, classe Mie) *D : alors on va commencer par le groupe rouge. Alors, premier point : votre structure tient debout, félicitations, deuxième chose : mesure t'elle 1 mètre ? (mesure la construction) oh oui ! 1 mètre tout juste, bravo ! Maintenant nous avons le test n° 1 qui est le test du tremblement de terre attention (branle la table)! Je ne sais pas à combien ça représente sur l'échelle de Richter mais...a un moment donné... (branle la table plus fortement) ça peut s'agiter beaucoup beaucoup, bravo franchement ! (Applaudissement général)*

*D : ensuite, nous allons voir : le test de l'ouragan (sort le sèche-cheveux) (Excitation générale)*

*D : en cas d'ouragan force 1 qu'est-ce que nous avons... on va voir (enclenche sèche-cheveux) ok bouge un tout petit peu mais alors elle a l'air bien stable. Maintenant ouragan force 2, nous allons voir.... (la tour vacille)*

*E : ouh !*

*E : olé !*

*D : alors attention, l'ouragan force 2 je crois qu'il y a 1 côté qui ne le supporte pas (observe la tour de plus près) Ouais le côté ici est moins... (...)*

Devant les résultats, ce fût aussi l'occasion de sensibiliser les élèves aux divers choix qui avaient permis d'établir une solution, ainsi que la tension entre le fait de devoir gérer un ensemble de contraintes et la nécessité d'établir et de hiérarchiser des priorités.

(T7, Classe Fed) *Del : alors (vous avez utilisé) 16 feuilles et un scotch en plus...alors cela explique, elle est moins haute mais elle est plus solide (...)* c'est qu'il n'y a pas qu'une seule solution, il y a des solutions, et que chacune de ces solutions répond à des problèmes différents (...) et là c'est vrai que chaque groupe s'est concentré sur un objectif différent, vous sur le fait que ça devait être solide, même si c'est pas autant haut, même si vous avez utilisé plus de matériel...Il y a deux tours qui se sont vraiment concentrés sur la hauteur, ils ont pris beaucoup de temps pour mesurer cette hauteur...après, la solidité, ça allait venir après, c'était secondaire...votre premier objectif c'était la hauteur (...)

Suite aux tests, les élèves ont été amenés à réfléchir collectivement à diverses pistes d'amélioration possibles des dispositifs : « *Qu'est-ce qu'il faudrait pour qu'elle puisse tenir debout, est ce qu'il y a des idées...* », « *Alors si c'était à refaire qu'est-ce que tu ferais ?* », « *Maintenant, est ce que vous gardez tout ou est ce qu'il y a des choses que vous abandonneriez si vous deviez repartir maintenant exactement à 0... ?* ».

Tous les groupes ont participé activement à définir plus précisément ce qui posait problème et à imaginer des pistes d'amélioration possibles de chacune des constructions de la classe. Cette activité a été l'occasion pour l'enseignant de préciser la définition du problème : « *D : Juste une petite chose moi quand je vois ça, je ne*

*suis pas sûre... vous allez me dire ce que vous en pensez...si on construisait encore par-dessus la même chose, est ce que vraiment ça tiendrait ? ».*

(T7, devant la tour du groupe Vert Mac)

*D : maintenant imaginons que l'on recommencerait à 0, est ce que vous garderiez votre idée ou est ce qu'il y a des choses que vous abandonneriez, quelles ont été peut-être vos erreurs, vos fausses pistes, ou est-ce que ça a été tout juste, vous feriez exactement la même chose ? voilà...*

*E.Vert1Mac : ben en fait parce que ça, des fois la tour elle penchait, donc on a mis du scotch on a accroché beaucoup plus loin et ça...*

*D : donc là, c'était quoi l'erreur exactement, pourquoi penchait ?*

*E.Vert1Mac : ah, parce que c'était pas très stable, c'était pas solide*

*D : bah alors si c'était à refaire qu'est-ce que tu ferais ?*

*E.Vert1Mac : euh ben...*

*D : est-ce que tu ferais différemment ?*

*E.Vert1Mac : ben oui, plus solide*

*D : oui mais plus solide comment ?*

*E.Vert1Mac : en mettant plus de papier*

*D : alors vous votre idée, la solution que vous avez trouvé c'est que pour rendre plus solide, il faut mettre plus de papier, c'est ça que vous retiendriez ?*

*E.Vert2Mac : enrrouler...*

*D : enrrouler autour pour que ce soit plus solide... (l'air dubitatif) ...malgré toutes les différentes idées que vous avez eu de plier le papier, c'est plus vous mettez de papier plus c'est solide ? c'est l'idée que vous gardez ?*

*E.Vert1Mac : euh... plus c'est lourd*

*D : plus c'est lourd*

*E.Vert1Mac : en bas*

*D : quand même... d'accord*

A ce stade de l'activité, les élèves partageaient une représentation de la complexité du problème bien plus construite qu'au départ. Ils identifiaient mieux les différents paramètres en jeu et étaient capables de formuler les liens qui les unissaient. Ils étaient aussi plus à même d'explicitier les choix qu'ils avaient faits depuis le début.

De plus, la mise en commun finale a permis de mettre en lumière la représentation que les élèves se faisait de leur cheminement de recherche, en particulier lorsqu'il leur était demandé d'explicitier les différentes étapes de fabrication de leur tour. A cette occasion, les élèves ont témoigné de leur prise de conscience vis-à-vis des différentes contraintes, les différentes mises en lien qu'ils avaient établis, ainsi que les différentes solutions trouvées en conséquence. Les propos des élèves permettent de confirmer l'idée que c'est le plus souvent la confrontation à différents obstacles qui a permis la prise de conscience de nouveaux paramètres composant le problème et qui a impliqué des changements de pistes, des régulations, et favorisé l'émergence de nouvelles idées.

On remarque que les plénières, et en particulier la phase de tests, ont permis aux élèves de donner du sens à l'activité menée jusque-là. En effet, on peut faire l'hypothèse que si certains aspects du problème n'avaient pas été élucidés par certains



groupes ou certains élèves, le fait d'être mis en lumière par d'autres ayant eux-mêmes aussi expérimenté l'activité a pu avoir un impact plus fort qu'une validation par l'enseignant. Bien sûr, le rôle de l'enseignant a été fondamental pour parvenir à faire entrer les élèves dans ce jeu d'observation et d'analyse et à *prendre du recul* par rapport à leur création...un exercice ni évident ni spontané chez les élèves.

Pour compléter l'analyse, un sous-chapitre est réservé à cette dernière étape de l'activité (phase tests et analyse des résultats), de manière à mettre en lumière comment l'élaboration du problème continue à s'effectuer jusqu'à la fin, en partie grâce aux interventions de l'enseignant. Ce point suivra l'analyse P2 qui se focalise essentiellement sur les temps de travail en équipe, et non les plénières.

## 4.2 Synthèse et conclusion P1

Plusieurs éléments respectifs aux différentes étapes spécifiques du défi ont été présentés dans l'analyse P1, contribuant à répondre à plusieurs sous-questions de recherche. Une synthèse générale est proposée ici, apportant des éléments de réponses à nos trois questions :

1. *Quel est le répondeur des élèves face à l'activité proposée ?*
2. *Quelles sont leurs réactions face aux différentes consignes données par l'enseignant ?*
3. *Comment l'activité d'élaboration du problème évolue-t-elle au cours des différentes étapes de l'activité (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7) ?*

Pour répondre à ces questions, plusieurs remarques générales peuvent être faites concernant le répondeur des élèves. Même si la motivation ou l'intérêt des élèves n'a pas fait l'objet d'une évaluation au sens strict, certaines observations suffisent à rendre compte de l'intensité émotionnelle et cognitive en vigueur dans les classes.

En effet, certaines réactions immédiates des élèves ont laissé transparaître leur degré d'intérêt à s'engager dans l'activité de défi proposée. L'enthousiasme des élèves tout au long de l'activité est un bon révélateur de leur engagement à relever le défi. En effet, leur investissement dans la recherche et la construction d'une solution efficace ainsi que leur persévérance malgré les nombreux désaccords et obstacles rencontrés, témoignent que les élèves se sont sérieusement "pris au jeu".

La multiplicité des réponses qui a émergé est aussi un bon indicateur de leur investissement dans la tâche. Il est marquant de voir comment les élèves ont pris au sérieux le défi et comment ils se sont donnés les moyens de le relever.

Dans l'ensemble, les élèves ont témoigné d'un grand répondeur face à l'activité tant face aux consignes de départ (T1) que pendant le travail de groupe (T2, T4, T6). La phase de tests (T7) crée elle aussi une certaine effervescence dans la classe. On observe une relative baisse d'intensité lors des plénières (T3, T5), néanmoins les élèves se sont montrés participatifs, actifs dans les discussions.

Si le plaisir exprimé par les élèves semble à première vue fluctuer selon les différents moments de l'activité, la qualité du travail ne diminuerait pas pour autant. Plusieurs hypothèses seront présentées plus en détail (voir chapitre *Les mises en commun en plénière*) pour tenter de comprendre ces variations d'intensité.

Ensuite, quelques remarques globales peuvent être établies concernant le processus d'élaboration du problème, et sa progression au cours des différentes étapes de l'activité.

Dans l'ensemble, chaque étape de l'activité semble avoir participé favorablement, et de manière spécifique, à l'avancement de l'élaboration du problème.

Les interactions en petits groupes se sont montrées particulièrement fécondes parce qu'elles ont occasionné de nombreuses confrontations d'idées, de points de vue et de représentations. Et le dépassement de ces confrontations déboucherait sur une vision généralement plus éclairée du problème. On ne pourrait éviter toutefois certains consentements généraux hâtifs, et le fait que certains élèves s'investissent plus que d'autres dans l'élaboration.

Les plénières ont généralement participé à la précision du problème et à l'identification des différents éléments le constituant, que ce soit par l'effet de la mise en commun des idées et des observations, ou de l'effort d'explicitation. En outre, plusieurs extraits présentés ci-dessus ont permis d'illustrer comment l'enseignant contribuait fortement à plonger les élèves dans le travail du problème, à travers l'observation, le questionnement et la verbalisation de l'activité de recherche.

En outre, il semble que les élèves ont bien accepté les changements successifs de posture de recherche, impliqués par l'alternance entre les temps de discussion en équipe et les discussions en plénière. Or, s'ils participent activement à l'exercice lorsque les consignes l'exigent, ils prendraient peu souvent eux-mêmes l'initiative de réfléchir à leurs stratégies et leur démarche sur un plan méta.

Enfin, les moments de construction des tours ont permis aux élèves de se faire une meilleure idée du problème, de par les nombreux obstacles rencontrés dans la mise en œuvre de leur projet. Le passage de la phase conceptuelle à la phase opérationnelle du projet aurait un impact important sur les représentations des élèves. Même si les obstacles empiriques ne suffiraient vraisemblablement pas à dépasser les obstacles cognitifs les plus importants, les élèves progresseraient dans le travail du problème.

De manière à approfondir nos questions générales de recherche, les parties suivantes permettront de développer ces différentes observations et de fournir des résultats plus pointus sur la nature du processus d'élaboration du problème en situation de défi créatif, ainsi que sur la qualité du contenu de l'activité cognitive des élèves.

Observons maintenant de plus près l'activité des élèves en nous focalisant sur le travail en petits groupe.

### 4.3 Analyse P2 : Cheminement de recherche des groupes

Le point de vue proposé dans cette partie de l'analyse est celui de l'équipe. Dix-huit portraits représentant dix-huit groupes d'élèves ayant travaillé en équipe pour tenter de relever le défi. Cette partie de l'analyse présente une vision sociocognitive du travail du problème. Elle examine en détail l'activité des élèves, en dialogue avec leur environnement social et matériel.

Un micro placé au cœur de chaque équipe a permis de recueillir tous les propos des élèves du début à la fin de la séance. Partant de l'hypothèse que les propos exprimés lors des plénières ne suffiraient pas à rendre compte de l'activité de problématisation des élèves, les enregistrements audio ont permis d'observer *de près* et *de l'intérieur* le cheminement de recherche de chaque équipe et d'approcher leur logique propre. Entrer dans l'intimité du groupe nous a semblé absolument nécessaire pour mieux comprendre le processus de problématisation et approfondir nos questions de recherche.

Cette partie aborde les trois dimensions de notre problématique (subjective, évolutive et contextuelle), à travers trois questions :

1. *Quels sont les cheminements de recherche des différentes équipes ? Quelles solutions s'élaborent au cœur du groupe en réponse au défi ?*
2. *L'élaboration du problème évolue-t-elle pendant les moments de travail en groupe ? Les solutions imaginées subissent-elles des transformations lors du passage à leur mise en œuvre ?*
3. *Comment l'élaboration évolue-t-elle à travers les interactions avec le matériel et les interactions entre les membres de l'équipe ?*

Pour tenter de réunir des éléments de réponse et participer à préciser mes hypothèses de recherche, chaque équipe a été observée séparément. Cette partie présente le cheminement de chaque équipe sans tentative de comparaison entre l'une ou l'autre. De plus, les 18 portraits sont présentés sans enchaînement particulier et sont simplement regroupés par classe<sup>107</sup>.

Chaque portrait relate comment les élèves ont travaillé dans leur équipe, ceci à deux moments distincts : lors de 1) la phase de conceptualisation du projet de solution (T2), et lors de 2) la phase de mise en œuvre du projet de solution (T4/T6). Ainsi, l'analyse

---

<sup>107</sup> Pour rappel, chaque équipe est distinguée par une couleur (Rouge, Bleu, Vert, etc.) et l'abréviation (correspond au nom de l'enseignant titulaire de la classe) mentionnant la classe à laquelle elle appartient (classe "Mac", classe "Fed", classe "Seb" et classe "Mie")

met en évidence le passage progressif des solutions *imaginées, prévues*, vers des solutions *tangibles, opérationnelles*.

De plus, en examinant les cheminements de recherche à un niveau micro-génétique, l'analyse permet de rendre compte de l'élaboration très progressive<sup>108</sup> d'une solution commune à travers en chaîne d'interactions. D'une part, les interactions verbales (au T2 et T4/T6), et d'autre part, les interactions avec "le réel", en contact avec le matériel d'investigation (au T4/T6).

Une synthèse de l'activité de problématisation des équipes lors des phases de travail de groupe est proposée à la fin. Puis, certaines observations seront développées plus finement dans des points respectifs.

#### 4.3.1 Equipe Rouge Mac

L'équipe rouge Mac est composée d'une fille et de trois garçons. Dans l'ensemble des temps de travail en groupe, c'est principalement E.Rouge1 qui propose des idées, mais tous les membres du groupe participent à la discussion/élaboration des solutions.

##### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

Dès les premières secondes du travail en groupe, une solution concrète est proposée, et semble créer l'unanimité : 4 piliers posés à l'extrémité d'une feuille de papier, puis réaliser des étages supplémentaires selon le même mode. Le principal obstacle potentiel lié à cette stratégie réside dans l'idée que des rouleaux posés à la verticale peuvent tenir debout « tout seuls », simplement fixé avec du scotch à la base. Le second réside dans l'idée qu'une feuille de papier journal est suffisamment rigide pour réaliser une surface horizontale solide, tel un plateau.

*ERouge1 : mon idée c'est une feuille de journal, on va la faire comme ça puis on la met droite, après on les empile les unes sur les autres pareil partout pour faire un carré et pour les angles on enroule comme ça*

*ERouge2 : mais ça va pas tomber ?*

*ERouge1 : scotché !*

*ERouge4 : scotché !*

*Erouge3 : ah ben voilà ! on a trouvé c'est bon on a fini !*

Mais l'équipe continue à imaginer des alternatives : « *J'ai une autre idée (...) on va plier les journaux et faire un peu comme les pyramides d'Egypte (...) sinon on fait une grosse boule de papier et on la pose là comme ça ?* ». Dans l'ensemble, le groupe imagine plusieurs pistes de solutions remédiant au manque de **solidité du papier** en fabriquant des segments rigides (rouleau de papier, tressage du papier, etc.), et susceptible d'assurer une **stabilité** générale (empilement). A la fin du T2, le groupe

---

<sup>108</sup> Ce qu'il se passe en quelques minutes, voire en quelques secondes parfois.

s'accordent sur trois alternatives de mise en œuvre, « *si ça marche pas avec celui-là on fait celui-là (...) on verra, on essaye déjà comme ça* », etc. :

*E.Rouge1 : on a déjà trois idées!* (montre les dessins à Delphine) *ça, la première, on va faire des rouleaux et on va les superposer comme ça c'est bien solide*

*E.Rouge2 : en fait c'est comme une pyramide* (non la forme mais l'idée d'empilement)

*E.Rouge1 : la deuxième, on va prendre des feuilles qu'on va froisser comme ça et qu'on va superposer* (croiser entre eux) (...) *comme de la vannerie (...) ça sera bien solide*

*E.Rouge3 : comme ça, comme une chemise à carreau*

*E.Rouge1 : et puis la dernière, un rouleau qu'on va enrrouler comme ça et pis mettre un toit*

*D : mmh, d'accord ...il faudra voir aussi avec le matériel qu'est-ce qui est réalisable...*

Dans la confrontation des multiples possibilités, différents paramètres du problème émergent. Lors des échanges, les arguments font référence tantôt à la **résistance** aux tests de simulations des catastrophes naturelles « *oui mais ça va pas tenir aux tests* », tantôt au souci d'**originalité** liée probablement aux représentations des élèves sur l'activité de défi et/ou l'activité de l'ingénieur « *non vous voulez pas faire un truc original!* », ou encore la question de la **faisabilité** « *ouais mais c'est compliqué comme ça* ». Des corrélations entre plusieurs paramètres sont explicitées : premièrement le problème de la **rigidité** propre des matériaux (papier) et/ou le problème de la **hauteur** comme éléments déterminant la question de la **solidité** « *parce que si c'est tout fin et qu'on doit mettre un toit comme ça... (ça ne va pas tenir) (...) mais vous voulez pas faire autrement parce qu'il va être trop grand, (et) il va être fin le bâtiment* ». Le problème de la **restriction** du matériel est mis en lien avec le problème de **hauteur** : « *non mais même avec tous ces journaux on arriverait à peine à faire...* (geste désignant une trentaine de centimètres) ».

#### Mise en œuvre (T4, 60 min)



La construction mise en œuvre sera le produit d'une *combinaison* des diverses idées retenues par le groupe au T2, combinaison non prévue au départ. L'idée de tressage du papier est la première idée sur laquelle s'appuient les enfants, de par l'expérience antérieure qu'ils en ont : « *comme nous on connaît la vannerie (...) on en a fait en*

*classe* ». Une attention méticuleuse est portée au procédé de fabrication « *on s'est trompé là ! c'est en dessus, en dessous, en dessus, en dessous* ». Assez vite, le groupe se rend compte que la stratégie est coûteuse en temps —« *mais tu sais on risque de pas réussir à faire un mètre en une heure...* »— et en matériel —« *ouais...mais ça va prendre beaucoup de papier* ». Pourtant, deux segments sont constitués ainsi sans trop savoir comment ils serviront encore à la construction de la tour. Ensuite, plusieurs idées alternatives sont imaginées quant à l'utilisation de ces segments. Par exemple, servir de parois à la construction : « *Là c'est notre premier côté (...) ça, ça pourrait faire deux murs déjà (...) ben tu sais quoi on fait deux murs, pis après on verra...* ». Le groupe flotte un peu, se rendant compte de la nécessité de trouver une autre stratégie pour finaliser la construction dans les temps. A cette occasion, l'enseignante (Delphine) tente de cadrer le groupe : « *à mon avis vous êtes sur une piste très originale, à mon avis il faut déjà faire quelque chose avec ça (...) si maintenant il vous restait 5 minutes, qu'est-ce que vous feriez pour que le plus vite possible pour parvenir à réaliser quelque chose qui tient debout ?* ». La question reste en suspens.

Les membres de l'équipe peine à se mettre d'accord sur la suite des opérations : « *elle veut faire toute seule (...) il faut trouver une idée où on est tous d'accord !* ». A nouveau, l'enseignante (Delphine) vise à favoriser l'avancement du groupe : « *c'est dur hein parfois de se mettre d'accord dans le groupe... pour tenter de convaincre les autres à des moments où il faut prendre des décisions ensemble, ce qu'il faut essayer c'est de donner des arguments...* ». Dans l'immédiat, les enfants ne semblent pas prêter garde à cette intervention.

Un peu plus tard, les élèves tente de se rappeler les différentes idées énoncés lors du T2 : « *(...) mais c'était quoi ton idée ? (...) tu vois il veut enrouler ça et après le mettre au milieu (...) et pourquoi on fait pas comme ça (4 murs avec 4 segments de papier tressés) ? (...) mais parce que c'est trop long !* ». Finalement, une nouvelle solution est amenée par E.Rouge3, qui est en fait une combinaison de 2 idées déjà imaginées : se servir de l'un des segments de papier tressé pour créer une base solide afin d'y ériger plusieurs piliers structurant un début de tour : « *j'ai une idée ! on va mettre 4 comme ça, un ici, un ici, un ici, un ici...* », puis de l'autre pour réaliser un « étage ». L'idée fait l'unanimité. De cette même façon deux étages sont construits.

L'équipe avance dans la mise en œuvre de son projet jusqu'à l'écoulement du temps imparti, dans une gestion simultanée des différentes contraintes : la **solidité** (« *tant pis t'sais, c'est pas la beauté (qui compte) (...) il faut faire épais et solide (...) je connais le problème, c'est là, il faut renforcer ici !* »), l'**économie de temps** (« *tu veux pas mettre un peu partout (des rouleaux), ça serait plus solide !? (...) non on n'a pas le temps !* »), l'**économie de matériel** (« *mais là c'est trop un gaspillage de scotch (...) attend mais on peut enlever du scotch, là au milieu on en a pas besoin (...) moi j'ai trouvé peut-être une idée pour l'économie de scotch, tu les enroules ensemble !* »), et la **hauteur** (« *mais ça, ça va pas faire un mètre ! il faudra faire un deuxième étage (...) nous on n'essaie pas de faire le plus grand possible (...mesure) elle fait 68 cm (...) maintenant il nous reste plus qu'à faire une antenne !* »).



Juste avant les tests, l'idée de rajouter l'« antenne » permet d'atteindre une **hauteur** suffisante (au total 1mètre et 9cm). La tour tient debout et résiste aux tests, bien qu'un peu bancal. Les élèves ont l'idée de positionner les rouleaux différents ou d'en rajouter pour gagner de la stabilité.

#### 4.3.2 Equipe Vert Mac

L'équipe Vert Mac regroupe 3 filles. Une bonne dynamique s'opère au sein du groupe et beaucoup d'émulation accompagne les investigations. Une des élèves (E.Vert1) apporte la majeure partie des propositions de solutions, mais on observe une co-élaboration progressive d'une solution commune à mesure que les autres la questionnent et la confrontent.

Dans cette équipe le questionnement est important. On peut déchiffrer derrière les diverses questions une attention portée sur des éléments différents de la situation. Nous verrons entre autre que c'est dans l'effort de préciser les questions que le problème se construit.

##### Conceptualisation du projet (9 min)

Tout d'abord, les élèves débutent l'activité avec une première compréhension différente de l'enjeu du défi. Pour E.Vert1 et E.Vert3, il semble évident que le but est de réfléchir à un modèle de tour réaliste (bien que futuriste) qui soit efficace au niveau de la prise en compte de contraintes conceptuelles et contextuelles. Pour E.Vert2, l'enjeu se porte avant tout sur la recherche de stratégies de construction prenant en compte les contraintes matérielles (papier, etc.).

Par exemple, les questions posées par E.Vert3 se portent sur le design général, ou la résistance aux catastrophes naturelles, ou encore l'idée que la tour soit habitable : « *mais t'as fait comme ça ? (...) on fait en forme de goutte en gros (...) mais les avalanches ? (...) suis pas sûre...si ça casse les maisons ? (...) et pour les tremblements de terre ?* ». La solution se dessine (par E.Vert1) et évolue à mesure des divers problèmes venant la confronter : une tour de forme « ronde » avec protections « en forme de piques », en « pointe ».

*E.Vert1 : alors moi j'imaginerai plutôt une tour comme ça ronde*

*E.Vert2 : mais si c'est fin (le papier) ? Toute l'eau après ça traverse !*

*E.Vert1 : non non mais épais*

*(...E.Vert1 dessine son idée)*

*E.Vert3 : mais t'as fait comme ça ?*



*E.Vert2 : mais comment ça tient ?*  
*E.Vert1 : oui mais pas la taille de mes doigts ! plus grosse ! épaisse, lourde surtout, parce que si elle est lourde elle va plus tenir debout*  
*E.Vert3 : mais les avalanches ?*  
*E.Vert1 : oui non mais attends ! (continue à dessiner...) bon si il y a une avalanche, il y a des pointes comme ça, et l'avalanche elle se fend en deux et elle part et elle ne casse pas la tour, primo.*  
*E.Vert2 : mais elle sert à quoi la tour alors ? ça sert à quoi que ça passe à travers ? ça empêche pas !*  
*E.Vert1 : c'est pour empêcher de casser la tour ! Ce sera où des gens habiterons, il y aura des bureaux, etcetera, comme ça empêchera à des gens de mourir*  
*E.Vert3 : on fait en forme de goutte en gros ?*  
*E.Vert1 : ouais... euh non on fait une tour ronde et là devant on met un truc en forme de pique*  
*E.Vert2 : mais ça sert à quoi ?*  
*E.Vert1 : comme ça les avalanches, au lieu de passer sur la tour et de la péter, ça va les forcer à dévier, à se séparer en deux*  
*E.Vert3 : suis pas sûre...si ça casse les maisons ?*  
*E.Vert1 : éh c'est comme ça qu'une église elle a été sauvée hein, ils avaient mis un truc comme ça et l'avalanche a passé à côté*

A ce stade, on voit qu'il n'est pas encore sujet de chercher des solutions concrètes en vue de la construction effective en papier. C'est probablement ce qui crée l'incompréhension de E.Vert2 –« *je pige rien* »– persistant vis à vis des propositions de E.Vert1. Les nombreuses questions de l'une témoignent de la tentative de se représenter la proposition de l'autre, et du décalage entre une représentation du problème d'un côté plus conceptuelle, et de l'autre plus pragmatique.

En effet, E.Vert2 la questionne sur des aspects plus opérationnels : « *comment ça tient ? (...) ça sert à quoi ? (...) ça servira à quoi ?* ». Elle met en perspective la résistance de la construction papier face aux tests de simulation imaginés : « *mais si c'est fin ? toute l'eau après ça traverse !?* ». Les multiples explications fournies ne lui permettent pas de répondre aux questions qu'elle se pose, chacune se trouvant dans un paradigme différent.

Notons que la formulation de ses questions incitent plutôt les autres à justifier la fonction de la tour plutôt qu'à expliciter les moyens de réalisation : « *mais elle sert à quoi la tour alors ? ça sert à quoi que ça passe à travers ? ça empêche pas ! (...) mais pourquoi anti avalanche ?* ». Petit à petit elle sera amenée à préciser ses questions : « *oui mais comment ça servira à empêcher le tremblement de terre ?* ».

C'est dans l'effort d'explicitation requise qu'une réelle argumentation va ainsi se construire, et finalement aider le groupe à construire du sens commun. E.Vert1 est amenée à exposer des arguments de plus en plus en plus précis pour défendre –et améliorer en cours de route– sa proposition. Il s'agit d'arguments qui prennent en compte de divers enjeux du défi (résistance aux diverses catastrophes naturelles,

stabilité) et qui se réfère par exemple à des expériences ou des observations antérieures –« *eh c'est comme ça qu'une église elle a été sauvée hein, ils avaient mis un truc comme ça et l'avalanche a passé à côté* »– ou des analogies –« *comme un funambule et son bâton ! c'est pour donner de l'équilibre* »– ou encore des problématiques actuelles plus générales (par exemple celle des logements).

*E.Vert1 : mais c'est immense cette tour ça pourra loger des milliers de personnes, c'est des bureaux, des laboratoires, et des appartements...*

*E.Vert3 : oui et il y a une grande salle pour que quand il y a risque tout le monde vient ici... sous terre !*

*E.Vert1 : oui y a un souterrain !*

*E.Vert3 : et pour les tremblements de terre ?*

*E.Vert1 : pour les tremblements de terre, justement, pour la stabilité de la tour, la pique pour les avalanches sert aussi pour la stabilité de la tour*

*E.Vert2 : mais ça servira à quoi ?*

*E.Vert1 : ben pour la stabilité, comme un funambule et son bâton ! c'est pour donner de l'équilibre*

*E.Vert2 : oui mais comment ça servira à empêcher le tremblement de terre*

*E.Vert1 : pour empêcher le tremblement de terre ça sera très lourd, ça va pas se décoller du sol, donc il faut quelque chose de très lourd voilà (...) et ici il y aura des trucs qui vont alourdir (...) alors quand ce sera lourd, il y aura de l'équilibre, ce sera anti avalanche, anti tremblements de terre, alors attends je vous dessine un petit plan*

*E.Vert2 : mais pourquoi anti avalanche ? (...) je pige rien...*

(...E.Vert1 explique encore une fois les mêmes explications)

*E.Vert2 : ah ! un bâtiment qui résiste aux avalanches ! j'ai compris !*

*E.Vert1 : ah enfin !*

Enfin E.Vert2 exprime sa compréhension vis à vis de l'enjeu poursuivi par ses camarades. Cependant il semble que la qualité de l'argumentation d'E.Vert1 ne soit pas réellement en cause, et que c'est plutôt le passage dans l'autre paradigme qui permet la convergence. Une fois une représentation du problème harmonisée, les trois élèves poursuivent avec entrain l'imagination et l'argumentation de leur projet avec créativité.

*E.Vert1 : et pour le tsunami, nous sommes pas au bord de la mer, donc ce n'est pas un problème !*

*(...) on a qu'à construire la tour en plein milieu de la ville et puis on n'a pas besoin de mer !*

*E.Vert2 : je sais je sais ! on fait comme ça, on fait un pont par-dessus !*

*E.Vert1 : oui ou si la mer elle est ici quand il y a le tsunami qui arrive, comme je vous l'ai magnifiquement bien dessiné, eh bien il va glisser tout du long et puis il va repartir*

*E.Vert3 : ou non je sais ce qu'on peut faire ! Regarde, quand il y a un tsunami, il y a deux barres énormes qui font comme ça (...) et tu sais dès que le truc arrive c'est comme les pales brises tchu tchu tchu tchu*

*E.Vert1 : et si le tsunami va plus haut que la tour ?... il y a un petit problème, c'est pour cela qu'on a tout prévu, op ! ah je sais ! (...) là ça fait une pointe avec les hélices ! (...) comme ça si le tsunami débarque au-dessus de la tour,*

*ici il y a tout un réservoir et quand l'eau arrive pffuit ça va direct dans la tour, et ça apporte de l'eau pour la chasse d'eau, et c'est écologique !*

*E.Vert2 : juste il y a un problème, ici (...) oui mais si l'eau vient de ce côté et vient ici dessus ?*

*E.Vert1 : ah mais attends, j'ai pas fini (continue à dessiner)...*

Etonnamment, lors de la réunion en plénière très peu d'éléments sont partagés avec la classe. Toutefois la perspective de commencer les constructions fait ressortir un aspect plus matériel évincé jusque-là.

*D : Est-ce qu'il y a d'autres choses encore qui vous sont apparues comme des problèmes ?*

*E.Vert1 : si la catastrophe elle va plus haut que la tour*

*D : (...) qu'est ce qui semble le plus difficile à faire ?*

*E.Vert1 : de la faire en papier*

*D : (...) pourquoi c'est un problème le papier ?*

*E.Vert1 : parce que c'est pas très dur*

#### Mise en œuvre (T4, 60 min)

Après la plénière, l'équipe se voit contrainte de laisser de côté son projet conceptuel... il est maintenant question de réfléchir à des moyens concrets pour construire « une structure très solide ». Pour ce, l'idée d'une forme « ronde » est maintenue. Les trois filles commencent par créer une sorte d'enveloppe cylindrique (formée de feuilles dépliées avec les rebords repliés) dans l'idée de constituer les façades de leur tour. Elles prévoient ensuite de remplir la structure pour gagner de la solidité et de la stabilité.

L'idée de jouer sur le *poids* de la construction, exprimée mainte fois au T2, se présentait comme la stratégie opérationnelle idéale pour assurer de la stabilité : « *(une tour) épaisse, lourde surtout, parce que si elle est lourde elle va plus tenir debout (...) donc il faut quelque chose de très lourd (...) et ici il y aura des trucs qui vont alourdir* ». Dans l'esprit des élèves, la question du poids est d'emblée liée à la quantité de matériel. C'est pourquoi, une fois en contact avec le matériel, le groupe se retrouve plutôt emprunté, en particulier concernant le problème de la restriction de papier : « *ya un problème ! (...) sauf que ça prendrait trop de journal (...) c'est pas aussi facile qu'on le croyait !* ».

Cependant, l'idée de construire une « *base solide* » en augmentant la quantité de matériel persiste : « *ce sera pas assez solide, plus dedans ! comme ça, ça fait une bonne base !* ». L'idée partagée par le groupe, est que la solidité est liée au poids et donc à la quantité de matériel. La première stratégie trouvée est de « *remplir* » la construction d'« *un tas de grosses boulettes* ». Au bout d'un certain temps le groupe observe que la construction faite de boules de papier s'affaisse trop facilement. Ainsi

une nouvelle idée émerge : la confection de « bâtonnets » ou de « barres » venant « renforcer » les côtés.

*E.Vert1 : j'ai peut-être une bonne idée ! Enrouler des feuilles de papier et ensuite on les scotche*

*E.Vert3 : mais c'est trop tard !*

*E.Vert1 : il n'est jamais trop tard (...) on met des barres !*

*E.Vert1 : ok on prend une demi page par barre (...) après il faut plus les serrer les barres, il faut que ça soit vraiment solide... non c'est pas assez serré, il faut la resserrer !*

*E.Vert2 : mais attends je crois que ça sert à rien*

*E.Vert1 : mais oui c'est solide ...après t'arrives plus à la couper*

Mais l'équipe se confronte alors à une nouvelle observation : la présence de segments (effectivement) très rigides ne suffit pas à créer la solidité globale de la construction. De plus, le groupe est confronté au problème de constant de l'économie : « *non mais arrête si on prend trop de scotch il y en aura plus ! (...) attends, en premier les choses importantes et vraiment utiles* ».



Grâce à une combinaison de stratégies diverses le groupe parvient à construire une base ayant une certaine tenue... or la question de la hauteur finit par se poser : « *non mais attends ! comment construire en hauteur ? ce n'est pas la plateforme qui pose problème !* ». Alors, le groupe continue sur le même mode pour constituer un premier étage, puis un deuxième étage, afin de gagner de la hauteur.



A quelques minutes de la fin, par contrainte de temps et de matériel, l'équipe Vert Mac groupe finit par ajouter une « antenne » au sommet de la tour, qui lui permet rapidement et avec peu de matériel d'atteindre 1 mètre tout juste de hauteur.

### 4.3.3 Equipe Bleu Mac

L'équipe Bleu Mac est constituée de quatre garçons. Dans l'ensemble, on observe une collaboration au sein du groupe, une répartition des tâches, de l'entraide, chacun sait prendre sa place pour proposer ses idées ou intervenir pour confronter son point de vue.

#### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

Lors des deux premières minutes du T2, les membres de l'équipe expriment leurs idées papier-crayon à l'appui ; les idées foisonnent. Une partie des propositions correspondent soit à des idées de design général : « (tous élèves du groupe confondus) *J'ai une idée ! un building (...)* Non on peut faire la tour Eiffel ! (...) Ah ! l'école ! (...) Ou sinon on a qu'à faire une maison ! (...) Oh regarde ! un tube voilà, de 1 mètre ! ». D'autres propositions visent à résoudre le problème de la résistance aux **catastrophes naturelles** : « (tous élèves du groupe confondus) *Une grotte ! (...)* Un souterrain ! un souterrain ! (...) non mais je veux dire un immeuble, en dessous du sol, comme ça il serait protégé partout ». D'autres propositions visent plus précisément à augmenter la **stabilité** de la tour grâce à une base plus large, par exemple une construction en forme de « volcan » ou d' « arbre » ou encore de « bouteille ». Dans l'ensemble, les propositions proviennent de diverses sources d'inspiration (bâtiments traditionnels, observations de phénomène de la nature, films ?).

C'est autour de cette dernière idée que le projet de tour se construit. Un jeu de négociation s'opère entre deux élèves en particulier (E.Bleu3 et E.Bleu2). Chacun précise petit à petit son idée à travers le travail d'explicitation et d'argumentation pour la défendre.

*E.Bleu3 : non mais c'est une bonne idée ce que t'as fait comme ça, sauf qu'il faut rajouter quelque chose (...) pis après on met un truc comme ça en papier avec du scotch pour que ça tienne bien (...) comme ça, ça fait un appui et ça va de plus en plus haut (...) ouais moi je parlais des appuis comme ça regarde (dessine) (...) on met des appuis genre... comme ça un peu partout tu vois...il faut juste tac avec des barrières qui descendent (...) comme ça, ça tient partout »*

*E.Bleu2 : oui mais si c'est carré, ça bascule (...) tu vois parce que s'il y a du vent (...) s'il y a du vent, pam, et ça tombe! (...) non comme ça, parce que c'est un meilleur appui, je voulais dire que c'est un meilleur appui parce que...passez-moi le crayon et la feuille, je peux juste dessiner ? (...) moi j'ai eu l'idée de faire comme un volcan pour faire un appui (...) c'est une maison en forme de volcan avec des appuis de côtés (...) on va faire une maison avec des appuis-barrières »*

L'idée retenue est de faire une construction en forme de « volcan », autrement dit, avec une base plus large permettant un meilleur appui, soit une plus grande stabilité et

une meilleure résistance face aux tests. L'idée d'« appuis-barrières » correspond à des parois en pente au niveau de la base de la construction.

#### Mise en œuvre (T4, 60 min)

La venue du matériel pousse l'équipe à prendre un long temps de concertation avant de se lancer dans la réalisation de son projet. Tous sont d'accord sur l'idée de réfléchir « *comment faire* » mais la question semble signifier des choses différentes. Pour certains (E.Bleu2, E.Bleu3) il est nécessaire de se mettre d'accord sur *quelle forme* sera donnée à la construction, en précisant le projet au moyen de croquis. Pour d'autres (E.Bleu4), la question semble davantage relever du mode de façonnage du papier, c'est-à-dire *comment réaliser* l'idée modélisée sur la feuille de brouillon *avec du papier* :

*E.Bleu4 : maintenant il faut réfléchir comment on fait en fait ! (...) attendez les gars réfléchissez comment on peut faire !*

*E.Bleu2 : on peut commencer par en bas (dessine) on commence par en bas, comme ça et après comme ça et se sera penché comme ça*

*E.Bleu4 : mais comment tu veux faire ?*

*E.Bleu3 : pourquoi on fait pas comme un carré en fait ?...attend, tu fais quelque chose comme ça...*

(une partie des élèves continuent leurs dessins et commencent à manipuler le matériel)

*E.Bleu4 : non mais sérieux les gars, le temps est compté ! (...)*

La différence de point de vue crée de l'incompréhension mais implique des questions qui permettront finalement de faire avancer le projet vers des idées potentiellement plus efficaces :

*E.Bleu4 : mais sérieux, tu veux faire comment ton truc ?*

*E.Bleu3 : je sais ! à la place de mettre des barrières qui vont presque pas tenir, on enroule !*

*E.Bleu4 : mais c'est pas bien de copier (le groupe Rouge Mac a déjà trouvé cette solution) !*

*E.Bleu3 : mais j'ai pas copié, eux ils font différent ! tu enrroules et après tu colles des autres côtés de la tour*

*E.Bleu2 : mais non on fait comme on avait dit ça tiendra mieux !*

*E.Bleu4 bon maintenant il faut juste penser, on fait comment ?*

*E.Bleu1 : faut faire la forme !*

*E.Bleu3 : faut d'abord faire le parterre de l'immeuble peut-être !*

*E.Bleu4 : le parterre de l'immeuble ! ...mais on fait pas ça, on fait juste l'immeuble !*

*E.Bleu1 : oui on fait ça, on fait ça*

*E.Bleu3 : mais oui hein... oui mais parce que après tu dois mettre du papier, et le papier il va tenir où ? après tu vas le scotcher là-dessus ou là-dessus ?*

*E.Bleu1 : mais non il faut pas scotcher, on va pas le scotcher*

*E.Bleu4 : attends ! attends ! attends ! mais non, il faut pas !... peut-être que si mais on sait pas ! mais d'abord il faut penser on fait comment ton truc ? c'est incompréhensible*

*E.Bleu1 : fais la forme ! fais déjà... rond !*

*E.Bleu4 : non mais arrêtez les gars, non mais les gars sérieux vous pouvez m'aider*

*E.Bleu2 : éh j'ai une idée ! Enrique m'a donné l'idée de faire comme ça, faut mettre plusieurs couches comme ça !*

*E.Bleu1 : euh...t'es bête !*

*E.Bleu3 : mais comment tu veux que ça soit carré ?*

*E.Bleu2 : non mais ça c'est, je veux dire, c'est en bas, la barrière*

*E.Bleu4 : mais non pour tenir on fait comme ça*

*E.Bleu3 : mais non il faut faire des barrières rondes, et à la place de faire des trucs carrés de côté, on fait des trucs comme ça, on met un rond, pis après on met un rond dessus !*

*E.Bleu4 : mais non !*

*E.Bleu2 : ben moi je suis d'accord avec D.*

*E.Bleu4 : mais non ça va pas tenir, un rond ça va pas tenir, vaut mieux un truc carré*

*E.Bleu2 : mais si parce que à ce qui paraît le rond il résiste mieux parce que... c'est comme les sous-marins... la pression... ça les écrase pas*

(3 sec de silence)

*E.Bleu1 : euh qu'est-ce que t'en sais !*

*E.Bleu4 : bon d'accord si tu veux*

*E.Bleu1 : mais comment tu sais ça alors ?*

Après 10 minutes de riche concertation, l'équipe décide d'abandonner la première idée –réaliser des *façades* (« barrières carrées »)– et opte pour la stratégie de rouler le papier en tubes (« barrières rondes ») dans l'idée de réaliser une *structure* en forme « carrée ». Cette décision se fait sur la base de l'argumentation mise en œuvre et non d'une mise à l'épreuve par l'expérience. Or, le temps d'appropriation avec le matériel a certainement participé à anticiper ses limites (la faible rigidité du papier par exemple).

La mise en application de l'idée des rouleaux de papier implique à nouveau des divergences dans le mode de façonnage. Un temps est nécessaire pour expliciter ses démarches, comparer les résultats afin d'harmoniser et réguler les procédés :

*E.Bleu3 : ouais mais euh tu l'as fait comment, parce qu'il faut le plier comme ça pour que ça soit renforcé...il faut le plier en deux*

*E.Bleu2 : (inaudible)*

*E.Bleu3 : ouais pas grave... mais t'as fait comment ? tu l'as laissé comme ça ?*

*E.Bleu2 : ouais*

*E.Bleu3 : t'as plié comme ça ou tu as plié en deux et après t'as enroulé ?*

*E.Bleu4 : non il a plié comme ça*

*E.Bleu3 : et après t'as tourné ?*

*E.Bleu2 : oui*

*E.Bleu4 : mais il n'a pas fait comme ça*

*E.Bleu2 : ça change quoi ?*

*E.Bleu4 : ça change rien*

*E.Bleu2 : non j'ai pas fait comme ça*

*E.Bleu3 : non mais c'est bon, c'est de la même taille ! (...) non mais c'est pas serré ça ! c'est pas assez serré !*

*E.Bleu2 : bon ok je te le fais*

Une fois les « bâtons » (rouleaux) prêts à l'emploi, l'équipe se retrouve face à un nouveau problème : la nécessité de choisir une façon d'agencer les segments entre eux pour ériger la tour. Diverses questions et propositions s'entrecroisent à la fois dans le groupe, chacun cherchant à amener sa pierre à l'édifice. Une grande émulation se crée de plus en plus dans l'équipe à mesure que la solution se construit et que le projet prend forme.

*E.Bleu4 : les gars **pour que ça tienne il faut faire comment** ?*

*(...)*

*E.Bleu4 : eh mais voilà !*

*E.Bleu1 : bon on fait quoi là !?*

*E.Bleu4 : ben justement on peut faire un truc comme ça carré !*

*E.Bleu1 : et ça, ça sert à quoi ?*

*E.Bleu2 : je sais !!! on prend ça pour faire les murs de la maison*

*E.Bleu3 : pourquoi on fait pas un T ?*

*E.Bleu4 : ...pour faire comme ça tac tac tac tac, on fait comment !?*

*E.Bleu2 : en fait il faudrait ....mettre un là un là un là*

*E.Bleu1 : pourquoi on fait pas comme ça ! regarde ! non tu fais comme ça, regarde ! eh ! regarde ! tu mets un autre ! mais oui !!! mais passe un bâton, non pas comme ça ! et passe ça, regarde ! tu mets comme ça et tu mets un autre ici ! (personne n'écoute)*

*E.Bleu3 : ...tu mets ça comme ça, après tu en prends un tu le mets là*

*E.Bleu1 : attends passes encore un ! Mets le ici, comme ça après*

*E.Bleu3 : après on en met encore un ici... et ça fait déjà le bâtiment...et après on fait les murs, on scotch ici*

*E.Bleu4 : aaah !*



...et l'élaboration de la solution avance en intégrant simultanément différents paramètres (hauteur, économie) :



*E.Bleu1 : ouais après c'est comme ça regarde*  
*E.Bleu4 : ouais mais après regarde tout le papier qu'on va devoir utiliser !*  
*E.Bleu2 : mais c'est une bonne idée*  
*E.Bleu4 : ouais ok alors on calcule, on calcule*  
*E.Bleu1 : eh ! je prends du papier... combien ?*  
*E.Bleu4 : attends pas tout de suite avant il faut calculer*  
*E.Bleu2 : il faut le mettre comme ça*  
 (...)  
*E.Bleu1 : attends ça doit faire la taille de ça !*  
*E.Bleu4 : attends vous vous faites la même chose que nous mais en dessus de nous*  
 (...)  
*E.Bleu3 : il faut encore prendre du papier !*  
*E.Bleu4 : attends quelqu'un peut prendre le mettre ! calcule jusque-là*  
*E.Bleu3 : 65 cm*  
*E.Bleu2. il nous manque ! il faut chercher du papier !*  
*E.Bleu3 : j'y vais j'y vais !*



L'idée de structure (rejoint celle de l'équipe Rouge de la même classe) consiste à fixer 4 « appuis » aux extrémités d'une feuille dépliée servant de « parterre ». L'équipe choisit de continuer la construction en hauteur avec des tubes, ce qui forme une structure tubulaire rectangulaire et aérée. L'idée est de rajouter ensuite des façades pour couvrir la structure et faire qu'elle *ressemble* davantage à un immeuble. A la fin, la tour atteint 1 mètre 13 cm, tient debout mais manque de stabilité. Toutefois, elle résiste à tous les tests.

#### 4.3.4 Equipe Jaune Mac

L'équipe Jaune Mac est formée d'un garçon et de deux filles. On observe une belle émulation créative dans ce groupe. Un des élèves (E.Jaune1) élabore une idée en intégrant et précisant des éléments au fur et à mesure du questionnement de ses camarades.

##### Conceptualisation du projet (9 min)

Dans la première partie des investigations, le projet qui se crée intègre tous les éléments du contexte conceptuel du défi, en se focalisant –comme le groupe Vert de la même classe– en priorité sur le problème de la résistance aux catastrophes naturelles. L'imagination de possibilités, l'argumentation des propositions ainsi que le dessin comme moyen d'explicitation et de communication est très présent dans ce groupe.

On peut remarquer qu'au départ les trois élèves ont une perception différente des enjeux du défi qui leur fait porter attention sur des éléments différents du problème. E.Jaune1 porte principalement son attention sur le design de la tour, et propose un modèle d'« immeuble » conçu pour résister aux catastrophes naturelles (un immeuble) et E.Jaune2 pose plutôt son regard sur les stratégies de construction de « *la tour en papier, pas une vraie tour* » (comment réaliser/modéliser le concept de tour en papier, quelle forme générale lui donner concrètement). E.Jaune3 quant à elle porte son attention sur les contraintes tangibles de base liées à la construction (type de matériel, hauteur). C'est dans ce partage d'idées que le problème et la solution vont se construire conjointement et progressivement.

*E.Jaune1 : on fait une tour avec un mur comme ça dessus, tchac tchac, comme ça s'il y a une catastrophe, ça se sépare en deux !*

*E.Jaune3 : avec du... papier journal ?*

*E.Jaune1 : mais oui avec du papier journal*

*E.Jaune2 : non on fait une tour en forme comme ça !*

*E.Jaune3 : mais non c'est beaucoup trop petit... un mètre de haut hein...*

*E.Jaune2 : mais non je dis une tour comme ça de cette forme*

*E.Jaune1 : ouais... mais on peut faire ça regarde (...dessine)*

*E.Jaune2 : parce que... rond ou carré ?*

*E.Jaune1 : je sais ! on fait un immeuble comme ça comme t'as dit, et on fait une toute petite tour à côté*

*E.Jaune2 : il faut faire de 1 mètre hein*

*E.Jaune1 : oui on fait une tour de un mètre de haut et on fait une tour petite tour à côté avec une passerelle, au cas où l'immeuble allait s'effondrer eh bien les gens ils peuvent aller dans la tour ! Super solution de sécurité !*

*E.Jaune2 : dans la minuscule tour, où il y a que 10 personnes qui entrent ! ?*

*E.Jaune1 : non parce que, en fait, comme on est en 2022, c'est-à-dire qu'ils ont réussi à faire très très grand dans tout petit ! (...)*

*E.Jaune2 : non mais une tour en papier hein, pas une vraie tour d'aujourd'hui !*

(3 secondes de silence)

*E.Jaune1 : moi je sais ce qu'on va faire, en fait il y a 10 personnes qui rentrent et les autres ils meurent, voilà, ben c'est le don du sacrifice... ça existe encore en 2022 (rires) ! (retour au sérieux) non en fait, comme on est en 2022, ils ont inventés une machine à agrandir dedans, du coup il y a plein de gens qui peuvent aller*

*E.Jaune3 : ben non... s'il y a une catastrophe ils vont sous la terre !*

*E.Jaune1 : ah ben ouais, bonne idée ! ah je veux dessiner, je veux dessiner, je veux dessiner !*

Assez vite, E.Jaune3 rejoint le point de vue de E.Jaune1 et commence à participer à l'imagination des diverses options du concept de tour. Il est difficile de définir si elle se laisse séduire par la créativité d'E.Jaune1 ou si elle finit par se laisser convaincre par la pertinence de ses arguments. E.Jaune2 persévère dans son raisonnement et confronte les propositions imaginatives « *la maison elle est élastique* » par des questions très pragmatiques « *mais comment veux-tu faire ça ? on n'a même pas d'élastique !* » ... qui en retour, ne semblent pas remettre en question leur pertinence

« mais on va pas faire élastique, on dit ». Il faudra encore un temps à E.Jaune2 avant de finalement partager la perspective de ses camarades, comme soudainement prise par le jeu de l'imagination.

*E.Jaune2 : (devant le dessin de E.Jaune1) c'est quoi ce machin ?*

*E.Jaune1 : c'est une tour...alors là il y a les fenêtres... et il y a du vent... alors elle elle va faire ouhh (mime le basculement) et les gens dedans pppffff ! ils vont tous mourir sous leurs frigos (rires) ! (retour au sérieux) bon bref, alors il y a encore plein de fenêtres...alors là si t'as une avalanche vrouoummm ça se sépare, la maison elle est élastique alors si il y a un tremblement de terre, ça va...*

*E.Jaune2 : mais comment veux-tu faire ça ? on n'a même pas d'élastique !*

*E.Jaune1 : mais on va pas faire élastique, on dit... et pis si il y a du vent bouloboulou la maison elle va bouger mais elle va pas s'effondrer ! ...et alors à côté on va faire une petite tour comme ça...*

*E.Jaune2 : oh non c'est compliqué...*

*E.Jaune3 : mais non ! si ça tombe (avec le vent) ils vont sous la terre ! ... par contre s'il y a un tremblement de terre euh...*

*E.Jaune1 : ah ouais (embêté) !*

(Rire général)

*E.Jaune2 : mais non mais il y a des fusées qui sortent d'en haut de la tour !*

*E.Jaune1 : et pis ça explose !*

*E.Jaune3 : mais non ça creuse un trou dans la terre et ça rentre dans la terre*

*E.Jaune1 : mais si il y a un tremblement de terre comment tu fais ?*

*E.Jaune3 : ben ça s'envole*

*E.Jaune1 : et s'il y a du vent... ou les deux en même temps ?*

*E.Jaune3 : alors, tu fais une grande tour, en bas, premier étage tu fais un bateau, deuxième étage, tu mets un avion*

*E.Jaune1 : et s'il y a un tsunami ?*

*E.Jaune3 : ben t'as le bateau !*

*E.Jaune2 : non t'as un sous-marin c'est mieux ! (...)*

*E.Jaune3 : et si il y a une tornade ?*

*E.Jaune1 : s'il y a une tornade, il y a des fusées lasers qui tirent dans la tornade...et pis elle a un champ magnétique autour ! il y a rien qui peut la toucher ! (...) Oh ! là il y a une antenne qui prévoit les tremblements de terre "oh là il y a un tremblement de terre qui va arriver dans la maison ... on va descendre au sous-sol..." comme ça, il y aura moins de loyer à payer !*

Il est important de relever qu'au niveau de la dynamique des échanges, les propos cités sont accompagnés de beaucoup d'émulation et de rires... dynamique qui ne se montre pas moins très constructive au niveau de la problématisation et précise au niveau de la gestion de divers éléments de la situation problème. En effet, une solution est élaborée pour chacune des catastrophes naturelles citées (tornade, avalanche, tremblements de terre, tsunami). La question de la vraisemblance du projet ressort aussi nettement, à travers le souci de réalisme des dessins réalisés et à travers la préoccupation du logement et de la survie des habitants.

### Mise en œuvre (T4, 60 min)

Une fois face au matériel, l'équipe se rend compte qu'elle n'a encore aucune idée sur la façon dont elle va s'y prendre pour construire sa tour et qu'elle a pris du retard par rapport aux autres équipes. L'enseignante (Delphine) voyant le groupe bloquer, fait une proposition : « *vous savez déjà ce que vous allez faire avec ce papier ? (...)* Commencer par prendre chacun une feuille et réfléchissez à comment vous allez rendre ce papier plus solide... ». Les élèves tâtonnent pour trouver divers modes de façonnage du papier, « *voilà le papier le plus dur au monde ! (ironique)* », mais ils semblent peu convaincus de leurs résultats.

Contrairement au T2, l'équipe semble maintenant moins investie, et moins convaincue de sa capacité à relever le défi : « *ok... bon... comment on va faire la tour... (...)* mais là c'est énervant on n'arrive pas (...) *on sait même pas si ça tiendra (...)* mais comment on va faire (...) *ça tient pas c'est nul (...)* de toute façon on va perdre ». Ce relâchement laisse cours à des chicaneries filles-garçons et des échanges peu en rapport avec l'activité. L'enseignante (Delphine) intervient à nouveau : « *alors ? vous avez chacun cherché des idées pour rendre ce papier plus solide ?* ».

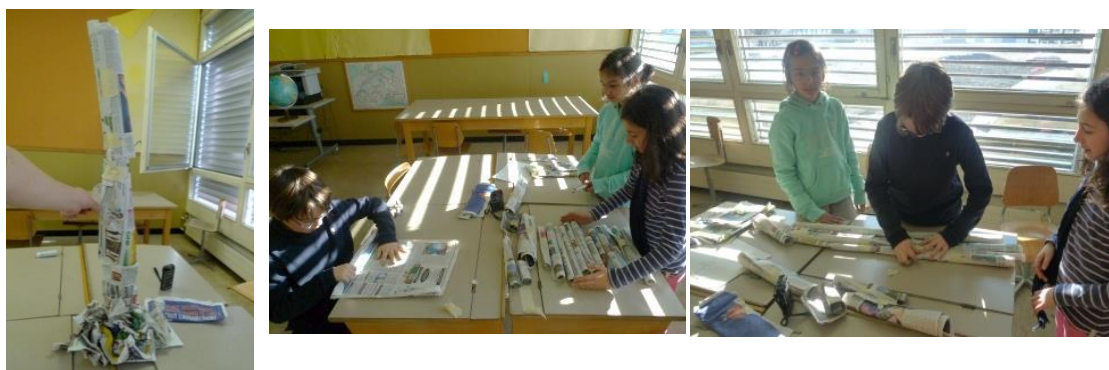
A un moment donné, apparaît la tentation d'observer les autres équipes au travail : « *il faut imiter Evan...il faut faire de l'espionnage...* ». S'inspirant du groupe d'à côté (équipe Bleu Mac), l'équipe se met d'accord sur l'idée de rouler les feuilles de papier en tubes. Plus d'une douzaine de tubes est ainsi réalisé, sans réflexion apparente. Au bout d'un certain temps, le groupe commence à se questionner sur certains aspects des consignes :

*E.Jaune2 : on doit faire une tour de un mètre ?*

*E.Jaune1 : mais ils n'ont pas dit de quelle largeur...*

*E.Jaune2 : on a déjà dit quelle forme on allait faire ?*

*E.Jaune1 : non, on n'a pas décidé...*



Peu après, l'idée apparaît de rassembler les tubes (et de les enrouler dans une feuilles de papier) afin de faire une colonne unique : « *regardez ! on a qu'à assembler ça, et ça fait une tour !* ». Du papier chiffonné est utilisé pour former un socle. La construction mesure 83cm, est plutôt rigide, mais de tient pas debout.

#### 4.3.5 Equipe Violet Fed<sup>109</sup>

L'équipe Violet Fed regroupe 5 élèves, un garçon et quatre filles, dont une ne parlant pas français.

##### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

Au T2, la discussion évolue dans un pingpong entre E.Violet1 et E.Violet3. Violet2 intervient deux fois en ébauchant un questionnement pour comprendre les propositions, mais ses demandes d'explicitation restent sans réponses. Les deux autres élèves n'interviennent pas du tout dans la discussion.

Les deux filles en tête du groupe proposent deux solutions très différentes : E.Violet3 défend une idée d'une tour réaliste, soit qui ressemble le plus possible à un immeuble traditionnel. Elle propose de fabriquer « *un immeuble* », au moyen d'une photographie ou une image trouvée dans le journal « dans le journal il y aurait déjà un appart (...) après ça nous fait les fenêtres », et faire tenir la feuille de papier à la verticale au moyen d'un repli à la base « *on plie un bout* » et d'une boule de papier en soutien par derrière « *tout le journal qui nous reste on met derrière* » (construction en 2D, 1 façade). E.Violet1 défend l'idée d'un immeuble en 3D. Elle propose de réaliser un parallélépipède, réalisé avec 4 feuilles de papier formant les quatre façades « *il y aura partout (autour) le journal ...là c'est un côté* », puis d'empiler un autre parallélépipède pour former un étage supplémentaire « *et pis après tu fais un autre carré... il sera là en haut l'autre carré* ».

*E.Violet1 : en fait moi ce que je pense c'est que l'immeuble... la maquette on va faire comme ça, comme ça là comme ça et encore comme ça (dessine) et pis après tu fais un autre carré... il sera là en haut l'autre carré (dessine en continuant à décrire son idée)*

*E.Violet2 : pourquoi ? Pourquoi tu fais un carré ?*

*E.Violet1 : attends (continue à dessiner) j'ai pas fini, c'est important...*

*E.Violet3 : oui mais moi ce que j'avais pensé c'est qu'on prenne la maison depuis le début pis après avec tout le journal qui nous reste on met derrière, pis après on scotche où on a mis le journal*

*E.Violet1 : mais là regarde il y aura partout le journal ...là c'est un côté...bon, on va refaire comme il faut ok ?... on va faire comme ça comme ça, parce qu'on est pas obligé de le faire comme un vrai immeuble (...) on pourrait imaginer de faire par exemple comme ça comme ça, etc. (continue à dessiner) là il y aura du journal, là il y aura du journal, etc.... et là aussi parce que il faut que ça soit un immeuble...*

*E.Violet2 : et on construit qu'avec les journaux ?*

*E.Violet1 : oui (...) et sinon on a qu'à faire un carré comme ça (dessine encore) comme ça...*

---

<sup>109</sup> Dans la classe Fed, une contrainte supplémentaire a été donnée : poser un livre au sommet en guise de « panneaux solaires ». Les élèves se trouvent confrontés généralement à deux problèmes : trouver un moyen pour que la construction puisse supporter le poids du livre et une stratégie de fixation.

*E.Violet3 : en fait tu sais moi ce que j'avais pensé c'est que dans le journal il y aurait déjà un appart ...pis après là en bas et en haut on peut faire comme ça... on plie un bout (...) après ça nous fait les fenêtres*

*E.Violet1 : non mais on veut pas faire de fenêtres*

*E.Violet3 non mais il y aurait déjà les fenêtres sur le journal*

*E.Violet1 : quoi ?*

*E.Violet3 : attends tu piges pas, on prend le journal on cherche un appart et si on trouve un appart...*

*E.Violet1 : non mais on va pas chercher un appartement juste pour avoir les fenêtres... Moi je trouve nul...c'est bien, mais c'est que chercher un appartement ça sert à rien*

*E.Violet3 : ben justement après... il y aura par exemple de l'herbe et tout...*

*E.Violet1 : on s'en fout de l'herbe...*

*E.Violet3 : on fait comme ça (essaye de faire tenir la feuille de brouillon en pliant légèrement le bas)*

*E.Violet1 : non mais (...) moi ce que je dis c'est que nous on peut faire un carré (continue à dessiner)*

La nécessité de trouver une solution commune engage les deux élèves à justifier ou à contester leur proposition, dans l'espoir de convaincre l'autre. Plus précisément, les deux élèves portent leur attention sur des éléments différents du problème, ce qui crée de l'incompréhension. Les deux filles se représentent la proposition de l'autre mais ne la jugent pas pertinente par rapport à l'enjeu du défi qu'elles perçoivent. Ce sont ces points de vue différents qui font l'objet de confrontation et de négociation. En fait, une argumentation s'opère principalement autour de la question de **vraisemblance**, tantôt considérées comme une priorité tantôt considérée comme inutile pour relever le défi : « *non mais on veut pas faire de fenêtres (...) non mais on va pas chercher un appartement juste pour avoir les fenêtres (...) ça sert à rien (...) on s'en fout* ». Si les deux élèves fondent leur proposition sur le modèle d'un immeuble traditionnel, E.Violet1 tente de préciser sa justification : il s'agit de s'inspirer des techniques de construction « *on fait 4 façades* » parce que il faut que ça soit un immeuble et non pas d'imiter son apparence « *parce qu'on est pas obligé de le faire comme un vrai immeuble* ». Notons que la question de la solidité est fortement en jeu dans la problématique en question, or elle n'est pas du tout explicitée dans la négociation.

Le questionnement de E.Violet2 semble faire transparaître une perception encore différente des priorités, davantage portée sur la **faisabilité** des propositions « *Pourquoi ? Pourquoi tu fais un carré ? (...) et on construit qu'avec les journaux ?* ». Or ses tentatives d'attirer l'attention des autres sur ces aspects sont sans succès face à leur détermination à faire valoir leur idée respective avant toute chose.

Sommaires toutes, l'idée de l'immeuble en 2D se trouve être la mieux réfutée, et est abandonnée au profit de l'idée de l'immeuble en 3D, sans pour autant que la pertinence de celle-ci ait été vraiment justifiée.

### Mise en œuvre (T4, 60 min)

Pour la construction de la tour, ce sont les deux mêmes filles qui prennent le *lead*. Les autres aident parfois à tenir la construction ou à aller chercher du matériel supplémentaire. Pendant la phase de construction, les échanges verbaux en lien avec la construction sont plutôt rares, et reste très constatifs : « *moi ce que j'ai pensé c'est qu'on fasse tenir comme ça (...) qui peut me donner un peu de scotch (...) mais c'est nul de scotcher là, mais c'est mieux de scotcher là* ». Quelques nouveaux paramètres du problème sont brièvement énoncés, tels que le soutien **du livre** au sommet « *met du papier tout en haut où on va pouvoir mettre le livre* » et l'**économie de matériel** « *mais là tu utilises du papier pour rien* ».

Les élèves sont à la fois concentrés sur la mise en forme de leur idée et se laissent à la fois aller à de multiples discussions hors sujet. Ceci peut s'expliquer par le fait que les élèves sentent peu la pression du temps du fait que cela ne faisait pas partie des contraintes fortes de départ dans cette classe<sup>110</sup>. Une deuxième explication serait que la phase de construction avec le matériel est vécue comme une phase d'exécution du projet et non comme une phase de l'investigation, du moment où les élèves ne rencontrent pas d'obstacles.



Dans les faits, les 20 premières minutes servent à réaliser un long rectangle en volume de 1 mètre de haut en juxtaposant des feuilles de papier journal pour réaliser les 4 façades de « l'immeuble ». Pour ce faire, les élèves doivent se mettre à plusieurs pour maintenir la forme qui ne possède aucune rigidité propre (volume vide).

A plusieurs reprises les élèves vont chercher le mètre pour **optimiser la longueur** des feuilles de papier et pour vérifier/réguler la **hauteur** de leur construction. Les éléments pris en compte prioritairement sont donc la hauteur et le design général de la tour. Comme pour l'équipe Vert Fed, le questionnement sur la solidité de la tour semble être mis de côté, tant l'équipe est concentrée sur la mise en forme de son projet de départ. L'efficacité du projet n'est pas *remise en question*, ce qui ne signifie pas pour autant que les élèves n'ont pas de doutes et qu'ils sont convaincus d'avance, on dirait qu'ils attendent de *voir* le résultat final pour pouvoir se faire une idée.

---

<sup>110</sup> Dans cette classe, les élèves savent qu'ils ont une heure ou plus si besoin.

La réunion générale intermédiaire (T5) vient rompre le cheminement du groupe. En effet, les l'investigation proposée en individuel et le bilan des propositions en plénière<sup>111</sup> semblent porter ses fruits. Les élèves ayant expérimentés l'efficacité des rouleaux de papier pour gagner la rigidité, le groupe se lance dans la confection de grands rouleaux télescopiques (plusieurs reliés bout à bout) pour ajouter une structure interne (squelette) à leur immeuble (enveloppe).



Deux grands rouleaux forment ainsi un soutien central qui permet à la tour de tenir debout sur un mètre de haut et même de soutenir un livre... pendant quelques secondes !



#### 4.3.6 Equipe Bleu Fed

L'équipe Bleu Fed est constituée de deux filles et deux garçons.

##### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

A peine le départ du T2 annoncé, les élèves formulent d'emblée plusieurs propositions et plusieurs questions.

D'abord, la contrainte des « panneaux solaires » fait objet central de discussion dans le groupe. Le questionnement qui émerge permet de préciser le problème : d'une part, il s'agit de trouver un moyen de **positionner le livre** au sommet pour éviter qu'il ne

---

<sup>111</sup> Voir point « Plénières »



tombe (maintien), d'autre part, il s'agit de trouver un moyen de **supporter le poids** du livre en évitant que la construction s'effondre (soutien).

D'abord, une négociation s'opère pour décider de la forme générale de la tour, déterminante pour le maintien du livre : soit en « maison » (= toit pointu), soit en « immeuble » (= toit plat) soit encore en « igloo », (= en arc). E.Blanc3 anticipe très tôt le manque de rigidité du papier pendant qu'E.Blanc1 et E.Blanc2 confrontent leurs stratégies...

*E.Bleu1 : faisons comme ça et comme ça ici on met le livre (feuille de papier pliée **en arc pour poser le livre à plat**) (...)*

*E.Bleu2 : non moi j'aurais dit de construire **une maison normale**, puis **après on met le livre comme toit***

*E.Bleu4 : **sinon on peut faire un igloo hein***

*E.Bleu3 : **mais le papier ça peut...** (fait un geste d'effondrement)*

*E.Bleu1 : non non (répond à E.Bleu2)...**parce que regarde** (griffonne un toit) : **maison ! où tu mets le livre ?***

*E.Bleu3 : ouais mais moi j'avais une idée...*

*E.Bleu2 : (répond à E.Bleu1) **là en haut ! ça fait toit !***

*E.Bleu3 : ouais **mais ça va pas tenir**...*

*E.Bleu1 : mais **regarde c'est pointu** (mime ^ avec les mains) **ça peut pas tenir en équilibre***

*E.Bleu3 : ...si tu faisais un truc comme ça, **avec les feuilles ça va pas tenir***

*E.Bleu2 : ou sinon on peut faire une sorte de truc comme ça...*

*E.Bleu3 : moi j'ai trouvé, **pour le sommet on met du scotch et pis ça va tenir***

*E.Bleu1 : on fait **un immeuble** (sous-entendu **un toit plat**) et on met le livre en haut*

*E.Bleu2 : **un immeuble ? de 1 mètre ?***

*E.Bleu3 : ben oui hein...**un mètre c'est tout ça***

La question de faisabilité est assez rapidement remise en cause par un élève (E.Bleu3 « *ça ne va pas tenir (...) si tu faisais un truc comme ça avec les feuilles ça va pas tenir (...) faudrait déjà que le papier tienne*). Mais, on se rend compte que le simple fait que les uns citent les obstacles qu'ils ont eux-mêmes identifiés (faible rigidité du papier) ne suffit pas à ce que les autres les considèrent immédiatement. En réalité, un temps semble nécessaire à l'appropriation, à la "digestion" des différents éléments à intégrer dans le questionnement. C'est lorsque la contrainte de la **hauteur** apparaît que la question de la **solidité** de la construction est finalement prise en compte dans l'élaboration de la solution. Les élèves orientent alors leur recherche vers un moyen de créer la rigidité de la structure pouvant soutenir le poids du livre ; l'idée d'un rembourrage interne émerge.

*E.Bleu1 : moi je sais comment faire **pour que ça tienne...en fait on pourrait chiffonner le papier journal et après mettre dedans, et après là ça va sûrement tenir***

*E.Bleu2 : j'ai une idée ! on fait une maison normale pis après on met **des petits bouts de papier enfilés** comme ça **pour que ça tienne le livre***

*E.Bleu3 : faudrait déjà que le papier tienne*  
*E.Bleu2 : ou sinon...ah...ah non mince... ah mais oui... on fait des petits rouleaux comme ça de papier on met du scotch dessus et on les enfile comme ça*  
*E.Bleu3 : ouais ça marcherait !*  
*E.Bleu1 : mais c'est ce que je viens de dire ! c'est comme ça un truc comme ça, comme ça, et pis là on enfile comme ça le truc*  
*E.Bleu2 : mais non on les enfile tout simplement comme ça*  
*E.Bleu3 : ouais mais il en faudrait des longs*  
*E.Bleu4 : sauf que moi j'avais une autre idée, regardez, on fait des boules et après on remplit la maison*  
*E.Bleu2 : ouais c'est une bonne idée l'idée de Betania*  
*E.Bleu1 : ouais (...) on fait l'immeuble de 1 mètre, on le retourne, on fait des boules de journal avec du scotch, on met à l'intérieur, on met jusqu'en haut et après par-dessus on met une couche de scotch ...et ça tiendra !*  
*E.Bleu4 : ouais, oui ça tiendra comme ça*

Ainsi, une solution commune se construit à mesure que le problème se précise.... Et le problème se précise au fur et à mesure que les différents éléments en jeu sont explicités. Autour de la question de la solidité générale de la tour (« il faut que ça tienne »), différents Les élèves entrevoient déjà les problèmes en jeux sans forcément parvenir à les définir explicitement. Mais différents paramètres sont progressivement mis en liens : rigidité du papier, stabilité de la tour, hauteur. Le problème de l'économie de matériel est entre aperçue « Ça peut dépasser d'un mètre ? / Oui / Alors on fait le plus grand possible !/ Mais non on va gaspiller ! ».

*E.Bleu2 : on peut aussi tout simplement faire une maison hein*  
*E.Bleu1. non...faut pas que ça soit haut, parce que une tempête, ça fait tomber, ça déséquilibre...faut penser que...*  
*E.Bleu2 : on fait une petite maison ... une maison tout simple comme ça (...)*  
*une sorte d'igloo*  
*E.Bleu4 : ouais !...*  
*E.Bleu1 : de 1 mètre comme ça ?*  
*E.Bleu4. ...mais c'est un mètre qu'il faut faire*  
*E.Bleu2 : mais alors on fait tout simplement un immeuble d'un mètre !*  
*E.Bleu3 : ouais mais il faut que ça tienne*  
*E.Bleu1 : on pense on pense et on se la coince*  
 (...)  
*E.Bleu3 : moi je pense que l'igloo c'est bien*  
*E.Bleu4 : je pense que l'igloo c'est mieux*  
*E.Bleu1 : de 1 mètre ?... mais on fait en 1D ou en 3D ?*  
*E.Bleu2 : bon... a qu'à faire un immeuble*

### Mise en œuvre (T4, 60 min)



Sans être parvenue à choisir à quoi ressemblerait sa tour (igloo, maison ou immeuble), l'équipe part dans l'idée de réaliser les parois (enveloppe) puis de rembourrer l'intérieur de papier (boules et bâtonnets). Dans la gestion des priorités, la question de l'économie de matériaux domine dans les discussions et détermine en partie les constructions. Il vient à l'esprit du groupe l'idée d'utiliser de l'eau pour coller les feuilles entre elles afin d'économiser du scotch. Les élèves se montrant très motivés à tester leur idée, cette demande spéciale –utiliser un matériau supplémentaire qui ne figure pas dans les consignes – leur est finalement accordée.

*E.Bleu1 : on peut essayer de mettre un peu d'eau ici pour voir si ça colle (...)*

*E.Bleu3 : mais ça va pas coller*

*E.Bleu1 : ça va pas coller ? j'ai déjà fait ça hein et c'est pas la première fois, ça va faire comme un peu le papier mâché...et ça colle ! attends, on va déjà essayer de coller ça comme ça...*

De leur point de vue, l'expérience semble fonctionner au départ...

*E.Bleu1 : t'as vu ! vous voyez, regardez ! venez voir... ouais ça colle !*

*E.Bleu4 : mais j'ai jamais dit que ça ne collerait pas*

*E.Bleu1 : si ça se trouve ça sera mieux que le scotch*

...pourtant le papier se ramollit avec l'eau...

*E.Bleu2 : mais moi je pense que ça ira bien dès que ce sera un peu solidifié (...)*

*E.Bleu2 : et ça va nous aider à avoir plus de points parce qu'on va utiliser moins de scotch (...) c'est plus économique et on aura plus de points (...)*

*E.Bleu3 : ouais parce qu'on a pas envie de trop le gaspiller*

...et la construction se défait au fur et à mesure qu'elle sèche. Or les élèves ne semblent pas faire le lien directement. Le constat des faits ne semble pas suffire à les pousser à remettre en question leur technique. En effet, ils s'évertuent à remettre de l'eau au fur et à mesure et défendent leur stratégie devant les autres équipes : « *on est les seuls à ne pas déjà en avoir pris deux (scotch) (...) nous on a une meilleure technique...moins fragile* ».

Lors de la mise en commun (T5) les élèves font part de leurs observations :

*E.Bleu1 : on a découvert quelque chose qui nous aidait beaucoup, c'est à la place de gaspiller autant de scotch, c'est mettre de l'eau... ça colle autant...sauf que*

*E.Bleu2 : ça ramollit le papier... mais ça colle*

*Seb : est-ce que au final c'est mieux que ça colle bien mais que le papier soit ramollit un peu ou est-ce mieux d'utiliser moins de scotch sans que ça ramollisse*

*E.Bleu1 : un peu des deux*

*E.Bleu2 : ben moi je dis que c'est mieux d'utiliser de l'eau parce que comme ça on gaspille moins de points avec le scotch*

*Seb : oui / mais est-ce que l'eau elle colle aussi fort que le scotch ?*

*E.Bleus : oui*

*Seb : d'accord...et quand vous mettez le livre panneau solaire sur le dessus*

*E.Bleu1 : Non mais je pense que ça tiendra...on verra quand on aura terminé*

*Seb : alors ce sera à tester...alors faites attention quand même avec ce système là*

Même les confrontations des personnes extérieures (mes propres interventions) ne semblent pas remettre en question la validité de leur proposition :

*E.Bleu1 : (à Delphine) vous pouvez regarder parce que c'est en train de se détruire... avant c'était tout droit et maintenant ça commence à se détruire **je sais pas pourquoi***

*Del : mais essaye de voir où est-ce que ça plie*

*E.Bleu1 : c'est ici, ça commence à...*

*Del : c'est là que ça plie ? ... ça plie comment ?*

*E.Bleu1 : ça fait comme ça*

*Del : là voilà... mais est-ce que c'est vraiment ici que ça plie, ou est-ce que si ça penche de ce côté c'est plutôt qu'ici ça plie ? ...ou est-ce que c'est ici ?*

*E.Bleu3 : ben...*

*Del : ou est-ce que c'est l'eau qui ramollit peut-être...*

*E.Bleu4 : oui mais (parce que) **ça s'est détaché***

*E.Bleu1 : (ne prête pas attention à ce que dit Delphine) Où est le gros pinceau ? (...) on pourrait avoir de la colle pour mettre dans l'eau ?*

*Del : non non non déjà l'eau, c'est quelque chose qui n'était pas dans la consigne, en soi c'est déjà une exception...je ne sais même pas si ça vous aide vraiment*

*E.Bleu1 : oh nous **ça nous aide vachement***

*Del : c'est vrai ? ok*

*E.Bleu2 **regardez on a juste utilisé une fois du scotch***

*E.Bleu1 : mais là il y a tout qui est en train de se détruire ! **qu'est-ce qui se passe ?***

*E.Bleu4 : avant c'était tout droit*

*Del : ouais ça tient pas ... qu'est-ce qui tient pas exactement ?*

Bien que non immédiat, le questionnement provoqué par l'extérieur du groupe semble toutefois avoir un effet sur les démarches à l'interne. Trouver des moyens de consolider s'impose... plusieurs pistes de régulation sont imaginées

*E.Bleu1 : mais ce qu'on devrait faire c'est d'essayer de renforcer un peu là (de côté) ...en mettant de l'eau ...et peut-être en mettant plutôt du papier (...)*

*E.Bleu2 : on devrait mettre une feuille... qui permette de tenir tous les papiers (...)*

*E.Bleu3 : euh moi je crois que j'ai une idée, si on mettait plein de couches là, on aurait plus besoin de ça ? (les parois qui s'affaissent) après ça tiendrait peut-être...*

*(...)*

*E.Bleu4 : ah j'ai une idée sinon ça on rebouche carrément, après on met les trucs pour pas que ça tombe ni que ça penche*

*(...)*

*E.Bleu1 : (...)* alors on fait comme ça, trois trucs, deux trucs, trois trucs, deux trucs (tel des rondins de bois)

*E.Bleu2 : on pourrait aussi en rajouter plusieurs petits, mais ça nous coûterait un peu plus de papier*

*E.Bleu1 : mais c'est pas grave hein, mais ce qui compte aussi c'est de terminer la chose*

L'équipe opte pour renforcer la construction en augmentant la quantité de papier... ce qui le confronte à nouveau au problème de la restriction des matériaux. En effet, les élèves demandent beaucoup de papier supplémentaire dans le but d'augmenter le volume (hauteur) et l'épaisseur de la construction (solidité), or le souci de l'économie reste une préoccupation jusqu'à la fin.

*E.Bleu1 : mais les boules c'est deux fois plus grand, les boules c'est en tout cas 5 boules comme ça ensemble !*

*E.Bleu3 : mais ça me rappelle que... mais là **ça utilise tout le papier***

*E.Bleu1 : regardez des boules comme ça (plus grandes)*

*E.Bleu3 : ouais mais après ça utilise tout le papier*

*E.Bleu2 : mais prends des plus petites boules ! fais-les puis voilà*

*(...)*

*E.Bleu3 : là il nous faut encore plus de papier...là il y a un problème*

*E.Bleu4 : mais là le papier **il faut un peu économiser***

*(...)*

*E.Bleu1 : regarde on peut faire comme ça, on met plein de rouleaux comme ça*

*E.Bleu4 : mais comme ça, **ça utilise tout le papier***

*E.Bleu2 : non mais des rouleaux normals comme ça avec un truc*

*E.Bleu4 : ouais mais regarde tout ce qu'il a utilisé ! on aurait pu l'utiliser pour faire le truc !*

Au fur et à mesure les élèves testent la hauteur de leur construction « on a fait déjà 13 centimètre ! » et observent que la tour s'affaisse « pour être précis on a baissé de 20 cm ! ». A la fin la structure mesure plus que 15cm, et le bilan montre que c'est finalement l'équipe la moins économe en matériel (15 feuilles supplémentaires)... mais c'est la seule tour qui résiste aux tests ! De plus, elle supporte le poids de 5 livres.



#### 4.3.7 Equipe Vert Fed

L'équipe Vert Fed est un groupe de quatre filles et d'un garçon.

##### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

Chacun participe à la réflexion et/ou à la réalisation de dessins et/ou à la construction<sup>112</sup>, mais dans l'ensemble, les interactions s'opèrent principalement entre E.Vert3 et E.Vert4.

E.Vert1 commence par proposer une stratégie pour remédier au problème qu'il appréhende : augmenter la quantité de matériel pour augmenter la rigidité/solidité de la construction en papier. Mais la majeure partie du groupe semble porter son attention avant tout sur la forme générale de la tour, ce à quoi la tour va *ressembler*. Les deux questionnements se portent sur le même registre (opérationnel) mais une divergence dans la hiérarchisation des priorités crée de l'incompréhension, dans un premier temps :

*E.Vert1 : ben il faut pas **mettre plusieurs papiers dessus pour que ça tienne** ?*

*E.Vert2 : attends là on y est pas encore !*

*E.Vert3 : on a même pas encore une idée !*

*E.Vert2 : parce que moi en tout cas je ne sais même pas de quoi tu parles...*

Ensuite, l'idée d'une construction en forme de pyramide émerge. A nouveau, la contre-argumentation des autres révèle une attention portée sur des problèmes différents. E.Vert2 questionne la *fonctionnalité* de la tour au niveau conceptuel (sous-entend que la pyramide n'est pas une solution adaptée à l'objectif d'un bâtiment viable en ville), E.Vert3 questionne la *faisabilité* de la tour au niveau opérationnel (sous-entend que la construction nécessite d'être conçue en trois dimensions pour être efficace) :

*E.Vert4 : moi j'avais pensé **une sorte de pyramide** (dessine un premier croquis de pyramide) ...et puis le livre on le met comme ça dessus*

*E.Vert2 : ouais **mais en ville des pyramides**...*

<sup>112</sup> E.Vert5 reste plutôt discrète au T2, elle propose quelques idées sur papiers mais les commentaires sont inaudibles sur les enregistrements.

*E.Vert4 : on est en 2022 (sous-entendu tout est possible) !*

*E.Vert3 : eh juste, la pyramide c'est pas comme ça (en 2D, 2 côtés), il y a aussi comme ça (en 3D, 4 faces)*

*E.Vert4 : mais moi je sais comment dessiner les trucs parce que ma mère elle est architecte*

*(...)*

*E.Vert1 : mais il faudrait mettre plein de papier dedans pour que ça tienne !*

En réponse aux confrontations des autres, E.Vert4 expose des contre-arguments pour défendre sa proposition. On remarque qu'E.Vert4, bien décidée à convaincre les autres, formule toutes sortes d'arguments, adaptés au registre de chacun. Notons que les arguments ne sont pas forcément fondés sur un raisonnement de forme scientifique (« on est en 2022 », sous-entendu *tout est possible*, « ma mère est architecte » sous-entendu ma proposition a plus de chance d'être valide). Mais il est intéressant de voir que la mise en doute de la proposition pousse aussi petit à petit E.Vert4 à préciser et à *adapter* son idée avec l'aide d'E.Vert3. Relevons que, comme dans le groupe Bleu Fed, le problème du *maintien* du livre au sommet (équilibre) représente un objet important de réflexion et de confrontation (comment fixer le livre sur une pointe ?), pour l'instant au détriment du problème du *soutien* du poids du livre.

*E.Vert4 : alors l'autre idée c'est ça (dessine une idée de pyramide similaire, à l'exception de la position du livre) et voilà là il y a le livre et ça serait le toit*

*E.Vert3 : oui mais je crois pas que ça marchera parce que c'est en 3D*

*E.Vert4 : mais on va l'ouvrir (le livre) ! c'est plus comme un toit qu'une pyramide, et un toit c'est comme ça et long, donc on peut mettre le livre par-dessus, parce qu'une pyramide c'est en pointe tu peux pas (...)*

*E.Vert3 : ok vous faites comme vous voulez...mais vous verrez qu'à la fin le livre il ne tiendra pas (...)*

*E.Vert4 : mais dis-moi ce que tu n'as pas compris !*

*E.Vert3 : ben moi ce que je comprends pas tu vois... si on fait une pyramide je suis complètement d'accord... mais tu vois ici c'est une pointe mais il y a encore derrière*

*E.Vert4 : mais il y a pas deux pointes dans une pyramide !*

*E.Vert3 : il y a la pointe oui, mais il y a plusieurs côtés !*

*E.Vert4 : mais (on peut dire que) c'est que deux côtés !*

Malgré les efforts d'E.Vert4 pour entraîner le groupe dans sa voie, E.Vert3 et E.Vert2 insistent pour présenter leurs propositions, qui portent attention sur d'autres éléments du problème, liés au registre conceptuel. D'une part, la question de la **résistance aux catastrophes** naturelles, mise en lien avec la hauteur de la tour « moi j'avais plutôt dit un immeuble plutôt large et pas beaucoup en hauteur, parce que le vent et tout ça il peut... ». D'autre part, la question de la fonctionnalité de la tour et du réalisme du projet (**vraisemblance**) « c'est comme une sorte de carré mais hyper large... comme ça il y aurait plusieurs personnes (...) (*faire*) une pyramide ça prend un an ! ».

*E.Vert2 : mais qui est d'accord pour faire une pyramide (incrédule) !*

*E.Vert4 : mais qu'est-ce que tu avais comme idée alors toi (impatiente) ?*

*E.Vert2 : moi j'avais eu l'idée que, on fasse... (dessine son idée)*

*E.Vert3 : (pendant ce temps) moi j'avais plutôt dit un immeuble plutôt large et pas beaucoup en hauteur, parce que le vent et tout ça il peut...(…)*

*E.Vert2 : mais je peux après faire mon idée !*

*E.Vert4 : attends...alors vous êtes un peu tous d'accord pour la pyramide ?*

*E.Verts : oui*

*E.Vert2 : moi je suis pas vraiment d'accord (... ) (mon idée) c'est comme une sorte de carré mais hyper large... comme ça il y aurait plusieurs personnes... bon là je l'ai pas bien dessiné (continue à dessiner un bâtiment avec des fenêtres)*

*E.Vert4 : mais il y aurait pas besoin de faire les fenêtres ! (...)*

*E.Vert2 : mais en tout cas il faut se mettre d'accord (... ) il a dit (l'enseignant) de se mettre d'accord, même si il y a la majorité euh...*

*E.Vert4 : mais je sais mais c'est toi qui a pas envie ! ...alors toi t'es d'accord ?*

*E.Vert3 : moi je sais pas, mais peut-être qu'il y a une idée meilleure... et Zoltan t'as pas donné ton idée*

*E.Vert1 : c'est la pyramide*

*E.Vert2 : mais c'est pas ton idée*

*E.Vert1 : mais je suis d'accord pour la pyramide... mais j'ai pas d'(autre) idée (...)*

*E.Vert3 : alors on fait la pyramide ?*

*E.Vert2 : mais je sais pas XXX (inaudible) il a dit (l'enseignant), imaginons presque chaque seconde des trucs comme ça...XXX (inaudible) alors (faire) une pyramide ça prend un an !*

*E.Vert4 : rhô mais en 2020 on a qu'à dire que y a des machines spéciales !*

Les résistances d'E.Vert3 semblent doubles : à la fois elle soutient l'importance d'une recherche dans le sens d'une proposition réaliste sur un plan conceptuel (même si la question de la réalisation *concrète* en papier n'est pas abordée). D'autre part, elle semble résister à la pression que met E.Vert4 pour faire converger le groupe dans son sens : « mais en tout cas il faut se mettre d'accord (... ) il a dit (l'enseignant) de se mettre d'accord, même si il y a la majorité »

Difficile d'affirmer si c'est la qualité de l'argumentation ou la force de persuasion d'E.Vert4 qui convainc finalement les autres, mais l'idée de pyramide sera retenue au sein de l'équipe et prendra forme une fois le matériel disponible. Notons que c'est la nécessité de devoir pour une solution commune qui pousse les élèves à faire l'effort d'une argumentation.



### Mise en œuvre (T4, 60 min)



De retour en petits groupes après la plénière les élèves reviennent sur leurs croquis, qu'elles commentent et précisent en fonction des nouveaux paramètres qu'elles ont visiblement reconsidérés suite à la mise en commun (résistance aux catastrophes naturelles). Plusieurs propositions sont lancées en collectivité : *« moi j'aurais dit, là où il y a les tsunamis on peut solidifier (...) on a qu'à dire que comme on est en 2022 (...) pour les tempêtes on peut mettre des anti-tempêtes (...) ou alors on met des petits ventilateurs et la tempête elle va dans un autre immeuble (rires) (...) mais le tsunami c'est de l'eau ? (...) mais on peut dire qu'on solidifie plus pour le vent (...) moi j'aurais dit qu'on mettrait des barres de sécurité (...) des barres de métal (...) mais bon comme c'est du papier, ça sera pas vraiment des barres de sécurité... »*

Sur la dernière remarque, les élèves s'emparent du matériel. La simple vue du matériel semble les faire revenir à leurs priorités de départ : parvenir à mettre en forme leur idée de pyramide. Plusieurs étapes caractérisent la démarche générale de l'équipe. La première étape consiste à compter le nombre de feuilles de papier disponibles. Très vite l'intention qui domine est de réfléchir aux moyens **d'optimiser le matériel**.

*E.Vert1 : bon il y en a 12 de journaux...*

*E.Vert3 : on va couper en deux*

*E.Vert4 : ça fait 24*

... mis à part E.Vert2 qui continue à s'investir dans la recherche de solutions autour du problème de la résistance de la tour face aux diverses catastrophes (registre conceptuel). Les propositions sont toutefois écartées par E.Vert1 puisqu'elles ne répondent plus à la nouvelle priorité : élaborer une solution *opérationnelle*.

*E.Vert2 : alors on dit qu'il y a de nouvelles matières... et que l'eau ça peut pas traverser, c'est imperméable, et pour la tempête...*

*E.Vert4 : mais c'est là on dit... en fait il faut la faire en papier maintenant*

*E.Vert1 : on a qu'à dire que... c'est des nouveaux ciments ! qui résistent à des tornades, à des tempêtes et qui résistent à l'eau !*

*E.Vert4 : fastouche à dire...*

*E.Vert1 : on dit ... aussi ça résiste au feu...pour les éclairs les trucs comme ça*

*E.Vert4 : oui bon, alors on prend 2 papiers pour un côté ...*

Toute l'équipe finit par converger vers la recherche d'une optimisation du matériel : l'intention est d'évaluer la **quantité** de papier nécessaire minimale pour confectionner les faces de la pyramide afin d'obtenir la **hauteur** visée.

*E.Vert4 : ah ! faut savoir la hauteur !*

*E.Vert2 : c'est un mètre !*

*E.Vert3 : ouais*

*E.Vert4 : mais ça fait quoi un mètre ?*

*E.Vert3 : faut aller chercher le mètre !*

En mesurant les feuilles de papier journal, les élèves précisent leurs calculs ... ce qui les mène à expliciter davantage les différents paramètres mis en lien (hauteur, solidité, quantité de matériel).

*E.Vert4 : il restera plus que deux papiers si on en utilise un à chaque fois...*

*E.Vert2 : mais là on utilise beaucoup de papier*

*E.Vert3 : c'est impossible !*

*E.Vert1 : mais comment on peut faire tenir ...avec si peu de papier !...non mais avec si peu de papier, et avec la taille de 1 mètre, comment on va faire tenir le livre ?*

L'équipe consent à maintenir l'idée de pyramide tout en priorisant l'économie de papier. Pour cela, elle se met d'accord pour une pyramide à trois faces au lieu de quatre :

*E.Vert4 : bon ben alors on commence ? ... il faut que le bout il soit en triangle (...)*

*E.Vert4 : il faut faire trois coins (...) de toute façon c'est que du pliage*

*E.Vert3 : ouais mais il faut faire attention*

*E.Vert4 : après il faut regarder que ça fasse un mètre (...)*

*E.Vert2 : mais normalement il faut pas faire 4 côtés dans une pyramide ?*

*E.Vert4 : non pas forcément regarde... avec trois ça marche aussi (...) tu vois ça va très bien comme ça*

Les élèves se mettent à plusieurs, debout sur la table, pour tenir les différentes parties flottantes, pendant que d'autres tentent, avec peine, de les assemblent avec du scotch. La faible rigidité du papier fait obstacle. Devant ce constat, plusieurs solutions de régulations émergent : rajouter du scotch pour consolider, rajouter une structure interne.

Or des tensions s'opèrent entre la nécessité de finaliser la forme extérieure, la nécessité de consolider la construction, et la nécessité d'économiser de matériel. La négociation des priorités reste difficile, et implique les élèves dans une argumentation :

*E.Vert3 : moi je dirais plutôt de **mettre une barre à l'intérieur***  
*E.Vert4 : mais **non on met d'abord le scotch***  
*E.Vert1 : **mais on n'a pas de barres !***  
*E.Vert3 : **mais en journal !...** un truc comme ça assez solide tu vois, comme ça, comme ça, comme ça*  
*E.Vert1 : ah comment tu veux dire, comme ça (vertical)?*  
*E.Vert3 : ouais comme ça... **et ça tu mets là au milieu***  
*E.Vert4 : c'est que ça (le papier) **on en a besoin pour la suite**, là tu utilises des papiers et après on en a plus que deux... **on en aura pas assez pour continuer***  
*E.Vert3 : **mais j'aurais pu mettre juste un tout petit peu hein !***  
 (Plus tard)  
*E.Vert3 : bon on peut encore prendre une feuille de papier (...)*  
*E.Vert2 : ah non*  
*E.Vert3 : **mais on va pas mourir pour une feuille de papier***  
*E.Vert2 : **mais on perd un point (...)***  
*E.Vert1 : ah mais ça veut dire, c'est une faute ?*

Au T6, les élèves continuent sur la même voie sans remettre en question leur projet. Ils procèdent par étapes et par objectifs successifs : 1. finaliser la construction des façades 2. Faire en sorte que la construction tienne debout 3. Faire en sorte que le livre tienne debout. Une fois les trois parois réunies, E.vert3 propose l'idée de fixer la pyramide sur une feuille aplanie pour consolider la construction. Une fois la base réalisée, les élèves testent pour la première fois la solidité de la tour :

*E.Vert3 : alors on fait une première tentative ?*  
*E.Vert1 : mais pour le livre c'est impossible de le mettre*  
*E.Vert3 : mais on parle pas encore du livre ! là on essaie de voir si ça tient... lâche...lâche Sophie !*  
 (...)  
 (Cris et sauts de joie devant les constats)  
*E.Vert1 : ouais ça tient !*  
*E.Vert4 : oh ça tient !*  
*E.Vert3 : regardez le chef d'œuvre ! (...) ça tient ! il manque plus que le livre ! on doit un petit peu solidifier...*  
*E.Vert4 : attendez il faut solidifier encore... il faut mettre du scotch ici*

A peine la structure tient debout, l'équipe, très optimiste, espère pouvoir rajouter le livre au sommet...mais suite à un nouveau test, la tour s'effondre :

*E.Verts : nonooon !*  
 (Arrivée de l'enseignant)  
*E.Vert4 : ça tenait, avant ça tenait !*  
*Ens : oui mais je vous signale que vous devez encore faire tenir un livre encore*  
*E.Vert3 : on sait mais ...*  
*E.Vert2 : attendez il faut avant tout que ça soit droit là*  
*E.Vert5 : si jamais là il y a le solidifiant (prépare des petits bouts de scotch)*

L'équipe constate la faible tenue du papier et anticipe alors la faible résistance du papier face au poids du livre « *ça va pas marcher il est trop lourd* ». Elle commence à mettre en doute leur stratégie unique de renfort par le scotch...

*E.Vert3 : mais on a plus de scotch ! on peut demander un scotch ?*

*E.Vert2 : mais ça servira à rien*

*E.Vert4 : comment on va faire !*

(Delphine s'approche)

*E.Vert3 : il nous reste que le livre à faire ! mais quand on met le livre il y a tout qui tombe !*

*Del : aïe ! mais comment vous pouvez faire pour solidifier ?*

*E.Vert3 : mais ça va jamais tenir*

*Del : ouais... il faut vous demander ou est-ce qu'elle est faible votre tour*

... mais le rajout de scotch représente le seul moyen de remédiation compte tenu de la contrainte du temps et de l'économie de papier à laquelle l'équipe tient tant. Toutefois, l'intervention de l'enseignant permet au groupe de préciser ses observations face au problème du manque de tenue du papier : la construction est fragilisée là où il y a des pliures sur le papier, soit que le papier perd de sa rigidité une fois plié :

*E.Vert3 : il nous a dit regarder ou est-ce qu'elle est faible*

*E.Vert2 : regardez c'est ici !*

*E.Vert4 : rajoute un scotch !*

(...)

*E.Vert3 : mettez la tour comme ça et on va voir où ça tombe*

*E.Vert1 : c'est ici !*

L'équipe parvient finalement à faire tenir sa construction à nouveau en renforçant les pliures avec le scotch. Pour cela, le groupe se voit contraint, de transgresser la règle qu'il s'était donnée –soit économiser à tout prix du matériel– non sans déception :

(Annonce des 5 dernières minutes)

*E.Vert3 : il nous manque du scotch !*

*E.Vert2 : on est obligé (d'en reprendre)*

*E.Vert5 : on était les plus économes...*

*E.Vert2 : mais on a pas besoin de papier !*

Dans la dernière minute, nouvel élan d'espoir...

*E.Vert3 : attends, rajoute du scotch et tu pourras rajouter le livre sans problème !*

*E.Vert4 : sans problème !?*

...mais la structure s'écroule aussitôt. Lors des résultats, la pyramide mesure XXXX et tient debout, mais ne supporte pas le poids du livre.

#### 4.3.8 Equipe Rouge Fed

L'équipe Rouge Fed est formée de trois garçons et deux filles.

##### Conceptualisation du projet (T2, 9 min)

Dans ce groupe, une première solution émerge d'emblée, formulée par E.Rouge1, autour de laquelle tout se construit : l'idée d'une construction en forme « d'immeuble », sous-entendu une construction avec 4 côtés réalisés avec 4 feuilles conjointes. L'idée est de consolider la structure en mettant « à l'intérieur (...) des espèces de bouts de papier, enfin des boulettes de papier pour que ça tienne le livre après, pour que ça soit plus dur à l'intérieur ».

Les interactions des élèves vont la plupart du temps venir valider, renforcer ou compléter cette idée et tous convergent vers la même piste de solution dès la première minute « *ouais il faut faire un truc carré* ». Les idées alternatives sont parfois retenues comme des variantes de la première idée. L'arrivée en cours de route d'un nouveau camarade dans le groupe (E.Rouge5) entraîne plusieurs reformulations de la stratégie choisie<sup>113</sup>.

Cette hypothèse repose sur la conception commune selon laquelle une feuille posée sur la tranche a suffisamment de rigidité pour créer une structure si elle est agencée avec d'autre feuille, tel un château de cartes. La deuxième conception commune est que c'est la quantité de papier qui crée en grande partie la solidité : plus on met de papier plus celui-ci serait en mesure de soutenir le poids du livre, c'est pourquoi il faudrait en mettre davantage de « boulettes » au sommet de la construction (R3 « *tout en haut de l'immeuble, il doit y avoir beaucoup de papier puisque le livre il est assez lourd* »). On peut remarquer ici à quel point l'activité de problématisation, de questionnement et de construction d'hypothèses sont liés.

Les questions qui ressortent à cette étape sont souvent des inquiétudes liées :

- au contexte (« R5 *mais pfff regardes t'as ça d'eau !* » en référence à la résistance de la construction en cas d'inondation)
- à l'économie de matériaux (« R5 *il faut aussi penser au papier (...) comment tu fais des boules si tu n'as pas assez de papier !* »)
- à la hauteur « R3 *eh on n'avait pas pensé : un immeuble de 1 mètre !* »)
- aux panneaux solaires « *mais comment placer le livre !?* ». La problématisation de la situation se fait donc au fur et à mesure de l'activité de manière informelle en même temps que les élèves découvrent la tâche et tente d'imaginer des solutions.

##### Mise en œuvre du projet (T4, 60 min)

---

<sup>113</sup> Peu après, ces reformulations sont réitérées spontanément lors du passage de l'enseignant (titulaire) auprès du groupe.



Le groupe entame la phase de construction à partir de l'idée commune de joindre bout à bout 4 feuilles de papier journal de manière à réaliser les parois d'un « immeuble ». Les élèves commencent par mesurer les feuilles de papier afin de calculer le nombre et la disposition adéquate pour obtenir la hauteur visée. Puis le groupe se lance dans la jointure des feuilles de papier avec le scotch pour former un parallélépipède rectangle, tâche qui mobilise les élèves dans des rôles différents (tenir les feuilles de papier « en l'air », chercher du scotch, découper le scotch en petit bouts, jointure des feuilles avec le scotch, etc.)<sup>114</sup>. Les élèves ont l'occasion de constater très vite les limites de leur stratégie, mais ils persévèrent dans la même voie jusqu'à que toutes les feuilles soient bien assemblées avec le scotch

Face au manque de maintien de la forme en papier, les élèves semblent très embarrassés<sup>115</sup> malgré les différentes possibilités imaginées pour renforcer la structure (remplir la structure de papier, soit chiffonné, soit roulé en tube ; faire plusieurs étages, etc.). Un certain flottement se laisse sentir dans le groupe. Face à l'embarras des élèves « *on est à court d'idées...* », les enseignants interviennent à tour de rôle : « (enseignant titulaire) *vous avez une base maintenant il faut la solidifier...vous vouliez faire des barres de renfort, je vous donne des feuilles en plus ?* ». Mais les élèves se montrent très inquiets à l'idée de perdre des points en optant pour du papier supplémentaire, et se limitent à une seule feuille de papier. Puis ceux-ci sautent de joie en voyant d'autres groupes « craquer » pour des feuilles supplémentaires. Un peu plus tard :

*Del : vous ce qui est bien c'est que vous avez votre hauteur ...mais vous ne savez pas comment faire tenir le tout c'est ça ? ... si on prend votre tour comme ça, on la tient, elle est bien ... qu'est-ce qui manque la faire tenir ?*

*E.Rouges : des pieds !*

*Del : des pieds ? d'accord... mais c'est quoi le problème avec ça (montre la feuille de papier en guise de mur) ?*

*E.Rouge1 : il est raplapla*

*Del : oui il est raplapla il n'a pas de muscles ! ...et vous votre idée pour que ce soit solide, c'est de faire des pieds en bas ?*

*E.Rouges : ouais*

<sup>114</sup> Les élèves étant cinq dans le groupe, il est fréquent qu'au moins un des élèves reste sans rien faire.

<sup>115</sup> Les enregistrements vidéo le témoignent, plus que les enregistrements audio.

*Del : si vous faites des pieds en bas, le haut, ça va le rendre plus solide ou pas ?*

*E.Rouges : non...*

*E.Rouge5 : mais le haut on va faire peut-être un étage...pour que ça tienne*

*Del : un étage ça va le rendre plus solide ?*

*E.Rouge5 : non mais...*

*E.Rouge3 : on avait dit qu'on ferait une sorte d'étage*

*Del : dedans ?*

*E.Rouge3 : oui ...*

(Quelques secondes plus tard)

*E.Rouge5 : mais on peut la mettre dedans !? (montre E.Rouge1 la plus petite du groupe et supplie Delphine les mains jointes)*

*Del : ben si on voit rien, c'est vrai qu'on aura une bonne impression ...mais en même temps le défi ne sera pas réussi !*

*E.Rouge5 : ... (déçu)*

*E.Rouge2 : est-ce qu'on a le droit de tricher ?*

*Del : il vous manque "juste" des muscles humains pour tenir la tour ?*

(...)

*R.Rouge5 : est-ce qu'on peut au moins faire une photo comme ça ?*

(Annonce des dernières minutes avant la fin)

#### **4.3.9 Equipe Bleu Seb**

L'équipe Bleu Seb est un groupe de trois filles.

##### Conceptualisation du projet (T2, 8 min)

Au départ, deux solutions différentes sont proposées par deux membres du groupe. Assez vite c'est l'idée de E.Bleu1 qui semble s'imposer, davantage par la force de sa conviction de que sa capacité à justifier la pertinence de son idée :

*E.Bleu1 : en fait on fait une feuille plate comme ça, après on fait une tour de papier qu'on met dessus, tu remets du papier dessus, etc... (...) on a chacune eu une idée, enfin (...) mais après c'était mieux cette idée-là*

Cette solution se porte déjà sur un plan opérationnel : l'idée est de faire tenir verticalement un cylindre sur une première surface plane, de rajouter une nouvelle surface plane tel un étage, puis un deuxième cylindre, etc. Le principal obstacle épistémologique –encore non discerné par le groupe– provient du fait que le papier journal n'est pas assez épais, rigide pour être agencé de la sorte et réaliser une construction solide, tel que le permettraient par exemple des plots en bois.

De manière générale, au T2, les échanges ne sont pas foisonnant dans ce groupe. Ils se réduisent à quelques tentatives d'explicitation des solutions proposées, mais aucune argumentation venant soutenir les propositions à proprement parlé n'est engagée : E.Bleu1 « *oui mais ça va tenir si tu colles (...) je pense que c'est mieux plutôt mon idée* ».

Au niveau de la définition du problème, peu de contraintes sont explicitées. Les questions de la faisabilité, de la solidité générale de la construction et la restriction de temps sont toutefois énoncées lors des réactions et des questions du groupe face à la proposition d'E.Bleu1, celles-ci visant soit sa meilleure compréhension, soit sa remise en question.

*E.Bleu1 : on dit chacune son tour son idée*

*E.Bleu2 : ouais mais commence déjà*

*E.Bleu1 : euh en fait on fait une feuille plate comme ça, après on fait une tour de papier qu'on met dessus, tu remets du papier dessus, etc...*

*E.Bleu2 : **comment tu veux qu'on fasse comme ça ? (...)** mais après il faut que ça tienne !*

*E.Bleu1 : oui mais ça va tenir si tu colles*

*E.Bleu2 : mon idée c'est...tu prenais une bande de papier et tu faisais un carré avec... bon je sais que ça va pas être génial... tu fais un rond-carré et après c'est ça qui va tenir...*

*E.Bleu3 : **ça va être trop dur à faire***

*E.Bleu1 : je pense que c'est mieux plutôt mon idée*

*E.Bleu2 : ben je sais pas, parce que **je comprends pas comment tu veux faire ça ?***

*E.Bleu1 : regarde tu mets une feuille de papier là (dessine)*

*E.Bleu1 : il faut qu'elle soit un peu pliée ?*

*E.Bleu1 : non faut qu'elle soit (roulée) comme ça, après dessus tu mets plein de feuilles et après tu vas remettre dessus (un autre cylindre)... t'as compris ?*

*E.Bleu2 : **est-ce qu'il y aura besoin de scotch ou pas ?***

*E.Bleu3 : moi j'ai une autre idée, mais à mon avis **ça va pas tenir et ça prend trop de temps**... on met un papier ... non **non c'est nul**... mais c'est même pas une idée.*

Une fois leur choix établi, les filles attendent la suite sans poursuivre le questionnement.

#### Mise en œuvre (T4, 27 min)

Une fois le matériel en main, le groupe se lance dans la réalisation du projet : confection d'un gros cylindre de papier fixé sur une feuille mise à plat. Rien ne vient faire obstacle à l'exécution jusqu'au moment où le groupe se confronte au manque de rigidité du papier (la feuille posée en dessus servant d'étage ne reste pas plate mais s'affaisse). Un temps de réflexion en silence débouche sur l'idée de rajouter des tubes de papier enroulé (nommés « bandelettes ») servant de supports à chaque extrémité de la feuille. La piste choisie est suivie jusqu'au bout du temps imparti sans remise en question. Après le premier étage finalisé au T4, au T6 le groupe débute sans parvenir à terminer leur deuxième étage.





Les échanges sont rares pendant les 30 minutes de constructions. Le groupe se montre très concentré du début à la fin des constructions. Il semble que l'équipe ne juge pas nécessaire de prendre du temps pour discuter si d'emblée le projet fait l'unanimité. En tous les cas, la motivation première du groupe réside clairement dans le désir de parvenir à réaliser le projet imaginé.

Dans cette équipe, les échanges ponctuant la phase de mise en œuvre se résument à des observations ou des injonctions quant à l'utilisation du matériel, servant à organiser et coordonner les gestes. Les obstacles que les élèves rencontrent ne sont pas clairement explicités et ne font généralement pas l'objet de questionnement dans le groupe, toutefois une série de micro-régulations sont mises en œuvre pour parvenir au résultat :

Par exemple, au T4 (tous élèves confondus) : « *C'est trop grand (...) ça va pas tenir (...) il faut couper (...) il faudra beaucoup de scotch (...) c'est pas un peu trop là ? (...) C'est bon là pour la base, c'est bien (...) c'est bon comme ça (...) après je sais pas si il faut faire épais (...) il faut peut-être faire un carré (...) tiens (...) attends (...) il faut la mettre droite (...) encore deux scotchs (...) voilà (...) c'est bon maintenant vous toucher plus* ». Puis au T6<sup>116</sup> : « *Alors on se dépêche ! (...) du scotch du scotch ! (...) les poteaux ! (...) non c'est dans l'autre sens ! (...) tiens moi ça deux secondes c'est très important (...) il faut mettre des petites boulettes à l'intérieur (...) ouais dépêche-toi ! (...) vite coupe en deux ! (...) là de côté il y a un trou (...) c'est pas très droit là (...) voilà c'est bon (...) je peux pas aller plus vite sinon ça gâche (...)* ».

Quelques bribes de questionnement sont lancées comme des tentatives d'amélioration du dispositif, mais restent sans rebondissements au niveau verbal :

*E.Bleu2 : et peut-être que si on faisait le truc plus grand ça allait plus tenir ?*

*E.Bleu1 : pas grave...*

*(...)*

*E.Bleu2 : ça part pas un petit peu de côté ?*

*E.Bleu1 : c'est pas grave !*

<sup>116</sup> Pour rappel, le T6 correspond à la suite de la phase de mise en œuvre après une mise en commun des premiers résultats avec les autres groupes.

Plus le temps avance, plus les interactions verbales sont brèves. Par exemple, suite à l'annonce de la dernière minute : « *On a pas eu assez de temps, c'est pas cool pour nous ! (...) il faut du journal ! et du scotch et du scotch ! (...) celui-là c'est bon il va falloir juste le scotcher (...) il faut faire des bandelettes (...) coupe avec les ciseaux au milieu (...) attention il faut que ça soit un peu de la même hauteur ! (...) je l'ai mal fait (...)* ». Puis à l'annonce de la fin de distribution de matériel supplémentaire : « *On se débrouille avec ce qu'on a ! (...) ou alors j'en mets une dernière comme ça et ça va tenir là ! (...) Celia ça fait un mètre si on fait ça !* ».

A la fin, la tour mesure 62 cm et résiste à tous les tests.

#### 4.3.10 Equipe Jaune Seb

L'équipe Jaune Seb est un groupe de trois filles.

##### Conceptualisation du projet (T2, 8 min)

Les échanges sont très foisonnants dans ce groupe. Dès le début diverses idées s'expriment sous formes de propositions concrètes de construction (proposition de registre opérationnel). C'est principalement autour de l'idée d'E.Jaune2 qu'une première piste de solution commune se construit. L'idée est d'empiler des boules de papier en pyramide. Le principal obstacle épistémologique réside dans le fait que l'empilement de boules de papier ne suffit pas à les maintenir ensemble de sorte à former une pyramide, tel que le permettrait par exemple un tas fruits empilés sur un tréteau de marché.

C'est à travers les confrontations des camarades et la formulation d'arguments pour défendre leurs points de vue différents que le problème et la solution se précisent.

*E.Jaune1 : déjà il faudrait la base du truc, on pourrait plier du papier, en mettre un là, comme ça et comme ça ...ensuite je sais pas comment on ferait en haut*

*E.Jaune2 : non moi j'ai une idée, tu vois, c'est de mettre des boules (...) des boules de papier journaux, et on met avec du scotch, et on empile à chaque fois, à chaque fois, pis on met du scotch*

*E.Jaune1 : mais c'est pas... **ça va pas tenir***

*E.Jaune2 : mais si*

*E.Jaune1 : ben **non ça va tomber** et tout*

*E.Jaune2 : non **mais si on le colle** des deux côtés*

*E.Jaune3 : non mais on essaie de faire quelque chose de lisse, on essaie de faire **quelque chose qui soit plat...** ben Il y aurait plus de boulot ça c'est sûr*

*E.Jaune1 : mais **il faut que ça soit plus lourd en bas qu'en haut***

*E.Jaune2 : **en pyramide** en pyramide ! (...) ben moi je dirais comme ça en fait tu vois (dessine) ou bien on met **plusieurs couches de papier** comme ça, voilà, et après on commence à faire XXX (inaudible)*

*E.Jaune1 : mais tu mets plein de couches de papier journaux ! Il faut mille papiers journaux là (critique) !!*

E.Jaune2 : là comme ça (dessine)  
E.Jaune3 : là t'aurais **besoin d'au moins cent feuilles !**  
E.Jaune2 : non mais voilà un tout petit peu  
E.Jaune1 : non mais on va pas faire comme ça, **c'est pas inventif** ça  
E.Jaune2 : pis après mettre des boules...  
E.Jaune1 : **on doit pouvoir bouger** le truc, je sais pas si tu te rappelles  
E.Jaune2 : ...et après tu mets du scotch, tu colles comme ça  
E.Jaune3 : mais tu sais qu'**il faut que ça fasse un mètre**  
E.Jaune2 : oui mais hein je vais pas faire 1 mètre là! (montre son dessin) donc moi ça serait ça mon idée  
E.Jaune1 : j'ai honte là j'ai honte, on peut pas faire ça ! il n'en est pas questions (rires) ! (...) bon alors, mais c'est bien l'idée de faire un truc en pyramide (...) ouais mais pas une trop grande pyramide, pas genre un truc comme ça euh sinon ça fait...  
E.Jaune3 : ouais genre un petit truc comme ça (...) en fait faut savoir que **c'est à peu près ça 1 mètre** (...)  
E.Jaune1 : ça nous fera **des toutes petites boules, une petite feuille de papier journal c'est très fin** (...)  
E.Jaune2 : **tu mets trois papiers et tu enrroles !!** tu prends ça, plus un autre, plus un autre et après tu fais comme ça  
E.Jaune3 : ah ouais c'est pas con ! (...)  
E.Jaune1 : eh ben je vous signale que en bas **ça doit être plus lourd qu'en haut** et je vous signale que **c'est du papier journal**, ça se tient pas comme ça le papier journal ...on n'y arrivera jamais  
E.Jaune2 : non mais arrêtez ! j'ai une idée ! on en met 6 comme ça, euh non 3, 4 comme ça, comme ça, et après tu mets les boules par-dessus...  
E.Jaune3 : elle a raison Elsa  
E.Jaune1 : combien de fois je vais devoir le dire ! ...en bas c'est plus lourd qu'en haut  
E.Jaune3 : mais déjà **ça sert à rien qu'elle soit en largeur...** c'est pas obligé  
E.Jaune1 : (...) il faut faire plus lourd en bas qu'en haut ...ça sert à rien de faire des briques de papier comme ça, **ça tiendrai jamais c'est trop léger**, surtout avec du papier journal **c'est hyper fin le papier journal**, tu le froisses et ça se déchire  
(...)

Dans ce questionnement collectif du problème anticipé de la solidité générale, une piste de solution qui n'avait pas été retenue au départ se présente alors comme la solution de remédiation venant compléter la première piste « *bonne idée on fait un mixte* ». La proposition est de faire reposer la pyramide de boules sur une base « *déjà il faudrait la base du truc* » réalisée avec des petits rouleaux de papier empilés « *on pourrait plier du papier, en mettre un là, comme ça et comme ça (...) des papiers qu'on roule comme ça* », à l'image de la construction des chalets en rondins de bois. L'idée qui sous-tend la proposition est d'une part que la confection d'une base solide est susceptible de favoriser la solidité générale de la construction, et d'autre part que cette solidité peut-être créée en augmentant la quantité de papier, et du même coup le poids (hypothèse d'une corrélation entre la solidité et le poids).

*E.Jaune1 : imagines...attends...on fait des petits trucs comme ça, c'est des papiers qu'on roule comme ça, on en fait deux ou trois un peu au-dessus (dessine et continue les explications) et puis on fait tenir avec je ne sais pas quoi en haut !*

*E.Jaune2 : on fait tenir les boules en haut ! (...)*

*E.Jaune3 : bonne idée on fait un mixte (...) c'est une bonne idée ! on fait une pyramide avec les boules ! et pis on en met **genre trois lignes en bas***

*E.Jaune1 : attends on fait **un peu plus que deux couches** parce que ...c'est plus lourd en bas qu'en haut (pèse ses mots)*

*E.Jaune3 : mais après **il y a les boules lourdes en bas***

*E.Jaune2 : ben **alors tu mets au moins 5 couches***

*E.Jaune1 : **voilà encore (dessine) encore, encore***

*E.Jaune3 : mais non pas autant, pas autant*

*E.Jaune1 : mais si ! (...) **faut mettre plusieurs feuilles tu sais***

*E.Jaune2 : genre 3...4*

*E.Jaune1 : et là on fait les boules*

*E.Jaune3 : oui voilà ! on a trouvé !*

Au niveau de la définition du problème, la difficulté générale de faire *une tour en papier qui tient debout* se précise au cours des échanges. On passe d'une perception floue du problème « *ça va pas tenir (...)* *ça va tomber (...)* *on n'arrivera jamais !* », vers une identification plus fine de plusieurs paramètres inter reliés, tel que :

- la **stabilité /résistance** face aux tests de simulation : « *parce qu'après il y a le vent, enfin il y a l'air donc euh... s'il passe plus en bas, eh ben tout ce qui est en haut ça va tomber* »,

- la **rigidité** du papier : « *ça tiendrai jamais, c'est trop léger, surtout avec du papier journal c'est hyper fin le papier journal, tu le froisses et ça se déchire (...) je vous signale que c'est du papier journal, ça se tient pas comme ça le papier journal* », et la **hauteur** de la construction :

*E.Jaune2 : on veut faire des petites boules de papier*

*Ens : ben... il faut essayer ! ... est-ce que vous arriverez à un mettre ?*

*E.Jaune1 : ben c'est ça le truc ... ça nous fera des toutes petites boules, une petite feuille de papier journal c'est très fin !*

De plus, l'idée première est au fur et à mesure mise à l'épreuve dans un jeu de confrontations de la part des pairs qui énoncent à tour de rôle les diverses contraintes à considérer :

- la **hauteur** : « *mais tu sais qu'il faut que ça fasse un mètre (...) en fait faut savoir que c'est à peu près ça un mètre* »

- la gestion de la **quantité** de papier : « *mais tu mets plein de couches de papier journaux ! il faut mille papier journaux là ! (...) là t'aurais besoin d'au moins cent feuilles !* »

- la **mobilité** de la construction : « *on doit pouvoir bouger le truc, je sais pas si tu te rappelles* »

- et enfin le souci de l'**originalité** et/ou de l'**esthétisme** : « *non mais on va pas faire comme ça, c'est pas inventif ça !* »

*E.Jaune1 : j'ai honte là, j'ai honte, on peut pas faire ça ! il n'en est pas question ! (...) non mais tu crois quand même pas que dans toutes les écoles ou elle est allée (Delphine) tous les élèves ils ont fait des boules (...) mais non, tu sais, t'as vu dans toutes les écoles où elle est allée, moi ça m'étonnerait que les groupes ils aient fait des boulettes !*

*(...)*

*E.Jaune1 : c'est pas logique de faire des papiers comme ça... des papiers comme ça plus des boules !*

*E.Jaune2 : si c'est logique*

*E.Jaune3 : ça peut être original*

*E.Jaune1 : oui original... mais c'est pas sûr que...*

*(...)*

#### Mise en œuvre (T4, 27 min)

Dès la distribution du matériel, les filles se précipitent sur les feuilles de papier et commencent à les déchirer aléatoirement, de manière à préparer le matériel nécessaire à la confection de la base « *c'est parti alors on fait la base (...) ben déjà on va déchirer les journaux* ». Chacune expérimente différentes façons de rouler le papier puis les comparent, révélant que la stratégie d'E.Jaune1 est la plus adaptée (rouler des demi-feuilles en entier puis torsader les rouleaux). Une fois une dizaine de « bâtonnets » confectionnés, une nouvelle idée d'agencement émerge alors, un entrecroisement formant ainsi une base plus ou moins carrée. L'idée s'inspire cette fois clairement d'un jeu de construction : « *ouais comme kapla, un là un là un là* ». Parallèlement sont fabriquées les boules.



De manière générale, la question de la restrictions de **temps** se fait ressentir tout au long de l'activité « *il faut se dépêcher on a peu de temps... bon ben on est mal ! (plus tard) à part ça on est trop à fond ...mais on a que fait ça !* », ainsi que la restriction de la **quantité de matériel** « *oh mais ya que ça comme scotch ? (...) mais j'avais commandé 4 papiers et il n'y en a déjà plus (...) non mais regarde notre équipe tout le*

*matériel qu'elle a pris !* ». En effet, le groupe observe que la solution choisie est (trop) coûteuse en temps et en matériel, mais il n'y renonce pas pour autant.

Pour y remédier, plusieurs moments de tâtonnements et de concertation visent à **optimiser l'utilisation du matériel** (comment couper le scotch, comment découper, déchirer, plier le papier, puis comment utiliser, placer, agencer) : « *non mais on va pas mettre autant de scotch (...) mais sur les côtés on s'en fout, c'est tout en haut qu'il en faut* ».

De plus, au niveau de la gestion des priorités, une tension s'opère entre le souci d'**esthétisme** (ressenti fortement par l'une), et le souci d'**efficacité**. Le groupe priorise en fin de compte l'objectif de parvenir à concrétiser leur idée (soutenu par les autres), aussi « moche » soit la construction pourvu qu'elle « tienne debout » : « *on s'en fout si c'est pas droit ...mais il faut que ça tienne !* »

*E.Jaune1 : on dirait une ordure (rires) en fait ça serait peut-être temps de changer de méthode non ?*

*E.Jaune2 et 3 : (en cœur) non !!!*

*E.Jaune1 : mais on y arrivera jamais ! (...) regarde les autres !! le nôtre c'est une petite merdre (rires) !*

*E.Jaune2 : (plus tard, s'adressant à un autre groupe) Célia ! Célia ! c'est trop beau vous ! regarde, nous c'est ça (rires) !*

*E.Jaune1 : c'est très moche !*

*E.Jaune3 : mais c'est original...*

*E.Jaune2 : mais qui a dit que ça devait être beau !*

Plus précisément, face au matériel, le groupe observe que le fait de faire des boules avec des demi-feuilles de papier ne permet pas de créer le volume et le poids escompté pour assurer la hauteur et la stabilité visée « *mais tu crois qu'avec ces boulettes on arrivera à 1 mètre ?* ». Se basant probablement sur la conception que la densité et/ou le volume sont liées au poids (tant recherché pour créer une base solide!), les élèves tentent alors d'augmenter la taille des boules de papier : « *il faut des plus grandes ! (...) il faut faire des grandes boules (plus tard) les grosses boules on va les mettre à la base (...) il faut déjà mettre les grosses en bas* ». Cette solution apparaît aussi comme moyen de considérer la faisabilité dans le temps « *il faut des trucs épais sinon on va passer trois heures là-dessus (...) sinon on devra faire un milliard de boules* ». La tension entre ces paramètres accompagne les investigations des élèves jusqu'à la fin, car une conception fait obstacle : si on fait de plus grandes boules, on arrive plus vite à la hauteur, donc moins besoin de boules, et donc moins de papier... or pour faire de plus grandes boules, et faut plus de papier ! A la fin du T4, le groupe n'a pas encore eu le temps d'ériger la pyramide.

Au T6, les filles mettent à l'épreuve leur idée d'empilement, et réalise à ce moment-là la difficulté d'éviter l'écroulement et de maintenir les boules ensemble. « *On peut faire tenir les boules mais après il y quelqu'un qui doit rester debout pour tenir ! (...) ben du moment où on peut les faire tenir en équilibre !* ». Notons qu'à la fin le groupe

est si concentré à l'idée de parvenir à **réaliser leur projet de départ** que la question de la solidité et de résistance aux tests n'est pas du tout d'actualité. Les filles tentent du mieux qu'elles le peuvent d'utiliser le scotch pour maintenir une masse compacte, misant visiblement sur la force du scotch pour obtenir la solidité : « *faut les scotcher les boules (...) mais bien sûr que si, sinon ça va pas tenir (...) ben voilà ça tient ! (...) évidemment que ça tient, c'est scotché ! (...) ben voilà on peut plus rien faire on a plus de scotch* ». A la dernière minute annoncée, le groupe se rend compte qu'il ne parviendra pas à ses fins : « *aaah c'est pas assez haut ! ça fait même pas 10 centimètres ! (...) ça va jamais faire un mètre (...) Il sera jamais fini notre truc (...) c'est pas possible ! et merde ! (rires) Voilà notre truc !* ».



Au moment des résultats (T7), la tour mesure 32 centimètre, et s'écroule lors des tests. L'originalité de la construction est toutefois mise en avant lors de la comparaison des résultats.

#### 4.3.11 Equipe Rouge Seb

L'équipe Rouge Seb regroupe quatre garçons.

##### Conceptualisation du projet (T2, 8 min)

Dans l'ensemble la dynamique est très constructive et implique les quatre membres du groupe dans la construction de solution et dans la mise en questions du problème, autant que dans la construction de la tour.

Chacun leur tour, les élèves proposent des moyens concrets (propositions de type opérationnel) pour réaliser une construction de papier. Systématiquement les propositions sont confrontées au doute ou à l'incompréhension des pairs, relevant ainsi successivement la question de la restriction du matériel, la faisabilité, la solidité du papier, la stabilité de la construction, ainsi que la hauteur. Ainsi le problème et la solution commune se co-élaborent conjointement et progressivement.

L'un commence par proposer l'idée vague d'un empilement et le maintien par le scotch,

*E.Rouge1 : on empile tout et on scotche*

*E.Rouge3 : mais déjà il faut que ça ait le moins de scotch possible*

...un autre une base « lisse » plate pour servir de socle mobile et pour assurer la solidité

*E.Rouge4 : pour tenir la tour on met un truc assez plat en bas, pas pour coller, juste **pour que ce soit lisse et que tu puisses la poser et que ça tienne bien** (...) il faut pas la coller sur la table (...) c'est vrai ce qu'elle a dit (Delphine), il faudra s'habiller à n'importe quel terrain... genre en Egypte, du sable, tu peux pas clouer le truc*

*E.Rouge3 : **mais ça va rien changer***

*E.Rouge2 : **mais oui elle va tenir plus en équilibre***

*E.Rouge4 : on met juste du scotch en bas pour que ça soit lisse*

L'un propose une manière de rouler le papier pour former des « piliers », l'autre de remplir le pilier de papier pour consolider

*E.Rouge1 : ici il faudrait mettre des piliers tu sais (...) tu plies comme ça et après tu scotches (...)*

*E.Rouge3 : les gars **on va pas réussir à faire un immeuble** (...) **comment tu veux arriver à faire ça** (montre le croquis d'un building)?*

*E.Rouge1 : mais les gars les piliers ça marche hein ! (...) regarde tu fais comme ça tac*

*E.Rouge3 : **ça va tellement pas être solide***

*E.Rouge1 : ben quand même hein, comme ça c'est déjà plus solide !*

*E.Rouge2 : **mais le papier il est trop fin**... tu sais, avec ce papier on aurait fait ça tranquille... c'est pas comme le papier journal*

*E.Rouge4 : **ça se déchire trop facilement***

*E.Rouge3 : je sais ! dedans tu mets une boule !*

Pour remédier au problème de la solidité, l'idée de rembourrer avec boule de papier (pour consolider) émerge ... et évolue vers l'idée d'une pyramide de boules (pour ériger)... contenue par des « façades » de papier servant d'enveloppe de maintien

*E.Rouge3 : on fait des boules et on les assemble et on en fait une Tour Eiffel ! On met boules boules boules boules, et après on enlève chaque fois une...et après ça fera comme ça !*

*E.Rouge1 : ah ouais ça fera une pyramide quoi ! (...)*

*E.Rouge4 : **mais comment tu veux que ça tienne** (ensemble) ?*

*E.Rouge1 : j'ai une idée, après tu mets du papier journal pour faire les façades*

*E.Rouge4 : ouais ce que je disais...mais **ça peut tomber à tout moment***

*E.Rouge2 : mais on met pas le papier journal au début, on met direct les boules*

*E.Rouge1 : ouais voilà c'est ça*

*E.Rouge4 : **ouais mais ça va être chaud***

La nécessité de déterminer l'ordre des étapes dans l'opérationnalisation du projet de construction apparaît. Une négociation des priorités s'opère alors entre la réalisation de la partie interne (matériaux de rembourrage) et la réalisation de la structure externe (enveloppe), et implique des précisions... par conséquent, l'idée initiale de construction carrée se transforme en construction en triangulaire (rejoint l'idée première de pyramide), probablement inspirée du principe d'une tente ou d'un toit de maison traditionnel.



*E.Rouge2 : mais il faut le faire en plusieurs dimensions ... c'est un truc carré ou un truc rectangle ?*

*E.Rouge3 : je sais ! on met une feuille de journal comme ça, on en met deux autres comme ça tac tac (en forme de tente) et après on les colle tous ensemble et peut-être au milieu on met des boules dedans*

*E.Rouge1 : ah ouais en dessous ça sera vide, alors pendant qu'un gars il tient comme ça les autres mettent les boules dedans (...) et après tu prends un autre bout et tu fermes !*

*E.Rouge3 : ah ouais on fait ça ! tu colles et après t'en mets deux comme ça deux comme ça après tu remplis et après...*

*E.Rouge4 : mais comment on fera pour remplir ?*

*E.Rouge2 : ben après on retourne et on remplit*

*E.Rouge4 : comment... ah ouais c'est vrai !*

*E.Rouge1 : en gros c'est un carré, et après qui monte (en pointe)*

*E.Rouges : ouais voilà (consensus général)*

*E.Rouge2 : en fait non... on fait comme ça (dessine une sorte de tente) entre deux trucs on laisse un espace pour pouvoir remplir !*

L'idée des piliers réapparaît lorsque les élèves anticipent que les matériaux internes ne suffiront pas à combler le manque de rigidité de l'enveloppe externe (problème de rigidité du papier)... reste à préciser la stratégie d'enroulement de la feuille

*E.Rouge1 : tu vois c'est un truc comme ça que je voulais faire, tu vois tu as le bâtiment qui est au centre et les piliers qui tiennent c'est ça, tu plies comme ça les feuilles de papier (en rouleaux), et c'est bon les gars (...) les gars si vous pliez comme ça c'est solide hein ! après vous scotchez les bouts et c'est solide...*

*E.Rouge2 : bon on dit qu'on a fini là ?*

*E.Rouge4 : ...mais les piliers t'as juste à prendre une feuille de journal et tu l'enroules et tu...*

*E.Rouge1 : ouais voilà c'est ça que je veux faire...enfin, toi tu dis comme ça ?*

*E.Rouge4 : ouais et après je mettrais du scotch pour que ça tienne comme ça...*

*E.Rouge1 : ouais moi je dis comme ça...*

*E.Rouge3 : ouais ouais on a compris, on replie on replie, etc, et après ça fait une bande (rouleau) et après on peut scotcher*

(5 sec silence)

*E.Rouge2 : nous on a trouvé on peut commencer là?*

Une fois mis d'accord, les élèves n'attendent plus que de pouvoir mettre à l'épreuve leur projet.

*E.Rouge4 : eh ! on fait genre plan A et plan B après si le plan A il marche pas on fait le plan B*

*E.Rouge3 : mais il y a aucun plan... on verra ce qui tiendra le mieux c'est tout (...) mais le plan A il va marcher.*

### Mise en œuvre (T4, 27 min)

Une fois le matériel disponible, le groupe se lance dans la construction en tentant de suivre les opérations prévues « *on fait d'abord la plateforme d'en dessous (...) nous on fait les côtés (...) maintenant moi je commence à faire les boules ? (...) Alex prépare déjà les boules, mais ne mets pas direct dedans !* », mais plusieurs obstacles apparaissent.

D'abord, comme tous les membres du groupes souhaitent participer à la fabrication, chacun s'occupe d'une partie, ce qui pose quelques problèmes de synchronisation « *non non non faut faire un côté sinon ça va tout déborder !* ».

Ensuite, c'est principalement la *résistance* du matériel qui pose problème aux élèves. Par exemple, en voyant que la feuille de papier a si peu de rigidité propre que l'assemblage s'affaisse, ou en observant que le papier perd de sa tenue une fois plié – « *mais là c'est plié, ça aurait jamais dû être plié !* ». Au début, les élèves déduisent de leurs observations qu'il faudrait augmenter la quantité pour accroître la solidité « *on aurait tellement pas dû scotcher avant (assemblé chaque côtés fait avec une seule feuille de papier), on aurait dû direct mettre plusieurs couches (...) mais les gars faites plusieurs couches sinon ça va jamais tenir hein !* ». Mais ne pouvant revenir en arrière, d'autres solutions doivent être trouvées. Une nouvelle idée émerge pour remédier au problème de la solidité de la construction : un « pilier » central en guise de renforts interne, puis plusieurs. Tout au long du T4, la mise en œuvre du projet implique des précisions quant aux pistes de solutions choisies, qui se traduisent sous forme de micro-régulations successives.

*E.Rouge4 : éh les gars j'ai une petite idée là tout d'un coup... on met un gros pilier là au milieu (...)*

*E.Rouge1 : ouais ! Pedro fait un rouleau de papier !... ça va être encore plus résistant... regarde, tu plies comme ça et encore comme ça et toujours un peu plus (...)*

*E.Rouge2 : (intègre un pilier de renfort dans la construction) c'est foiré...je sens que*

*E.Rouge3 : mais non c'est mieux mec... ça tient !*

*E.Rouge1 : par contre je pense que c'est un peu grand*

*E.Rouge3 : t'as vu comme c'est grand il faudra couper*

*E.Rouge2 : ouais mais colle un peu ici*

*E.Rouge4 : mais il n'y en a pas beaucoup (de scotch)*

*E.Rouge2 : pas grave on prend des petits bouts !*

*E.Rouge4 : soulève le truc, on regarde si c'est de la même hauteur*

*E.Rouge1 : (tente de soulever la construction) éh c'est tellement pas résistant !*

*E.Rouge3 : mais pas grave mec, après on va... tu sais le truc (la façon d'obtenir de la solidité) c'est pas les côtés (les parois externes)!*

*E.Rouge4 : mais aide moi ! ...bloque ! ...lève !*

*E.Rouge3 : (...) putain il y a un côté qui est plus grand que l'autre*

*E.Rouge2 : en fait il faudrait aussi en faire de ce côté (...)*

*E.Rouge1 : mais Miguel ça va pas le faire... en fait il faudrait en faire encore deux ici pour les côtés...mais il faut qu'ils soient encore plus grands (...)*

*E.Rouge3 : venez les gars on renforce les parois (avec des tubes à l'intérieur) !  
(...)*

*E.Rouge1 : mais oui ! ... eh les gars ! tu mets des piliers de travers pour tenir !  
(...) mais comme ça ! mais là t'as le pilier du centre ! mais bien sûr ! ça renforce la paroi ! (...) les gars on fait encore deux piliers pour le milieu*



Devant la grande difficulté à surpasser l'obstacle de la solidité/ rigidité de la construction, la question de l'intérêt de recommencer à zéro et de repartir sur une nouvelle piste se pose à quatre reprises. La question est généralement relancée par E.Rouge2, qui, en l'occurrence, a le moins bien réussi à faire passer ses idées dans la négociation de la solution.

Les échanges suivants témoignent de l'argumentation des uns se construisant face à la menace des autres d'abandonner l'idée choisie. Les arguments –de défense ou de contestation– sont multiples et se réfèrent à différentes contraintes du milieu : restriction de temps, restriction de matériel, esthétisme et/ou vraisemblance, hauteur, faisabilité, solidité. L'argumentation se construit à travers une hiérarchisation des priorités. Une tension s'exerce majoritairement entre le souci de l'**aspect** de la tour (qui ressemble à une tour) et le souci de l'**efficacité** de la tour (qui tient debout).

*E.Rouge4 : pour moi c'est cuit mais...*

*E.Rouge1 : ouais grave*

*E.Rouge2 : mais allez on change de truc*

*E.Rouge1 : non non c'est trop tard... on a déjà utilisé tout le papier*

*E.Rouge3 : eh les gars, avouez qu'on s'en fiche un peu, que c'est pas grave si c'est moche*

*(...)*

*E.Rouge3 : mais on fait (des parois) sur les côtés ou non ?*

*E.Rouge1 : oui faut fermer, c'est dégueulasse !*

*E.Rouge2 : ouais toute la masse on n'était pas sensé voir ! (rires)*

*E.Rouge3 : on change ?*

*E.Rouge2 : mais oui on change là on va pas réussir à faire un mètre de haut  
(L'enseignant passe)*

*Ens : mais vous pouvez le garder vous n'êtes pas obligé de le détruire !*

*E.Rouge1 : mais non mais... c'est pas grave si on fait pas un mètre de haut ?*

*Ens : non mais... maintenant vous faites comment pour monter plus haut ?*

*E.Rouge2 : ben oui c'est impossible*

*E.Rouge1 : ben on fait des étages je sais pas...oh ouais !*

*E.Rouge3 : ben non... déjà ça regardez ça va pas tenir*

*E.Rouge1 : mais oui j'avoue...*  
 (Un peu plus tard)  
*Ens : alors vous, si vous pensez que c'est une mauvaise idée vous la laissez et puis vous faites une autre*  
*E.Rouge1 : ouais c'est ce qu'on va faire, mais on transforme... on recycle*  
*E.Rouge2 : ça va être trop dur à transformer, c'est beaucoup mieux de recommencer un nouveau truc*  
*E.Rouge1 : mais jamais, mais les gars, tranquilles ! c'est pas un... c'est juste un concours les gars*  
 (...)  
*E.Rouge2 : venez les gars on fait différent !*  
*E.Rouge1 : non non après ça prend trop de temps...*  
*E.Rouge3 : non non non au lieu de recommencer ce truc on le finit et on essaie...*  
*E.Rouge1 : ouais voilà et on s'en fout si ça fait pas un mètre*  
 (...)  
*E.Rouge1 : ça les gars c'est pas une maison c'est une tente !*  
*E.Rouge2 : allez les gars on arrête et on change tout*  
*E.Rouge1 : mais non on laisse ! c'est marrant !*  
 (Pendant ce temps E.Rouge4 fini de coller la construction)  
*E.Rouge4 : voilà ! Voi-là ! (la construction tient debout)*  
*Les élèves essayent de souffler sur leur construction pour voir si elle tient (elle tient)*  
*E.Rouge3 : les gars on s'en fiche de comment ça à l'air, tant que ça tient, c'est bon ! (...)*  
*E.Rouge4 : on a bien réussi quand même*  
*E.Rouge1 : on a bien amélioré (...)*  
*E.Rouge2 : pfff on dirait un rond*  
*E.Rouge1 : on s'en fiche de l'aspect mais si ça tient ça tient les gars !*  
*E.Rouge3 : eh peut-être qu'on va gagner les gars ! ...c'est moche mais... (...)*

Pour finir, du début à la fin de l'activité, une grande émulation s'opère au sein du groupe, bien que le doute quant à la faisabilité du projet ne quitte pas le groupe jusqu'à la fin des constructions : « *les gars ça va jamais tenir ! (...)* mais *les gars ça va être chaud de faire tout tenir ! (...)* mais *ça va pas marcher (...)* c'est foiré... je sens que... (...) mais de toute façon c'est impossible ». Il est difficile de dire si l'appréhension des élèves de ne pas réussir à relever le défi est liée au sentiment que la tâche serait impossible ou si elle est liée au pressentiment que la solution choisie serait finalement une fausse piste. Quoi qu'il en soit, cela ne semble pas du tout décourager le groupe, au contraire il semble pris par le jeu jusqu'à la fin et ne lâche pas l'affaire. La grande persévérance dont font preuve les élèves pourrait être vue comme une forme d'obstination à vouloir aller jusqu'au bout de la réalisation de leur idée comme pour vérifier le bien-fondé de leur « hypothèse ».



A la fin du T4, la construction ne mesure que 30 centimètres mais résiste à tous les tests.

#### 4.3.12 Equipe Vert Seb

L'équipe Vert Seb est un groupe de trois filles.

##### Conceptualisation du projet (T2, 8 min)

Dans ce groupe la dynamique est à la fois constructive et consensuelle et s'intensifie à mesure de l'avancement dans la séquence. Soulignons que si l'entraîn et l'émulation du groupe –voire l'autostimulation !– transparait peu à travers les propos retranscrits ou les enregistrements visuels, elle paraît très fortement dans les enregistrements audio.

De manière générale, les échanges convergent vers une idée d'empilement de plusieurs segments (« rond » cylindres ou « carrés » cubes) posés sur une feuille à plat servant de base. La négociation de la solution se construit en grande partie autour du problème de la **restriction du matériel**, directement mis en lien avec celui de la **hauteur**. Au niveau de la hiérarchisation des priorités, c'est le souci d'économiser à tout prix le matériel qui domine, et qui à la fois stimule la recherche de moyens permettant son optimisation, et à la fois semble faire obstacle. Les pistes de remédiation semble "tourner un peu en rond" laissant transparaitre une autre conception-obstacle : penser que si on divise la grandeur des feuilles on le multiplie la quantité (or on réduit aussi la grandeur). Il semble que chaque élève jongle à tour de rôle avec les mêmes arguments dans l'espoir de se sortir du dilemme.

*E.Vert1 : ah je crois que j'ai une idée ! ... en fait l'idée c'est de prendre un papier journal, tu fais comme ça (roule le papier) pis t'en mets un autre par-dessus et tu scotches*

*E.Vert2 : **mais ça doit faire un mètre***

*E.Vert1 : oh ben eh avec **5 feuilles** je crois bien que ça va faire un mètre!*

*E.Vert2 : euh....*

*E.Vert1 : sauf si on les coupe au milieu Madame...ben voilà ça fait le double, ça fait 10 (rouleaux de papier)*

*E.Vert3 : mais non, après **elles seront trop petites** (les feuilles)  
(plus tard)*

*E.Vert3 : alors on fait un machin comme ça (dessine)*

*E.Vert1 : après on scotche la feuille en dessous (pour créer une base)... mais si on met la feuille en dessous **on en perd déjà une...***

*E.Vert3 : mais c'est pas grave **on en a droit à plusieurs***

*E.Vert1 : ...sauf si on coupe au milieu ! (sous-entendu, cette fois que la base serait réduite)*

*E.Vert2 : voilà, comme ça on fait un petit*

*E.Vert1 : on fait un petit **mais qui fait un mètre !***

*E.Vert3 : le but est de déjà **minimiser avec 5***

*(...)*

*E.Vert2 : tu sais là on gaspille des feuilles pour rien (...) on va pas rendre 5 feuilles pour faire ça !*

*E.Vert3 : mais si on en a besoin **on peut en demander***

*(...)*

*E.Vert2 : les filles, si on essayait de ne pas mettre des feuilles en dessous (...) moi je pense que la feuille en dessous ça sert à rien (...)*

*E.Vert1 : mais 5 feuilles **ça le fait pas pour faire un mètre***

*E.Vert2 : non, un mètre !... ça dépend de comment on coupe en fait (...) on fait une toute petite alors ! **comme ça on a plus de papier !***

Au T2, d'autres contraintes sont explicitées, telle que la **faisabilité** générale « *faut faire un carré (...) une tour ça peut-être rond (...) et si on essayait en rond...ça serait plus facile...enrouler les feuilles, scotcher* » ou la **mobilité** de la tour « *ben ouais puisqu'on ne peut pas la scotcher à la table (...) ouais on prend ton idée, après on essaye de faire un carré et après on continue, on fait la même chose et après on pourra transporter !* ».

#### Mise en œuvre (T4, 27 min)



Une fois le matériel en main, le souci d'économie de matériel est toujours dans les esprits, mais ne représente plus le sujet central de discussion. En fait, les filles parviennent à optimiser le matériel sans freiner leurs constructions. En apparence, il semble que les hypothèses qui faisaient obstacles peu avant aient été dépassées ou simplement « mises de côté ».

Le groupe se concentre cette fois sur la gestion en parallèle de deux contraintes prioritairement : la hauteur et la solidité de la tour.

Face aux obstacles qu'il rencontre notamment en lien avec la résistance du matériau – le papier perd de sa tenue une fois qu'il a été plié plusieurs fois – le groupe avance vers une précision du problème : il distingue maintenant la question de la stabilité générale de la tour de celle de la rigidité du papier.

En réponse à ces observations, l'équipe met au point une série de régulations et de micro régulations : rembourre la structure avec des bouts de papier chiffonné, ajoute des morceaux de scotch aux plis du papier pour renforcer les faiblesses, élabore des

tentatives de renforts latéraux, ainsi que d'autres pistes jugées inefficaces écartées à mesure.

A plusieurs reprises, l'équipe réalise des petits tests venant ponctuer l'avancement de la construction. De manière générale, une grande émulation se fait sentir dans l'équipe, qui s'investit à 100% dans le défi.

Plusieurs conceptions-obstacles persistent lors des constructions, notamment la représentation selon laquelle, plus les « supports » (bandes de papier servant de renforts latéraux) sont grands, et plus il y en a, et mieux ça tient. En effet le groupe repose sur cette idée sans réfléchir à une stratégie de façonnage plus efficace ou à un moyen d'agencer les segments entre eux.

Si de manière générale, la conception qui fait obstacle est l'idée que d'augmenter la quantité de matériel augmente la solidité de la construction. Toutefois, le groupe travaille beaucoup la question de l'emplacement et de la position du segment de renfort.

#### 4.3.13 Equipe Blanc Seb

L'équipe Blanc Seb est un groupe de quatre garçons.

##### Conceptualisation du projet (T2, 8 min)

Plusieurs idées apparaissent dans le groupe, dont celle de réaliser la fondation de la tour avec 4 piliers (idée amenée par E.Blanc1), et celle de réaliser un édifice par empilement d'un grand nombre de segments (probablement inspirée de jeux de construction, type Kapla, idée amenée par E.Blanc2). Notons qu'au cours des constructions (T4) une nouvelle idée satisfiera la majorité (non l'unanimité) : l'idée d'un pliage des feuilles de papier rappelant le jeu de construction en château de cartes.

Au T2, les échanges verbaux sont constants. D'une part, la majorité des remarques traduisent le besoin de pouvoir se représenter la proposition de l'autre, ou de rappeler les contraintes de la consigne qui font obstacle, notamment, la rigidité du matériau de construction –« regarde le papier comme il est méga fin »–, et la hauteur –« tu sais, un mètre, c'est la règle ». D'autre part, les réponses sont essentiellement des tentatives d'explicitation visant à justifier la faisabilité de la proposition, ne faisant pas spontanément l'objet d'une véritable argumentation pour la défendre.

*E.Blanc1 : alors, en fait c'est une tour avec par exemple un pilier pour la faire tenir (...) c'est une tour comme ça, avec plusieurs piliers comme ça, **plusieurs piliers pour la faire tenir***

*E.Blanc2 : mais **comment tu les fais** tes piliers ?*

*E.Blanc3 : ce qui va nous servir à rien, vu qu'on a du scotch*

*E.Blanc1 : alors ça, ça c'est la tour (dessine) comme ça ...après t'as le sol comme ça*

*E.Blanc2 : mais **tu les fais en quoi** tes piliers mec ?*

*E.Blanc1 : en papier*  
*E.Blanc4 : ok et après*  
*E.Blanc1 : ben... voilà... tu le fais haut comme ça*  
*E.Blanc2 : après tu fais la tour en papier*  
*E.Blanc1 : voilà*  
*E.Blanc3 : mettre des piliers et en suite ça fait la tour, c'est ça ?*  
*E.Blanc2 : ok*  
 (...)

*E.Blanc2 : moi j'ai une (autre) idée*  
*E.Blanc4 : **tu fais comment ?***  
*E.Blanc2 : un papier comme ça, un papier comme ça, ça doit tenir en carré*  
 (...) après tu vois **ça doit tenir en équilibre** (...)

*E.Blanc3 : en fait tu vas empiler des trucs de papier ?*  
*E.Blanc2 : ouais*  
*E.Blanc3 : et mettre du scotch après ?*  
*E.Blanc2 : mmh (acquiesce)*  
*E.Blanc3 : regarde **le papier comme il est méga fin***  
*E.Blanc2 : ça va...en fait tu prends à chaque fois 5, 5, 5...5, 5, 5, 5 ! (rires, se rendant probablement compte des limites de son idée)*

La stratégie pour assurer la stabilité de l'édifice au moyen de piliers vient se combiner avec l'imagination d'une stratégie de contrepoids inspiré de l'équilibre des poids d'une balance. L'idée énoncée d'« équilibre » qui semble a priori peu serait davantage une question de l'idée de répartition du poids.

*E.Blanc2 : vas-y, une autre idée N. ?*  
*E.Blanc1 : ouais ! allez, passe-moi le crayon ! Alors en fait (dessine) on fait des piliers, après par exemple on fait des poids pour que ça soit égal, par exemple là on prend du scotch, on fait un truc, **pour que ça soit en équilibre, il faut un poids là, après de l'autre côté on fait un poids, comme ça c'est comme dans les balances***

E.Blanc3 ne semble pas convaincu par l'idée énoncée par E.Blanc1 parce que les termes utilisés (« équilibre » et « balance ») lui font probablement imaginer un système de contrepoids qui lui semble peu adapté à la fabrication d'une structure *immobile* en papier. C'est la *nécessité* de la compréhension et de l'adhésion mutuelle qui pousse le premier à confronter la proposition du second par une argumentation critique :

*E.Blanc3 : eh ! Juste un truc ... Si on fait une tour comme ça, et qu'elle tient, elle ne va pas tomber*  
*E.Blanc1 : non mais...*  
*E.Blanc3 : ...alors si tu rajoutes un poids (montre un côté), ça va tomber, et si tu en rajoute là (montre l'autre côté), ça va rééquilibrer, mais ça va servir à rien*  
*E.Blanc1 : non mais...*



*E.Blanc3 : ... après tu vas tourner en rond, parce qu'après tu vas en refoutre un, hein tu remets tu remets tu remets, ça va tout le temps basculer, ça va servir à rien*

*E.Blanc1 : mais non mais on fait la tour...*

*E.Blanc3 : (acquiesce) les piliers ça tient*

*E.Blanc1 : ...et pis après on fait les piliers*

*E.Blanc3 : les piliers ça tient*

*E.Blanc1 : ok ben on fait les piliers*

(Plus tard)

*E.Blanc1 : ouais on va faire une tour avec des piliers*

*E.Blanc2 : ben on va faire 4 piliers, en papier (...)*

*E.Blanc1 : on roule du papier comme ça pis après on les colle les uns sur les autres*

#### Mise en œuvre (T4, 27 min)

Tous d'accord pour réaliser l'idée de E.Blanc1 —« on a dit qu'on te suivait alors (...) allez prend les commandes ! »— chacun commence par réaliser un rouleau qui servira de pilier fondateur à la construction. Mais cette première étape soulève un premier problème : comment rouler le papier ? Après confrontations et concertations (ni vraiment argumentées, ni testées), c'est l'idée de E.Blanc1 qui est maintenue.

*E.Blanc1 : moi je pense que ça devrait allez, on fait un étage et on les colle comme ça...deux ensemble comme ça c'est plus solide (...) moi mon idée c'est d'en coller deux les uns sur les autres (...) pour faire des étages*



Or la mise en application de la proposition ne se montre pas fructueuse. C'est autant la difficulté à collaborer dans le groupe que l'expérience de l'inefficacité de la solution qui pose ici problème. Chacun cherchant à pouvoir manipuler lui-même la construction, celle-ci fini par se casser les à force de chamailleries.

*E.Blanc4 : après on fait comme ça ?*

*E.Blanc2 : tu comprends rien toi, il faut faire comme ça, là (...)*

*E.Blanc4 : non t'es en train de tout déchirer !*

*E.Blanc2 : mais il a déjà tout déchiré !*

*E.Blanc3 : attendez ! sinon on fait juste une tour ronde et puis là sur le bord, on tient comme ça !*

*E.Blanc2 : mais t'as rien compris toi non plus, il faut mettre comme ça, après tu remplis !*

*E.Blanc3 : oui mais là je propose une autre idée !*

*E.Blanc2 : oui mais... on a déjà fini notre idée, tu sais on doit enrrouler hein !*

Les obstacles rencontrés (par exemple, le papier perd de sa rigidité une fois plié) et l'agacement face à l'insistance de E.Blanc1 pour réaliser son idée, poussent petit à petit les autres à proposer d'autres idées (gros cylindre avec des renforts sur les côtés, empilement de papier plié en ^ tel un château de carte). Le groupe finit par se ceindre en deux, E.Blanc1 s'accrochant à son idée de départ pourtant abandonnée par les autres.

*E.Blanc1 : on peut faire des piliers quand même (...) allez on fait un pilier (...) allez on fait comme ça*

*E.Blanc2 : mais tais-toi, on fait pas comme ça*

*E.Blanc1 : allez on fait un deuxième pilier*

*E.Blanc3 : nooon*

*E.Blanc2 : mais on a compris ton idée (...) on l'a déjà fait tout à l'heure*

*E.Blanc3 : toi tu veux faire des ronds comme ça et empiler*

*E.Blanc1 : non mais peut-être pas ça, mais on garde l'idée des piliers (...) bon on garde quand même l'idée des piliers*

*E.Blanc3 : non, non*

*E.Blanc1 : c'est vous qui décidez ce que vous faites mais on garde l'idée des piliers sur la tour*

*E.Blanc3 : non*

*(...)*

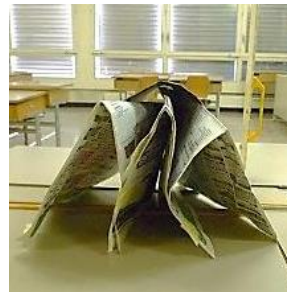
*E.Blanc2 : oh ! j'ai une idée, passe-moi ton bout de papier (enjoué, plie le papier en ^)*

*E.Blanc3 : ah ouais on fait ça, ouais c'est pas con*

*E.Blanc4 : on fait quoi ? ah on fait ça ! (plein d'espoirs)*

*E.Blanc2 : trop la classe (fier de la nouvelle idée)*

*E.Blanc3 : viens d'abord on en fait trois, et ensuite on en fait deux, et ensuite le dernier (...) on va faire un château de carte*



E.Blanc1 insiste auprès de ses camarades et est bien décidé à tenter d'aller jusqu'au bout de la réalisation de son idée ce qui irrite beaucoup ses camarades

*E.Blanc2 : mais tu vas en faire quoi de tes piliers ? mais on a pas besoin de tes piliers de mXXXX (...) oh toi tes piliers tu peux te les fXXXXX dans le cXX tes piliers (...)*

*E.Blanc3 : mais laisse il fait ses piliers, il fait ses piliers, après ils vont servir à rien mais...*

Suite à une intervention de l'enseignant, le groupe finit par solliciter les piliers de E.Blanc1, mais celui-ci refuse et préfère continuer son idée de son côté sans devoir la transformer

*Ens : c'est tombé ?*

*E.Blanc2 : ouais en fait ça tombe, ça n'a pas d'équilibre... alors on va changer d'idée encore une fois*

*E.Blanc3 : non non on a fait cette idée alors, ben... attends*

*Ens : au lieu de changer d'idée qu'est-ce que vous pouvez améliorer pour que ça tienne ?*

*E.Blanc3 : faire des piliers comme il a... (marmonne, inaudible)*

*E.Blanc2 : ça va rien nous servir les piliers*

*E.Blanc3 : t'en sais rien*

(un peu plus tard)

*E.Blanc3 : passe nous un pilier pour voir si ça marche avec*

*E.Blanc1 : mais arrête*

*E.Blanc2 : mais on en a besoin mec*

*E.Blanc1 : mais à moi aussi*

*E.Blanc3 : Mais tu veux faire une tour de ton côté ou quoi !*

*E.Blanc1 : mais là ils vous servent à quoi les piliers ? rien !*

*E.Blanc3 : à tenir ce truc mec je sais pas... là ils servent à rien, à nous ils nous servent*

L'enseignant intervient à nouveau pour réprimander E.Blanc1 qui refuse de coopérer, mais celui-ci ne démord pas de son désir de voir son idée se réaliser

*E.Blanc1 : oui mais je veux voir si ça marche (d'une petite voix) (...) il faut voir si euh si ça va se casser (...) il faut bien voir si ça tient ou pas !*

Les élèves confrontent encore E.Blanc1 sur le fait qu'il « gaspille du matériel pour rien », les chamailleries continuent et la construction de E.Blanc1 fini par se casser.

*E.Blanc4 : explique-moi ça servait à quoi ça ? explique moi...ça servait à quoi ?*

(...)

*E.Blanc3 : (s'explique auprès de l'enseignant) mais il gaspille du matériel, ça sert à rien tout ce qu'il fait*

*E.Blanc1 : mais ils détruisent tout ce que je fais*

*E.Blanc3 : parce que ça sert à rien !*

On peut remarquer que les échanges verbaux sont fréquents pendant la phase d'investigation avec le matériel mais que les élèves ne s'engagent pas dans une réelle argumentation.

De plus, au niveau de la définition du problème, peu de contraintes ou d'obstacles sont explicités, et ne sont que vaguement énoncés :

- les catastrophes naturelles « bon là, question vent c'est résistant »,
- la hauteur « faut faire un mètre ? (...) ça va être galère »,

- la faisabilité « *c'est un modèle / c'est pas la vraie tour* »,
- la restriction des matériaux « *tu gaspilles tellement de papier là ! (...) regarde comme il a gâché le papier ce gars sérieux* »
- la mobilité de la tour « *mais non, on a pas le droit de l'accrocher à la table* »

En somme, une caractéristique de ce groupe concerne la dynamique particulièrement difficile, et ce avant même que le travail en groupe ne commence :

*E.Blanc1* : (chuchote pendant l'explication des consignes) *ouais j'ai une idée les gars !*

*E.Blanc2* : *je m'en fous*

(...)

*E.Blanc1* : *j'ai une idée...*

*E.Blanc3* : *ben tu la gardes*

(...)

*E.Blanc1* : *eh mais j'ai une idée*

*E.Blanc2* : *ta gueule N., mais arrête de faire chier*

*E.Blanc1* : *mais j'ai une idée*

*E.Blanc3* : *mais tais-toi*

*E.Blanc1* se montre très insistant et parfois provocateur durant toute l'activité malgré les avertissements des autres. Plus les élèves rencontrent des obstacles dans leurs constructions plus la tension monte et les chamailleries s'intensifient, ... et les injures sont dures (« *t'es chiant, c'est vraiment pourri d'être avec toi (...)* elle est pourrie ton idée (...) *grosse mXXXX (...)* ta gueule espèce de pervers (...) *sale chien, va nXXXXX ta race (...)* N. *tu sais ce qu'on a et que tu n'auras jamais : des amis* »). Ces conflits sont évidemment peu constructifs pour la dynamique de groupe, mais freinent aussi la résolution du problème. En effet, les obstacles rencontrés sont mis sur le compte de la mésentente plutôt que d'être considéré comme des indicateurs des erreurs pouvant être régulées.

Il est difficile de définir tous les facteurs de cette mésentente (raisons inter/intra individuelles, etc.). Toutefois on peut soulever une question : celle de la pression susceptible d'être créée par la mise en situation de défi. Cette tension entre les membres du groupe pourrait être l'expression d'un stress face à une tâche ressentie comme impossible, de l'appréhension de l'échec et de l'angoisse de devoir présenter leurs résultats devant la classe. Certains propos pourraient en être l'indice :

*E.Blanc2* : (chuchoté au moment de la première réunion générale) *je ne sais pas comment on va passer en sixième*

(...)

*E.Blanc2* : *on a perdu hein (abandonne, déçu)*

*E.Blanc3* : *normal avec ce gars dans l'équipe*

*E.Blanc3* : *regarde comme c'est foutu là (dégoûté) ...à cause de N. (...) Ok, N. regarde... ta tour ...tu la présentes là*

*E.Blanc1* : *non je la présente pas c'est pas la mienne*

*E.Blanc3* : *on s'en fiche c'est toi*

Lors des tests (T7) la construction tient debout, mesure 22 centimètres mais ne résiste pas aux tests.

#### 4.3.14 Equipe Rouge Mie

L'équipe Rouge Mie est constituée de deux filles et un garçon.

##### Conceptualisation du projet (7 min)

Dès le départ le dernier (E.Rouge1) cherche à prendre les commandes du groupe, et s'il semble clair pour lui que l'idée réalisée vient de lui. Pourtant, il apparaît clairement qu'elle est bien co-construite avec les autres membres du groupe, à travers leurs propositions respectives ainsi que leurs critiques.

Plusieurs contraintes sont formulées et sont objets de discussion. Les différentes représentations du problème et plus précisément des divergences dans l'attention portée à certains paramètres du problème créent des incompréhensions et la nécessité de l'explicitation pour pouvoir converger autour d'une même idée. Par exemple, la contrainte de la **vraisemblance** (fonctionnalité de la tour, « *les gens vont vivre dedans* ») est confrontée à la question de la **faisabilité** (faire « *une maquette* » avec le matériel disponible « *non ça dure trop de travail* ») et à la question de l'**originalité** de la proposition (« *c'est un truc trop simple, il faut faire un truc plus compliqué* », sous-entendu faire quelque chose de plus perfectionné, plus « *original* »).

*E.Rouge3 : alors qu'est-ce qu'on pourrait faire ?*

*E.Rouge1 : ...moi je suis bien dans les maquettes... mais je sais pas ce qu'on pourrait faire...*

*E.Rouge3 : il faut que ça soit un truc de un mètre c'est ça ?*

*E.Rouge2 : on peut faire un gratte-ciel et comme ça à la fin*

*E.Rouge3 : on peut faire la tour Eiffel (...)*

*E.Rouge2 : moi j'avais pensé à un truc mais ça prend beaucoup de papier, c'est de faire comme ça, tac tac (dessine) et ensuite empiler*

*E.Rouge3 : ah ouais mais comment les gens vont vivre dedans ?*

*E.Rouge1 : oh non non ça dure trop de travail et c'est un truc trop simple, il faut faire un truc plus compliqué...*

*E.Rouge2 : alors on peut faire un gratte-ciel et après en bas on fait comme une pyram...*

*E.Rouge1 : ah j'ai une idée ! on pourrait faire un gratte-ciel... rond !*

*E.Rouge2 : ah ouais*

*E.Rouge1 : un gratte-ciel rond, et en haut on met un truc grand comme ça, comme une onde (?) (...)*

*E.Rouge3 : mais je vois pas trop où est-ce qu'il y a des gens qui vont dedans...*

*E.Rouge2 : mais il n'y a pas de gens qui vont entrer là-dedans !*

*E.Rouge1 : mais là c'est une maquette! (continue à dessiner) ça imagine que c'est pour tenir...voilà !*

*E.Rouge3 : ah ouais ! ...et comment on va faire ces barres-là?*

*E.Rouge1 : ben on fait en papier, on plie et on fait des espèces de ronds et on scotche*

*(...)*

*E.Rouge1 : qui préfère cette idée ou cette idée ? (...) ok ben on choisit laquelle (...) qui vote pour ça ?*

*E.Rouge3 : ça non, désolé mais non ...celle-là mais t'aurait pu éviter de mettre autant de ... ( ?)*

*E.Rouge1 : ouais ouais on va rectifier ! (après réajustement de son dessin) alors ça, mais en plus grand*

*E.Rouge2 : ça prendrait trop de papier (...) ça prendrait pas un peu trop de papier ?*

*E.Rouge3 : mais c'est quoi ?*

*E.Rouge1 : mais c'est original hein (vexé) ! ...ça serait original avec des pieds (un pied de chaque côté de la tour)!*

*E.Rouge2 : oui mais si, je sais pas, il y a un vent fort...*

*E.Rouge1 : non mais regarde je renforce avec ça (un peu énervé), je mets des chaînes là ... c'est joli ?*

*E.Rouge2 : ben alors t'as qu'à mettre 4 pieds, des pieds là, et aussi là et derrière*

*E.Rouge1 : ouais et après je mets un truc au milieu*

*(insiste un peu plus tard)*

*E.Rouge2 : mais là Jeremy, ça serait bien si on mettait encore là et derrière, ça serait bien 4...enfin 5 (...)*

*E.Rouge3 : ben on fait quoi alors ?*

*E.Rouge1 : ben on rajoute deux pieds là (impatient) ! ... mais sinon ça va pas tenir avec que deux pieds, on rajoute un pied là et un pied devant, d'accord ?*

L'idée finale consentie par tous est un grand pilier central maintenu par plusieurs pieds. L'idée des pieds est au départ amenée par E.Rouge1 et justifiée en tant que caractère original de la tour « *ça serait original avec des pieds* ». Puis l'idée de pieds est reprise et évolue avec E.Rouge2 amenant pour la première fois l'idée de la **stabilité** de la tour et de la **résistance** aux catastrophes naturelles (« *si, je sais pas, il y a un vent fort* »). Tenu d'intégrer ce nouvel élément du problème, E.Rouge1 concède finalement de réguler sa proposition « *ben on rajoute deux pieds là! ... mais sinon ça va pas tenir avec que deux pieds* ». A ce stade, la notion de stabilité est encore assez intuitive, mais elle représente un élément clé de l'argumentation du groupe.

### Mise en œuvre (T4, 35 min)



Pendant les constructions, les échanges sont plutôt limités. C'est principalement E.Rouge1 qui mène le groupe, et dirige les opérations « *va chercher du scotch (...) tu me tiens ça comme ça (...) tu tiens la tour s'il te plait, au lieu de lire le journal on n'est pas là pour ça (...) donne encore un peu (de scotch), je fais les protections* » et réalise la construction, avec l'aide des filles, parfois. Les idées qu'elles expriment se résument à quelques suggestions de micro-régulation et sont généralement pris en compte.

Dans les premières minutes, E.Rouge1 tâtonne pour trouver une façon de rouler du papier qui lui convient, puis explique et mime toutes les étapes de constructions qu'il pense devoir réaliser aux deux filles qui n'ont pas encore touché le papier. Chacun réalisant ainsi un tube identique. Après quelques tâtonnements le tout sera fagoté et enroulé de papier de manière à faire un cylindre bien rigide résistant à la pression de la main. Puis, confronté au manque de stabilité du pilier posé simplement à la verticale « *j'ai remarqué quelque chose, là il faut mettre des protections sinon ça va tomber* », le groupe confirme alors leurs prévisions formulées au départ (T2) quant au problème de stabilité. Comme imaginé, des « pieds » sont alors confectionnés sous formes d'autres petits rouleaux, ceci avec le minimum de papier. Trois points d'appui sont successivement rajoutés jusqu'à ce que la construction tienne debout. Une fois le problème de la stabilité résolu, le groupe trouve des moyens pour augmenter la hauteur. Grâce au rajout de plusieurs petits segments successifs, la tour atteint 1 mètre : « *eh regarde pile un mètre (satisfait) ! mais ça va pas être trop solide les filles !* ».

Une des seules contraintes qui fait objet de discussion pendant les constructions est la question de l'économie face au matériel. Il s'agit de la préoccupation persistante de E.Rouge3, le membre du groupe qui participe le moins à la construction de la tour et qui maintient une posture de retrait tout au long de l'activité de groupe à part lors des dernières minutes.

*E.Rouge3 : pourquoi vous prenez un scotch ?*

*E.Rouge1 : c'est pour renforcer ça sinon ça va tomber*

*E.Rouge3 : mais c'est beaucoup ! (...) on a trop gaspillé de scotch (...) il y a plein de journal inutile là, vous gaspillez tout ce journal (...)*



Lors des tests, la tour résiste à la simulation du « tremblement de terre » mais vacille avec l' « ouragan », suivant l'angle de provenance du « vent ». La discussion en plénière quant aux pistes d'amélioration possibles mène le groupe à réfléchir à la disposition des points d'appui au sol de leur construction.

#### 4.3.15 Equipe Bleu Mie

L'équipe Bleu Mie est un groupe de quatre garçons.

##### Conceptualisation du projet (7 min)

Une solution se profile rapidement : réaliser une colonne de papier (feuille de papier roulée) fixée sur une plateforme (feuille de papier aplanie).

Dès le départ de l'activité de groupe, on peut remarquer des divergences dans la représentation que les élèves se font de la situation problème. Pour E.Bleu1 et E.Bleu3 il paraît évident de trouver des moyens de construire « quelque chose qui tient » (**solidité** générale). Ceux-ci commencent de suite par exprimer leurs premières idées, et cherche assez vite à converger vers une solution commune. Leurs échanges et leurs dessins leur permettent de préciser de plus en plus finement leur idée, sans pour autant devoir articuler une argumentation.

E.Bleu2 quant à lui se montre plus soucieux de la **vraisemblance** du projet de tour, mais retient aussi son attention sur certaines contraintes très concrètes (hauteur, quantité de matériel). Toutefois, les questions qu'il pose impliquent peu de réactions de la part de ses camarades.

*E.Bleu2 : on doit faire tout ça ! (montre la hauteur d'un mètre)*

*E.Bleu1 : ouais*

*E.Bleu3 : on fait un machin comme ça (un socle) ensuite on met un grand tube là (...)*

*E.Bleu1 : moi j'avais une autre idée tu vois, on fait une plateforme, et après on met des journaux tu vois tac tac, tac tac*

*E.Bleu3 : voilà c'est ce que j'ai dit !*

*E.Bleu1 : après on remet comme ça tu vois on scotche tout*

*E.Bleu3 : ouais je sais (...)*



*E.Bleu2 : ouais mais comment on va faire un mètre avec ça ?*

(Pas de réponse)

*E.Bleu3 : mais moi j'ai aussi une autre idée, on fait une pyramide, c'est solide*

*E.Bleu2 : une pyramide... mais tu vois une pyramide en ville toi ?*

Au départ, les différentes représentations du problème semblent faire obstacle à la compréhension mutuelle, tant au niveau des propositions que des questions et des critiques formulées. En effet, d'un côté deux élèves imaginent des moyens concrets pour construire une tour avec le matériel donné et tente de modéliser leur projet par des croquis. De l'autre, E.Bleu2 peine à comprendre la proposition de ses camarades, non pas qu'il ait de la difficulté à se la représenter concrètement, mais il semble qu'il donne un sens différent à la fonction même du dessin. D'un côté le croquis est un **modèle qui représente la tour** qui serait construit « en vrai », de l'autre il modélise **la stratégie de construction** « en papier ».

Le souci du détail quant à la représentation de l'emplacement des bouts de scotch sur le croquis est un indice intéressant...

*E.Bleu2 : t'es en train de faire quoi là ?*

*E.Bleu3 : (dessine) du scotch*

*E.Bleu1 : mais c'est pas comme ça du scotch !*

*E.Bleu2 : en vrai le bâtiment on va pas voir le scotch !*

*E.Bleu1 : en fait le scotch je pense qu'on va plutôt le mettre par l'intérieur ...par l'intérieur et par l'extérieur comme ça tu vois ça tient mieux*

... tout comme la notion d' « étage » qui porte à confusion.

*E.Bleu1 : à mon avis on doit faire plusieurs étages, parce que si on doit faire un mètre... à mon avis il n'y aura pas que ça*

*E.Bleu2 : on a 5 journals, oh ho ! (ironique)(...)*

*E.Bleu3 : et attends, on fait comme ça encore deux étages (montre le dessin de E.Bleu1)*

*E.Bleu2 : mais c'est quoi ça ?*

*E.Bleu1 : mais p'tain c'est les étages !*

*E.Bleu2 : ok en gros on va couper ça ? moi j'y comprends rien*

*E.Bleu3 : mais non ça c'est une partie du journal*

*E.Bleu1 : mais il nous faut une règle pour être précis mec*

*E.Bleu2 : mais c'est impossible de faire ça avec une plateforme*

*E.Bleu3 : on peut toujours essayer*

*E.Bleu1 : mais si, là tu fais un étage, là tu fais un étage, etc.*

*E.Bleu4 : mais je ne sais même pas ce que c'est une plateforme...*

(...)

Pendant toute l'activité E.Bleu4 se tient à l'écart et se montre sceptique quant à l'activité. A ce stade, il est encore difficile d'interpréter ce refus de participation. Peut-être est-ce la difficulté générale à donner du sens à l'activité proposée. Il semblerait plutôt que la représentation de l'activité même de défi soit en jeu et freine la motivation de l'élève. Plus précisément la perspective d'un échec possible

(caractéristique inhérente au défi), échec peut-être ressenti comme trop probable et/ou l'appréhension d'une dynamique intergroupe.

#### Mise en œuvre (T4, 35 min)

La motivation des uns et le scepticisme des autres semblent perdurer après la première plénière.

*E.Bleu4 : c'est perdu d'avance hein, moi je vous laisse faire*

(...)

*E.Bleu2 : on est perdu...on est perdu avec nous...la communauté va crever !*

(...)

*E.Bleu1 : laisse tomber I., la science c'est pas pour toi !*

*E.Bleu2 : ouais... pour moi non plus*

(...)

*E.Bleu3 : allez hop la plateforme !*

Mais une fois le matériel en main, le groupe va en quelque sorte harmoniser sa représentation du problème ce qui lui permet de collaborer. En effet, E.Bleu2 rejoint le groupe des concepteurs/ constructeurs pour réaliser l'idée retenue par ses camarades, il semble avoir été convaincu (grâce à la vue du matériel ? grâce à la plénière ?) de la nécessité de viser avant tout l'efficacité de la construction papier. E.Bleu4 maintient sa posture de recul face au groupe, mais participe à sa manière à la tâche. Sa position lui permet d'observer et de comparer les productions des groupes "adverses", et notamment de surveiller la quantité de matériel utilisé dans son groupe de manière à ne pas se montrer "perdant" vis-à-vis des autres : « *on est à égalité avec les rouge (...) les blancs c'est les moins économiques (etc.)* ».

Dans l'ensemble, le souci de l'économie de matériel domine dans les gestes et les propos de tous les élèves du groupe et sera considérée tout au long de la phase de construction. Il semble que la prise en compte de cette contrainte soit en finalité très bien gérée par le groupe : elle ne freine pas pour autant la phase de réalisation et permet au groupe de trouver une "solution optimale" (gestion d'un ensemble de paramètres "au mieux") sur la base d'une argumentation et d'une expérimentation avec le matériel.

Dans les faits, une tension s'opère entre le souci d'**économie** et la **stabilité** de la tour. Comment à la fois minimiser la quantité et maximiser la solidité ? C'est dans cette recherche d'optimisation des feuilles de papier que les élèves vont construire plus finement le problème et leur stratégie de fabrication de rouleaux en papier.

*E.Bleu1 : non attends tu en prends deux-là (feuilles) !*

*E.Bleu2 : ben oui avec **une c'est pas trop solide** hein*

(...)

*E.Bleu4 : pourquoi t'as pris autant de journal...**on perd des points** !*

*E.Bleu3 : c'est celui qui (fait une tour qui) **tient et** qui est le plus économique qui gagne...celui qui utilise le moins de truc*

Dans les premières minutes, une colonne centrale est construite selon le mode prévu. Mais le groupe fait une première observation qui engendrera des régulations : « *ah ouais mais le truc c'est que ça fait pas un mètre ! (...) c'est elle qui a dit qu'il fallait faire un mètre* ». La question de la **hauteur** apparaissant comme une contrainte à considérer au plus vite, l'idée qui émerge alors est de rouler deux feuilles l'une en dessus de l'autre de manière à obtenir d'emblée une plus grande longueur de rouleau. Mètre à l'appui, le groupe ajuste la longueur du tube télescopique ainsi fait pour atteindre la hauteur visée.

Le second obstacle apparaît face à la difficulté de faire tenir le rouleau debout (**stabilité**), qui ne tient pas tout seul en équilibre. L'idée de rajouter des points d'appui –sous forme d'autres rouleaux de papier nommés « *pylônes* »– émerge alors. Une grande partie des échanges se portent sur la négociation du nombre de points d'appuis minimal nécessaire pour obtenir la stabilité.

*E.Bleu1 : et là on va faire quoi, 5 pylônes ?*

*E.Bleu2 : mais non t'utilise tous les journals ! Il faut qu'on fasse que avec 2...même 1 !*

*E.Bleu1 : mais avec 1 ça va pas marcher*

*E.Bleu2 : fait avec 2 alors*



Par souci d'économie de matériel, le groupe commence par vérifier si la structure tient avec le rajout d'un seul point d'appui. Mais les élèves constatent que l'équilibre n'est toujours pas obtenu.

*E.Bleu1 : on aurait pas dû mettre comme ça, on aurait dû en faire 4...*

*E.Bleu3 : ouais on fait celle-là, après on fait celle-là et après on fait ça et ça (5 minutes plus tard)*

*E.Bleu2 : mais on va pas en faire 4 sinon ça prend trop de papier*

*E.Bleu3 : tu veux en faire 2 ?*

*E.Bleu2 : ouais deux ça suffit*

*E.Bleu1 : ouais mais deux pylônes comme ça (un de chaque côté) après ça va tomber comme ça (en avant ou en arrière)*

*E.Bleu2 : mais non*

*E.Bleu3 : mais après elle va faire passer des épreuves ... je sais pas, le tremblement de terre...je pense qu'elle va faire trembler un peu la table*

Pendant la réunion générale intermédiaire (T5), les élèves parlent de la difficulté qu'ils rencontrent dans le groupe : ils n'arrivent pas à se mettre d'accord sur le nombre de pieds à construire (2 ou 4). Suite à la réunion, au bout d'un moment l'idée de réaliser trois pieds apparaît comme la meilleure solution. Cette fois, tout le monde consent.

*E.Bleu2 : eh ! autrement on en fait que 3 ! comme ça il peut pas tomber là ! (... ) tu sais comme ça, comme le signe peace and love !*

*E.Bleus : ah ouais !!! (Applaudissements)*

Une fois finalisée, la réalisation de cette dernière idée apparaît comme la confirmation de son efficacité. Une fois la question de la stabilité réglée (la tour tient debout), le groupe reprend en main la question de la hauteur. La mesure de la tour avec le mètre amène le groupe à rajouter un petit segment pour atteindre la hauteur visée, la construction s'étant un peu affaissée. Pendant la mise en commun finale, certains continuent à réfléchir à voix basse sur les façons d'améliorer leur construction, tandis que d'autres se satisfont des résultats et se montrent confiant devant les tests qui les attendent.

*E.Bleu3 : (chuchote) on aurait dû faire un truc en triangle... un bâtiment triangulaire !*

*E.Bleu2 : (chuchote) tant que ça tient, il faut pas chercher de midi à 14h !*

#### **4.3.16 Equipe Blanc Mie**

L'équipe Blanc Mie réunit quatre garçons.

##### Conceptualisation du projet (7 min)

Dès les derniers éléments de la consigne donnés, le groupe commence d'emblée à proposer des idées de tours très précises. Dans l'ensemble c'est E.Blanc1 qui propose ses idées et les autres élèves commentent. Tout le groupe converge dans l'imagination d'un modèle de tour réaliste et toutes les propositions se réfèrent à des monuments existants (Burj Khalifa, Tour Eiffel, Tours jumelles, Space Needle Center, Cathédrale St Pierre). Dans ce cas, il est question de s'*inspirer* du design des tours de référence qui ont fait leurs preuves pour imaginer une nouvelle solution efficace. En fait, la réflexion est portée sur le design de la tour (registre conceptuel) qui semble *naturellement* déterminer la forme que prendra le modèle en papier (registre opérationnel). A ce stade, c'est le critère de **stabilité** qui semble dominer l'argumentation des élèves « *mais ça tient bien* », ainsi que le critère d'**ingéniosité** quant au choix du design de référence.

*E.Blanc1 : moi je sais quoi faire, le Burj Khalifa je sais ce que c'est (...)*

*E.Blancs : (...en cœur) c'est la tour la plus haute du monde !*  
*E.Blanc1 : (...) c'est à Dubaï (...) ça a trois côtés en fait, comme ça ça se rejoint (dessine) en fait c'est une tour elle est hyper haute (...) c'est comme un escalier en fait (...) ça fait le tour et puis ça serre (...) moi je ferais ça, mais je suis pas sûr*  
*E.Blanc2 : oui oui on fait ça !*  
 (...)  
*E.Blanc4 : oh la tour Eiffel !*  
*E.Blanc1 : c'est un peu dur quand même*  
*E.Blanc4 : ouais parce qu'il y a des trous*  
*E.blanc1 : mais ça tient bien, on pourrait le faire*  
 (...)  
*E.Blanc1 : sinon on peut faire euh...un truc qui tient assez bien aussi : le Space Needle*  
*E.Blanc3 : ah sinon les tours jumelles !*  
*E.Blanc1 : ben non (...) ben non c'est des tours droites, carrées*  
*E.Blanc3 : ben alors ?*  
*E.Blanc1 : c'est trop simple !*  
*E.Blanc3 : mais ça tient bien !*

Vers la fin de cette première partie de travail en groupe, il est intéressant de voir comment certains élèves, percevant la contrainte temporelle, commencent à revenir à des contraintes plus pratiques, telle que la hauteur « *mais il faudrait une tour assez grande !* », le type de matériel donné « *euh en papier ça va être dur !* », alors que d'autre continuent à imaginer diverses possibilités au niveau conceptuel et plastique.

*E.Blanc4 : ou sinon on met une bulle autour, si on met une bulle autour ça sera solide ! ... et on met une petite porte pour ouvrir la bulle, imagine !*  
 (rires)  
*E.Blanc2 : mais non parce que c'est en papier (agacé) ! ...les gars, on a plus beaucoup de temps-là, c'est bientôt la réunion générale !*

#### Mise en œuvre (T4, 35 min)

Le groupe commence par observer ce que représente la hauteur d'un mètre au moyen du mètre. Une fois le matériel en mains, le groupe commence à investiguer dans différentes façons de façonner le papier. L'idée de rouler le papier en tube semble s'imposer d'elle-même, difficile de définir si l'inspiration provient des autres groupes ? Chaque élève fait divers essais de rouleaux. Il apparait progressivement que la longueur des feuilles de papier peut influencer sur la hauteur de la tour. Dans ce sens, le groupe investit pour **optimiser** l'utilisation du **matériel** afin de gagner un maximum de **hauteur**...mais la question de la **rigidité** du papier s'imposera elle aussi. Le séquençage suivant montre comment les solutions se co-construisent très progressivement dans le groupe. Un certain temps est avant tout nécessaire pour se familiariser avec le matériel et pour mener les essais, les tâtonnements qui serviront à la concrétisation du projet.

- 16min *E.Blanc4* : (fait un essai de pliage du journal en entier)  
*E.Blanc2* : ***mais tu fais quoi !***  
*E.Blanc4* : ***mais je regarde un truc !***  
*E.Blanc2* : ***mais enlève des feuilles tu vas en gaspiller !***  
*E.Blanc4* : *mais je sais !*  
*E.Blanc1* : *bon les gars...on va faire des rouleaux avec les feuilles*  
*E.Blanc2* : *que des rouleaux ?*  
*E.Blanc1* : *on va en faire 4*  
*E.Blanc2* : ***mais plus !***  
*E.Blanc1* : *mais 6 !*  
*E.Blanc2* : ***mais ça va pas faire un mètre***  
*E.Blanc1* : *ah ouais t'as raison...*
- 17min *E.Blanc4* : « *faut faire quoi des ronds ?* » (fait un premier essai de rouleau en roulant la feuille dépliée dans le sens de la largeur, le rouleau est peu serré et tout froissé) « ***ce papier il est insupportable*** »
- 18min *E.Blanc1* : (initie un essai de rouleau en roulant la feuille dépliée dans le sens de la longueur, roulé serré) « ***faut la plier comme ça tu vois*** » (le rouleau est plus rigide et plus long)
- 19min *E.Blanc1* : (déplie sa feuille et fait un autre essai de rouleau en roulant dans le sens de la longueur une feuille pliée en deux dans le sens de la longueur) « *tu la plies en deux ...c'est beaucoup plus solide puisque t'as deux couches* »
- 20min *E.Blanc2* : *mais les nôtres ils sont toujours plus petits...c'est comme ça ?*  
*E.Blanc1* : ***mais comme ça E. !*** (montre à E. comment rouler la feuille selon sa stratégie jugée la meilleure).
- 21min *E.Blanc2* : (...) *mais c'est toi qui t'es trompé*  
*E.Blanc3* : *mais non ! regarde, déplie...maintenant tu plies ça en deux et là tu enroules*
- 22min *E.Blanc2* : (...) ***c'est bon là j'ai mon sabre samourai !***

Après s'être mis d'accord **sur la base d'une comparaison** entre diverses stratégies de fabrication, 6 rouleaux sont confectionnés selon le même modèle. Plus tard, face à la contrainte de la hauteur toujours en tête, l'idée qui est intégrée ensuite est de doubler la longueur des rouleaux en les emboîtant deux à deux, formant de grands tubes nommés « sabres ». La proposition s'inspire d'un autre groupe de la même classe (groupe Bleu Mie)

*E.Blanc4* : *oh je viens de voir un truc ! vas-y faut faire ça ! (...) prend un (rouleau) qui est bien fait et tu le mets comme ça (emboité bout à bout)*  
*E.Blanc2* : *mais non après tu vas bouger comme ça et après il va tomber*  
*E.Blanc4* : *mais non il va pas bouger*  
*E.Blanc2* : *et de toute façon le but c'est pas de recopier*  
*E.Blanc4* : *ben je recopie pas*

*E.Blanc2 : oh juuuuuste un peu*  
*E.Blanc4 : c'est juste que c'est bien trouvé*

Le groupe accepte finalement la proposition malgré la contre-argumentation d'un des membres. Plus tard, la question de l'agencement des tubes entre eux se pose, et soulève entre autres la question du nombre de points d'appui.

*E.Blanc1 : je pense qu'on va faire un truc au milieu pis après...*  
*E.Blanc3 : mais pourquoi on en collerait pas deux comme ça avec un truc comme ça (...) avec 4 pieds (réunis au sommet)*  
*E.Blanc1 : tu veux faire la tour Eiffel ! (...) bon allez on envoie*  
*E.Blanc2 : mais qu'est-ce qu'on fait alors... la tour Kalifa ou...*  
*E.Blanc1 : non le truc que j'ai dessiné (3 pieds)*



Plusieurs idées sont exprimées mais la force de persuasion de E.Blanc1, bien décidé à suivre son projet initial, pousse le groupe à réaliser une construction relativement efficace au niveau de la solidité générale, de la hauteur et de l'économie de matériel mais manquant un peu de stabilité pendant les tests (trois grands tubes réunis depuis milieu).

#### **4.3.17 Equipe Jaune Mie**

L'équipe jaune est un groupe de trois filles.

##### Conceptualisation du projet (7 min)

Le groupe fonctionne avec une dynamique plutôt consensuelle. Deux idées opérationnelles sont lancées à partir de la même idée de base plate : une s'inspirant de la fabrication d'une boîte en carton (une feuille de papier pour chaque côté, avec des plis en L pour les angles), l'autre vraisemblablement de l'empilement de plots (quatre « colonnes » ou « poteaux » à chaque extrémité de la feuille de papier).

*E.Jaune1 : ben on fait un truc plat*  
*E.Jaune2 : on fait une plateforme*

*E.Jaune1 : ben c'est ce que je viens de dire...et après on prend un feuille de papier journal on la plie un peu et on la colle, tu sais tu fais un petit pli en bas*

*E.Jaune2 : non mais sinon on roule des papiers, on fait des colonnes comme ça*

*E.Jaune3 : ah ouais ! (...) mais il faut que ça tienne (...) mais si ça tombe*

*E.Jaune2 : mais non, on met une plateforme puis après on fait des colonnes*

La considération d'un nouveau paramètre –la question des **catastrophes naturelles**– fait émerger l'idée d'un moyen de régulation : rajouter des parois autour de la structure.

*E.Jaune2 : en fait c'est un peu bête, parce que si c'est anti-avalanche y a tout qui passe à travers*

*E.Jaune1 : mais entre les colonnes on met une feuille de papier*

*(...)*

*E.Jaune2 : ok alors on fait comme ça. Regardez, on fait une plateforme (dessine) on fait un carré en bas, après on met 4 colonnes (dessine) là-dessus on met un truc un peu comme ça...*

*E.Jaune1 : voilà, et pour cacher le trou entre les colonnes on met du papier*

En finalité, la solution qui fait consensus revient en fait à la combinaison deux idées initiales complémentaires (squelette + parois). A cela s'ajoute l'idée de minimiser les coûts (temps et matériel) en prévoyant d'atteindre la hauteur avec une seule colonne en guise d'antenne.

*E.Jaune1 : (...) et pis tout en haut tu mets une seule colonne*

*E.Jaune2 : ...là il y a 4 poteaux, on en met un là un là un là et un dessus, et jusqu'à que ça fasse à peu près 90 cm*

Après avoir reformulé plusieurs fois la solution finale, le groupe semble satisfait « on a trouvé ! ». En attendant la réunion générale, plusieurs réflexions se poursuivent. L'ébauche d'idées alternatives...

*E.Jaune2 : ou bien alors on fait une pyramide (...) on met plein de boules (...) plein de couches (...) ou bien tout bêtement...*

*E.Jaune3 : ou bien tout bêtement t'empiles les journaux et tu fais un mètre (rires) !*

...qui ne sont pas priorisées pour des questions très pratiques de faisabilité et de résistance aux tests de simulation...même si au niveau conceptuel (architecture résistante aux catastrophes naturelles) l'idée semble pertinente : « on fait une pyramide sinon ... ça peut résister aux tempêtes de sables »

*E.Jaune3 : ça va être un peu dur (la pyramide de boules)*

*E.Jaune1 : ça va être galère*

*(...)*

*E.Jaune2 : ouais c'est plus compliqué...mais on essaye quand même si l'autre elle ne marche pas*



(...)

*E.Jaune1 : mais avec un sèche-cheveux ça va être affreux !* (fait référence au test de l'ouragan)

#### Mise en œuvre (T4, 35 min)

Une fois le matériel en main, le groupe commence à mettre en œuvre le projet prévu. Il est intéressant d'observer de près comment le cheminement de recherche du groupe évolue à travers l'activité. On assiste dans ce groupe à de nombreux essais, des retours en arrière, des changements de directions ; parfois des tâtonnements très intuitifs, parfois des essais parfaitement réfléchis et discutés en groupe. Au départ, les filles expérimentent pendant plus de 10 minutes plusieurs façons de façonner les rouleaux qui serviront de « colonnes ». Elles optent pour la stratégie qui favorise plus de rigidité (feuille pliée en deux puis roulée dans le sens de la largeur) au détriment de la hauteur (feuille dépliée roulée).

Les 4 rouleaux réalisés, le groupe tente de mettre en pratique la solution prévue, mais observant la difficulté de faire tenir à la verticale les 4 rouleaux et anticipant la difficulté de rajouter par-dessus un étage supplémentaire, elles finissent par choisir de changer totalement de stratégie au bout de 5 minutes. Elles décident d'expérimenter la solution de la pyramide de boules de papier.

Arrivé au bout du matériel distribué au départ, le groupe décide de prendre un temps de réflexion avant d'en redemander pour aller de l'avant, et anticipe le risque de « gaspiller » du matériel si la solution s'avérait être mauvaise. Au bout de 3 ou 4 minutes, et ayant pris le temps d'observer l'état d'avancement des autres groupes, elles reviennent finalement sur leur première solution et aplanissent les feuilles froissées ayant servi de boules. Retour case départ. Notons que lors de la plénière qui suivra, le groupe justifiera l'abandon de cette stratégie pour cause de manque de temps.

A nouveau, le groupe expérimente plusieurs essais de rouleaux (avec une feuille pliée en 4 (tube court et épais), puis avec une feuille dépliée roulée dans le sens de la longueur), mais revient à la toute première version (quatre rouleaux posés aux extrémités d'une feuille aplanie). Cette fois le groupe va jusqu'au bout de l'idée et finalise la fixation des poteaux avec le scotch. Malgré la faible solidité, le groupe persistera dans la perspective de fixer une feuille au-dessus servant d'étage.



Toutefois, suite à la réunion générale entrecoupant la phase de construction, le groupe abandonne cette stratégie d'étage supplémentaire. Probablement en s'inspirant des autres groupes (le groupe Blanc Mie et le groupe Bleu Mie), le groupe choisi d'augmenter la hauteur de ses colonnes en joignant des rouleaux bouts à bouts. La jointure des segments est peu efficace et se plie, mais le groupe va de l'avant poursuivant l'élaboration de tubes supplémentaires. Un temps de concertation devant les résultats mène le groupe à transformer encore une fois la construction. Les segments sont déliés et agencé d'une nouvelle manière (forme de pyramide).



A ce stade la construction ne mesure pas un mètre (env. 30 cm) mais elle forme cette fois une base stable. Quelques minutes avant la fin le groupe tente de remédier au problème de la hauteur en ajoutant rapidement un segment (long rouleaux tout froissé)... qui déstabilise toutefois l'ensemble de la construction. La tour ne tient pas debout, mais la hauteur est toutefois atteinte (1 mètre et 4 centimètres).

#### 4.3.18 Equipe Vert Mie

L'équipe Vert Mie regroupe quatre filles.

##### Conceptualisation du projet (7 min)

Dans l'ensemble, la dynamique est plutôt consensuelle et constructive malgré la faible participation d'un des membres du groupe qui exprime peu d'enjouement pour l'activité.

Dès la première minute de concertation, le groupe semble d'accord sur une piste de solution et attendent le papier brouillon pour en dessiner le modèle. Il s'agit d'une idée d'empilement des segments inspirée probablement de construction de maisons traditionnelles (murs de briques) et de jeu de construction (*lego* ou plots en bois).

*E.Vert1 : en fait moi je pensais mettre un papier ici et après on scotch un autre avec le scotch...*

*E.Vert2 : **on fait des sortes de briques***

*E.Vert1 : ouais voilà des briques, et après on remet du papier sur les côtés*

*E.Vert2 : ouais **pour que ça tienne bien***

*E.Vert3 : mais ça serait mieux que ça soit droit... que penché, non ?*

*E.Verts : ouais (...) nous on a une très bonne idée !*

Les idées de solutions que les filles élaborent sont d'abord plus portées sur des stratégies de construction que sur un design général, et peu de références sont faites à propos des éléments plus conceptuels de la situation problème (catastrophes naturelles, design d'une tour habitable, situation future). En effet, l'objet de discussion et de négociation se porte sur le fait de trouver des moyens de construire quelque chose « *qui tienne bien* ». S'ajoutant au problème général de la **solidité** de la tour, la contrainte de la **hauteur** est énoncée « *c'est pas quand même un peu exagéré un mètre ?* ».

Le fait de représenter leurs idées sur papier leur permet de s'assurer de la compréhension mutuelle, et poussent les élèves à préciser leurs propositions. On observe ainsi comment la solution se construit progressivement à travers une argumentation. Dans cette dynamique consensuelle, l'argumentation sert davantage à appuyer et à justifier les propositions plutôt qu'à les confronter.

*E.Vert3 : alors Jennifer fait le dessin*

*E.Vert1 : alors en truc le fait c'est que tu mets un papier journal en bas, et par-dessus en fait...*

*E.Vert3 : ça va tenir tu crois ?*

*E.Vert1 : ben oui ! tu mets les briques et tu montes tu montes (...) et après tu plies (...) ça c'est le papier, on en remet en autre (...) et après il y aura des trous dans les côtés, alors ce que je propose c'est de **mettre un papier autour pour cacher les trous et pour que ça tienne mieux** (...) ça va tenir.*

*E.Vert2 : oui voilà c'est ce que je pensais (...) et tout en bas on met un papier pour que ça tienne, **on fait une plateforme**, un papier sur lequel on colle...**comme ça, ça tient bien comme si c'était une table***

L'effort de modélisation sous forme de schéma sollicite ici les élèves à utiliser une analogie (la « table »)... qui semble leur inspirer une nouvelle piste de solution quant au façonnage du papier (les « briques » se transforment en « poteaux » rappelant les quatre pieds d'une table, puis en « poutres »).

*E.Vert1 : voilà aussi il y a un autre truc qu'on pourrait faire... regarde sinon j'ai une autre idée... en fait **on fait 4 poteaux avec le papier, on prend l'exemple du crayon, on enroule** (autour du) le crayon, on met le scotch autour, **et ça fait une brique, donc ça fait un poteau, un poteau, un poteau, etc.***

*E.Vert2 : ouais justement on fait un petit poteau et on colle au papier et après ça tient (...) en fait tu fais un poteau là, un poteau là, et un poteau derrière*

*(...) et en bas il y a la grande feuille qui va tout tenir, et après dessus tu fais comme ça comme ça (...) et au final ça fait un truc de 1 mètre !*

Soudainement un nouvel élément semble retenir l'attention de E.Vert1 qui remet en question l'utilité d'un des segments (la feuille servant de « base ») et sollicite l'imagination de moyens d'économie (éliminer ou réduire la surface de la feuille). Une confrontation au sein du groupe s'opère alors entre le souci d'**économiser** du papier (quantité, taille de la feuille), le souci d'assurer de la **solidité** (support pour fixer les poteaux) et le souci d'atteindre une certaine **hauteur** (soit disant « volume »). Le fait de porter attention sur des éléments différents crée de l'incompréhension dans le groupe... et de ce fait favorise l'argumentation des élèves.

*E.Vert1 : mais imagine que ça c'est un papier journal et qu'on met les poutres dessus... **si on fait comme ça le papier d'en bas, il sert à rien***

*E.Vert2 : **ben si à coller le truc !***

*E.Vert1 : ouais **mais alors ce qu'on fait c'est qu'on plie (en deux) ce papier-là, et on met les poutres, on scotche les poutres en bas...***

*E.Vert3 : ouh là là **mais je vois pas le changement si tu coupes (en deux)... parce que même si tu le mets comme ça ça tiendra, mais si tu le plies ça change rien !***

*E.Vert1 : **mais si tu plies après il y a plus de volume !***

On peut toutefois remarquer qu'à ce stade, la perception du problème et la distinction entre les différents paramètres est encore assez floue et intuitive. Une idée qui transparait dans la négociation est qu'en rétrécissant la largeur de la base on augmente de ce fait la hauteur de la tour. Une autre idée que l'on peut déchiffrer est que si l'on construit avec des segments plus petits (base et colonnes) cela favorise la solidité de la tour.

Après cela, les filles reformulent plusieurs fois leur projet pendant quelques minutes, intégrant les idées de chacune. Une fois fixée sur leur plan de construction, le groupe semble se sentir tiré d'affaire et échange des propos hors sujet en attendant la réunion générale.

#### Mise en œuvre (T4, 35 min)

Une fois le matériel disponible, le groupe se lance dans la réalisation de leur projet.

Au niveau de la hiérarchisation des contraintes, le mode de façonnage du papier choisi (confectionner de petits rouleaux) vise avant tout d'augmenter la rigidité du matériau...permettant elle-même d'assurer la stabilité, et laissant en suspens les problèmes de la restriction de temps et de la hauteur pourtant aussi identifiés.

*E.Vert1 : **ça va prendre trop de temps de faire des petits***

*(...pendant le façonnage)*

*E.Vert3 : **ouais c'est vrai ça prend du temps... ils sont trop petits***

*E.Vert1 : en même temps quand c'est trop grand c'est moins stable*

Une fois réalisés quatre petits rouleaux bien rigides (avec  $\frac{1}{4}$  de feuille), ceux-ci sont fixés aux extrémités d'une demi feuille de papier. Au bout de 15 minutes, le groupe se concerta alors devant les constats : la stratégie apparaît couteuse en temps ce qui rend l'objectif de la hauteur difficile à atteindre

*E.Vert2 : on perd trop de temps là on perd trop de temps comme ça !*

*E.Vert1 : on fait petit pis après on fait plus grand sinon on va pas s'en sortir !*

Face à ces prévisions, E.Jaune2 propose l'idée –sans doute inspirée des groupes environnants– d'augmenter la hauteur en joignant bouts à bouts plusieurs tubes. Reste à se mettre d'accord sur la stratégie pour façonner les tubes supplémentaires.

*E.Vert2 : (s'adresse à E.Vert3) mais ça reviendra au même qu'ici !... c'est si tu commences comme ça (prendre la feuille dans le sens de la longueur) que*

...

*E.Vert1 : (s'adresse à E.Vert3) mais c'est pas en faisant n'importe quoi que t'arriveras à faire la taille*

*E.Vert3 : mais ça va être gigantesque !*

*E.Vert1 : ben il faut que ça fasse un mètre*



Après négociation, le groupe opte pour une façon d'optimiser la hauteur des segments (feuille entière roulée dans le sens de la longueur).

Mais dès les premières tentatives de mise en œuvre, le groupe se retrouve face au problème de la solidité : « *ils se plient les trucs (grands rouleaux)... ça se plie, il faut tenir tout droit !* ». Pour y remédier, l'utilisation du scotch représente la stratégie majeure pour fixer et augmenter la solidité de la tour (par exemple, rajout de scotch à la base des tubes déjà fixés dans la tentative d'augmenter la stabilité, rajout de scotch là où le papier se plie). Mais l'utilisation du scotch fait aussi l'objet de confrontation dans le groupe, du fait des contraintes restrictives. Pour ces raisons, la majeure partie des échanges se portent sur la gestion de cet élément :

*E.Vert1 : mais tu vas pas mettre tout ce scotch (...)*

*E.Vert3 : moi je mets du scotch comme ça*

*E.Vert2 : mais non !*

*E.Vert1 : tu gaspilles trop de scotch*

*E.Vert3 : mais tu sais on peut en reprendre*

*E.Vert1 : et alors ! il colle encore ce scotch*  
*E.Vert3 : tu sais il y en a encore*  
*E.Vert1 : mais c'est pas une raison pour pas le faire bien*  
*E.Vert2 : ouais il faut être écologique*

De plus, l'économie de scotch est perçue comme une stratégie de distinction/valorisation du projet :

*E.Vert1 : on est les plus économes !*  
*E.Vert4 : on est les seuls !*  
*E.Vert2 : ils disent qu'on va jamais réussir*  
*E.Vert1 : nous on prend des petits bouts*  
*E.Vert2 : nous on fait de l'économie !*  
*E.Vert1 : ouais on va vraiment être les plus économes*  
*E.Vert2 : j'aimerais trop qu'on gagne !*  
*E.Vert1 : regarde notre trophée de la victoire !*  
*E.Vert3 : ouais bon y a pas de gagnant alors (rires)*  
*E.Vert1 : oui mais ça c'est pour notre planète je vous rappelle (rires)*

Après la réunion générale, le groupe revient avec une nouvelle idée de montage avec les premiers rouleaux (similaire au groupe Jaune Mie, voir photos), c'est-à-dire faire rejoindre les extrémités pour former une base plus stable, afin d'y ajouter ensuite les grands rouleaux supplémentaires. A la fin, la tour dépasse les 1 mètre, tient juste debout: « ça penche ça fait la tour de pise ! (...) touche plus (...) mais avant ça tenait (...) c'est ici que c'est pas stable »... mais ne résiste pas au tests vu son manque de tenue au niveau des jonctions.



\* \* \*

Avant de présenter notre synthèse et notre conclusion concernant les temps de travail en petits groupes, nous souhaitons apporter quelques observations relatives au temps de l'activité qui se déroule en plénière, en se concentrant sur la phase de tests et d'analyse des résultats venant clôturer le défi. Ceci, de manière à mettre en lumière

comment l'élaboration du problème continue à s'effectuer jusqu'à la fin, et en partie grâce aux interventions de l'enseignant.

#### 4.3.19 Phase tests et analyse des résultats en plénière

Cette partie permet de montrer comment la phase tests en plénière (T7) participe à la construction du problème de la part des élèves. Comme mentionné, le passage de tests est suivi d'une analyse des résultats. Rappelons qu'à la fin de la séquence, la plupart des tours répondent aux critères exigés du défi : une majeure partie tient debout, mesure un mètre et résiste plutôt bien aux tests. A cette étape de l'activité, on demande aux élèves de déterminer quels sont les points forts et les points faibles de leur construction et de celles des autres. Il s'agit de relever les faiblesses de toutes les tours, de manière à ne pas stigmatiser les groupes qui ne seraient pas parvenus à relever le défi, le travail en plénière étant une opportunité de mettre les élèves au même plan.

De plus, l'analyse fine des résultats en plénière permet de dépasser la conception généralement partagée par les élèves selon laquelle le passage de tests suffit à valider l'efficacité du dispositif : *si un dispositif marche, sous-entendu surpasse les tests, c'est qu'il est bon, et s'il ne marche pas, c'est qu'il est mauvais.*

En effet, c'est une manière de poursuivre le questionnement, et de confronter les diverses interprétations des résultats. Chaque groupe étant empreint de représentations encore différentes et plus ou moins valable du point de vue scientifique, il s'agit de continuer à les faire émerger et à les confronter au réel et à l'argumentation des tiers. Ainsi, devant le constat des limites des résultats les groupes participent à définir plus précisément *ce qui pose problème* et à imaginer des pistes d'amélioration possibles de chacune des constructions de la classe.

Il a été choisi ici de faire part de pans entiers de verbatim de manière à mettre en lumière la progression du processus d'élaboration du problème au fur et à mesure des tests et des réflexions construites en commun.

Dans l'exemple suivant, les tests permettent de faire émerger de nouveaux problèmes : le problème de la prise au vent, et de préciser le problème de la disposition des points d'appuis de la construction.

(T7, classe Mie) *D : Alors attention, l'ouragan force 2 je crois qu'il y a 1 côté qui ne le supporte pas (observe la tour de plus près) Ouais le côté ici est moins...*

*E.Bleu1 : c'est normal parce que il y a le journal qui se lève de ce côté (montre la base réalisée d'une feuille de papier aplanie)*

*E.Rouge1 : non c'est pas ça c'est que c'est moins haut*

*E.Rouge2 : ouais*

*D : ah, alors ça on va voir... on va ressayer juste pour voir qui a raison (dirige le sèche-cheveux sur la base de la tour)*

*E.Bleu1 : vous voyez il y a le journal qui se lève*  
*D : alors c'est de ce côté et de ce côté que ça se passe... Qui est-ce qui a une idée, qui pourrait dire... déjà le groupe concerné (groupe Rouge) oui, vas-y*  
*E.Rouge1 : parce que là normalement ça devrait être comme ça, et là ça tient comme ça (montre les tubes latéraux)*  
*D : toi tu penses que ça devrait être plus... plus quoi ?*  
*E.?3 : ça, je me disais que ça devrait être plus long (montre un des tubes servant de contrefort)*  
*D : plus long. Un peu petit peu plus long celui-là. Une autre idée qui puisse faire que dans le test ouragan force 2 il soit plus résistant ?*  
*E.?4 : les poutres, il faut qu'elles soient toutes à la même hauteur*  
*D : alors regardez là, il y a des poutres à différentes hauteurs, ici, ici et là tu dis elle est trop basse ?*  
*E.?4 : ouais*  
*D : donc elle trop courte, toi tu disais elle est trop courte. Il y a encore autre chose, hein. Moi à mon avis. Qu'est-ce que cette poutre a de différent par rapport aux autres ? Oui ?*  
*E.Rouge1 : non mais c'est pas ça mais (inaudible)*  
*D : alors peut-être que la structure elle est pas pareille partout, oui, regardez, si on la tourne, elle est plus mince de certains côtés que d'autres elle est plus large. Est-ce que par hasard, c'est serait parce que quand est plus large, il y a plus de prises au vent et le vent peut bien plus appuyer, ça c'est possible, ça c'est d'autres choses à réfléchir... Alors qu'est ce qui pourrait être fait en conséquence ?*  
*E.Bleu1 : ben le faire plus gros*  
*D : plus gros ? Mais tu crois pas qu'on risque d'augmenter encore la prise au vent... si on augmente la surface où le vent il peut appuyer dessus... faudrait voir, à mon avis ça augmenterait la prise au vent. Mais regarder celui-là, la différence avec celui-là et celui-là*  
*E.Bleu2 : un il est plus épais en bas*  
*D : alors il est plus court, il est plus bas mais regarder... l'angle... (montre du doigt une partie de la construction) ... Oui ?*  
*E.?5 : celui-là il est plus écarté que celui-là*  
*D : exactement, celui-là il est bien plus écarté du centre que celui-là. Celui-là il est très rapproché du centre.*

L'analyse en détail des résultats des constructions permet ainsi de préciser la corrélation entre la stabilité de la tour et sa base (points d'appui). Si le nombre de points d'appui était considéré jusqu'alors, les élèves vont commencer par identifier la question de la *hauteur* des points d'appui (à quelle hauteur ils se fixent sur la partie centrale), elle-même dépendante de leur *longueur* (longueur des tubes de papier). Ensuite, ils identifient la question de la surface de prise au vent (la largeur des tubes) indépendante de la question de l'équilibre général de la construction, mais intrinsèquement liée au problème de la stabilité puisque déterminant pour la question de la prise au vent. Enfin, c'est la question de la distance du point d'appui par rapport au centre (à quelle distance ils se fixent sur la partie centrale) qui est identifiée, ce qui permettra d'aborder la question de l'*angle* des points d'appui.



Pour aider les élèves à se faire une représentation encore plus complète et précise du problème, une analogie est proposée par la démonstration d'un petit test d'équilibre corporel illustrant les effets d'une variation dans la disposition des points d'appuis au sol (jambes, pieds) : une fois rapprochée une autre plus éloignée.

(T7, classe Mie) *D : Alors effectivement regardez, quand on se met debout (les deux jambes parallèles)... toi ! Viens voir... pousse moi (l'élève pousse Delphine faiblement) Vas-y ! Fort ! Essaie de me faire tomber (Delphine perd l'équilibre). Voilà, maintenant vas-y, j'écarte mieux mes « poutres », vas-y ! (cette fois Delphine maintient son équilibre)*

*Es : Aha ! Eh ! (Exclamations des élèves)*

*D : (revient vers la tour analysée) je pense que c'est ça qu'il faudrait revoir... refaire effectivement un pilier la même hauteur mais surtout penser à l'angle, à agrandir la base, alors. On va revenir sur cette idée après mais on va surtout noter : on a découvert la prise au vent, donc attention au diamètre, pas trop large et la 2<sup>ème</sup> chose c'est vous aviez appelé ça des... pas des protections des...*

*E : renforts*

*D : renforts (...) dans l'idée qu'ils sont ...*

*E : (inaudible)*

*D : voilà ils sont écartés, donc les renforts, il faut qu'ils soient...qu'est-ce qu'on avait dit, attention à l'angle, et puis... Qu'est-ce qu'on fait en fait quand on agrandit l'angle, quand on sépare les piliers, on fait quoi en fait ?*

*E : on renforce encore plus*

*D : on renforce parce qu'on agrandit la base. La base, ce qui touche le sol, est plus large, on élargit la base par rapport à ce qu'on a en haut, ok ? Donc on agrandit la base pour renforcer, oui (...)*

La démonstration permet d'observer comment l'angle des points d'appui influe sur la stabilité, et plus largement de souligner la pertinence d'une *base large*, impliquant aussi la question de la répartition du *volume* de la construction.

Un test corporel supplémentaire vise à prolonger le questionnement. Il permet aux élèves d'identifier encore une autre composante du problème, elle aussi liée à la question de la répartition des points d'appui au sol. Il s'agit de la disposition des points d'appuis les uns par rapport aux autres, ce qui est indépendant des variables identifiées plus haut (longueur, épaisseur des tubes, angle de fixation).

(T7, classe Mie, devant la construction d'un autre groupe un peu plus tard) *D : alors toi qu'est-ce que tu suggères, c'est de bouger celui-là et de le mettre... ?*

*E : un petit peu plus écarté*

*D : oui c'est intéressant... parce que dans ce sens-là il y a aucun souci, même avec la main (évalue la résistance avec la main) on arrive difficilement à la faire tomber, par contre dans ce sens-là effectivement il en manque un bout, nettement. Et là dans l'autre sens aussi (...) je pense c'est encore différent, hein, ce qu'il a dit, c'est que c'est pas ni la hauteur ni l'angle, parce que c'est le même ici que ici, c'est l'endroit où on pose le pied. Donc par exemple, bon moi je n'ai pas trois pieds, c'est ça le problème, mais imaginons, euh... on*

*pourrait faire ça comme ça... voilà* (Delphine pose cette fois une main au sol en guise d'appui, mais la maintient proche des deux pieds)

*E : je peux le faire moi ?*

*D : vas-y, vas-y, vas-y, essaye de me faire tomber de côté*

*E euh comme ça ?*

*D : oui oui... (l'élève pousse Delphine) Non non vas-y, hein, plus fort ! (Delphine perd l'équilibre) ok. Maintenant si mes piliers, ils ont le même angle, hein, identique, mais cette fois-ci je fais attention à là où je les pose sur le sol (Delphine éloigne sa main des pieds de manière à répartir ses points d'appui de manière équilatérale) vas-y essaye ! (Delphine résiste plus longtemps) Voilà bon... ça sera à tester maintenant avec vos tours...*

Le prétexte du test de simulation du vent (ouragan) est particulièrement utile pour mettre en évidence les effets de l'impact de l'air sur la maquette expérimentale et plus précisément les variations suivant la direction dans laquelle est propulsé l'air.

(T7, un peu plus tard, lors des tests de la tour d'un autre groupe)

(Delphine enclenche le sèche-cheveux force 1)

*E1 : le 1 ça tient !*

(Delphine enclenche le sèche-cheveux force 1)

*E1 : le 2 ça tient !*

*E2 : ouais c'est de la bombe*

*D : alors, elle ne bronche pas !*

*Es : ouais !*

*D : attendez ! Attendez ! (tourne autour de la tour et vient projeter de l'air aux endroits susceptibles de déstabiliser la construction ; la construction finit par basculer)*

(Applaudissements général)

*D : ...donc elle, elle a aussi ses petites faiblesses suivant dans quelle direction arrive le vent, donc effectivement on pourrait voir sur quelles régions arrive le vent, plutôt sud-est, bon d'accord, mais si on veut l'adapter à toutes sortes de vent, qu'est-ce qu'il vous faut en plus ?*

*E2 : encore 2, une poutre ici et une poutre ici*

*D : ou alors si vous garder l'idée des trois pieds ...trois je pense que ça peut suffire, qu'est-ce qu'il faudrait faire par rapport à ce qu'on a dit ?*

*E3 : (inaudible)*

*D : agrandir la base... peut-être, hein, forcer l'angle (disposition plus élargie des points d'appui) ce qui fait que peut-être rien qu'avec trois pieds ça peut tenir : moi je pense que ça, ça pourrait le faire, il faudrait le tester... (...)*

#### 4.4 Synthèse et conclusion P2

L'analyse respective des différents équipes de travail, examinés séparément du début à la fin de l'activité, a ainsi permis d'examiner à *la loupe* la façon dont les pistes de solution émergeaient dans les groupes, se construisaient et évoluaient au cours de la séquence.

De plus, l'analyse des groupes, contribue d'une part à mettre en lumière les particularités de chaque équipe, leur logique propre, leur *originalité*, d'autre part, elle fait ressortir les similitudes, les régularités entre les différents groupes, notamment une certaine logique commune à l'ensemble des équipes.

L'analyse nous permet ainsi de répondre à nos 3 questions de recherche générales, abordant trois dimensions (subjectif, évolutif, contextuel) :

1. *Quels sont les cheminements de recherche des différentes équipes ? Quelles solutions s'élaborent au cœur du groupe en réponse au défi ?*
2. *L'élaboration du problème évolue-t-elle pendant les moments de travail en groupe ? Les solutions imaginées subissent-elles des transformations lors du passage à leur mise en œuvre ?*
3. *Comment l'élaboration évolue-t-elle à travers les interactions avec le matériel et les interactions entre les membres de l'équipe ?*

Comme les questions s'entrecroisent, il semble plus adéquat de présenter les éléments de réponses de manière globale.

Tout d'abord, cette analyse a permis de faire ressortir la diversité des cheminements de recherche et des propositions imaginées par les élèves pour tenter de relever le défi, jusqu'aux moyens mis en œuvre pour y parvenir. L'observation de cette diversité vient attester que le défi, tel qu'il a été proposé dans son ensemble et plus spécifiquement la forme de l'énoncé, a bien favorisé l'émergence d'une multiplicité de réponses chez les élèves. L'analyse des propositions des différentes équipes révèle non seulement l'originalité de certaines idées, mais aussi des grandes catégories de solutions. Une synthèse des différentes propositions est présentée dans le chapitre 4.8 (*Analyse P3 : le contenu de l'activité de problématisation*).

Ensuite, il est intéressant d'identifier si les pistes de solutions sont menées généralement à bout ou si elles sont abandonnées.

Dans l'ensemble, les propositions des élèves sont déjà au stade opérationnel à la fin de la première phase de travail en groupe (T2<sup>117</sup>), et les groupes mettent en œuvre une solution sur la base de leur projet initial, monnayant quelques transformations ou régulations.

Seulement 1 groupe sur les 18 analysés (équipe Jaune Mac) en reste à une proposition sur un registre purement conceptuel sans avoir encore imaginé des stratégies concrètes pour construire leur tour avant le début du T4. Comme mentionné en amont, ce groupe fait exclusivement référence aux éléments de la *mise en situation* de défi, et ceci malgré les confrontations existantes dans le groupe au sujet de questions très pratiques quant à l'usage du matériel et des contraintes données (voir point 4.8.1 : *Phase de conceptualisation des projets*). Une fois le matériel en main, le groupe se voit naturellement contraint de changer radicalement de registre afin d'imaginer une solution qui lui donne une chance de relever le défi ; une rupture nette s'opère ainsi.

Une rupture similaire se passe dans un autre groupe (équipe Blanc Seb) : l'obstacle majeur qu'il rencontre est la difficulté à collaborer<sup>118</sup>. La tension qui s'exerce se porte uniquement sur un registre social et envahit une bonne partie du temps prévu pour la mise en œuvre du projet consenti (péniblement) au T2. Dans ces conditions, les obstacles empiriques que le groupe rencontre ont peu d'impact sur le questionnement des élèves, car ils sont considérés comme les conséquences de la mésentente plus que comme l'expression des limites du projet. Une scission s'opère finalement au sein du groupe et un nouveau projet, très différent du premier émerge. Dans un troisième groupe (équipe Jaune Mie, dans lequel le cheminement est particulièrement sinueux), deux solutions sont retenues à la fin de la phase de conception, le groupe s'octroyant la possibilité de *voir* laquelle fonctionne le mieux. Le groupe en question commence par mettre en œuvre une première idée mais, se confrontant à un obstacle majeur (manque de stabilité de la construction), il l'abandonne provisoirement pour l'autre idée, avant d'y revenir un peu plus se trouvant confronté à d'autres types d'obstacles (stratégie visiblement trop couteuse en temps et en matériel). Plusieurs aller-retour entre les deux alternatives se fait avant qu'une nouvelle solution vienne améliorer /transformer la première. Notons que ces aller-retour représentent bien plus que des indécisions : ils témoignent, contrairement à la plupart des groupes, de la volonté d'évaluer *en cours de route* l'efficacité des solutions. Cela donne recours à de nombreux moments de concertation et de remise en question, plutôt que de foncer tête baissée jusqu'à la fin, sans remise en doute d'aucun aspect du projet.

Mis à part ces trois cas, tous les groupes entrent dans la phase de mise en œuvre dans l'attente de *simplement* mettre en formes le projet prévu. Tous y parviennent sans devoir changer radicalement de direction. Si l'on regarde rétrospectivement les

---

<sup>117</sup> Pour rappel, T2 : phase de conception des projets ; investigations sans matériel. T4 : 1<sup>ère</sup> phase de mise en œuvre des projets ; investigations avec matériel. T6 : 2<sup>ème</sup> phase de mise en route des projets.

<sup>118</sup> La dynamique des interactions est même très pénible dans ce groupe, voir point 4.3.13, chapitre *Analyse P2 : cheminements de recherche des groupes*.

cheminements de la majorité des groupes du point de vue des productions finales, on peut avoir l'impression qu'ils progressent de manière linéaire. En réalité, ils progressent dans une succession de multiples micro régulations du dispositif en cours de route, qui permet aux groupes de maintenir leur projet et de le réaliser au plus près de ce qui était prévu au départ, malgré les obstacles empiriques rencontrés.

Du point de vue des interactions sociales, il n'en est pas toujours ainsi. En effet, si l'on se base non pas sur les productions matérielles (visibles) mais sur les productions langagières (audibles) on constate que dans tous les groupes les confrontations continuent à rythmer le cheminement de recherche. Des divergences apparaissent cette fois moins au niveau de la représentation des enjeux du défi –tel qu'il était constaté au T2– face au décalage entre les deux registres différents du défi (symbolique vs matériel). Au T4, les divergences majeures observables se portent au niveau de la *hiérarchisation* des contraintes matérielles (un mètre de hauteur, économie de matériel, résistance aux tests, etc.). En effet, des tensions, fertiles, s'opèrent au sein du groupe dans la différence de priorité donnée à l'une ou l'autre des contraintes matérielles à gérer pour relever le défi. Dans ce sens, la confrontation concrète aux contraintes de la tâche font partie des obstacles que les élèves rencontrent, tous comme les confrontations des divergences au sein des groupes.

Quelques éléments de synthèse spécifiques aux deux phases distinctes de l'activité (phase de conceptualisation vs phase de réalisation des solutions), peuvent maintenant être mis en lumière.

#### **4.4.1 L'élaboration du problème au cours de la phase 1 (conceptualisation des projets)**

Pour commencer, il est intéressant de remarquer qu'en comparant les cheminements des différentes équipes, une logique de recherche similaire, présente chez tous les groupes, se profile.

Les démarches de travail des équipes varient beaucoup de l'une à l'autre. Par exemple, certains groupes ont pris dans l'ensemble plus de temps que d'autres pour discuter et pour organiser leur travail. Néanmoins, dans tous les groupes un démarrage similaire du travail en groupe a été observé.

Un élément général caractéristique est le fait que la majorité des élèves commencent d'emblée par exposer leurs différentes idées. Pour chacun, il semble bien clair que l'objectif général de la tâche est d'imaginer des solutions pour relever le défi. De plus, il semble aussi clair pour tous que les membres de chaque groupe devront se mettre d'accord pour élaborer une solution commune. Par contre, l'idée de prendre le temps pour parler du problème, à un moment ou à un autre, indépendamment de la solution ou avant sa mise à l'épreuve concrète, ne fait apparemment pas partie des priorités des élèves. Néanmoins, les résultats montrent que toutes les équipes s'investissent dans un véritable questionnement et ceci à toutes les étapes de l'activité.

De plus, l'analyse révèle que chaque élève n'entrerait pas dans l'activité avec exactement la même compréhension du problème. Cela transparait en partie à travers la diversité des propositions et les divergences de points de vue quant à leur pertinence. En effet, à partir des mêmes consignes de départ, les élèves se construiraient une représentation différente de la situation et des stratégies à mettre en œuvre pour la résoudre. C'est sur cette base de représentations que se dessineraient alors des pistes de solutions.

De plus, il apparaît clairement que la divergence de propositions et de représentations implique des confrontations au cœur des équipes, nécessaires pour parvenir à se comprendre et à se mettre d'accord. Ces confrontations soulèvent des questions qui mettent le doigt sur des facettes du problème non identifiées jusqu'à lors. La situation présentée aux élèves fait donc non seulement émerger des *réponses* différentes, mais déclenche également de nouvelles *questions*.

#### 4.4.2 L'élaboration du problème au cours de la phase 2 (mise en œuvre des projets)

Dans l'ensemble, les élèves explorent une multiplicité de possibilités grâce au matériel d'investigation/de construction donné. Il semblerait que les élèves ne perçoivent généralement pas le matériel comme un *moyen d'investigation*, qui leur servirait à tester et à évaluer leurs hypothèses ou l'efficacité de leurs solutions. Ils le percevraient simplement comme un *moyen de réalisation* de leurs projets. Or, les interactions avec le matériel impliquent de nombreuses confrontations, directes, tangibles, avec le problème.

En effet, il apparaît clairement que les élèves rencontrent de nombreux obstacles expérimentaux. Ceux-ci sont très souvent liés aux propriétés du matériel d'investigation lui-même (le papier journal). De manière à pouvoir réaliser leur tour, les élèves se voient contraints de s'adapter au matériel. Plusieurs démarches peuvent être repérées dans les différentes équipes. Dans de rares cas, les élèves abandonnent carrément leur piste et changent de direction. Mais le plus généralement, les élèves mettent en œuvre des régulations de manière à surpasser l'obstacle, tels des palliatifs. Dans ce cas, il semble que ceux-ci ne cherchent pas forcément à comprendre *d'où vient* le problème. Les régulations mises en œuvre agissent pourtant bien en *réponse* au problème constaté, éprouvé ; le choix de la solution palliative (sa forme, sa fonction) en serait alors nécessairement "inspirée". Même si l'analyse explicite du problème est absente, l'"intuition" ressentie du problème, révélée par l'obstacle, suffirait.

Pour conclure, il semblerait que les élèves "découvrent" le problème, particulièrement à travers ses diverses sources de *résistance*, qu'elles soient sociales, cognitives ou matérielles. C'est à travers un enchaînement incessant d'interactions et de

confrontations que les élèves feraient progresser l'élaboration de leur solution, et du même coup, du problème.

De manière à approfondir ces éléments de réponses à notre questionnaire, nous proposons de les développer maintenant dans des points respectifs. D'une part, les observations liées à l'élaboration du problème à travers les interactions entre pairs, d'autre part, les observations liées à l'élaboration du problème à travers les interactions avec le "réel".

#### **4.5 Les interactions sociales comme facteur d'avancement de l'élaboration du problème**

Les résultats montrent des divergences quant à la manière d'identifier, de percevoir, de mettre en lien, d'intégrer, de prioriser et d'anticiper les différents *problèmes* lors du T2 (phase de conception du projet, sans matériel).

Tout d'abord, le décorticage des propos des élèves révèle que les données et les contraintes fournies dans l'énoncé du défi au T1 vont représenter des matériaux d'élaboration du problème. Par exemple, en représentant des critères de justification ou de contestation des propositions lors du travail en groupe. Soit, par la prise en compte de l'un ou l'autre critère qu'il a su prendre en compte, l'"élève proposant" vient justifier la pertinence de sa proposition. Soit au contraire, "l'élève contestant" vient relever son manque de pertinence à cause de la "négligence" d'un autre élément du problème.

Afin de mettre en lumière ce jeu de propositions/validation/réfutation qui s'opère dans les interactions au sein du groupe, nous proposons de reprendre la question de recherche *comment l'activité d'élaboration évolue-t-elle à travers les interactions entre les membres de l'équipe ?*, et de la décliner en plusieurs sous-questions détaillées, afin d'apporter des éléments de réponse plus précis.

*Quelles dynamiques des échanges s'opèrent au sein des équipes ? Les confrontations dans le groupe permettent-elles aux élèves de faire avancer le problème et l'élaboration de solution ? Les confrontations permettent-elles de faire évoluer les propositions brutes vers des propositions argumentées ? Quelles formes les différents éléments du problème prennent-ils à travers le questionnaire des élèves, autrement dit, comment les éléments du problème sont mis en jeu à travers les interactions verbales ?*

##### **4.5.1 La dynamique du travail d'équipe**

Les dynamiques des échanges dans les groupes sont très variables mais comportent en commun de témoigner une grande participation des élèves dans l'activité. La

dynamique d'un groupe fluctue beaucoup du début à la fin. Il passe par des moments de grande intensité dans la construction collective du problème et de la solution.

Le plus souvent ce sont les 5 à 10 premières minutes du travail en groupe (T2) où l'émulation est la plus forte. En effet, les élèves sont pris par l'excitation du défi et le plaisir de pouvoir imaginer toutes sortes d'idées possibles pour le relever. Ensuite une forte intensité se fait particulièrement ressentir lors des 5 à 10 premières minutes de construction des tours (T4). En effet, les élèves sont particulièrement impatients de pouvoir voir leur projet prendre formes afin de pouvoir confirmer l'ingéniosité, l'efficacité de leurs idées. De plus, l'arrivée du matériel confronte les élèves à des contraintes qu'ils n'avaient pas forcément considérées jusque-là, ce qui provoque de nouveaux échanges souvent constructifs. Enfin, la tension est à son comble (mélange d'excitation et de stress de devoir finir à temps) lors des 5 à 10 dernières minutes avant la fin annoncée, juste avant les tests (T6).

Il est toutefois important de noter que la dynamique est très variable selon les groupes et selon les individus qui le composent, et la personnalité des élèves semblent avoir une influence notable. Les élèves identifiés comme leaders du groupe ont une forte influence sur la dynamique générale du groupe. Comme énoncé en amont, une faible participation peut se produire dans de rares cas, pour diverses raisons explicitées ensuite. De plus, d'autres élèves se montrent moins aisés que d'autres pour s'exprimer et/ ou faire valoir leur idée au sein du groupe.

#### **4.5.2 L'émulation créative dans l'imagination de solutions possibles**

Suite à la présentation de la situation de défi et à la transmission des différentes consignes (mise en situation et cahier des charges), les élèves commencent à imaginer des solutions possibles pour relever le défi, ceci en petits groupes et encore sans matériel (T2). Les enregistrements témoignent que, dans tous les groupes, les élèves se *lancent* dans l'imagination de possibles dès les premières secondes du défi. Les 7 à 9 minutes<sup>119</sup> prévues pour concevoir le projet en groupe sont très intenses, que ce soit au niveau des échanges verbaux ou de l'émulation créative. Mis à part quelques allusions à l'appareil enregistreur dans les premiers instants<sup>120</sup>, ainsi que quelques phrases hors sujet, toutes les interactions verbales du T2 concernent la tâche. Aussi, il est fréquent que vers la fin du T2, lorsque le groupe s'est mis d'accord sur une idée<sup>121</sup>, une discussion hors sujet se passe en attendant le signal annonçant la réunion générale. Quelques exceptions toutefois se produisent dans certains groupes<sup>122</sup>, où le temps de concertation était le plus long dans la classe. Les silences ne durent pas plus de quelques secondes et révèlent généralement un temps de réflexion ou de *digestion*. Bien sûr, tous les élèves ne s'expriment pas dans les mêmes proportions, mais tous

---

<sup>119</sup> Le timing diffère selon les groupes.

<sup>120</sup> Persistant dans un seul groupe – groupe Bleu Mie.

<sup>121</sup> Groupe Bleu Seb, groupe Rouge Seb, groupe Rouge Mie, groupe Jaune mie.

<sup>122</sup> Groupe Rouge Fed, groupe Bleu Fed.



prennent la parole et expriment leurs idées à un moment ou un autre. Seuls trois ou quatre élèves<sup>123</sup> sur les soixante-sept se montrent plutôt distants durant toute l'activité (soit refus, soit ne parle pas français), mais apportent leur contribution d'une manière ou d'une autre à un moment donné.

#### 4.5.3 La co-construction des propositions au sein du groupe

Au niveau de l'élaboration des propositions, deux cas de figure se profilent. Soit les élèves expriment à tour de rôle plusieurs idées à la suite sans liens entre elles, à la façon d'un brainstorming, avant de se concentrer sur l'une ou l'autre des propositions. Soit un des élèves du groupe, qui tiendra ensuite généralement le rôle de leader, commence par proposer une idée qui retiendra l'attention des autres membres du groupe (les "pairs").

A ce stade, les élèves ont normalement intégré que plusieurs solutions sont possibles pour relever le défi, mais que le groupe devra se mettre d'accord sur *une seule* solution et l'élaborer collectivement. Cette dimension fondamentale du défi représente un moteur puissant dans les groupes qui pousse les élèves à s'approprier la situation problème.

Tout d'abord, un élément important ressort des observations : les propositions apportées par les élèves sont rarement argumentées d'emblée. Il semble que les élèves choisissent a priori le mode le plus direct pour transmettre leurs idées aux autres membres du groupe. Mais les premières propositions faisant rarement l'approbation générale du premier coup, les élèves vont alors devoir s'engager à développer leurs idées plus précisément pour leur donner une chance d'être admises par la collectivité.

Quelle que soit la dynamique du groupe, l'analyse des interactions verbales montre que les propositions vont ainsi s'affiner et tendre à s'améliorer au fur et à mesure du T2. Dans chaque groupe on assiste à une réelle co-construction d'une solution commune. Toutefois, cette construction s'opère rarement de façon linéaire et consensuelle. Dans la majorité des groupes, elle s'opère justement à travers un ensemble de *dissensus* successifs.

Plus précisément, une fois qu'une proposition est énoncée et qu'elle retient l'attention du groupe, elle est automatiquement *confrontée* par diverses réactions venant des pairs. Plusieurs types de confrontations peuvent être distingués.

#### 4.5.4 Les confrontations et les divergences fertiles

Le premier type de confrontation provient de *l'incompréhension* d'un ou de plusieurs membres du groupe face à une proposition, lorsque celui-ci ne parvient pas à se *représenter* la proposition de son camarade, et lui demande alors de l'explicitier et de

---

<sup>123</sup> Groupe Bleu Mie, groupe Violet Fed.

la détailler. Celui qui propose se voit contraint de préciser sa proposition. On remarque que cet effort d'explicitation engage souvent le proposant à faire bien plus que simplement *rendre compte* de l'idée qu'il aurait déjà en tête ; l'effort d'explicitation participe à construction même de la proposition<sup>124</sup>.

Le deuxième type de confrontation s'opère lorsqu'une proposition fait l'objet de critique de la part d'un ou plusieurs membres du groupe. Dans ce cas, les pairs comprennent la proposition mais *mettent en doute* sa pertinence ou son efficacité. Par exemple, un élève peut relever les lacunes de la proposition d'un autre, en faisant remarquer la négligence d'une contrainte du cahier des charges ou d'un paramètre du problème (par exemple, une focalisation sur la hauteur au détriment de la solidité de la tour). Dans la tentative de faire passer son idée, le proposant se voit généralement contraint de formuler des explications ou des justifications pour la défendre. C'est dans un jeu d'attaques/défenses qu'une argumentation se construit. De cette manière, la proposition qui fait l'objet de la discussion évolue et se construit au fur et à mesure<sup>125</sup>

Le troisième type de confrontation se produit lorsque plusieurs propositions sont exprimées en même temps. Il s'opère une *compétition* entre les différentes propositions, dans laquelle chacun cherche à défendre son idée respective, et qui implique très souvent le proposant dans une argumentation ou une justification de sa proposition, à nouveau, dans le but d'augmenter les chances que celle-ci convainque les pairs. Ainsi, lorsque les élèves n'argumentent pas spontanément leurs propositions, ce sont les confrontations internes au groupe qui les poussent à construire des arguments pour supporter leurs idées. Les critiques se révèlent majoritairement constructives pour l'avancement des recherches.

Dans de rares cas, un consensus s'opère au bout de quelques secondes, car la première idée formulée semble être claire et convaincante pour tous (groupe Rouge Mac). Dans ce cas, la proposition reste à un niveau de formulation purement opérationnel et le modèle qui la sous-tend n'est pas du tout explicite. Or les groupes n'en restent généralement pas là, ils préfèrent par exemple continuer à imaginer des alternatives possibles dans l'éventualité où la première idée ferait échec. Notons aussi que la construction/précision progressive de la proposition ne s'opère pas exclusivement dans un *dissensus*. Certaines dynamiques consensuelles peuvent en effet s'avérer très constructives<sup>126</sup>.

Dans l'ensemble de la séquence (du T2 au T6), les différents éléments du problème transparaissent de plusieurs façons dans les propos des élèves. Soit ils constituent les

---

<sup>124</sup> Les éléments qui créent la base de l'incompréhension première seront présentés en détail plus loin (voir chapitre *Analyse P3 : le contenu de l'activité de problématisation des élèves*).

<sup>125</sup> Les éléments qui constituent les arguments des élèves, soit pour confronter la proposition (argument *contre*) soit pour la défendre (arguments *pour*) seront également présentés plus loin (voir chapitre *Analyse P3*).

<sup>126</sup> Par exemple, équipe Jaune Mac.

fondements de leurs propositions, ou des arguments visant à justifier leurs propositions, ou au contraire ils constituent les arguments pour confronter celles d'autrui, ou encore ils sont parfois simplement énoncés –en guise de rappel ou dans un besoin de partager son appréhension– sans faire l'objet d'une argumentation particulière.

A la fin du T2, les élèves ont déjà dans l'ensemble une bonne représentation de la complexité du problème. Mais au départ, tous n'ont pas la même perception des enjeux du problème. Tous ne portent pas leur attention sur les mêmes contraintes données de manière prioritaire. Tous n'identifient pas les mêmes paramètres scientifiques déterminant la réussite ou non du défi.

En effet, les propos des élèves témoignent de divergences dans leur représentation de la situation problème. Nous l'avons vu, pour certains le but évident semble de devoir trouver les moyens efficaces pour construire "quelque chose qui tient", d'autres se voient forcément contraints de concevoir un projet tout un minimum réaliste. Ainsi dès le départ, les élèves se construisent une représentation de la situation problème qui détermine en grande partie leur compréhension des *éléments* (propositions, questions, critiques, etc.) amenés par les autres. Les interactions qui s'opèrent dans le groupe permettent de mettre en commun les diverses représentations, et les élèves vont devoir en quelque sorte négocier leur compréhension du problème avant même (ou conjointement) de pouvoir négocier une solution. Les représentations divergentes vont se confronter entre elles dans la nécessité de se comprendre afin de converger vers une solution commune, ce qui implique des transformations et de réévaluer les priorités.

Dans l'ensemble, des divergences peuvent apparaître sur trois niveaux de compréhension du problème, soit au niveau de 1) la représentation de l'enjeu du défi, et plus précisément une référence à un certain registre du problème 2) la perception ou l'attention plus ou moins consciente portée face aux nombreux éléments fournis dans les consignes, et plus précisément une référence à des contraintes particulières de la tâche. Enfin 3) l'identification, voire la distinction, des différents paramètres technoscientifiques, en jeu de manière implicite dans la tâche.

Il est intéressant de relever que les représentations divergentes créent forcément une incompréhension ou un désaccord entre les élèves, et se révèlent être par-là même, des occasions propices à une définition plus précise du problème. En effet, dans la nécessité de converger vers une solution commune, les élèves seront amenés à faire l'effort de comprendre les positions de chacun, et de faire comprendre la leur, pour optimiser les chances de faire valoir leur idée propre et/ou de trouver la solution la plus efficace. Dans un jeu de confrontations et de négociations des points de vue, plusieurs éléments du problème vont être clarifiés et mis en liens. Ainsi la réflexion collective permet d'harmoniser et d'enrichir une représentation commune du problème.

Pour résumer, c'est en partie la *nécessité du consensus*, l'obligation de trouver une solution pour laquelle tout le monde est d'accord, qui implique des confrontations et des négociations au sein du groupe. De ce point de vue, les confrontations entre pairs sont clairement à l'origine de l'effort d'explicitation, de justification ou d'argumentation, mis en œuvre au sein du groupe. Enfin, une différence dans l'attention portée à certains éléments du problème crée des *divergences fertiles* pour l'avancement des investigations des élèves.

#### 4.6 Les interactions avec le matériel comme facteur d'élaboration du problème

*De quelle manière la réalisation des projets confrontent les élèves au(x) problème(s) ? De quelle manière les obstacles rencontrés permettent aux élèves de préciser leur représentation du problème et d'améliorer leur solution ? Quels types d'obstacles empiriques rencontrent-ils ? Quelles sont leurs attitudes ou leurs représentations vis-à-vis de ces obstacles ?*

Lors du passage à la phase de mise en œuvre des projets (T4), les élèves se trouvent confrontés à plusieurs obstacles. En soi, les obstacles vécus par les élèves ne sont pas différents des obstacles anticipés par les élèves dans la phase de conception (T1). Toutefois, les résultats illustrés précédemment révèlent que le fait d'être confrontés concrètement à ces obstacles et d'en faire le constat, mène globalement les élèves à préciser leur représentation du problème et à affiner leurs pistes de solutions.

Ainsi, "le passage à l'action" ne s'est pas déroulé sans embûches ni imprévus, même si la majorité des projets imaginés ont pu être menés à bout et se sont montrés relativement efficaces. Dans les faits, si la mise en application des projets fait surgir de nombreux obstacles, ceux-ci sont gérés au fur et à mesure que les constructions prennent forme, et résolus par diverses stratégies de régulations. De manière générale, les obstacles correspondent aux aspects déjà anticipés au départ mais se présentent aux élèves de telle manière que ceux-ci sont poussés à préciser leurs représentations ainsi que leurs observations. Ensuite les résultats montrent que même si certaines représentations, limitées, sont présentes dès le départ et ne sont pas abandonnées ou transformées en cours de route, le problème continue à se préciser au fur et à mesure des confrontations avec le matériel et entre les membres du groupe.

On peut distinguer deux types d'obstacles empiriques : d'une part, les *contraintes explicites* du cahier des charges auxquelles les élèves *se confrontent concrètement* et qu'ils doivent gérer simultanément pour parvenir à réaliser leur projet ; d'autre part, les *obstacles expérimentaux*, c'est-à-dire les problèmes techniques que les élèves rencontrent et éprouvent lors de leurs interactions avec le "réel". Ces obstacles de natures différentes vont faire progresser la définition du problème en parallèle à l'élaboration d'une solution potentiellement efficace.

Bien qu'elles soient liées de près aux différents paramètres technoscientifiques du problème (voir tableau 7 : *Les différents niveaux de problématisation*, présenté au chapitre 3.2.8 : *Éléments de construction du problème*), les contraintes explicites restent sur un plan très pragmatique et peuvent être gérées sans bouleverser les principes conceptuels. Contrairement aux contraintes, les obstacles expérimentaux révèlent en quelque sorte les aspects "bruts" du problème, c'est-à-dire les "phénomènes" techniques et scientifiques imbriqués dans la résolution du défi ; ils touchent donc les conceptions profondes du problème.

#### 4.6.1 La gestion des différentes contraintes

Pour commencer, les élèves doivent gérer simultanément un ensemble important de contraintes, explicitées dans les consignes. En référence au tableau 7 (*Les différents niveaux de problématisation*), ces contraintes correspondent aux premiers niveaux de problématisation : les contraintes symboliques et les contraintes matérielles.

Il apparaît dans les résultats que si les contraintes symboliques sont généralement prises en considération de manière prioritaire au départ dans certains groupes, elles laissent place petit à petit aux contraintes matérielles qui viennent s'imposer d'elles-mêmes au T4. Les groupes qui se sont orientés dès le départ vers un questionnement très opérationnel continuent tous dans la même voie sans prendre en considération les contraintes symboliques de la tâche dans leur questionnement. Dans l'ensemble, toutes les propositions s'affinent au fur et à mesure, et deviennent de plus en plus *opérationnelles*.

Il arrive parfois que les élèves persistent avec certaines idées, comme des priorités qu'ils se donnent, en priorité le souci que la construction *ressemble à quelque chose*, qu'elle ait les caractéristiques d'une tour ou d'un bâtiment (contrainte symbolique de vraisemblance). Or, la confrontation aux autres membres du groupes force ces élèves à transformer petit à petit leur regard et à s'orienter vers d'autres priorités, en particulier le fait que la construction puisse être finalisée, et qu'elle *tienne debout* (contrainte matérielle de faisabilité).

Ensuite, les résultats montrent que dans toutes les équipes, il s'exerce une tension dans la gestion des différentes contraintes, en particulier lors de la phase de mise en œuvre des projets. En effet, tous les groupes progressent dans la construction de leurs tours en devant gérer simultanément plusieurs contraintes, ce qui implique nécessairement une certaine *tension* à la fois sociale et cognitive.

De manière générale, une des tensions que l'on peut repérer sur le plan opérationnel, s'exerce entre le souci de *faisabilité* (parvenir à réaliser jusqu'au bout l'idée qui a été imaginée en amont dans le temps imparti) et le souci d'*efficacité* (le fait que le procédé de construction choisi soit en finalité vraiment efficace). Plus les élèves vont avancer dans leurs constructions, plus ils parviendront à distinguer nettement les différentes composantes du problème. Par exemple, la faisabilité du projet dépend

principalement de la gestion du temps (contrainte temporelle) et de la gestion des ressources (contrainte de l'économie de matériel) ; l'efficacité dépend davantage des propriétés du matériel (contrainte du papier journal) et de la résistance de la tour (tenue générale et confrontations aux tests de simulations).

Par conséquent, les élèves sont amenés à trouver un *compromis* entre plusieurs paramètres du problème, afin de proposer une solution optimale. Ils se rendent compte que le fait de négliger certains paramètres crée obstacle à la conception et à la réalisation du projet. Par exemple, ils remarquent que le fait de porter leur attention sur une seule contrainte, de chercher à solutionner un seul paramètre en négligeant les autres (par exemple, le souci d'économiser à tout prix du matériel) mène à l'échec. Toutefois, des *priorités* doivent être établies de manière à organiser la démarche et à faire avancer le projet concrètement.

Parfois, cette tension est accentuée par des positions divergentes au sein des groupes. Il n'est pas rare qu'un élève priorise la gestion d'une contrainte en particulier (par exemple, faire en sorte que la tour atteigne un mètre de haut) tandis qu'un autre se focalise sur la gestion d'une autre en priorité (par exemple, faire en sorte que la tour tienne debout). Ces différences de *hiérarchisation* amène le groupe, au T4 comme au T2, à entrer dans un jeu de négociation plus ou moins argumenté pour tenter de parvenir à un consensus et canaliser les opérations de chacun dans la même direction. A travers la négociation qui s'opère, les élèves continuent à prioriser certaines contraintes au détriment d'autres, mais ces choix reposent sur une réflexion argumentée.

Ainsi, dans ce jeu de hiérarchisation variable des priorités, une certaine tension se révèle fertile, et s'avère être la conséquence normale de l'approche d'un problème complexe. Enfin, l'intérêt pour les élèves est de pouvoir être à même d'explicitier les choix entrepris au sein du groupe et de justifier les orientations poursuivies.

#### 4.6.2 La confrontation aux obstacles empiriques

Nous avons vu que la mise à l'épreuve de leur projet forçait les élèves à se confronter à différentes composantes du problème, que ceux-ci étaient amenés à gérer plus ou moins consciemment et plus ou moins distinctement.

Contrairement aux obstacles liés à la gestion des contraintes explicites (*c'est difficile de*), les obstacles expérimentaux (*ça marche/ça marche pas*) révèlent les limites des projets imaginés et plus indirectement des idées qui les sous-tendent. Ces obstacles confrontent de près les élèves "au cœur" du problème, c'est-à-dire aux différents paramètres technoscientifiques (rigidité, solidité, stabilité, hauteur, etc.).

En quelque sorte, les obstacles expérimentaux révèlent les obstacles épistémologiques des élèves. En effet, le fait de ne pas réussir à mettre en œuvre une idée vient le plus souvent du fait que cette idée se base sur une représentation erronée. Par exemple, le

fait de vouloir faire tenir des feuilles de papier verticalement (comme on pourrait le faire avec une carte de vœux) pour constituer les parois d'une tour repose sur l'attente que la feuille de papier journal soit suffisamment rigide pour tenir en équilibre (ce qui n'est pas le cas). Or, une fois confronté au matériel, certains élèves se voient contraints de remettre en question leur idée première et de transformer leur projet pour le rendre opérationnel (en rajoutant une armature notamment).

Mais, globalement, une des remarques importantes à relever est que la confrontation aux obstacles expérimentaux ne semble pas suffire au dépassement des obstacles épistémologiques. La question est, tout d'abord, de comprendre les difficultés que rencontrent les élèves à remettre en question leurs idées premières face à des constats pourtant non attendus et non satisfaisants.

Indépendamment des limites que l'on pourrait identifier concernant le dispositif didactique mis en œuvre pour la recherche, il nous semble intéressant de se pencher sur les représentations que les élèves ont, cette fois, sur *le rôle même de l'expérimentation* dans l'activité de défi.

#### **4.6.3 L'attitude des élèves face aux obstacles expérimentaux**

*Comment les élèves perçoivent-ils les obstacles qu'ils rencontrent lors de la mise en œuvre de leur projet ? Quels effets ont-ils sur l'activité d'élaboration du problème ?*

Apparemment, pour les élèves, la mise à disposition du matériel semble avant tout représenter l'occasion de *réaliser* leur projet, plus que la possibilité de questionner et d'évaluer leurs stratégies ou leurs démarches. Or, plus qu'une simple opportunité de *mise en forme* du concept, l'expérience empirique implique potentiellement une *mise à l'épreuve* du concept lui-même, c'est-à-dire des hypothèses.

Une fois le matériel en main, il est vrai que les élèves se rendent compte rapidement qu'il n'est pas évident de concrétiser leur idée de départ, et que des transformations ou des régulations sont en fait nécessaires pour parvenir à « quelque chose ». Dans ce sens, les stratégies prévues, sur lesquelles les élèves avaient en quelques sortes parié, sont bien mises à l'épreuve à travers les obstacles qu'ils rencontrent.

La question est de savoir si les régulations mises en œuvre en conséquence (soit les transformations apparentes) impliquent ou non des changements de représentations du problème (des transformations "épistémologiques").

Parfois, le questionnement sur l'efficacité du dispositif semble être mis de côté, tant les équipes sont concentrées sur la mise en forme de leur projet de départ. L'efficacité du projet n'est pas *remise en question*, ce qui ne signifie pas pour autant que les élèves n'ont pas de doutes et qu'ils sont convaincus d'avance ; ils attendent de *voir* le résultat final pour pouvoir juger de l'efficacité de leur dispositif, et se faire une idée plus précise du problème.

Ainsi, les élèves s'accrochent à leur projet et à leurs conceptions, ne sont pas prêts d'abandonner leur projet même face à leurs constats. Leur observation n'est-elle pas efficace ? Ne *voient*-ils pas les obstacles ? Leur interprétation est-elle biaisée par le désir de parvenir à mettre en forme leur idée ? Leur enthousiasme à aller jusqu'au bout de leur idée malgré les obstacles prend-elle le dessus ?

Face aux obstacles expérimentaux et aux constats de résultats non attendus, plusieurs attitudes peuvent être identifiées chez les élèves. Voyons cela d'un peu plus près.

Un premier type d'attitude face à un "réel qui résiste" consiste à penser que les obstacles rencontrés sont en quelque sorte des *limites* provoquées par les contraintes de l'activité. Par exemple, si les élèves ne parviennent pas à un résultat satisfaisant, ils pensent le plus souvent que c'est dû au manque de matériel ou au manque de temps à disposition. Dans ce cas, ni le projet, ni les stratégies de mises en œuvre sont remises en question.

Une attitude similaire vis-à-vis des obstacles rencontrés, est de penser que les projets ou les stratégies mises en œuvre sont bons, mais qu'ils sont simplement *difficiles* à réaliser, à opérationnaliser ; ce qui ne remet pas à nouveau pas en question les hypothèses qui les sous-tendent. De ce point de vue, les obstacles seraient considérés comme des *dysfonctionnements ponctuels* venant ralentir ou compliquer la mise en œuvre (raison externe). A l'inverse, certains élèves s'approprient l'échec de la concrétisation de leur projet, et vivent les obstacles rencontrés comme une *incapacité personnelle* (ou du groupe) à *réussir* cette opération.

Dans le même sens, de nombreux groupes ne remettent pas en cause la validité de leur projet et font tout pour *conserver* l'idée initiale en tentant de compenser les manques (de rigidité, de stabilité, etc.) par une série de *microrégulations*. Les régulations entreprises sont alors considérées comme des réajustements/compensations faisant partie intégrante du projet initial, plutôt que comme des transformations nécessaires pour parvenir au résultat. Dans ce sens, les régulations déployées pour gérer les obstacles expérimentaux ne seraient en grande partie que des "palliatifs" pour surpasser/éviter le problème, et n'impliqueraient pas forcément chez les élèves les remises en question nécessaires pour traverser/résoudre le problème.

Dans le même ordre d'idée, si la mise en œuvre du projet mène aux résultats attendus, la "réussite" est considérée comme une façon directe de confirmer la pertinence de la proposition ; dans la représentation que si "ça marche", *alors* l'idée est forcément bonne : « *E.Bleu2Mac (...) tant que ça tient, il faut pas chercher de midi à 14h !* ».

Dans ces cas de figure, il est difficile de définir si les obstacles expérimentaux permettent de dépasser les obstacles épistémologiques qui en sont le plus souvent la cause. Parfois les régulations pratiques effectuées semblent révéler que les élèves aient identifié de nouveaux paramètres du problème. Dans ce cas, les élèves *intégreraient* de façon presque immédiate ces nouveaux éléments de compréhension dans leur cheminement, sans vivre une certaine *rupture* cognitive. Même si les élèves



sont encouragés à faire part de leurs constats de résultats inattendus et de la façon dont ils ont agi en conséquence pour remédier au problème, ils témoignent plus volontiers devant les autres des faits qui leur auraient permis de confirmer la validité de leur projet initial. Enfin, cette sorte de *négation* du problème perdurerait du moment où l'élève parviendrait à s'adapter en cours de route à l'obstacle, sans que celui-ci ne lui empêche de continuer à avancer.

Un deuxième type d'attitude fait transparaître une représentation différente des obstacles, et la possibilité d'une remise en question du projet en lui-même, voire des hypothèses qui le motivent. *Si ça ne marche pas, c'est (peut-être) que mon idée est mauvaise*. Dans plusieurs cas, le constat de résultats non attendus et non satisfaisants mène les élèves à changer de voie et à imaginer une solution alternative, souvent plus pertinente du point de vue technoscientifique.

En somme, pour parvenir à relever le défi, on peut avancer l'idée selon laquelle les deux attitudes sont nécessaires et complémentaires pour que les élèves parviennent à réaliser un dispositif opérationnel à l'issue de la séance. En effet, les élèves qui remettraient en question leur projet à tout moment ne pourraient pas avancer dans sa mise en œuvre, et se donneraient par là-même peu de chance de pouvoir parvenir à un résultat satisfaisant dans le temps imparti. C'est le cas vraisemblablement de certains groupes qui, changeant plusieurs fois de stratégies en cours de route, ne parviennent pas à terminer leur construction.

Mais lorsque l'obstacle était persistant, certaines équipes ont dû *remettre en question* leurs idées initiales pour parvenir à un résultat. Dans ce sens, l'obstacle épistémologique forcerait à dépasser l'obstacle épistémologique : les élèves seraient incités à *prendre du recul* par rapport à leurs attentes (*on veut que ça marche*), afin de se rendre compte des limites de leurs représentations. Moins brouillés par leurs idées initiales, les élèves seraient plus aptes à identifier les différents facteurs du problème et à orienter leurs investigations pour le *gérer* plutôt que de le *surpasser*.

Par exemple, dans certains cas l'obstacle expérimental (par exemple, le manque de rigidité de la construction malgré l'augmentation du nombre de couches de papier) est favorable parce qu'il permet au groupe de dépasser l'obstacle épistémologique (par exemple, la conception selon laquelle il faut nécessairement beaucoup de papier pour créer une construction solide). Dans ce cas, les constats des résultats en cours de route motivent les élèves à chercher plus loin, et à sortir des limites de leur cadre de pensée initial, ce qui leur permet du même coup de trouver des solutions inédites (par exemple, rouler des feuilles de papier en tubes pour en augmenter la rigidité).

Enfin, les élèves ne détiennent pas suffisamment de connaissances sur le problème pour imaginer d'emblée une solution à la fois opérationnelle et efficace, ils doivent avancer par tâtonnements en *pariant* en quelque sorte sur leurs hypothèses. Leur intention n'est donc pas prioritairement de vérifier le bienfondé du projet en cours de route, mais avant tout de parvenir à mettre en forme de manière satisfaisante une

première idée. C'est probablement la raison pour laquelle, lors des plénières, les élèves tendent davantage à valoriser l'efficacité *malgré toute épreuve* de leur projet que de valoriser les efforts mis en œuvre pour gérer les obstacles.

Pour enrichir notre analyse, nous proposons un regard complémentaire sur les représentations des élèves au sujet de l'activité de défi. Nous avons recueilli et analysé les propos des élèves qui témoignaient de leur représentation générale vis-à-vis du type de tâche qui leur était demandé ce jour-là, à savoir un *défi* technologique. De plus, nous avons tenté de décrypter –sur la base de leurs propos explicites, mais aussi à partir de leur comportements– quelles étaient leurs représentations concernant les démarches et les méthodes appropriées pour résoudre ce type de tâche.

#### 4.7 Les représentations des élèves au sujet des défis et ses méthodes de résolution

Il est intéressant d'observer les représentations des élèves au sujet de la nature de l'activité de défi en tant que tel. En effet, les caractéristiques générales du défi – notamment le travail en équipe et le travail en plénière– font en quelque sorte aussi partie des composantes du problème, car elles représentent des contraintes dont les élèves doivent *faire avec*.

*Quelles sont les représentations des élèves au sujet d'une activité sous forme de défi ? Quelles sont leurs représentations sur le travail en équipe ? Quelles sont les idées sur l'activité du chercheur-ingénieur et ses méthodes d'investigation ? Quelles sont les représentations des élèves sur les mises en commun en plénière ?*

Pour tenter de répondre à ces questions, les propos exprimés par les élèves lors des interactions verbales, tout comme leur comportement dans l'action, peuvent être de bons indicateurs des représentations des élèves ; ce qui nous mène à d'autres questions :

*Quelles sont les démarches opérées, d'une part sur un plan expérimental, d'autre part sur un plan social ? Quelles sont les stratégies mises en œuvre pour collaborer ? Quelles stratégies pour trouver un consensus ? Etc....*

##### 4.7.1 L'activité du chercheur-ingénieur et ses méthodes d'investigation

La référence au rôle du chercheur, de l'ingénieur ou de l'architecte est très faiblement explicitée, et il est difficile de déterminer si les attitudes des élèves traduisent ou non les représentations qu'ils ont sur le métier ou l'activité du chercheur.

L'idée de se mettre dans la peau d'un architecte ou d'un ingénieur séduit beaucoup les élèves<sup>127</sup>. Lors des investigations, un groupe<sup>128</sup> y fait référence lorsqu'il se félicite d'avoir trouvé une solution efficace : « *Nous on est des ingénieuses !* ». Un autre groupe<sup>129</sup> y fait référence pour justifier la pertinence d'une proposition « *Mais moi je sais (...) parce que ma mère elle est architecte* ». Enfin, un troisième groupe trouve plaisir à s'identifier à l'activité de l'architecte, mais sur des aspects plus plastiques que techniques et scientifiques :

(T2, classe Mac) *E.Blanc3Mac : mais toi ton travail tu veux être architecte non !?*

*E.Blanc2Mac : oui, ou styliste...faire des habits*

*E.Blanc3Mac : moi je veux faire décoratrice d'intérieur, justement je vais décorer les maisons des gens...dedans, pas dehors tu vois*

*E.Blanc4Mac : comme Jennifer*

*E.Blanc1Mac : les filles ! Les filles ! À mon avis il faut travailler une idée, pas parler...*

*E.Blanc2Mac : ...oh moi aussi je ferai des trucs comme ça... on va se retrouver ! Parce que les décorateurs...*

*E.Blanc3Mac : mais j'aimerais être cuisinière aussi...*

*E.Blanc4Mac : ouais mais on parle pas de ça, on parle de l'immeuble, il faudrait avancer (...)*

#### 4.7.1.1 *Les méthodes de résolution d'un défi*

La façon dont les élèves s'organisent entre eux peut indiquer comment ils perçoivent plus généralement un *défi*. Plusieurs propos témoignent que les élèves ont compris au départ qu'ils devront *se mettre d'accord* pour trouver la solution qu'ils pourront mettre ensemble en œuvre ensuite<sup>130</sup>. Ils se montrent dans l'ensemble plutôt attentifs à collaborer et à ce que chacun puisse apporter son idée : « *On dit chacune son tour son idée* », « *On écoute Jean maintenant* », « *On est censé être un groupe Sophia, on écoute les idées de chacun !* », « *Eh ! On fait ensemble les gars !* ». Ceci, probablement pour répondre au rôle *du bon élève* en activité collaborative, mais aussi certainement dans l'idée d'*optimiser* les possibilités de trouver la solution la plus efficace possible :

(T2, classe Fed) *E.Vert2Fed : moi je suis pas vraiment d'accord...*

*E.Vert3Fed : oui mais on écoute juste tous l'idée de Sophie (...)*

*E.Vert2Fed : mais qui est d'accord pour faire une pyramide ? (...) mais en tout cas il faut se mettre d'accord (...) il a dit (enseignant) de se mettre d'accord, même si il y a la majorité euh...*

*E.Vert4Fed : mais je sais mais c'est toi qui a pas envie ! ...alors toi t'es d'accord ?*

---

<sup>127</sup> Voir *Analyse P1 : déroulement général de la séquence*.

<sup>128</sup> Groupe Vert Seb.

<sup>129</sup> Groupe Vert Fed.

<sup>130</sup> Présent dans tous les groupes mais ressort explicitement dans les propos de cinq groupes en particulier : Rouge Mac, Rouge Seb, Vert Seb, Bleu Seb et Vert Fed.

*E.Vert3Fed : moi je sais pas, mais peut-être qu'il y a une idée meilleure (...) et Zoltan t'as pas donné ton idée (...)*

*E.Vert2Fed : mais peut-être, il y a une idée meilleure que la pyramide !*

*E.Vert3Fed : ben propose ! Nous on écoute !*

Dans le même sens, plusieurs groupes montrent un évident intérêt à imaginer un grand nombre de solutions possibles : « *Mais dis ton idée Sophia ! (...) peut-être que c'est une bonne idée ! (...) on a le droit à plusieurs idées (...) on peut faire plusieurs idées* », « (élève s'adressant à un autre groupe) *Vous avez déjà une idée ? Nous on a tellement d'idées...* ».

De plus, pendant la phase de mise en œuvre, les élèves ont recours au papier crayon pour schématiser leur projet : « *tu veux dessiner ? C'est toi qui a eu l'idée (...) on dessine chacun son idée et après on verra* », « *eh attends, les gars on fait un schéma !* ».

En fait, l'usage du dessin s'est révélé être une des stratégies employée par les élèves<sup>131</sup> pour se faire comprendre auprès des pairs, pour transmettre leur idée, et parfois pour justifier ou expliciter la pertinence de leurs propositions : « *alors attends je vous dessine un petit plan* », « *dessine pour expliquer !* », « *ben tu vas dessiner !* », « *ah ben ouais, bonne idée ! Ah ! Je veux dessiner, je veux dessiner, je veux dessiner !* ».

Ensuite, plusieurs stratégies, plus ou moins conscientes sont mise en œuvre dans les groupes pour parvenir à *converger* vers une solution consentie par tous.

La plus courante est l'argumentation. Toutefois, les élèves n'argumentent pas spontanément leur propositions. Ce n'est que lorsque les autres les confrontent en exprimant une incompréhension ou un doute vis-à-vis de la pertinence/l'efficacité de la proposition<sup>132</sup>, que les élèves, pour essayer de faire valoir leur idée, s'engagent dans un effort d'explicitation et de justification. Une argumentation se construit ainsi entre le proposant et les opposants.

(T2, classe Mac) *E.Vert1Mac: alors moi j'imaginerais plutôt une tour comme ça ronde*

*E.Vert2Mac : mais si c'est fin (le papier) ? (...) mais comment ça tient ?*

*E.Vert1Mac : oui mais pas la taille de mes doigts ! Plus grosse ! Épaisse, lourde surtout, parce que si elle est lourde elle va plus tenir debout (...) on fait une tour ronde et là devant on met un truc en forme de pique*

*E.Vert Mac : et pour les tremblements de terre ?*

*E.Vert1Mac : pour les tremblements de terre, justement, pour la stabilité de la tour, la pique pour les avalanches sert aussi pour la stabilité de la tour*

---

<sup>131</sup> Tous les groupes y ont recours mais l'intérêt perçu de la stratégie est explicitée verbalement dans quelques groupes : Vert Mac, Rouge Mie, Rouge Seb, Blanc Seb, Rouge Fed, Jaune Mac, Blanc Mac.

<sup>132</sup> Dans tous les groupes un jeu d'argumentation se produit tout au long du travail de groupe, voir en particulier les groupes Vert Mac, Jaune Mac, Vert Fed, Violet Fed, Blanc Mie, Vert Mie, Blanc Seb.

*E.Vert2Mac : mais ça servira à quoi ?*

*E.Vert1Mac : ben pour la stabilité, comme un funambule et son bâton ! C'est pour donner de l'équilibre (...et) comme ça les avalanches, au lieu de passer sur la tour et de la péter, ça va les forcer à dévier, à se séparer en deux (...) eh c'est comme ça qu'une église elle a été sauvée hein, ils avaient mis un truc comme ça et l'avalanche a passé à côté*

On remarque que les arguments des élèves sont multiples et prennent diverses formes. La plupart des suggestions, explications et justifications des *proposants*, ainsi qu'une bonne partie des questions, observations, appréhensions ou critiques des *opposants*, véhiculent des idées. Ces idées peuvent être considérées comme des *arguments* ou des *contre-arguments*, même si le niveau de formulation ou d'explicitation n'est pas expert<sup>133</sup>.

La solution du groupe se construit généralement à travers un enchaînement cyclique de propositions → réfutations → justifications → régulations → validations.

(T4, classe Seb) *Ens : alors vous, si vous pensez que c'est une mauvaise idée, vous la laissez et puis vous faites une autre*

*E.Rouge1Seb : ouais c'est ce qu'on va faire, mais on transforme... on recycle*

*E.Rouge2Seb : ça va être trop dur à transformer, c'est beaucoup mieux de recommencer un nouveau truc*

*E.Rouge1Seb : mais jamais, mais les gars, tranquilles ! C'est pas un... c'est juste un concours les gars*

*E.Rouge2Seb : (...) venez les gars on fait différent !*

*E.Rouge1Seb : non non après ça prend trop de temps...*

*E.Rouge3Seb : non non non au lieu de recommencer ce truc on le finit et on essaie...*

*E.Rouge1Seb : ouais voilà et on s'en fout si ça fait pas un mètre*

Par ailleurs, on remarque que le *contenu* des arguments varie. Les élèves mobilisent divers *éléments de référence* dans leur argumentation : inspirations diverses, références à divers éléments des consignes, expériences personnelles, analogies, modèles explicatifs proposant des corrélations entre plusieurs paramètres technoscientifiques, etc.<sup>134</sup>

(T4, classe Mie) *E.Vert1Mie : mais imagine que ça c'est un papier journal et qu'on met les poutres dessus...si on fait comme ça le papier d'en bas, il sert à rien*

*E.Vert2Mie : ben si à coller le truc !*

*E.Vert1Mie : ouais mais alors ce qu'on fait c'est qu'on plie (en deux) ce papier-là, et on met les poutres, on scotche les poutres en bas...*

<sup>133</sup> Les diverses *formes (formulations)* des *arguments*, ou des *hypothèses* des élèves sont abordés plus en détails dans la partie « Synthèse des groupes-Phase de conceptualisation ».

<sup>134</sup> Ces éléments constituant le *contenu* des arguments (et plus généralement les *idées explicitées* lors du travail de groupe et des plénières) est particulièrement détaillé dans la partie « Synthèse des groupes-Phase de conceptualisation ».

*E.Vert3Mie : ouh là là mais je vois pas le changement si tu coupes (en deux)... parce que même si tu le mets comme ça, ça tiendra, mais si tu le plies ça change rien !*

*E.Vert1Mie : mais si tu plies après il y a plus de volume !*

(T4, classe Mie) *E.Bleu1Mie on aurait pas dû mettre comme ça, on aurait dû en faire 4...*

*E.Bleu3Mie : ouais on fait celle-là, après on fait celle-là et après on fait ça et ça*

(5 minutes plus tard)

*E.Bleu2Mie : mais on va pas en faire 4 sinon ça prend trop de papier*

*E.Bleu3Mie : tu veux en faire 2 ?*

*E.Bleu2Mie : ouais deux ça suffit*

*E.Bleu1Mie : ouais mais deux pylônes comme ça (un de chaque côté) après ça va tomber comme ça (en avant ou en arrière)*

*E.Bleu2Mie : mais non*

*E.Bleu3Mie : mais après elle va faire passer des épreuves ... je sais pas, le tremblement de terre...je pense qu'elle va faire trembler un peu la table (etc.)*

Les exemples d'argumentation font ici référence à des contraintes particulières de l'activité (restriction de temps, hauteur dans le premier cas, économie de matériel dans les deux derniers cas) et à plusieurs paramètres du problème (faisabilité dans le premier cas, solidité et volume dans le deuxième cas, et stabilité dans le troisième cas).

Un des critères qui ressort dans l'argumentation de nombreux élèves<sup>135</sup> est l'*originalité*. Ce critère ne fait pas partie des éléments explicités de la consigne, pourtant il semble être perçu comme un élément à prendre en compte dans la conception de la solution : «*faut faire un truc original !* ». Il est possible que l'*originalité* soit un des critères attribué à une situation de défi. Peut-être que cela illustre la représentation des élèves au sujet de l'activité du chercheur, comme devant faire preuve de créativité ou d'ingéniosité.

Ce critère ressort dans les propos des élèves sous forme d'arguments de justification ou de confrontation des propositions : «*non mais après tout le monde va faire un truc comme ça !* », «*non vous voulez pas faire un truc original ?* », «*non mais on va pas faire comme ça ! C'est pas inventif ça !* », «*c'est un truc trop simple, il faut faire un truc plus compliqué (sous-entendu sophistiqué) !* », «*mais c'est original hein !* ». L'*originalité* peut aussi être perçue comme un critère de valorisation distinctive face aux autres groupes : «*Ben ouais personne va faire ça hein ! (...) attends, qui est-ce qui va avoir l'idée de faire les tours jumelles, à part nous ? / Ben justement !* », «*(avec fierté) ben nous de toute manière, personne va arriver à la faire la nôtre !* »

---

<sup>135</sup> Élément explicité dans 7 groupes : Bleu Mac, Rouge Mac, Blanc Mie, Rouge Mie, Jaune Seb, Violet Fed, Blanc Mie.

Pour revenir aux démarches des groupes, une autre stratégie organisationnelle est mobilisée pour parvenir à choisir une solution qui puisse être validée collectivement au stade conceptuel. Il vient à l'idée de quelques élèves<sup>136</sup> de voter pour établir un choix entre plusieurs alternatives : « *Ouais qui vote pour ça ?* », « *Qui préfère cette idée ou cette idée ? (...)* ok ben on choisit laquelle (montre un des croquis) *qui vote ?* ».

Néanmoins, l'idée de prévoir des alternatives est vécue comme moyen d'optimiser les chances de réussir, c'est-à-dire de trouver une solution *qui marche*. Le plus souvent, les élèves tendent en premier vers les solutions qui semblent les plus facilement réalisables : « *Ouais c'est plus compliqué...mais on essaye quand même si l'autre elle marche pas* », « *Ben si ça marche pas avec celui-là on fait celui-là (...)* ouais on verra, on essaye déjà comme ça », « *On peut faire plusieurs essais* ». Après s'être mis d'accord pour une solution, les élèves se montrent souvent impatients de pouvoir se lancer : « *Ben on essaye déjà ça hein...voilà (...)* nous on a déjà toute l'idée donc on peut commencer ? ».

Ce type d'attitudes montre aussi un besoin de faire des essais, de tâtonner avec le matériel tangible pour pouvoir *se rendre compte* de sa pertinence ou non : « *Mais c'est impossible de faire ça avec une plateforme ! / On peut toujours essayer !* ». Dans ce sens, certains élèves montrent un désir d'organiser les démarches : « *Eh ! On fait genre plan A et plan B après si le plan A il marche pas on fait le plan B* ».

Dans l'ensemble, les résultats mènent à penser que les élèves<sup>137</sup> considèrent bien leurs projets –élaborés lors de la phase conceptuelle– comme *des idées en suspens*, ou des sortes d'hypothèses qu'ils attendent de pouvoir *valider*. Aussi, la mise à l'épreuve est perçue comme moyen de trancher entre deux propositions : « *Mais il y a aucun plan... on verra celui qui tiendra le mieux c'est tout !* »

Dans de rares cas, le travail collaboratif représente un obstacle important pour quelques élèves :

(T5, Classe Seb) *D : Déjà j'ai besoin de savoir si vous avez rencontré de nouveaux problèmes?*

*E.Blanc/Seb: on est pas en accord avec notre équipe*

Nous pouvons relever d'ailleurs que les confrontations entre les membres du groupes sont normales et souhaitables<sup>138</sup>, mais dans certains cas, le groupe peine à les dépasser ce qui lui empêche d'avancer ; les obstacles relationnels prennent le dessus sur les obstacles sociocognitifs.

---

<sup>136</sup> Dans deux groupes : Bleu Mac, Rouge Mie.

<sup>137</sup> Présent chez tous les groupes mais ressort explicitement dans les propos de cinq groupes en particulier : Rouge Seb, Rouge Mac, Jaune Mie, Rouge Fed, Bleu Mie.

<sup>138</sup> Voir le point sur *La fertilité des divergences* dans le chapitre 6 : *Discussion*.

Plus généralement, devant les constats d'un échec probable, plusieurs attitudes sont présentes dans les groupes. Dans de rares cas, le changement de stratégie pendant la phase de mise en œuvre apparaît, et s'opère à la suite de concertation (Jaune Mie, Vert Mie). Un seul groupe abandonne la solution première pour une autre sans fondement valable (raisons relationnelles). La plus courante est la persévérance dans la même voie, impliquant la mise en œuvre de micro-régulations. Dans certains groupes (Bleu Seb, Bleu Fed), la réflexion individuelle en silence est perçue comme moyen de dénouer certains obstacles : « *On pense, on pense et on se la coince !* ».

#### 4.7.2 Les mises en commun en plénière

Au niveau de notre méthodologie, il était prévu que les plénières (les « réunions générales »), de par le travail de verbalisation qu'elles exigeaient, seraient de bons moyens de prendre connaissance des représentations des élèves au sujet du problème, et ceci à plusieurs reprises au cours de l'activité. Or, les résultats montrent que ce qui se dit pendant les mises en commun est peu représentatif de la complexité du processus de problématisation vécu par les élèves.

Dans les faits, lorsque les élèves sont interpellés au nom du groupe, ils fournissent sans difficultés des éléments de réponses, et parviennent généralement à expliciter de manière succincte leurs démarches, les obstacles rencontrés ou leurs pistes de solutions. Toutefois, le discours reste anecdotique ; il s'avère que les propos des élèves en disent peu sur l'état de construction effectif du problème. Par exemple, si l'on s'en tient qu'aux observations explicitées en plénière, on observe que seuls certains éléments du problème ressortent alors que d'autres ne semblent pas avoir été identifiés. Or, lorsqu'on se réfère aux échanges pendant le travail de groupe, on se rend compte de la richesse et de la complexité du questionnement. Par exemple, une plus grande quantité de paramètres du problème sont considérés.<sup>139</sup>

Pourquoi les élèves ne rendent-ils compte que d'une faible part de leur compréhension du problème pendant les plénières alors que les élèves semblent aller beaucoup plus loin pendant le travail de groupe ? Diverses explications peuvent être proposées, concernant l'effet du travail de groupe et l'effet des plénières sur les élèves.

De manière générale, la dynamique des échanges et la participation des élèves varient beaucoup lors des moments de plénière, à part lors des séquences de tests (mise en commun des résultats) souvent très animées. Si dans les groupes tous les élèves en général témoignent d'un engagement, même, un engouement très important dans l'activité, les élèves se montrent moins enjoués dans les mises en commun. Ils sont capables de répondre aux questions qui leur sont posées et participent activement au questionnement collectif, mais ils interviennent peu de façon spontanée et semble donner moins de sens à ce moment de l'activité. Au niveau de la dynamique de classe,

---

<sup>139</sup> Voir chapitre *Analyse P3 : le contenu de l'activité de problématisation des élèves*.



il est très probable que les élèves retrouvent une posture plus ordinaire d'un cours magistral lorsque c'est l'enseignant qui reprend en mains les commandes.

Il est difficile de dire si la baisse de la dynamique signifie une baisse de participation ou un manque de motivation de la part des élèves. D'un côté, les élèves témoignent leur attention et leur écoute, et se montrent plutôt réceptifs à la réflexion commune proposée. Ils apportent volontiers des éléments de réponses lorsqu'ils sont interpellés. D'un autre côté, peu d'élèves prennent spontanément la parole pour alimenter le questionnement proposé par l'enseignant, et l'on peut ressentir comme un manque d'enthousiasme qui se distingue nettement la dynamique générale du travail en groupe.

Plusieurs hypothèses locales peuvent être formulées, expliquant la difficulté des élèves à *donner du sens* à ces moments de plénières :

1. les plénières sont perçues comme des *ruptures* désagréables dans la dynamique effervescente des constructions ;
2. le temps passé à discuter provoque le sentiment de *perdre le temps* précieux et nécessaire pour donner le jour à leur projet ;
3. un refus de partager ses bonnes idées dans un *esprit compétitif* probablement assimilé à l'idée de défi ;
4. un guidage trop fort de la part de l'animateur du débat, forçant l'explicitation et venant peut-être casser le questionnement réel des élèves ; ou simplement,
5. une frilosité ordinaire des élèves face à la prise de parole en plénière.

L'obstacle peut encore se situer à un autre niveau. Par exemple, il est probable que les élèves éprouvent de la difficulté à *mettre des mots* sur ce qu'ils font de manière intuitive ; l'exercice de verbalisation exigerait un effort trop important pour des élèves de cet âge (10-11 ans).

Dans l'ensemble, le fait de devoir alterner entre des moments de travail de recherche en groupe et des moments d'explicitation et de réflexion en plénière, s'est révélé être un exercice relativement difficile pour les élèves. En quelque sorte, les césures imposées par le rythme du défi, invitant les élèves à prendre du recul par rapport au temps d'action, provoquaient parfois des ruptures dans le cheminement naturel du groupe, venant réduire le "feu" de l'action et parfois baisser abruptement son "ardeur".

L'exercice mental et émotionnel de *s'extraire* de l'action pour *prendre du recul* et pouvoir évaluer, réguler et améliorer cette action, n'est pas spontané chez l'élève et génère un certain inconfort, même lorsqu'il est face à des obstacles. Il cherche à aller de l'avant en ajustant directement son action, en pensant s'épargner du temps et économiser ses efforts. Par ailleurs, il semble que les plénières soient ressenties par les groupes comme une forme de dépossession, non seulement de leurs idées –ils

semblent plus soucieux qu'on leur vole, ou qu'on critique leurs idées, qu'intéressés à s'enrichir de celles des autres– mais aussi de leur travail –frustrés d'être désemparés de leur œuvre même momentanément.

Enfin, si le "passage" entre les deux postures, celle de l'action et celle de l'analyse, ne vient pas "naturellement", c'est pourtant cet aller-retour incessant entre pensée créative, heuristique, inductive et pensée réflexive, analytique, déductive qui caractérise la recherche scientifique.

Pour finir, il semblerait que les discussions en plénières n'aient pas un impact *immédiat* sur la progression de la problématisation. En effet, il apparaît que l'effort de verbalisation, ainsi que le partage des observations et la mise en commun des trouvailles, ne suffisent pas au dépassement de certains obstacles cognitifs. D'une part, l'exercice des mises en commun motive visiblement peu les élèves à prendre plus de temps pour *réfléchir* au problème ou *analyser* les obstacles, une fois de retour en équipe. D'autre part, bien que certaines nouvelles facettes du problème soient mises en lumière lors des plénières, les élèves peinent à les *intégrer* ensuite dans l'élaboration de leur dispositif. Dans ce sens, l'exercice des plénières ne serait être un déclencheur suffisant pour permettre aux élèves de dépasser les obstacles épistémologiques, qu'il s'agisse de remettre en question leurs idées sur le problème ou leurs idées sur les stratégies de résolution.

\* \* \*

Les résultats d'analyse présentés dans la partie précédente ont permis de mettre en évidence le processus d'élaboration du problème à travers un point de vue sociocognitif sur les *processus* en jeu dans l'activité de problématisation observés dans les équipes.

Il est maintenant temps d'aborder un dernier point de vue, complémentaire, sur l'activité de problématisation : le *contenu* de l'activité d'élaboration du problème.

Le chapitre d'analyse suivant se centre sur les éléments qui constituent les représentations (questions et réponses des élèves) explicitées à travers les interactions verbales. Il nous importe d'examiner à quels éléments du problème le questionnement des élèves ainsi que leurs propositions de solutions font *référence*. Ces éléments représentent en quelque sorte les *matériaux de construction* du questionnement et des hypothèses des élèves.

Précisons que les propositions des élèves, avant qu'elles ne se "confrontent" au monde extérieur (matériel, autres élèves, enseignant, etc.), ne sortent pas de nulle

part : elles s'ancrent dès le départ sur différents éléments qui permettent de *créer du sens*. Une partie de ces éléments proviennent vraisemblablement de l'expérience antérieure des élèves dans leur environnement scolaire et quotidien. Une autre partie regroupe nettement des éléments problématiques fournis sur le moment par les consignes du défi.

Concernant les éléments véhiculés par les consignes de départ, les résultats montrent que tous ne sont pas intégrés ni même considérés dans le questionnement des élèves. Certains retiennent davantage l'attention des élèves que d'autres ; certains sont retenus comme primordiaux par certains élèves et secondaires par d'autres. Certains éléments peuvent être mis en corrélation avec d'autres, et ces corrélations elles aussi varient. Ces différences de *perception*, ou d'*appréhension* de la situation constituent en réalité la diversité des propositions et la divergence des points de vue dans le groupe.

Il nous semble maintenant important de présenter la façon dont les élèves s'approprient au départ les différents éléments énoncés dans les consignes. En quelques sortes, il s'agit de présenter les "matériaux de construction" ou les "ingrédients" utilisés par les élèves pour "façonner", "cuisiner" le problème.

#### 4.8 Analyse P3 : Le contenu de l'activité de problématisation des élèves

Le point de vue abordé ici est le *contenu du problème*. Cette partie de l'analyse plonge le regard de plus en plus près du cœur de l'activité d'élaboration du problème, en tentant de mettre en lumière comment le problème, mis en scène par le défi, a été travaillé, "modelé", "triturer" par les élèves. Une vue d'ensemble et détaillée des *questions* et des *réponses* des élèves face au défi est présentée ici, qu'elles aient été exprimées sous formes verbales ou sous formes matérielles. L'ensemble de ces éléments constituent le contenu de l'activité de problématisation.

Cette synthèse tente de répondre aux questions suivantes :

1. *Quelles représentations du problème se font les élèves ? En quoi consistent leurs questionnements et leurs hypothèses ? Quelles différentes composantes du problème sont identifiées par les élèves, et intégrées dans leur recherche de solutions ?*
2. *Les représentations du problème évoluent-elles au cours de la séance ? Les solutions évoluent-elles en conséquence ? De quelle manière ?*
3. *Comment la problématisation des élèves "navigue"-t-elle entre la pluralité des contraintes, les différents niveaux de problématisation, et les obstacles empiriques ?*

Pour pouvoir répondre à ces questions, une analyse fine du discours et des productions des élèves a été élaborée. Tous les propos et les constructions des élèves ont été examinés et les données significatives ont été considérées et traitées dans l'analyse.

Cette partie retrace ainsi la "mise en mots" et la "mise en forme" du problème et des solutions par les élèves. L'ensemble de ces résultats représentent les hypothèses des élèves quant aux voies de résolution possible du défi.

Rappelons que les « questions » et les « hypothèses » examinées dans cette analyse ne se résument pas aux propos de forme interrogative ou hypothétique et clairement formulés. Le type de « contenu » considéré ici regroupe les appréhensions, les doutes, les intuitions, les inspirations, les contestations, les prévisions, les propositions, qui expriment, plus ou moins explicitement, la façon dont les élèves se représentent et s'approprient le problème.

Pour traiter la masse de données, le tableau suivant –*Les éléments de la construction du problème*<sup>140</sup>– s’est révélé être un outil efficace pour catégoriser les productions verbales et matérielles des élèves.

Les éléments de construction du problème					
Conception d'une tour	Contraintes explicites		Contraintes implicites	Pistes de Solutions	
	Contraintes symboliques « Mise en situation »		Contraintes matérielles « Cahier des charges »	Paramètres techno-scientifiques	Variables d'action
	<i>imaginer</i> une tour - attributs bâtiment fonctionnel <b>vraisemblance</b>		<i>construire</i> une tour - procédés de fabrication <b>faisabilité</b>	<b>design dispositif opérationnel</b>	forme générale de la tour
	<b>résistance</b> aux catastrophes naturelles		<b>hauteur</b> 1 mètre	<b>hauteur</b>	modes d'assemblage des segments de papier
			<b>tenu</b> e de la tour	<b>solidité générale :</b>	
			<b>résistance</b> aux tests		
	<b>adaptabilité</b> à divers sols		<b>mobilité</b> pas fixé à la table		
	<b>écologie</b>	doté de <b>panneaux solaires</b>	<b>maintien</b> du livre	<b>rigidité</b> (matériau)	
		fait avec des matériaux de fabrication <b>peu coûteux</b>	<b>matériel</b> mis à disposition (papier journal et scotch)		
			<b>restriction matériel</b>	<b>économie de matériel</b>	quantité de papier/de segments
situation d'urgence, danger		<b>restriction temps</b>	<b>économie de temps</b>	simplicité	
Registre conceptuel		Registre opérationnel			

Tableau 11 Les éléments de construction du problème

De cette manière, l'analyse peut mettre en lumière la façon dont les élèves interagissent avec les différents problèmes propres au défi proposé : d'une part, les *contraintes explicites* (relatives au cahier des charges que les élèves doivent respecter), d'autre part, les *contraintes implicites* (les obstacles empiriques que les enfants vont potentiellement rencontrer), et enfin, les diverses *pistes de solutions* imaginées par les élèves pour y remédier.

<sup>140</sup> En référence au tableau 7 *Les différents niveaux de problématisation* (présenté au chapitre *Les éléments de la construction du problème*). Cette partie de l'analyse se centre uniquement sur les éléments relatifs à la *Conception d'une tour*. La formulation des items a été adaptée pour faciliter la présentation. En outre, une analyse concernant d'autres dimensions du tableau (*Travail d'équipe*) sont abordées au point précédent *Représentations des élèves au sujet d'un défi et de ses méthodes de résolution*.

Ensuite, l'analyse distingue dans les différentes propositions des élèves, celles qui se réfèrent aux *contraintes symboliques*, celles qui se réfèrent aux *contraintes matérielles*, ainsi que les propos qui font référence aux *paramètres technoscientifiques* ou aux *variables d'action*.

Précisons que cette catégorisation est déjà le fruit d'une interprétation, car chaque élément du problème n'est rarement exprimé de manière claire et explicite à travers les dires des élèves. Ceci, en raison de leur niveau de vocabulaire et de leur capacité de formulation. Toutefois, on pourra remarquer que le problème se précise de façon manifeste au fur et à mesure de l'avancement de l'activité<sup>141</sup>. Cette dernière observation sera discutée lors de la synthèse.

Ces différents *niveaux de problématisation* ont été reformulés sous formes de questions pour guider et faciliter cet exercice de catégorisation :

*Quels sont les enjeux du défi perçus par les élèves ? Quelles consignes posent particulièrement problème aux élèves ? Quels problèmes anticipent-ils ? Quels obstacles rencontrent-ils ? Quelles corrélations établissent-ils ? Quelles stratégies sont envisagées pour y remédier ? Quelles sont leurs sources d'inspirations ?*

Enfin, de manière à pouvoir rendre compte des dimensions évolutive et contextuelle, une distinction entre *la phase de conceptualisation* et *la phase de mise en œuvre* des projets a été choisie pour présenter les résultats. Cette analyse bipartite présente alors les éléments du problème perçus et explicités par les élèves, les grandes catégories de solutions imaginées pour y remédier, ainsi que les modèles de significations sous-jacents à leurs questions et leurs réponses, à deux moments distincts de l'activité : avec ou sans le matériel à disposition.

#### **4.8.1 La phase de conceptualisation des projets**

Cette première partie relate la phase de conceptualisation des projets. Elle présente les problèmes identifiés, appréhendés, anticipés, ainsi que les pistes de solutions envisagées, imaginées, prévues, avant que les élèves ne puissent mettre à l'épreuve leurs "hypothèses" avec le matériel. Ceci, lors des trois premières étapes du défi : T1, T2, T3 :

- le T1 correspond au moment de la présentation de la situation de défi (consignes) ;

---

<sup>141</sup> Notons que les productions matérielles finales ont été très utiles pour l'analyse des pistes de solutions formulées verbalement en amont, en permettant une meilleure représentation. Ceux-ci n'ont pas tous participé à rendre plus explicites les propositions des élèves, néanmoins, plusieurs exemples seront discutés. De plus, un aperçu des diverses catégories de propositions est proposé en sous forme de carte conceptuelle en conclusion de l'analyse P3.

- le T2 correspond au premier temps de travail en groupe, et s'effectue sans matériel (correspondant à la phase de conceptualisation de la solution) ;
- le T3 correspond à la première mise en commun de l'avancement de la réflexion en plénière concernant « les problèmes identifiés » et les « pistes de solutions envisagées »<sup>142</sup>.

Pour cette partie, les questions peuvent être reformulées ainsi :

*Quelles représentations du problème se font les élèves au départ du défi ?*

*Plus précisément, quels sont les enjeux du défi perçus tout au départ par les élèves ? Quelles contraintes semblent d'emblée leur poser problème ? Quels paramètres technoscientifiques identifient-ils avant d'y être confrontés de manière tangible ? Quelles corrélations établissent-ils de manière intuitive ? Quelles sont les variables d'action envisagées pour y remédier ?*

Les résultats seront présentés de manière détaillée en différents points :

- « L'enjeu perçu du défi » traite de la tension entre les contraintes symboliques et contraintes matérielles ;
- « Les propositions de design » retracent les grandes catégories de solutions ;
- « La gestion des différentes contraintes » illustre les principales contraintes qui posent problème aux élèves, ainsi que les corrélations établies entre les différents paramètres technoscientifiques sous-jacents.

Une vue d'ensemble est ensuite proposée en synthèse sous forme de tableau multidimensionnel.

#### 4.8.1.1 *L'enjeu perçu du défi*

Sur la base d'un décorticage du discours des élèves, ce premier point présente les propos qui témoignent de leur représentation générale de l'enjeu du défi des tours en papier. Notamment, il distingue les représentations symboliques et les représentations matérielles du problème, et met en lumière les tensions qui ont pu s'opérer entre ces deux registres dans l'élaboration collective du problème.

##### 4.8.1.1.1 *La tension entre les contraintes symboliques et les contraintes matérielles*

Pour commencer, lors du travail en groupe sans matériel (T2), il apparaît que dans tous les groupes les élèves vont chercher à imaginer *la forme générale* de leur tour, ils vont essayer de se représenter à *quoi* pourra ressembler leur tour. Or, le point de vue des élèves peut se porter sur des *registres* différents : soit l'imagination des élèves se

---

<sup>142</sup> Certains propos recueillis au T7 lors de la dernière plénière seront illustrés aussi ici, car ils relatent l'explicitation des procédés de fabrication par les élèves et nous aide ainsi à se représenter leurs différentes propositions.

porte sur un registre plus conceptuel (à quoi ressemblerait la tour *en vrai*), soit se porte sur un registre plus opérationnel (à quoi va ressembler la tour *en papier*). L'approche particulière qu'aura l'élève au départ –se référant à un registre ou un autre– témoigne en quelque sorte de l'*enjeu* premier qu'il perçoit de la situation de défi, et conditionne en grande partie sa représentation d'une solution possible et pertinente.

Ainsi, au départ de l'activité, deux types de questionnement s'initient et coexistent à l'intérieur des groupes. Pour une partie des élèves, le questionnement se réfère majoritairement aux éléments symboliques véhiculés par la mise en situation de défi, pour une autre partie des élèves, le questionnement se porte directement sur des éléments fournis par le cahier des charges et correspondent aux contraintes matérielles.

Les croquis réalisés par les élèves lors de cette phase de conceptualisation des projets illustrent de manière significative la différence de registres dans lesquels les équipes se placent au départ. En voici quelques exemples :



Figure 3 Croquis d'élèves lors de la phase de conceptualisation du projet

Par ailleurs, les résultats montrent que la référence aux contraintes symboliques ne ressort pas dans le questionnement de tous les groupes au départ. La majorité des groupes (11 sur 19) orientent directement leur recherche et leur questionnement sur le plan opérationnel dès le T2. Néanmoins dans une bonne partie des groupes (8), au



moins un des élèves, se réfère au moins une fois, à au moins un des éléments symboliques, contextuels liés à la « mise en situation » de défi au cours du T2 (catastrophes naturelles, panneaux solaires, écologie, adaptabilité, situation future).

#### 4.8.1.1.2 *Le problème de la vraisemblance / le problème de la faisabilité*<sup>143</sup>

Les élèves qui font référence au registre conceptuel témoignent tous d'une attention particulière à la *vraisemblance* de leur projet de tour. Le critère de vraisemblance est induit par la mise en situation de départ et est considéré par certains élèves comme un élément déterminant du problème, soit, vécu comme une *contrainte* à prendre en compte dans l'imagination de la solution. En effet, il ressort très nettement des propos de ces élèves le souci que le projet ait les attributs d'une *vraie* tour, que ce soit de par son apparence (design) ou sa fonctionnalité (bâtiment habitable, sécurisé, etc.).

(T2) *E.Bleu3Mac* : *mais les immeubles ils ne sont jamais comme ça ! (...) mais imagine des personnes dedans, il faut qu'on puisse monter ! ...après tu dois tourner, après tu dois tourner comme ça (suit la forme de la tour esquissée avec le doigt) comment tu montes après ? Un ascenseur ? (...) normalement il faut faire un immeuble ou des gens habitent, c'est ça ?*

(T2) *E.Rouge3Mie* : *ah ouais mais comment les gens vont vivre dedans ? (...) mais je vois pas trop où est-ce qu'il y a des gens qui vont entrer dedans...*

(T2) *E.Vert1Mac* : *mais c'est immense cette tour... ça pourra loger des milliers de personnes, c'est des bureaux, des laboratoires, et des appartements*

(T2) *E.Jaune1Mac* : *non parce que, en fait, comme on est en 2022, c'est-à-dire qu'ils ont réussi à faire très très grand dans tout petit ! (...) ils ont inventés une machine à agrandir dedans, du coup il y a plein de gens qui peuvent aller*

Dans ce sens, plusieurs explications peuvent être données pour comprendre le point de vue des élèves. Pour eux, il est possible que le choix du *design* de la tour (registre conceptuel) détermine *naturellement* la forme que prendra le modèle en papier (registre opérationnel). Dans ce cas, les élèves semblent avoir bien compris que le résultat attendu du défi est la proposition d'une tour construite en papier, cependant il semble que le rôle de la *construction* en tant que telle soit perçu davantage comme un moyen de *modéliser* une idée conceptuelle, plus qu'un moyen de *mettre à l'épreuve* une idée opérationnelle. C'est pourquoi, le problème du passage à l'opérationnalisation est momentanément mis de côté. De plus, les élèves s'attendent sans doute à pouvoir faire valoir la pertinence de leur proposition sur un plan conceptuel sur la base de leur maquette en papier, considéré comme moyen d'illustrer, de *représenter* les résultats de leur recherche.

---

<sup>143</sup> Attention, ce point décrit non seulement le contenu des interactions langagières qui ont trait cette facette particulière du problème, mais aussi la dynamique des échanges qui s'est opérée à cette occasion. C'est pourquoi, des redondances peuvent être ressenties avec les résultats de l'analyse P2.

D'un autre côté, les résultats montrent que la majorité des groupes orientent leur questionnement dans la recherche de moyens concrets pour construire la tour en papier. En effet, la plus grande partie des interactions lors du travail en groupe témoignent de la prise en compte des nécessités opérationnelles dans la recherche de solutions, et font référence plus ou moins explicitement aux contraintes matérielles livrées par le cahier des charges. Dans tous les groupes, le questionnement se porte à un moment ou un autre sur les aspects pratiques, pragmatiques, de la réponse au défi. Si certains élèves ne proposent pas d'emblée des solutions de caractère opérationnel, ces aspects ressortent nécessairement à un moment donné sous lors de confrontations venant d'autres élèves du groupe :

(T2) *E.Bleu3Mac : non (pas la tour Eiffel) c'est trop dur après il faut faire des petits trous partout*

(T2) *E.Rouge4Mac : ouais mais c'est compliqué comme ça*

(T2) *E.Bleu2Mie : mais c'est impossible de faire ça*

(T2) *E.Bleu2Seb : comment tu veux qu'on fasse comme ça ? (...) mais après il faut que ça tienne !*

Les interventions de l'enseignant (Delphine) auprès de chaque groupe lors du T2 participe à orienter les élèves le plus vite possible dans un questionnement au sujet de l'opérationnalisation des propositions : « *D : essayez de dessiner déjà...déjà rien que ton idée, voir si tu arrives à la dessiner (...) mais comment ça va tenir alors ?* ». Les interventions visent à attirer particulièrement l'attention des élèves sur les aspects matériels avec lesquels les élèves devront ensuite interagir : « *D : mmh, d'accord ...il faudra voir aussi avec le matériel qu'est-ce qui est réalisable... (...) Ah d'accord, alors il faut voir....je vous rappelle que c'est des feuilles de papier journal... il faudra voir si ça fonctionne (...) Ah il y a beaucoup d'idées, de très bonnes idées... maintenant il faut savoir que vous allez devoir construire avec du papier, juste des feuilles de papier journal, comment vous allez transformer ce papier pour lui donner une forme... c'est à vous de voir si ça marche, moi je ne sais pas...* »

Dans quelques groupes, les interventions semblent sensibiliser les élèves à la question, parfois les poussent à imaginer des alternatives ou à réguler leur proposition. Or, dans l'ensemble des cas, aucun groupe ne choisit de changer radicalement de direction suite à une intervention, et font en sorte de rester au plus proche de leur idée de départ tout en la rendant la plus possible.

(T2, classe Mie) *D : (...) ah ben dites donc ! ... pourquoi pas oui, on va voir si ça marche avec le papier par contre*

*E.Jaune4Mie : ça va être un peu dur*

*E.Jaune3Mie : ça va être galère...*

(Delphine repart, le groupe imagine une solution alternative)

*E.Jaune2Mie : ouais mais c'est plus compliqué...mais on essaye quand même si l'autre elle ne marche pas*

*E.Jaune2Mie : en fait on a le droit de faire une pyramide ?*

*E.Jaune3Mie : je crois qu'on s'en fiche de la forme*

(T2, classe Mie) E.Rouge1 : Madame ? Ça serait bien cette idée ?

D : eh ben en tout cas c'est joli ! Mais je me demande comment la construire en papier... il faudra voir si ça marche...

E.Rouge1 : et ça c'est dur ou pas ?

D : à mon avis, ce qui est important de comprendre c'est que, vos croquis je trouve ils sont super beaux (admiratif) mais ce qui est surtout important c'est de voir quelles idées vous allez garder de ça peuvent vraiment fonctionner, sans essayer de reproduire exactement votre idée sur le dessin, qu'est-ce que je vais garder de ça qui va me permettre de faire tenir ma tour debout, tu vois ?

E.Rouge2Mie : mais là Jeremy, ça serait bien si on mettait encore là et derrière, ça serait bien 4...enfin 5

(Delphine repart)

E.Rouge3Mie : ben on fait quoi alors ?

E.Rouge1Mie : ben on rajoute deux pieds là (impatient)... mais sinon ça va pas tenir avec que deux pieds, on rajoute un pied là et un pied devant, d'accord ?

(T2, classe Mie) D : ça, c'est votre concept commun ?

E.Blanc4Mie : ou sinon on avait la tour Khalifa... ou les Tours Jumelles

D : (...) parce que ça c'est une tour qui existe ?

E.Blanc1Mie : oui, c'est à Seattle... Space Needle Center....

D : ah oui (admiratif) !... alors c'est bien que vous vous inspiriez de tours (...) pensez vraiment à être au plus efficace, plutôt que d'essayer que ça "ressemble", ça c'est vraiment très très important... inspirez-vous des bonnes idées, mais ne cherchez pas à refaire la même chose (...) moi ce qui m'importe c'est que vous trouvez à construire quelque chose qui tienne debout, même si ça ressemble à rien. D'accord ? Mais c'est une bonne idée, avec toutes les tours que vous avez, je suis sûre qu'il y a des bonnes idées à prendre...

(Delphine repart)

E.Blanc4Mie : ben faut prendre les idées de chaque tours, des tours jumelles, de la tour Eiffel, et...

E.Blanc3Mie : c'est pas la beauté de la tour, c'est pas la beauté de la tour, c'est de faire une tour qui tienne qui est important !

Ainsi, pour une partie des élèves, il est évident que l'enjeu principal est de trouver une solution *faisable*, réalisable et efficace du point de vue opérationnel. La vraisemblance de la tour arrive au second plan et est même considérée comme un obstacle à la réalisation. Dans ce cas, les élèves réfléchissent à une solution concrète qu'ils attendent de pouvoir mettre en œuvre pour en vérifier la pertinence. Leur questionnement se porte sur la recherche de stratégies pour que la tour « tienne » en tenant compte des différentes contraintes matérielles (hauteur, consistance papier, restriction). Ainsi ces élèves s'attendent à faire valoir leur proposition devant les tiers à partir de l'efficacité de leur construction sur un plan opérationnel.

(T2, classe Fed) *E.Vert3Fed : c'est un modèle ça, c'est pas le vrai appartement !*

*E.Vert4Fed : non, ça, ça va être le vrai !*

*E.Vert3Fed : ouais mais pas le vrai dans la vie*

*E.Vert4Fed : mais non... parce que sinon il serait pas en papier ! Ça résiste vachement au tsunami le papier (rires)*

De manière générale, les résultats montrent que la différence de représentations concernant les enjeux de l'activité de défi implique des confrontations au sein du groupe. En effet, cette divergence crée forcément une incompréhension ou un désaccord entre les élèves, et se révèle être, par-là même, une occasion de définir plus précisément le problème.

Voici quelques exemples de confrontation de ces différents points de vue particulièrement significatifs. Le surlignage met en relief le questionnement se portant sur le registre opérationnel venant confronter les propositions qui se portent sur un registre conceptuel. Le critère de faisabilité fait ici l'objet de contre-argument venant contester le critère de vraisemblance.

(T2, Classe Mac) *E.Jaune1 : on fait une tour avec un mur comme ça dessus, tchac tchac, comme ça s'il y a une catastrophe, ça se sépare en deux !*

*E.Jaune3Mac : avec du... papier journal ?*

*E.Jaune1Mac : mais oui avec du papier journal*

*E.Jaune2Mac : non on fait une tour en forme comme ça !*

*E.Jaune3Mac : mais non c'est beaucoup trop petit... un mètre de haut hein...*

*E.Jaune2Mac : mais non je dis une tour comme ça de cette forme*

*E.Jaune1Mac : ouais... mais on peut faire ça regarde (dessine)*

*E.Jaune2Mac : parce que... rond ou carré ?*

*E.Jaune1Mac : je sais ! On fait un immeuble comme ça comme t'as dit, et on fait une toute petite tour à côté*

*E.Jaune2Mac : il faut faire de 1 mètre hein*

*E.Jaune1Mac : oui on fait une tour de un mèèèèètre de haut et on fait une tour petite tour à côté avec une passerelle, au cas où l'immeuble allait s'effondrer eh bien les gens ils peuvent aller dans la tour ! Super solution de sécurité !*

*E.Jaune2Mac : dans la minuscule tour, où il y a que 10 personnes qui entrent !?*

*E.Jaune1Mac : non parce que, en fait, comme on est en 2022, c'est-à-dire qu'ils ont réussi à faire très très grand dans tout petit ! (...)*

*E.Jaune2Mac : non mais une tour en papier hein, pas une vraie tour d'aujourd'hui ! (...)*

Voici un autre exemple intéressant, où le critère de vraisemblance tient le rôle de contre-argument pour contester les propositions peu contextualisées, par exemple la nécessité d'un bâtiment devant loger et protéger des personnes.

(T2, Classe Mie)

*E.Rouge1Mie : un gratte-ciel rond, et en haut on met un truc grand comme ça (...)*

*E.Rouge3Mie : mais je vois pas trop où est-ce qu'il y a des gens qui vont dedans...*

*E.Rouge2Mie : mais il n'y a pas de gens qui vont entrer là-dedans!*

*E.Rouge1Mie : mais là c'est une maquette!*

*(E.Rouge1 continue à dessiner)*

*E.Rouge1Mie : ça imagine que c'est pour tenir...voilà !*

*E.Rouge3Mie : ah ouais ! ...et comment on va faire ces barres-là?*

*E.Rouge1Mie : ben on fait en papier, on plie et on fait des espèces de ronds et on scotche*

Enfin, un dernier exemple pour illustrer comment des points de vue différents font l'objet de confrontation et de négociation dans le groupe.

(T2, Classe Seb)

*E.Violet1Seb : en fait moi ce que je pense c'est que l'immeuble... la maquette on va faire comme ça, comme ça là comme ça et encore comme ça (dessine) (...)*

*E.Violet3Seb : oui mais moi ce que j'avais pensé c'est qu'on prenne la maison depuis le début pis après avec tout le journal qui nous reste on met derrière, pis après on scotche où on a mis le journal*

*E.Violet1Seb : mais là regarde il y aura partout le journal ...là c'est un côté...bon, on va refaire comme il faut ok ?... on va faire comme ça comme ça, parce qu'on est pas obligé de le faire comme un vrai immeuble (...) on pourrait imaginer de faire par exemple comme ça comme ça etc. (continue à dessiner) là il y aura du journal, là il y aura du journal, etc.... et là aussi parce que il faut que ça soit un immeuble (...)*

*E.Violet3Seb : en fait tu sais moi ce que j'avais pensé c'est que dans le journal il y aurait déjà un appart ...pis après là en bas et en haut on peut faire comme ça... on plie un bout (...) après ça nous fait les fenêtres*

*E.Violet1Seb : non mais on veut pas faire de fenêtres*

*E.Violet3Seb : non mais il y aurait déjà les fenêtres sur le journal*

*E.Violet1Seb : quoi ?*

*E.Violet3Seb : attends tu piges pas, on prend le journal on cherche un appart et si on trouve un appart...*

*E.Violet1Seb : non mais on va pas chercher un appartement juste pour avoir les fenêtres... Moi je trouve nul...c'est bien, mais c'est que chercher un appartement ça sert à rien*

*E.Violet3Seb : ben justement après... il y aura par exemple de l'herbe et tout...*

*E.Violet1Seb : on s'en fout de l'herbe...*

*E.Violet3Seb : on fait comme ça (essaye de faire tenir la feuille de brouillon en pliant légèrement le bas)*

*E.Violet1Seb : non mais (...) moi ce que je dis c'est que nous on peut faire un carré (continue à dessiner)*

Il est intéressant de voir que la nécessité de trouver une solution commune engage les deux élèves à justifier ou à contester leur proposition, dans l'espoir de convaincre l'autre. Les deux filles se représentent la proposition de l'autre mais ne la jugent pas pertinente par rapport à l'enjeu du défi qu'elles perçoivent, et l'attention qu'elles

portent sur certains éléments du problème en priorité. En fait, une argumentation s'opère principalement autour de la question de vraisemblance, tantôt considérées comme une priorité tantôt considérée comme inutile pour relever le défi : « *non mais on veut pas faire de fenêtres (...) non mais on va pas chercher un appartement juste pour avoir les fenêtres (...) ça sert à rien (...) on s'en fout* ». Alors que les deux élèves fondent leur proposition sur le modèle d'un immeuble traditionnel, E.Violet1 tente de préciser sa justification : il s'agit de s'*inspirer* des technique de construction (quatre façades) « *parce que il faut que ça soit un immeuble* », et non pas d'imiter son *apparence* « *parce qu'on est pas obligé de le faire comme un vrai immeuble* ».

#### 4.8.1.2 *Les propositions de design*

Ce point met en évidence les grandes catégories des solutions imaginées par les élèves en réponse au défi. Dans l'objectif de parvenir à concevoir « une tour qui tienne », plusieurs formes générales de solutions émergent. Avant d'observer de près à quelles contraintes explicites les pistes de solutions des élèves se réfèrent en particulier, les différentes propositions de design sont résumées ici.

##### 4.8.1.2.1 *Les premières sources d'inspiration*

Pour commencer, plusieurs propositions font référence à des constructions architecturales célèbres, dont « la tour Eiffel » (ressort dans 6 groupes différents), la « cathédrale Saint Pierre », ou toutes sortes de « building » contemporains, auxquels fait allusion en particulier un élève amateur (E.Blanc1Mie). Quelques exceptions mises à part, ce type de propositions sont généralement lancées sans questionnement sur le plan opérationnel.

(T2) *E.Bleu3Mac : non ! On peut faire la tour Eiffel !*

(T2) *E.Blanc4Seb : Eh ! Comme la tour Eiffel*

(T2) *E.Rouge3Seb : (...) et on en fait une tour Eiffel*

(T2) *E.Blanc4Mie : oh ! La tour Eiffel !*

(T2) *E.Blanc1Mie : moi je sais quoi faire, le Burj Khalifa je sais ce que c'est (...) sinon on peut faire euh...un truc qui tient aussi assez bien aussi : le Space Needle*

(T2) *E.Blanc3Mie : ah sinon les tours jumelles !*

(T2) *E.Blanc1Mie : sinon on fait la cathédrale Saint pierre*

De plus, l'idée d'une construction en « pyramide » ressort dans plusieurs groupes (7).

(T2) *E.Rouge2Mac : j'ai une autre idée (...) un peu comme les pyramides d'Egypte*

(T2) *E.Vert4Fed : moi j'avais pensé une sorte de pyramide*

(T2) *E.Rouge2Mie* : (...) *c'est un gratte-ciel avec comme une pyramide en bas si tu veux*

(T2) *E.Jaune2Mie* : *ou bien alors on fait une pyramide (...) on met plein de boules (...) en fait on a le droit de faire une pyramide ?*

(T2) *E.Rouge2Mac* : (...) *en fait c'est comme une pyramide (...)*

(T2) *E.Bleu3Mie* : *et puis on peut faire aussi une pyramide !*

(T2) *E.Rouge3Seb* : *ah ouais ça fera une pyramide quoi !*

Il est difficile d'évaluer de quelle manière ces références inspirent réellement les projets de construction des élèves. Un des groupe défend fermement sa construction en tant que *maquette* inspirée du *Burj Khalifa* (la construction finale comporte en effet les mêmes caractéristiques : trois pieds et une structure ronde sur la partie supérieure). Deux groupes mènent à bout une construction en forme de pyramide (dans un cas un empilement de boules, dans l'autre une pyramide creuse à trois faces). Dans ce cas, il est possible que cette idée ait inspiré les constructions imaginées avec une base large. Aussi, il est possible que l'architecture de la tour Eiffel ait porté une influence sur certaines constructions basées sur 4 pieds.

Enfin, plusieurs groupes font généralement référence aux constructions traditionnelles, telle qu'« *une maison* » ou « *un immeuble* ». Il faut préciser que le terme *immeuble* est utilisé spontanément dans les groupes, il n'est pas énoncé dans les consignes (contrairement aux mots « *tour* », « *maquette* », « *bâtiment* »). Cette idée sera exploitée dans plusieurs groupes, et induit une construction comportant des *façades*, soit droites, soit rondes.

Par la suite, on peut observer que plusieurs propositions s'appuient sur des inspirations diverses.

#### **4.8.1.2.2 Une construction avec parois**

Dans plusieurs groupes, une priorité est donnée à l'imagination de la forme extérieure de la tour, soit, des parois qui constitueront la construction. Dans la plupart des cas, les élèves semblent penser que la fabrication des parois suffit à la tenue de la construction et que l'efficacité de la construction réside dans le choix de cette forme.

Une idée qui ressort dans plusieurs groupes est celle d'utiliser des feuilles dépliées pour réaliser plusieurs façades ; dans ce cas les élèves prévoient simplement de les coller bout à bout pour former soit un « *immeuble* », c'est-à-dire, un parallélépipède rectangle (3 groupes<sup>144</sup>) ou alors une « *pyramide* » (1 groupe<sup>145</sup>). D'autres propositions se basent sur le même désir de réaliser des façades, par exemple une

---

<sup>144</sup> Groupe Rouge Fed, groupe Violet Fed, groupe Bleu Fed.

<sup>145</sup> Groupe Vert Fed.

construction sous forme d'un *panier* cylindre<sup>146</sup>, soit sous forme d'une *tente*<sup>147</sup>, qui part du principe de faire tenir une feuille pliée en chapeau ^ : « *Je sais ! On met une feuille de journal comme ça* (fait un signe ^ avec les mains), *on en met deux autres comme ça tac tac* (mime de chaque côté) *et après on les colle tous ensemble* ». Cette dernière proposition sera retenue par un groupe supplémentaire<sup>148</sup> dès le T4, s'inspirant explicitement des « *châteaux de cartes* ».

Ce groupe de propositions se base sur une représentation commune au niveau opérationnel : l'attente que les feuilles de papier détiennent suffisamment de rigidité propre pour se tenir entre elles sans s'effondrer, au moins le temps de rajouter des renforts. Certains groupes prévoient en effet de consolider leur structure après avoir réalisé les parois, en ajoutant des matériaux de rembourrage. Cette représentation se base aussi probablement sur des observations extérieures et antérieures à la tâche qui démontrent que certains papiers peuvent tenir debout sur l'arrête grâce à un simple pliage (en référence par exemple aux cartes de vœux, au château de cartes, à diverses boîtes ou contenants rectangulaires du commerce en papier cartonné, etc.).

En outre il semble que ce type de réponses traduit un certain souci de vraisemblance, persistant malgré une réflexion prédominante sur le registre opérationnel. D'un autre point de vue, les élèves semblent avoir la conviction que le fait de s'inspirer du modèle traditionnel de construction de bâtiment, un procédé ayant en quelque sorte *déjà fait ses preuves*, est forcément une bonne solution (sous-entendu, *on ne construit pas les maisons comme ça si ce n'était pas solide*). Dans ce cas, l'anticipation des limites du matériel mis à disposition ne semble *a priori* pas décourager les élèves. Notons que ces représentations feront toutes obstacles lors de la phase de réalisation des projets de tours (T4)<sup>149</sup>.

A l'inverse, d'autres groupes prévoient de confectionner des façades après avoir construit la structure de leur tour, de manière à "cacher les trous" ou à "consolider". Cette intention semble autant de visée esthétique que fonctionnelle.

(T2) *E.Rouge1Seb* : *j'ai une idée, après tu mets du papier journal pour faire les façades*

(T2) *E.Vert1Mie* : (...) *on remet du papier sur les côtés (...) mettre un papier autour pour cacher les trous et pour que ça tienne*

(T2) *E.Rouge3Fed* : (...) *Il y avait aussi l'idée pour faire tenir, du papier autour de l'immeuble pour que ça tienne*

---

<sup>146</sup> Groupe Vert Mac.

<sup>147</sup> Groupe Rouge Seb.

<sup>148</sup> Groupe Blanc Seb.

<sup>149</sup> Voir point suivant, 4.8.2 *La phase de mise en œuvre des projets*.



A la fin du T2, 4 groupes<sup>150</sup> se sont mis d'accord pour une construction à partir d'une colonne centrale (monolithe) réalisée en roulant le papier :

(T2) *E.Vert1Seb : et si on essayait en rond...ça serait plus facile...enrouler les feuilles, scotcher...*

(T2) *E.Bleu3Mie : on fait un machin comme ça (socle) ensuite on met un grand tube là*

(T2) *E.Rouge1Mie : ah j'ai une idée on pourrait faire un gratte-ciel...rond !*

(T2) *E.Bleu2Seb : (...) tu fais un rond-carré et après c'est ça qui va tenir*

#### 4.8.1.2.3 Une construction avec armature

Dans plusieurs groupes, une priorité est donnée à l'armature qui constituera la construction. Dans ce cas, les élèves anticipent probablement les difficultés dues à la faible rigidité des feuilles de papier et prévoient une stratégie de construction susceptible de créer une certaine tenue.

Un autre groupe de propositions important est l'idée d'une construction fondée sur quatre piliers réalisés en roulant des feuilles de papier<sup>151</sup> :

(T2) *E.Rouge1Mac : mon idée c'est une feuille de journal, on va la faire comme ça puis on la met droite, après on les empile les unes sur les autres pareil partout pour faire un carré et pour les angles on enroule comme ça (...) on va faire des rouleaux et on va les superposer comme ça c'est bien solide*

(T2) *E.Jaune2Mie : non mais sinon on roule des papiers, on fait des colonnes comme ça (...) en fait on veut faire une plateforme avec 4 poteaux, après on met un papier là, un papier là, un papier là, un papier là aussi, après on refait une plateforme dessus, on remet des colonnes, et on refait la même chose (...)*

(T2) *E.Blanc1Seb : c'est une tour comme ça, avec plusieurs piliers comme ça, plusieurs piliers pour la faire tenir*

(T2) *E.Rouge1Seb : ici il faudrait mettre des piliers tu sais (...) tu plies comme ça et après tu scotches (...) tu vois c'est un truc comme ça que je voulais faire, tu vois tu as le bâtiment qui est au centre et les piliers qui tiennent c'est ça*  
*E.Rouge4Seb : ...mais les piliers t'as juste à prendre une feuille de journal et tu l'enroules*

(T2) *E.Vert1Mie : (...) en fait on fait 4 poteaux avec le papier, on prend l'exemple du crayon, on enroule le crayon, on met le scotch autour, et ça fait une brique... donc ça fait un poteau, un poteau, un poteau, etc.*

---

<sup>150</sup> Groupes Bleu Seb, Vert Seb, Bleu Mie, Rouge Mie. Au T4, le groupe Jaune Mac et le groupe Blanc Mac, opteront aussi pour ce procédé.

<sup>151</sup> Finalement, cette stratégie de construction va être mise en œuvre par 3 des 5 groupes l'ayant imaginée au T2, et par un nouveau groupe au T4 groupe Bleu Mac.

Une idée hybride de structure à partir des rouleaux de papier réunis dès la mi-hauteur, formant ainsi une colonne à trois pieds, c'est-à-dire une sorte de trépied (Groupe Blanc Mie). La pertinence de cette proposition est justifiée par le fait qu'elle s'inspire d'une construction architecturale existante, ingénieuse et originale, et de plus est, vainqueur du record du monde de hauteur (Dubai, 850m) : « (...) *le Burj Khalifa* (...) *ça a trois côtés en fait, comme ça, ça se rejoint* (...) ». Vu que le projet s'est révélé efficace lors de sa mise en œuvre, le proposant a volontairement choisi un design qu'il pensait pouvoir réaliser facilement, comparé à d'autres propositions jugées trop peu originales (les tours jumelles, la tour Eiffel) ou trop complexe à mettre en œuvre (Cathédrale Saint Pierre).

#### 4.8.1.3 *La gestion des différentes contraintes*

Ce point met en lumière les contraintes explicitées dans le cahier des charges qui ont, dès le départ, retenu l'attention des élèves, ainsi que les paramètres technoscientifiques sous-jacents qu'ils ont été capables d'identifier, avant d'y être concrètement confrontés.

##### 4.8.1.3.1 *La contrainte « Matériel » & le problème de la rigidité du papier*

Au T1, suite à la lecture des consignes, les premières réactions des élèves concernent généralement le matériel mis à disposition pour construire la tour (rien que du papier et du scotch) ainsi que la quantité restreinte de matériel exigée. De manière générale, cette contrainte pose problème aux élèves et les laisse souvent stupéfaits. La représentation qu'ils se font au départ du problème, encore très floue, est qu'il est difficile –voire impossible– de construire une tour uniquement avec du papier, d'autant plus que la quantité est restreinte.

(T1, classe Mie) *D : donc pour cela vous n'aurez donc à disposition que du papier journal*

*E.Mie : quoi !?*

(T1, classe Seb) *D : (...) donc au départ, vous seront données 5 feuilles*

*E.Seb : c'est tout ?*

*D : oui, pour commencer. Peut-être que vous aurez besoin de plus... Pour cela il faudra simplement le demander (...)*

*E.Seb : c'est pas grave si on utilise plus de papier ?*

(T1, classe Mac) *D : (...) encore une autre question ?*

*E.Mac : mais il y a assez de papier ?*

*D : oui oui ne t'inquiète pas, j'en ai encore dans ma valise*

Lors du premier temps de travail de groupe sans matériel (T2), la contrainte « papier journal » continue couramment à faire objet de questionnement. En fait, l'élément du problème qui prédomine dans le questionnement des élèves se réfère aux

propriétés du matériau d'investigation lui-même. A l'issue du questionnement partagé en groupe, les élèves font avancer leur représentation en lien avec la contrainte du matériel, par exemple ils identifient et explicitent plus précisément la difficulté liée à la *consistance* du papier, et appréhendent sa *faible rigidité propre*.

En effet, une majorité des groupes (chez 13 groupes sur 19) anticipent le problème de la rigidité du papier comme élément déterminant, et établissent une corrélation avec le problème de la solidité générale de la construction. La conception dominante qui fonde cette appréhension du problème est que le papier est un matériau fragile et qu'une tour construite en papier ne peut pas être solide, « ça se tient pas ». La feuille d'un papier journal est perçue comme un matériau « fin », « faible », « souple », « léger » et donc difficile à « faire tenir ».

(T2) *E.Blanc1Mac : euh... en papier ça va être dur*

(T2) *E.Rouge2Seb : mais le papier il est trop fin... tu sais, avec ce papier on aurait fait ça tranquille... c'est pas comme le papier journal*

(T2) *E.Rouge1Seb : ça se déchire trop facilement*

(T2) *E.Jaune1Seb : une petite feuille de papier journal c'est très fin (...) je vous signale que c'est du papier journal / ça se tient pas (...) ça tiendrai jamais c'est trop léger ! Surtout avec du papier journal c'est hyper fin le papier journal ...tu le froisses et ça se déchire comme ça le papier journal*

(T2) *E.Blanc3Seb : regarde le papier comme il est méga fin*

(T2) *E.Bleu3Fed : mais le papier ça peut (geste d'effondrement...) si tu faisais un truc comme ça, avec les feuilles ça va pas tenir (...) faudrait déjà que le papier tienne*

En réponse à ce problème, certains élèves expriment plus ou moins explicitement le besoin d'expérimenter pour faire avancer le questionnement « *on ne sait pas si ça va tenir* », sous-entendu, *il faut voir pour savoir*. D'autres élèves montrent que leur questionnement se porte déjà sur les moyens d'augmenter la rigidité du papier « *ça tient pas forcément, il faut réussir à le faire tenir* ».

Plus tard, l'élément du problème qui est le plus explicité lors du T3 est la contrainte de devoir construire la tour *en papier*. La première mise en commun amène les élèves à formuler plus précisément cet élément fondamental du problème, soit, la faible consistance du papier journal<sup>152</sup>.

(T3, classe Mac) *D : dans ce que je vous ai demandé de réaliser aujourd'hui, qu'est ce qui semble le plus difficile à faire ?*

*E.Vert1Mac : de la faire en papier*

*D : (...) pourquoi c'est un problème le papier ?*

*E.Vert1Mac : parce que c'est pas très dur*

*D : parce que c'est un matériel qui est un peu fragile, c'est ça ?*

---

<sup>152</sup> En comparaison, le papier journal a moins de rigidité propre que du papier cartonné ou même des feuilles de papier d'imprimante, mais en a plus que du papier mouchoir.

*E.Rouge1Mac : ouais ça se tient pas*

(T3, Classe Seb) *D : Alors pour commencer par exemple, qui peut me dire, dans ce défi, dans cette activité: qu'est ce qui pose problème?*

*E.Jaune1Seb: on sait pas si ça va tenir*

*D: (acquiesce) déjà il faut que ça tienne...que ça tienne... mais qu'est ce qui tient? Qu'est ce qui doit tenir? Pourquoi ça ne tiendrait pas?....*

*E.Jaune2Seb: le papier*

*D : le papier? Qu'est-ce qu'il a le papier?*

*E.Jaune2Seb: ben si on colle, on sait pas si ça va mouiller, si ça va tomber, si ça va rester droit...*

*D: tu dis, à cause du papier?*

*E.Jaune2Seb: oui*

*D: qu'est-ce qu'il a ce papier?*

*E.Jaune2Seb: il est trop fin*

*D: il est fin, le papier c'est fin déjà, oui (écrit au tableau).*

(T3, classe Fed) *D : Qu'est-ce qui vous semble difficile à réaliser et quelles sont vos pistes ?*

*E.Violet1Fed : c'est du journal ça peut casser (...)*

*D : quand tu dis c'est du journal ça veut dire quoi ?*

*E.Violet1Fed : c'est faible*

(T3, classe Mie) *D : qui a d'autres idées de difficultés ? Est-ce que vous en percevez d'autres ? Par exemple, (prend le papier en main) qu'est-ce qu'on peut dire là-dessus ?*

*E.Vert3Mie<sup>153</sup> : euh une feuille normale c'est un peu plus dur (...) bah c'est compliqué par ce que ça tient pas forcément, ça tombe directement, faut réussir à le faire tenir (...) bah parce que c'est léger, c'est souple.*

#### **4.8.1.3.2 Les pistes de solutions pour remédier au problème du manque de rigidité du papier**

Plusieurs solutions sont imaginées par les élèves pour remédier au problème du manque de rigidité du papier. Un premier groupe de solutions concerne les solutions trouvées par les élèves pour *rendre le papier plus rigide* : il s'agit de réaliser des segments plus ou moins rigides à partir des feuilles souples. Ces solutions concernent les modes de façonnage du papier.

Deux propositions ressortent de manière prédominante dans les groupes. D'une part, l'idée de rouler le papier pour réaliser des « rouleaux », soit toutes sortes de variantes formulées sous diverses appellations : « tubes », « piliers », « colonnes », « poteaux », « bâtons » ou encore « cure-dents ». Notons que cette stratégie de fabrication est dominante dans les pistes de solutions imaginées pour créer une structure solide, en général soit sous forme d'une grosse colonne centrale, soit au moyen d'un socle fait de 4 piliers.

---

<sup>153</sup> Il est intéressant de relever que la question de la rigidité du papier n'avait pas été explicitée dans ce groupe lors du travail de groupe précédant la plénière

(T2) *E.Rouge3Fed* : ah je vous dirais une bonne idée (...) on l'enroule ! On roule ! (...) un bout de papier qui est enroulé et qui tienne, comme le bâton mais en papier

(T2) *E.Bleu1Mac* : oh regarde ! Un tube voilà (...)

(T7) *E.Bleu1Mac* : bah nous on a pris un papier journal après on a tout de suite enroulé

*E.BleusMac* : en fait on a d'abord coupé le journal comme ça (désigne une demi feuille) et on le plie comme ça et on roule ici (...) on a fait un pilier, on a mis des rouleaux comme ça (...)

Il apparaît lors d'une plénière que cette stratégie est aussi imaginée comme moyen supplémentaire pour augmenter la solidité générale de la construction.

(T3) *E.Vert1Mie* : là faudrait mettre des poutres un peu.

*D* : des poutres, par exemple. Donc toi ça serait, une structure mais qui soit...ça serait à l'intérieur ou à l'extérieur du coup ?

*E.Vert1Mie* : à l'intérieur

*D* : aussi à l'intérieur (...)

*E.Blanc1Mie* : si on fait une tour fermée on peut mettre, on peut tourner le journal et mettre, comment dire... une barre de journal dedans, comme ça, ça tient

Par ailleurs, une autre idée forte est de froisser le papier pour en faire des « boules » ou des « boulettes » et apparaît dans plusieurs groupes au T2 (5 groupes<sup>154</sup>). Plus loin, nous allons voir que cette stratégie est imaginée soit pour ériger une pyramide, soit prévue comme matériau de rembourrage pour une structure enveloppante.

(T2) *E.Bleu1Fed* : mais en fait on pourrait chiffonner le papier journal ! (...) on fait des boules et après on remplit la maison

(T2) *E.Rouge3Seb* : je sais ! Dedans tu mets une boule ! (...) on fait des boules et on les assemble

(T2) *E.Jaune2Seb* : non moi j'ai une idée, tu vois, c'est de mettre des boules (...)

Une proposition alternative, hybride, est l'idée de froisser et tordre le papier en petits « bâtonnets », servant soit de matériau de consolidation interne, soit de matériau pour le « tressage » d'un segment de la tour, soit de segments à empiler (4 groupes).

(T2) *E.Bleu2Fed* : (...) après on fait des petits rouleaux comme ça de papier (...) et on les enfle comme ça

(T2) *E.Blanc1Mie* : (...) moi je dirais ça... on tourne les papiers ça fait déjà des tresses et on les colle ensemble

(T2) *E.Rouge1Mac* : (...) on va prendre des feuilles qu'on va froisser comme ça et qu'on va superposer (croiser entre eux) (...) comme de la vannerie (...) ça sera bien solide

---

<sup>154</sup> Groupes Jaune Seb, Rouge Seb, Bleu Fed, Jaune Mie

(T7) *E.Rouge2Mac : en fait on a roulé mais en même temps on a écrasé*

#### **4.8.1.3.3 Les pistes de solutions pour remédier au problème du manque de solidité/rigidité de la structure**

Ensuite, plusieurs moyens sont imaginés par les élèves pour remédier au manque de solidité/rigidité plus général de la structure. Tout d'abord, une stratégie majeure imaginée pour consolider la structure est d'augmenter la quantité de papier, soit en guise de renfort des parois (plusieurs couches), soit en guise de rembourrage des parois. Notons que cette proposition est générée par la représentation selon laquelle il faudrait forcément une grande quantité de papier pour que la tour soit suffisamment solide. Autrement dit, que la solidité de la construction dépend de la quantité de matériel utilisé pour la construire, soit qu'on la renforce à mesure qu'on augmente le nombre de couches et/ou de matière de rembourrage.

A de nombreuses reprises l'idée d'augmenter le nombre de couches de papier ou de scotch est anticipée comme un moyen efficace potentiel pour consolider ou renforcer la tour :

(T2) *E.Blanc1Mac : tu mets plusieurs couches !*

(T2) *E.Rouge4Fed : (...) il doit y avoir beaucoup de papier*

(T2) *E.Jaune2Mie : (...on met) plein de couches (...)*

(T2) *E.Blanc2Mac : (...) on va mettre plein de scotch là là tout autour pour que ça tienne, plein de scotch partout partout*

(T2) *E.Vert1Fed : mais il faudrait mettre plein de papier dedans pour que ça tienne !*

(T3) *D : (...) par exemple ce papier-là, qui est souple, qui est léger, qui est mou comme vous avez dit, mais ça serait quoi la piste pour le rendre solide, lui-même, sans même penser à la forme que pourrait avoir votre tour, qu'est-ce qu'on pourrait faire ?*

*E.Blanc3Mie : bah mettre du scotch*

*D : Alors peut-être (écrit au tableau) Donc le scotch ça pourrait permettre de solidifier. Oui ?*

*E.Blanc3Mie : mettre plusieurs couches (...)*

De plus, l'idée des boules de papier apparaît dans de nombreux groupes comme le moyen potentiellement efficace de consolidation –en particulier ceux qui choisissent une construction en façades<sup>155</sup> ou en colonne centrale<sup>156</sup>– leur servant en fait de matériaux de rembourrage.

(T2) *E.Rouge1Fed : ben moi j'avais une idée c'était (...) à l'intérieur de mettre des espèces de bouts de papier, enfin des boulettes de papier pour que ça tienne (...) pour que ça soit plus dur à l'intérieur*

<sup>155</sup> Groupe Vert Mac, groupe Rouge Seb, groupe Bleu Fed au T2

<sup>156</sup> Groupe Vert Seb et groupe Vert Mac dès T4

(T2) *E.Rouge3Seb : je sais ! Dedans tu mets une boule !*

(T2) *E.Bleu1Fed : moi je sais comment faire pour que ça tienne...en fait on pourrait chiffonner le papier journal et après mettre dedans, et après là ça va sûrement tenir*

*E.Bleu4Fed : (...) on fait des boules et après on remplit la maison*

(T3) *Ens : et qu'est-ce que vous comptez faire pour que ça tienne bien ensemble ?*

*E.Bleu1Fed : des boules de papier et des petites barres pour renforcer (...)  
Des boules de papier pour que ça tienne bien ensemble*

#### **4.8.1.3.4 La contrainte « Résistance » & le problème de la stabilité de la tour**

Au T1, une des réactions immédiates suite à la lecture des consignes se porte sur la nature des tests prévus pour évaluer l'efficacité des tours en papier en fin d'activité (cf. déroulement de la séquence). En effet, les élèves n'ont pas d'informations sur la nature des tests qui les attendent : « (classe Mac) *D : (...) on fera quelques tests, mais ça je vous en dis pas plus pour l'instant* », ce qui les interpelle souvent beaucoup. Un grande partie du questionnement autour de cet élément non défini du problème se construit dans les temps qui suivent, encore peu au T1 (seulement dans une classe), mais de manière significative au T2 et au T3 (voir plus loin). Précisons que du T1 au T3, le questionnement se porte autant sur le registre conceptuel (référence à la contrainte symbolique des « catastrophes naturelles ») que le registre opérationnel (résistance aux tests de simulation).

(T1, Classe Seb) *Del : donc, vous devez construire une tour en papier de 1 mètre de haut qui tient debout. Et à la fin, on va mesurer la hauteur et on va faire des tests pour voir si elle tient bien debout...d'accord ?*

*E.1Seb: comment on va faire?... pour voir si elle tient vraiment debout?*

*E.2Seb: on va lui souffler dessus (rires)*

*D: Alors ça, je peux pas vous en dire plus, mais en tout cas si vous arrivez à construire une tour avec ce papier, juste comme ça, qui tienne debout, normalement vous avez déjà...*

*E.3Seb: on peut le faire par terre?*

*E.4Seb: pourquoi ? Y a personne qui a réussi?*

Lors du travail en groupe (T2), plusieurs groupes (6) discutent du problème de la résistance de la tour face aux tests. A ce stade les élèves font des prévisions vis-à-vis de l'efficacité des propositions discutées, le plus souvent sous forme d'arguments venant mettre en doute la solidité ou la stabilité de la construction : « *E.Rouge2Mac : oui mais ça va pas tenir aux tests* ». Les élèves n'ayant pas d'informations sur la nature des tests qui les attendent, il est intéressant de relever que ceux-ci intègrent au mieux tous les éléments qui leur sont donnés pour construire une représentation du problème la plus complète possible.

(T2) <i>E.Vert2Mac : mais si c'est fin ? Toute l'eau après ça traverse !</i>	résistance (rigidité) des matériaux face au contact de l'eau (tsunami)
(T3) <i>E.Jaune1Seb : on sait pas si ça va tenir (...) on sait pas si ça va mouiller</i>	
(T3) <i>E.Rouge3Seb: dès fois il y a le vent qui peut pousser la tour</i>	résistance (stabilité) de la structure face au contact de l'air (vent, ouragan)
(T2) <i>E.Jaune1Mie : mais avec un sèche-cheveux ça va être affreux !</i>	
(T2) <i>E.Rouge4Fed : après elle va bouger la table tu sais... mais si elle va bouger la table...si elle va bouger la table, ça va tomber quoi</i>	résistance (stabilité) de la structure face au mouvement (tremblement de terre)
(T2) <i>E.Rouge3Fed : eh bien quand tu seras à la place en 2022... si ça saute, ton immeuble il est là, pfiouou... tombé !</i>	

Sur un registre conceptuel (lié aux éléments symboliques de la mise en situation de défi), le questionnement de plusieurs groupes (8) fait référence au moins une fois à l'idée de résistance aux catastrophes naturelles :

(T2) *E.Jaune2Mac : mais si il y a un tremblement de terre comment tu fais ? (...) et s'il y a du vent... ou les deux en même temps ? (...) et s'il y a un tsunami ? (...) et si il y a une tornade ?*

(T2) *E.Bleu1Fed : on ne sait pas quoi faire parce que si c'est trop haut ça casse avec la tempête, et si c'est trop bas tout le monde va se noyer avec le tsunami*

(T2) *Jaune2Mie : en fait (une structure sans façades) c'est un peu bête, parce que si c'est anti-avalanche y a tout qui passe à travers*

Notons que si certaines pistes de solutions purement conceptuelles ne sont pas déterminantes pour la construction de la tour en papier ni pour le passage des tests à la fin des constructions, dans d'autres cas, le questionnement qui s'opère sur ce registre permet aux élèves de mieux se *figurer* certains paramètres concrets en jeu dans la situation.

Par exemple, c'est à travers une représentation imagée que quatre groupes viennent à mettre le doigt sur des paramètres technoscientifiques importants, tel que la corrélation entre la stabilité de la tour et la hauteur (plus précisément la hauteur ou le niveau de l'impact provoqué par la catastrophe).

(T2) *E.Bleu1Fed : non...faut pas que ça soit haut, parce que une tempête, ça fait tomber, ça déséquilibre*

(T3) *E.Rouge4Fed : (le problème c'est de la) faire tenir debout. Comme elle est grande elle peut tomber facilement. Si on bouge la table par exemple*



(T2) *E.Jaune1Seb* : parce qu'après il y a le vent, enfin il y a l'air donc euh... s'il passe plus en bas, eh ben tout ce qui est en haut ça va tomber

(T3) *E.Bleu1Mac* : ben aussi s'il y a une avalanche (...) si elle est trop haute, ça peut toucher la tour et la faire basculer de l'autre côté.

(T3) *E.Vert1Mac* : (le problème c'est) si la catastrophe elle va plus haut que la tour...

Plus généralement, la stabilité est un des éléments du problème que les élèves identifient. Plusieurs autres corrélations sont perçues par les élèves : l'idée que la stabilité est liée au poids de la construction, donc à la quantité de matériel, ainsi que l'idée que la stabilité est liée à la forme/volume plus ou moins équilibrée, mais à ce stade les intuitions des élèves sont encore peu précises.

(T3, Classe Mie) *E* : à part ça on a de bonnes idées

*D* : oui alors dans chaque groupe il y a de bonnes idées. Moi je ne sais pas si elles fonctionnent ou pas mais en tout cas ce qui est bien c'est qu'il y en a, et ça c'est bon. Par contre, quand vous avez réfléchi à ce que vous deviez faire, j'imagine que vous avez bien vu qu'il y allait avoir des problèmes, des difficultés, c'est quoi que vous avez identifié comme difficultés dans la tâche qui vous est demandée aujourd'hui ?

*E.Mie* : ben quelque chose de stable

*D* : quelque chose de stable, donc une stabilité....euh... bah justement comment on fait pour obtenir de la stabilité ?

*E.Mie* : ben ça doit être du même poids partout

*D* : alors ça peut être une histoire de... d'équilibre... de répartition de poids. Donc l'équilibre ça serait lié à quoi, comment on pourrait avoir de l'équilibre ? (...) mais ça voudrait dire que ça dépend de la forme de la construction ou c'est la quantité de matériel qu'on va utiliser ?

*E.Mie* : le volume

*E.Mie* : la quantité ? ...les deux (quantité et forme) ?

*D* : les deux (Delphine écrit au tableau) la quantité de matériel et aussi la forme qu'on va donner à la construction. Ok.

#### 4.8.1.3.5 Pistes de solutions pour remédier au problème de résistance/stabilité

Premièrement, seuls quelques groupes (3) s'investissent dans l'imagination de moyens pour remédier au problème de la résistance aux catastrophes naturelles sur un plan purement *conceptuel*. Dans ce cas les élèves se représentent que c'est le design de la tour qui est déterminant pour gérer la question de la résistance.

Certaines propositions se montrent plutôt réalistes et se réfèrent même à des faits observés : (T2) « *E.Vert1Mac* : on fait une tour ronde et là devant on met un truc en forme de pique (...) comme ça les avalanches, au lieu de passer sur la tour et de la péter, ça va les forcer à dévier, à se séparer en deux (...) eh c'est comme ça qu'une église elle a été sauvée hein, ils avaient mis un truc comme ça et l'avalanche a passé à côté ».

D'autres restent au contraire très imaginaires : (T2) « *E.Jaune1Mac : on fait une tour avec un mur comme ça dessus (en guise de protections) tchac tchac, comme ça s'il y a une catastrophe, ça se sépare en deux ! (...) alors là si t'as une avalanche vrouoummm ça se sépare, la maison elle est élastique alors s'il y a un tremblement de terre, ça va rester (...) et pis s'il y a du vent boulouboulou la maison elle va bouger mais elle va pas s'effondrer ! ».*

Dans le même groupe d'idées, la proposition de « *souterrain* » de construction « *sous la terre !* » ou de « *grotte* » pour résister aux catastrophes apparaît dans trois groupes. L'idée de construction- « *bateau* » ou de construction « *sous-marine* » émerge dans trois groupes.

Observons maintenant les propositions concrètes des élèves pour remédier au problème de la stabilité impliqué dans la question de la résistance aux tests. Un moyen de consolidation imaginé par les élèves concerne la base de la construction.

Premièrement, dans plusieurs groupes les solutions convergent vers l'idée de prévoir une base solide. Quelques groupes pensent à créer une base solide en façonnant du papier de manière la plus rigide possible. D'un un cas (groupe Jaune Seb), cette stratégie est pensée comme socle solide pour ériger la pyramide de boules : « *déjà il faudrait la base du truc, on pourrait plier du papier, en mettre un là, comme ça et comme ça (...) c'est des papiers qu'on roule comme ça (fait le geste de torsion)* ». Dans un autre cas (groupe Rouge Mac) l'idée est de confectionner une base solide (ainsi que des plateaux servant d'étages supplémentaires) en tressant du papier froissé sur laquelle fonder les piliers de construction.

(T2) *E.Rouge1Mac : on va prendre des feuilles qu'on va froisser comme ça et qu'on va superposer (croiser entre eux) (...) comme de la vannerie (...) ça sera bien solide*

(T7) *E.Rouge1Mac : alors on a fait ça, ça, ça (...) au-dessus, en dessous, au-dessus, en dessous*

*D : ok, comme un tissage...*

*E.Rouge1Mac : (acquiesce)*

Pour d'autres groupes, la question de la stabilité est corrélée à la question du poids de la construction. Soit, il s'agit de concevoir une base lourde, soit une construction bien équilibrée de chaque côté, « *ben ça doit être du même poids partout* ». Dans les deux cas, c'est l'idée de la répartition du poids de la construction qui paraît important pour les élèves, ce qu'ils formulent souvent comme l'« *équilibre* » de la tour.

(T2) *E.Blanc2Seb : après tu vois ça doit tenir en équilibre (...)*

*E.Blanc3Seb : (...) ça va tout le temps basculer (...)*

*E.Blanc1Seb : (...) après par exemple on fait des poids pour que ça soit égal (...) pour que ça soit en équilibre, il faut un poids là, après de l'autre côté on fait un poids, comme ça c'est comme dans les balances (...)*

(T3) *E.Blanc1Seb : Peut-être euh, la tour, elle est trop lourde d'un côté et légère de l'autre, alors, ça va tomber*

(T2) *E.Vert1Mac : il faut quelque chose de très lourd voilà (...) et ici il y aura des trucs qui vont alourdir (...) si elle est lourde elle va plus tenir debout (...) ben pour la stabilité (...) c'est pour donner de l'équilibre*

Pour d'autres, c'est la forme de la base qui est perçue comme déterminante pour la solidité/stabilité générale de la tour. Dans ce cas, c'est l'idée de réaliser des parois inclinées qui paraît être la solution :

(T2) *E.Rouge2Fed : ouais mais dans les côtés il faudrait plutôt une sorte de pente pour que ça tienne les côtés*

(T2) *E.Vert4Fed : moi j'avais pensé une sorte de pyramide*

(T2) *E.Bleu2Mac : on va faire une maison avec des appuis-barrières (...) c'est une maison en forme de volcan avec des appuis de côtés*

Pour ces élèves il semblerait que ce sont les « pentes » qui agissent en force sur la construction et qui la rend plus *solide*...mais si l'on regarde d'un peu plus près ces propositions on remarque en réalité que derrière cette idée de « pente » se cache l'idée de base large, telle une « pyramide » ou un « volcan », impliquant pour les élèves une plus grande *stabilité*.

Enfin, une des solutions dominantes pour assurer la solidité/stabilité de la tour est l'idée d'une base plate ou « lisse », que les élèves prévoient de réaliser au moyen d'une feuille de journal aplani. Cette stratégie apparaît dans 10 groupes et est une réponse plus ou moins directe au problème de la mobilité de la tour (la tour ne peut être scotchée à la table). Dans les groupes de la classe Mie, tous parlent de « plateforme », probablement parce que c'est une idée déjà spontanément formulée en plénière lors du T1.

(T2) *E.Vert2Mie : (...) on fait une plateforme, un papier sur lequel on colle...comme ça ça tient bien comme si c'était une table (...) et en bas il y a la grande feuille qui va tout tenir*

(T2) *E.Bleu1Seb : euh en fait on fait une feuille plate comme ça*

(T2) *E.Rouge4Seb : pour tenir la tour on met un truc assez plat au bout (en bas), pas pour coller, juste pour que ce soit lisse et que tu puisses la poser et que ça tienne bien (...) mais oui elle va tenir plus en équilibre*

(T2) *E.Jaune3Seb : non mais on essaie de faire quelque chose de lisse, on essaie de faire quelque chose qui soit plat*

(T2) *E.Rouge4Fed : et en bas ça soit être tout plat*

(T3) *E.Blanc1Mie : (...) comme piste on peut mettre une plateforme en dessous et le scotcher*

*D : il y avait cette idée de plateforme... Alors la plateforme elle servirait à quoi ?*

*E.Blanc1Mie : pour pas que ça tombe, pour que ça tienne*  
*E.Blanc1Mie : pour équilibrer ?*

#### **4.8.1.3.6 La contrainte « Restriction de matériel » & le problème de l'économie de matériel**

Suite au T1, la contrainte de la restriction de matériel est explicitée dans un peu moins de la moitié des groupes (8 groupes) lors du travail en groupe (T2). Dans ce cas, les élèves anticipent le problème de la quantité de papier, et articulent déjà leurs propositions autour de la nécessité d'économiser, soit de trouver le minimum nécessaire à la construction de la tour.

*(T2) E.Rouge5Fed : il faut aussi penser au papier (...) comment tu fais les boules si t'as pas assez de papier !?*

*(T2) E.Vert3Seb : mais le but est de déjà minimiser avec 5*

*(T2) E.Vert2Seb : tu sais là on gaspille des feuilles pour rien*

*(T2) E.Rouge3Fed : mais non on va gaspiller*

*(T2) E.Vert1Mie : si on fait comme ça le papier d'en bas, il sert à rien*

*(T2) E.Vert1Seb : mais si on met la feuille en dessous on en perd déjà une*

*(T2) E.Rouge2Mie : ça prendrait pas un peu trop de papier ?*

*(T2) E.Rouge3Seb : déjà il faut que ça ait le moins de scotch possible*

*(T2) E.Jaune3Seb : mais là t'aurais besoin d'au moins cent feuilles !*

Dans l'ensemble, cette contrainte ressort davantage sur le plan opérationnel (« économie ») que conceptuel (« écologie »). Dans un groupe, la référence au critère écologique vient justifier une proposition sur un plan conceptuel : « *E.Vert1Mac et si le tsunami va plus haut que la tour ? ... il y a un petit problème, c'est pour cela qu'on a tout prévu, op ! Ah je sais ! (...) là ça fait une pointe avec les hélices ! (...) comme ça si le tsunami débarque au-dessus de la tour, ici il y a tout un réservoir et quand l'eau arrive pffuit ça va direct dans la tour, et ça apporte de l'eau pour la chasse d'eau, et c'est écologique !* ». Dans un autre groupe, il sert de justification à une stratégie opérationnelle :

*(T2) E.Vert1Mie : tu gaspilles trop de scotch*

*E.Vert3Mie : mais tu sais on peut en reprendre*

*E.Vert1Mie : et alors ! Il colle encore ce scotch*

*E.Vert3Mie : tu sais il y en a encore*

*E.Vert1Mie : mais c'est pas une raison pour pas le faire bien*

*E.Vert2Mie : ouais il faut être écologique*

Pour remédier au problème de la restriction du matériel, une grande partie des groupes prévoient de minimiser la quantité de papier et de scotch nécessaire pour réaliser leur construction. Or ce n'est qu'au T4, une fois le matériel en mains qu'ils seront concrètement confrontés au problème et qu'ils imagineront des solutions d'optimisation pour y remédier.

#### 4.8.1.3.7 La contrainte « mesure 1 mètre » & le problème de la hauteur de la tour

Lors du travail de groupe, la contrainte de la hauteur est explicitée presque dans tous les groupes (16 groupes). A ce stade, soit elle est simplement énoncée en guise de rappel, soit elle fait objet de confrontation des propositions :

- (T2) *E.Rouge3Fed : hein ! On n'avait pas pensé : un immeuble de 1 mètre !*
- (T2) *E.Bleu2Fed : un immeuble ? De 1 mètre ? / E.Bleu3Fed ben oui hein...un mètre c'est tout ça*
- (T2) *E.Rouge3Mie : il faut que ça soit un truc de un mètre c'est ça ?*
- (T2) *E.Vert3Mie : c'est pas quand même un peu exagéré un mètre ?*
- (T2) *E.Jaune3Seb : en fait faut savoir que c'est à peu près ça un mètre*
- (T2) *E.Bleu1Mie : mais il nous faut une règle pour être précis mec !*
- (T2) *E.Rouge1Seb : après il faudra mesurer !*
- (T2) *E.Blanc2Seb : c'est pas comme ça hein (geste signifiant une petite tour)... tu sais, un mètre, c'est la règle*
- (T2) *E.Jaune3Seb : mais tu sais qu'il faut que ça fasse un mètre*
- (T2) *E.Vert2Seb : mais ça doit faire un mètre*
- (T2) *E.Bleu4Fed : ouais mais c'est un mètre qu'il faut faire*

Du point de vue des élèves, le problème de la hauteur peut être dépendant de beaucoup d'autres paramètres du problème. Nous l'avons vu, certains font le lien avec le problème de la stabilité/résistance. Quelque uns font une corrélation entre la hauteur et le problème du manque de rigidité du papier : « *E.Rouge3Mac mais vous voulez pas faire autrement parce qu'il va être trop grand, il va être fin le bâtiment* ». Beaucoup font un rapprochement entre la hauteur et le problème de la restriction du matériel, considérant implicitement qu'une tour solide devant mesurer un mètre de haut nécessite a priori beaucoup de matériel :

- (T2) *E.Blanc3Mac : un mètre... mais comment il pourrait résister avec tout (que) ça ?*
- (T2) *E.Vert2Seb : on fait une toute petite alors ! Comme ça on a plus de papier !*
- (T2) *E.Rouge1Fed : on devra mettre beaucoup de papier, parce que le truc c'est de 1 mètre...*
- (T2) *E.Bleu1Mie : à mon avis on doit faire plusieurs étages, parce que si on doit faire un mètre à mon avis il n'y aura pas que ça*

#### 4.8.1.3.8 Les pistes de solutions pour remédier au problème de la hauteur

Différentes pistes de solution sont imaginées pour pallier aux problèmes inter reliés de la solidité et de la hauteur. La plupart des groupes (11 sur 19) imaginent réaliser leur construction en empilement de plusieurs segments ou ensemble de segments identiques en alternance, comme des « étages » de manière à atteindre la hauteur visée

(piliers, plateaux, cylindre, cubes, boules). (Les indications sur la droite permettent de remémorer les différentes propositions prévues à ce stade)

- |  |  |
|--|--|
| (T2) <i>E.Rouge1Mac : (...) on va les superposer comme ça c'est bien solide</i>  | plateau/ 4 piliers/<br>plateau / 4 piliers       |
| (T2) <i>E.Bleu1Seb : euh en fait on fait une feuille plate comme ça, après on fait une tour de papier qu'on met dessus, tu remets du papier dessus, etc...</i>                   | plateau/ cylindre/<br>plateau/ cylindre          |
| (T2) <i>E.Violet1Fed : (...) et pis après tu fais un autre carré, il sera là en haut l'autre carré</i>   | deux cubes posés<br>l'un sur l'autre             |
| (T2) <i>E.Rouge2Fed : on va mettre des sortes d'étages, et à chaque étage on met du scotch pour que ça tienne bien</i>   |  |
| (T2) <i>E.Vert1Seb : en fait l'idée c'est de prendre un papier journal (...) pis t'en mets un autre par-dessus et tu scotches</i>  | deux cylindre<br>collés bout à bout              |
| (T2) <i>E.Vert2Seb : (...) en fait on va prendre une feuille et on va faire en rond...on enroule une autre feuille et on la scotche à celle d'en bas, non ?</i>                  |  |
| (T2) <i>E.Rouge3Mie : moi j'avais pensé (...) c'est de faire comme ça, tac tac et ensuite empiler</i>  |  |
| (T2) <i>E.Blanc1Seb : on roule du papier comme ça pis après on les colle les uns sur les autres</i>  | deux tubes collés<br>bout à bout                 |
| (T2) <i>E.Bleu1Mie : à mon avis il faut faire plusieurs étages</i>   |  |
| (T2) <i>E.Jaune2Seb : non moi j'ai une idée, tu vois, c'est mettre des boules (...) et on empile à chaque fois</i>   | Empilement de<br>boules de papier<br>en pyramide |
| <i>E.Jaune2Seb : en pyramide en pyramide ! (...) mais on va pas faire en carré, il faut qu'on essaie de faire des sortes de triangles</i>  |  |
| (T2) <i>E.Rouge3Seb : (...) on fait des boules et on les assemble (...) on met boules boules boules boules, et après on enlève chaque fois une...et après ça fera comme ça !</i> |  |
| <i>E.Rouge1Seb ah ouais ça fera une pyramide quoi !</i>  |  |
| <i>E.Rouge1Seb on empile tout et on scotche</i>  |  |
| (T2) <i>E.Jaune2Mie : Ou bien alors on fait une pyramide (...) on met plein de boules (...)</i>  |  |

#### 4.8.1.3.9 La contrainte « Mobilité »

Au T1, la contrainte de la mobilité de la construction –« D : vous n'avez pas le droit de scotcher votre construction sur la tour sur la table avec du scotch »– retient souvent l'attention des élèves et demande à être précisée.

(T1, Classe Mac) *D : alors, encore une petite chose (...) votre tour, elle doit pouvoir bouger d'un continent à l'autre, on doit pouvoir s'adapter à plusieurs sols différents. Si par exemple, j'imagine, vous êtes des ingénieurs d'Afrique (mime une construction sur la table d'un des groupes), il faut pouvoir tester cette tour, aussi en Asie (mime le déplacement de la construction sur une autre table)*

*E.1Mac : mais euh... pour poser par exemple... si c'est un bâtiment qu'on va faire d'un mètre... pour le poser et le mettre dans une autre table, euh... on mais quoi en dessous ?*

*D : alors, je ne vais pas forcément les bouger mais il faut que ça puisse être bougé, donc il faut que ça tienne comme ça dessus. On doit imaginer une forme qui puisse tenir debout toute seule, sans qu'on ait besoin de la scotcher à la table pour la faire tenir, ok ? Est ce qu'il y a d'autres questions ?... Non ? ...tous est très clair pour vous ?*

*EsMac : oui oui*

Lors du travail de groupe (T2) cette contrainte n'est explicitée clairement que dans trois groupes, soit sur un registre conceptuel (adaptabilité de la tour à différents sols) soit sur un registre opérationnel (mobilité de la construction). Toutefois, il est important de préciser que plus de la moitié des groupes ont déjà prévu de fixer la base de leur construction sur une feuille de papier dépliée pour assurer la solidité/stabilité de la tour sans devoir la coller à la table (cf. point contrainte « résistance »).

*(T2) E.Jaune1Seb : on doit pouvoir bouger le truc, je sais pas si tu te rappelles*

*(T2) E.Vert1Seb : ben ouais puisque'on ne peut pas la scotcher à la table*

*(T2) E.Vert2Seb : après on pourra transporter*

*(T2) E.Rouge4Seb : (...) il faut pas la coller sur la table (...) c'est vrai ce qu'elle a dit, il faudra s'habiller à n'importe quel terrain, genre en Egypte... du sable... tu peux pas clouer le truc !*

#### **4.8.1.3.10 La contrainte « Soutien / maintien d'un livre »**

Enfin la contrainte de la fixation d'un livre au sommet de la construction (registre opérationnel), soit de la fixation de panneaux solaires sur le toit de la tour (registre conceptuel) est relevée par trois groupes sur les quatre à qui a été imposée cette contrainte<sup>157</sup>.

*(T2) E.Vert4Fed : et voilà là il y a le livre et ça serait le toit*

*(T2) E.Rouge3Fed : bon maintenant il faut déjà penser, comment il faut mettre le livre pour que ça tienne ? Il faut prévoir comment on va mettre le livre pour que ça tienne !*

Il en est de même pour la question des panneaux solaires, qui n'est traitée que dans un registre opérationnel : les élèves réfléchissent à des moyens de fixer le livre au sommet de leur construction en papier. Pour la question de l'adaptabilité à divers sols, seul un élève y fait référence pour justifier sa proposition opérationnelle :

*(T2) E.Rouge4Seb : pour tenir la tour on met un truc assez plat en bas, pas pour coller, juste pour que ce soit lisse et que tu puisses la poser et que ça tienne bien (...) il faut pas la coller sur la table (...) c'est vrai ce qu'elle a dit*

---

<sup>157</sup> Contrainte imposée seulement à la classe Fed.

(Delphine), *il faudra s'habiller à n'importe quel terrain... genre en Egypte, du sable, tu peux pas clouer le truc*

Dans un des groupes cet élément constitue une grande partie du questionnement accompagnant l'élaboration de la solution :

(T2) *E.Bleu1Fed : faisons comme ça et comme ça ici on met le livre (feuille de papier pliée en arc pour poser le livre à plat) (...)*

*E.Bleu2Fed : non moi j'aurais dit de construire une maison normale, puis après on met le livre comme toit*

*E.Bleu1Fed : non non...parce que regarde (griffonne un toit) : maison ! Où tu mets le livre ?*

*E.Bleu2Fed : là en haut ! Ça fait (office de) toit !*

*E.Bleu1Fed : mais regarde c'est pointu (mime ^ avec les mains) ça peut pas tenir en équilibre*

*E.Bleu2Fed : ou sinon on peut faire une sorte de truc comme ça... (...)*

#### **4.8.1.3.11 La contrainte « restriction de temps »**

Enfin, la contrainte temporelle est quasi absente du questionnement explicite des élèves dans les groupes, que ce soit au T1, au T2, ou au T3. Mais elle est directement liée à la question de la faisabilité : « *E.Bleu3Seb : moi j'ai une autre idée, mais à mon avis ça va pas tenir, ça prend trop de temps* ». Elle n'apparaît vraiment, et de manière plutôt saillante, qu'à partir de la phase de mise en œuvre.

## **4.8.2 La phase de mise en œuvre des projets**

Cette deuxième partie se porte sur la phase de mise en œuvre des projets. Elle présente les obstacles rencontrés et les régulations apportées lors du passage à l'"expérimentation" avec le matériel, qui regroupe trois étapes générales.

Suite à la phase de conceptualisation (T1, T2, T3), les élèves entament la phase de mise en œuvre de leurs projets de tour, qui se déroule sur 4 étapes :

- le T4 correspond à la première phase de construction avec matériel,
- au T5 se déroulent les plénières intermédiaires servant à la mise en commun des observations concernant les obstacles rencontrés et les régulations mises en œuvre,
- le T6 concerne le retour aux investigations avec matériel,
- le T7 est la phase de test des tours, impliquant l'analyse des résultats (« points forts » et « points faibles », et « pistes d'amélioration possibles »), et l'explicitation des démarches entreprises.

Pour cette partie, les questions peuvent être formulées ainsi :

*Quelles représentations du problème se font les élèves une fois le matériel en main ?*



*Plus précisément, quelles contraintes semblent poser problème pendant la mise en œuvre des projets ? Quels paramètres technoscientifiques identifient-ils une fois confrontés aux obstacles ? Quelles corrélations établissent-ils ? Quelles sont les variables d'action mises en œuvre pour y remédier ?*

Les résultats seront présentés de manière détaillée en différents points :

- « La gestion des différentes contraintes » relate les contraintes imposées par les consignes du défi qui posent concrètement problème aux élèves, ainsi que les principales tensions ressenties entre les différentes contraintes ;
- « Les obstacles expérimentaux » concernent les principaux obstacles rencontrés par les élèves dans la mise en œuvre de leurs projets, ainsi que les principaux types de régulation mise en œuvre pour y remédier.

Une vue d'ensemble est ensuite proposée en synthèse sous forme de tableau multidimensionnel.

#### 4.8.2.1 *La gestion des différentes contraintes*

Ce point est l'occasion de présenter les contraintes relatives au cahier des charges qui font obstacles aux élèves, qui sont alors gérées de manière prioritaire lors du passage à la réalisation du projet ; ainsi que les tensions qui s'exercent majoritairement dans la gestion simultanée des différentes contraintes.

##### 4.8.2.1.1 *La contrainte « Restriction de matériel »*

Un premier obstacle qui apparaît dans les interactions en groupe lors de la phase de mise en œuvre (T4, T6) et qui est le plus souvent explicité lors de la plénière intermédiaire (T5), est lié à la contrainte de la restriction de matériel. Par exemple, les élèves constatent que le procédé de construction est trop coûteux en matériel, ou ils se sentent coincés par la nécessité à la fois de venir à bout de leur projet, et à la fois de veiller à ne pas utiliser trop papier par rapport aux autres membres des groupes. Comme déjà énoncé, la contrainte de l'économie de matériel retient beaucoup l'attention des élèves, malgré le fait que les consignes autorisent à venir chercher autant de matériel qu'ils en ont besoin pour parvenir à finaliser leur construction. Même en pleine action, beaucoup de groupes gardent néanmoins en mémoire qu'il est préconisé d'économiser du matériel –au niveau symbolique que le projet de tour soit écologique– et sont dérangés par l'obligation de comptabiliser les dépenses<sup>158</sup>.

(T5) D : *Est-ce qu'il y a d'autres problèmes rencontrés ? (...)*

---

<sup>158</sup> Rappelons que la comptabilisation des dépenses au tableau permet d'avoir une vision plus transparente des démarches de chacun. L'économie de matériel est un critère parmi beaucoup d'autres servant à évaluer/comparer les résultats des groupes.

*E.Bleu1Mac : euh... le papier (...) parce qu'il faut pas trop en utiliser, puis...(...)*

*E.RougesMac : (...) ouais aussi (le problème de) l'économie (...) parce que là on en a trop mis (...)*

*E.Jaune1Mac : (...) (le problème de l') économie de scotch aussi (...) ben, parce qu'on a pas très envie d'utiliser plein de papier*

*(T5) E.VertsFed : ben nous on trouve qu'il n'y a pas assez de feuilles de papier journal ! (...) mais on essaye d'économiser*

*(T5) E.Jaune1Seb : on utilise trop de papier (...) un manque de papier (...) ben parce que après, il n'y en aura plus et tout, on aura jamais assez pour atteindre le haut.*

Lors de la phase de mise en œuvre, on remarque clairement que de surveiller les dépenses de matériel vient parfois freiner les constructions en cours ou l'intégration de nouvelles propositions.

*(T4) E.Jaune2Seb : oh mais ya que ça comme scotch ? (...) mais j'avais commandé 4 papiers et il n'y en a déjà plus*

*(T4) E.Rouge1Seb: non non c'est trop tard... on a déjà utilisé tout le papier*

*(T4) E.Bleu3Fed : là il nous faut encore plus de papier...là il y a un problème (...)*

*(T4) E.Bleu4Fed : mais comme ça ça utilise tout le papier ! (...) ouais mais regarde tout ce qu'il a utilisé ! On aurait pu l'utiliser pour faire le truc ! (...) mais là le papier il faut un peu économiser*

*(T4) E.VioledFed : mais là tu utilises du papier pour rien !*

Du point de vue des élèves, et dans un esprit plutôt compétitif partagé dans plusieurs groupes, l'économie de matériel est perçue comme un élément de distinction, de valorisation par rapport aux autres groupes. De plus, les élèves perçoivent la comptabilisation du matériel dépensé comme des « points » discriminant le groupe<sup>159</sup>. Probablement pour cette raison, l'économie de matériel tient à cœur des élèves, malgré la possibilité de venir chercher du matériel supplémentaire.

*(T4) E.JauneSeb : non mais regarde notre équipe tout le matériel qu'elle a pris !*

*(T4) E.BleuMie : on est à égalité avec les rouge (...) les blancs c'est les moins économiques (etc.)*

*(T4) E.BleuFed : et ça va nous aider à avoir plus de points parce qu'on va utiliser moins de scotch (...) c'est plus économique et on aura plus de points (plus tard) on est les seuls à ne pas déjà en avoir pris deux (scotch) (...) regardez on a juste utilisé une fois du scotch !*

*(T4) E.Vert3Fed : il nous manque du scotch !*

---

<sup>159</sup> Il est vrai que pendant les constructions, c'est le seul élément de distinction entre les groupes qui est rendu "publique" grâce au carnet de bord collectif. Les autres critères de distinction apparaîtront lors de la phase de test.

*E.Vert2Fed : on est obligé (d'en reprendre)*  
*E.Vert5Fed : on était les plus économes...*  
*E.Vert2Fed : mais on a pas besoin de papier !*  
 (Plus tard)  
*E.Vert3Fed : bon on peut encore prendre une feuille de papier ? (...)*  
*E.Vert2Fed : ah non*  
*E.Vert3Fed : mais on va pas mourir pour une feuille de papier !*  
*E.Vert2Fed : mais on perd un point (...)*  
 (T4) *E.Vert1Mie : mais tu vas pas mettre tout ce scotch (...) tu gaspilles trop de scotch !*  
*E.Vert3Mie : mais tu sais on peut en reprendre*  
*E.Vert1Mie : et alors ! Il colle encore ce scotch*  
*E.Vert3Mie : tu sais il y en a encore*  
*E.Vert1Mie : mais c'est pas une raison pour pas le faire bien*  
*E.Vert2Mie : ouais il faut être écologique !*

#### 4.8.2.1.2 La tension entre les contraintes « Restriction de matériel » et « Solidité »

Dans le même sens, la *tension* la plus fréquente et prédominante (chez 8 groupes<sup>160</sup>), dans la tentative de hiérarchiser les priorités, s'opère entre le souci d'économiser du matériel et le souci de faire tenir la construction.

(T4) *E.Rouge3Mie : pourquoi vous prenez un scotch ?*  
*E.Rouge1Mie : c'est pour renforcer ça sinon ça va tomber*  
*E.Rouge3Mie : mais c'est beaucoup ! (...) il y a plein de journal inutile là, vous gaspillez tout ce journal !*

Voici un autre exemple (groupe Vert Fed) ; une fois avoir organisé les étapes de constructions, le groupe se confronte au problème de la quantité de papier :

(T4) *E.Vert4Fed : en fait il restera plus que deux papiers si on en utilise un à chaque fois...*  
*E.Vert2Fed : mais là on utilise beaucoup de papier !*  
*E.Vert3Fed : c'est impossible !*  
*E.Vert1Fed : mais comment on peut faire tenir ...avec si peu de papier !...non mais avec si peu de papier, et avec la taille de 1 mètre, comment on va faire tenir le livre ?*  
 (Un peu plus tard, une solution a émergé)  
*E.Vert2Fed : mais normalement il faut pas faire 4 côtés dans une pyramide ?*  
*E.Vert4Fed : non pas forcément regarde... avec trois ça marche aussi (...) tu vois ça va très bien comme ça !*

Un peu plus tard le même groupe se confronte au problème du manque de tenue de la construction. Une tension s'exerce entre le souci d'économiser le matériel et le souci d'obtenir une solidité minimum.

<sup>160</sup> Groupes Bleu Seb, Bleu Fed, Jaune Mie, Bleu Mie, Blanc Mie, Rouge Mie, Vert Mac, Bleu Mac.

(T4) *E.Vert3Fed* : moi je dirais plutôt de mettre une barre à l'intérieur  
*E.Vert4Fed* : mais non on met d'abord le scotch  
*E.Vert3Fed* : (...) un truc comme ça assez solide tu vois, comme ça, comme ça, comme ça (...) et ça tu mets là au milieu  
*E.Vert4Fed* : c'est que ça (le papier) on en a besoin pour la suite, là tu utilises des papiers et après on en a plus que deux... on en aura pas assez pour continuer  
*E.Vert3Fed* : mais j'aurais pu mettre juste un tout petit peu hein !

La proposition d'*E.Vert3Fed* sollicite l'attention de ses camarades sur le problème de la solidité momentanément mis de côté, mais en vain. Le pouvoir de conviction d'*E.Vert4Fed* prend le dessus ainsi que le désir du groupe de mener à bout son projet (imaginé au T2). Les résultats démontreront que le manque de rigidité est la plus grosse limite de la construction du groupe.

Un autre exemple très significatif : dans le groupe Bleu Mie, une tension de même nature s'exerce au sujet du nombre de points d'appuis nécessaires pour obtenir une structure solide et stable :

(T4) *E.Bleu4Mie* : pourquoi t'as pris autant de journal... on perd des points !  
*E.Bleu3Mie* : c'est celui qui (fait une tour qui) tient et qui est le plus économique qui gagne... celui qui utilise le moins de truc  
(Plus tard)  
*E.Bleu1Mie* : et là on va faire quoi, 5 pylônes (points d'appui) ?  
*E.Bleu2Mie* : mais non t'utilise tous les journals ! Il faut qu'on fasse que avec 2...même 1 !  
*E.Bleu1Mie* : mais avec 1 ça va pas marcher  
*E.Bleu2Mie* : fait avec 2 alors  
(Un peu plus tard)  
*E.Bleu1Mie* : on aurait pas dû mettre comme ça, on aurait dû en faire 4...  
*E.Bleu3Mie* : ouais on fait celle-là, après on fait celle-là et après on fait ça et ça (...)  
*E.Bleu2Mie* : mais on va pas en faire 4 sinon ça prend trop de papier  
*E.Bleu3Mie* : tu veux en faire 2 ?  
*E.Bleu2Mie* : ouais deux ça suffit  
*E.Bleu1Mie* : ouais mais deux pylônes comme ça (un de chaque côté) après ça va tomber comme ça (en avant ou en arrière)  
*E.Bleu2Mie* : mais non

Mais cette fois la négociation se révèle fertile et le groupe parvient à minimiser la quantité de matériel tout en maximalisant la stabilité :

*E.Bleu2Mie* : (plus tard) eh ! Autrement on en fait que 3 ! Comme ça il peut pas tomber là ! (...) tu sais comme ça, comme le signe peace and love !  
*E.BleuMie* : ah ouais !!! (Applaudissements)

Finalement en constatant les résultats des tests, l'équipe parvient à valider l'efficacité de la dernière solution (trois contreforts latéraux).

Enfin, lors de la mise à l'épreuve des projets de certains groupes<sup>161</sup>, la priorisation de la contrainte de l'économie de matériel se fait *simultanément* à la contrainte de la hauteur, et les élèves imaginent des stratégies pour optimiser le matériel (comment couper le scotch ; comment découper, déchirer, plier le papier, puis comment l'utiliser, le placer, l'agencer, etc.)

#### 4.8.2.1.3 La contrainte « Mesure un mètre »

Par ailleurs, un autre obstacle rencontré dans lors de la mise en œuvre est la difficulté à atteindre la hauteur demandée. Dans les premiers temps de la phase de mise en œuvre, deux cas de figure se présentent dans la manière de gérer la contrainte du 1 mètre.

Dans le premier cas, les élèves cherchent d'emblée des moyens d'assurer la hauteur visée (1 mètre) tout en utilisant le moins de matériel possible, ce qui les mènent à évaluer la quantité nécessaire minimale pour obtenir la hauteur maximale au moyen de mesures et de calculs.

(T4) *E.Vert4Fed : ah ! Faut savoir la hauteur !*

*E.Vert2Fed : c'est un mètre !*

*E.Vert3Fed : ouais*

*E.Vert4Fed : mais ça fait quoi un mètre ?*

*E.Vert3Fed : faut aller chercher le mètre !*

Certains groupes qui optent pour l'utilisation de feuilles dépliées<sup>162</sup> négligent généralement le problème de la solidité, ou du moins celui-ci ne représente pas une priorité. De manière générale, les premières tentatives de parvenir à la hauteur sont peu efficaces d'emblée et nécessitent d'être améliorées en cours de route : (T4) « *E.RougeMie : eh regarde pile un mètre (satisfait) ! Mais ça va pas être trop solide les filles !* ». D'autres groupes<sup>163</sup>, qui optent pour la fabrication de tubes de papier, parviennent à gérer les deux paramètres (hauteur et solidité) simultanément.

Dans le deuxième cas de figure, le plus fréquent, les élèves ne se soucient pas du problème de la hauteur avant d'avoir trouvé un moyen d'obtenir une certaine solidité. Ainsi, la contrainte de la hauteur est provisoirement mise de côté devant l'objectif de parvenir à mettre en forme le projet prévu ou à parvenir à une construction suffisamment solide.

(T4) *E.Rouge2Seb : mais oui on change là on va pas réussir à faire un mètre de haut (...)*

*E.Rouge3Seb : non non non au lieu de recommencer ce truc on le finit et on essaie*

*E.Rouge1Seb : ouais voilà et on s'en fout si ça fait pas un mètre*

---

<sup>161</sup> Par exemple, le groupe Vert Fed, le groupe Vert Mie, etc.

<sup>162</sup> Par exemple, les groupes Vert Seb et Violet Seb.

<sup>163</sup> Par exemple, les groupes Bleu Mie et Blanc Mie.

Pour ces groupes, l'intégration de cet élément s'impose alors par la suite :

(T4) *E.JauneSeb* : *mais tu crois qu'avec ces boulettes on arrivera à 1 mètre ? (...)* *aaah c'est pas assez haut ! Ça fait même pas 10 centimètres ! (...)* *ça va jamais faire un mètre (...)* *mais on y arrivera jamais !*

(T4) *E.Vert1Mac* : *non mais, attends ! Comment construire en hauteur ? Ce n'est pas la plateforme qui pose problème !*

(T4) *E.Bleu4Mac* : *ah ouais mais le truc c'est que ça fait pas un mètre ! (...)* *attends quelqu'un peut prendre le mettre ! Calcule jusque-là*

*E.Bleu3Mac*: (mesure la tour) *65 cm*

*E.Bleu2Mac* : *il nous manque ! Il faut chercher du papier !*

Mis à part les élèves qui avaient prévu de réaliser une construction en étages lors de la phase de conceptualisation, l'idée de superposer plusieurs segments identiques est apparue à plusieurs groupes<sup>164</sup> pour remédier au problème de la hauteur pendant la phase de mise en œuvre. De plus, plusieurs groupes<sup>165</sup> qui avaient choisi la confection de tubes en papier ont eu l'idée d'emboîter plusieurs tubes bout à bout pour atteindre la hauteur visée :

(T7) *E.Jaune1Mac* : *on les a mis les uns sur les autres*

(T7) *E.Blanc1Mie* : *bah en fait pour faire exactement 1 mètre avec les rouleaux de papier, on les a emboîtés.*

Enfin, plusieurs groupes<sup>166</sup> ont simplement rajouté un tube de papier –qu'ils nomment le plus souvent « *antenne* »– au sommet de leur construction pour atteindre tout juste la hauteur :

(T7) *E.Rouge4Mac* : *et au début on avait plus la taille alors on a rajouté le haut*

*E.Rouge3Mac* : *...l'antenne !*

(T7) *E.Bleu2Mac* : *(...) là on a mis les piliers et puis après on a fait une antenne, enfin...*

*E.Bleu1Mac* : *en fait on a juste mis pour que ça fasse plus haut*

#### **4.8.2.1.4 La tension entre les contraintes « *Vraisemblance* » et « *Faisabilité* »**

Par ailleurs, un autre type de tension importante s'exerce au sein des groupes dans la hiérarchisation des priorités. Dans quelques groupes<sup>167</sup> en particulier on observe une tension entre le souci de vraisemblance, voire d'esthétisme –que la tour ressemble à quelque chose, qu'elle ait une apparence satisfaisante– et le souci de faisabilité,

<sup>164</sup> Groupes Bleu Mac, Rouge Mac, Vert Mac, Rouge Mie, Vert Mie.

<sup>165</sup> Groupes Blanc Mie, Rouge Mie, Bleu Mie, Jaune Mac.

<sup>166</sup> Groupes Blanc Mac, Vert Mac, Bleu Mac, Rouge Mie.

<sup>167</sup> Groupes Jaune Seb, Rouge Seb.

d'efficacité –que la tour puisse être finalisée et puisse répondre aux exigences du cahier des charges.

(T4) *E.Jaune1Seb : on dirait une ordure (rires) en fait ça serait peut-être temps de changer de méthode non ?*

*E.JaunesSeb : (en cœur) non !!! (...)*

*E.Jaune1Seb : c'est très moche !*

*E.Jaune3Seb : mais c'est original...*

*E.Jaune2Seb : mais qui a dit que ça devait être beau !*

(T4) *E.Rouge1Seb : (...) oui faut fermer, c'est dégueulasse !*

*E.Rouge2Seb : ouais toute la masse on n'était pas censé voir ! (...)*

*E.Rouge3Seb : eh les gars, avouez qu'on s'en fiche un peu, que c'est pas grave si c'est moche (...) les gars on s'en fiche de comment ça à l'air, temps que ça tient, c'est bon ! (Plus tard)*

*E.Rouge4Seb : on a bien réussi quand même*

*E.Rouge1Seb : on a bien amélioré (...)*

*E.Rouge2Seb : pfff on dirait un rond*

*E.Rouge1Seb : on s'en fiche de l'aspect mais si ça tient ça tient les gars !*

*E.Rouge3Seb : eh peut-être qu'on va gagner les gars ! ...c'est moche mais...*

*(...)*

#### **4.8.2.1.5 La contrainte « Restriction du temps »**

Contrairement à la phase de conceptualisation ou la dimension temporelle était très rarement considérée, les élèves se voient confrontés au temps qui passe et au risque de ne pas pouvoir terminer leur construction, et de ne pas pouvoir voir le résultat, soit la concrétisation en papier des idées sur lesquelles ils avaient parié.

(T4) *E.Jaune2Seb : il faut se dépêcher on a peu de temps ! (...) il faut des trucs épais sinon on va passer trois heures là-dessus (...)*

(T4) *E.Rouge2Seb : venez les gars on fait différent !*

*E.Rouge1Seb : non non après ça prend trop de temps...*

(T4) *E.Vert1Mie : ça va prendre trop de temps de faire des petits*

*(Plus tard, pendant le façonnage)*

*E.Vert3Mie : ouais c'est vrai ça prend du temps... ils sont trop petits*

*E.Vert1Mie : en même temps quand c'est trop grand c'est moins stable*

A ce sujet, un des problèmes qui ressort à la toute fin de l'activité (T7) chez toutes les classes concerne la question du temps. Lors de la plénière et de l'analyse des résultats, les élèves justifient souvent les limites de leurs constructions par le fait qu'ils n'ont pas eu *assez de temps* pour finir ou pour consolider leur tour à souhait.

(T7) *E.Jaune1Mie : ben en fait au début on voulait faire plus petit. Mais en fait c'est trop petit (...) donc on allait prendre trop de temps (...) on aurait fait plusieurs poutres comme ça (mime des étages supplémentaires) et on serait arrivé à un mètre (...) sauf que ça allait prendre du temps*

(T7) *E.Rouge2Mac*: au début, on allait faire un immeuble, comme ça (...)  
*E.Rouge1Mac* : c'était censé être un mur...et après un autre mur, mais ça faisait trop long parce qu'il faudrait faire plusieurs étages et...(...) parce que si on avait fait (encore) un étage ça fait trop long (...)  
*E.Rouge1Mac* : en fait on a pas eu le temps !  
*E.Rouge2Mac* : ouais en fait on a pas eu le temps !  
(T7) *E.Bleu2Seb* : on a pas eu assez de temps, c'est pas cool pour nous !

#### 4.8.2.2 *Les obstacles expérimentaux*

Ce point met en lumière les obstacles auxquels se sont confrontés les élèves au moment de la mise en forme de leurs projets. Ces *obstacles* sont à distinguer des *contraintes* listées plus haut, même si ces dernières ont aussi « fait obstacle » aux élèves. Ces obstacles-ci font référence à un autre niveau de problématisation : ils touchent directement les aspects technoscientifiques du problème. Même si les élèves n'ont pas encore le vocabulaire pour expliciter ces éléments de manière experte, leurs propos prouvent qu'ils sont capables de les identifier. Enfin, ces obstacles sont dits « expérimentaux », parce qu'ils sont concrètement éprouvés par les élèves, et non simplement pressentis.

Enfin, les principales formes de régulations mise en œuvre en réponse aux différents obstacles seront présentées.

##### 4.8.2.2.1 *Le manque de solidité/ rigidité des feuilles de papier*

Toutes les équipes se confrontent au manque de solidité générale de leur construction :

(T4) *E.Bleu1Fed* : (à Delphine) vous pouvez regarder parce que c'est en train de se détruire... avant c'était tout droit et maintenant ça commence à se détruire je sais pas pourquoi (...) mais là il y a tout qui est en train de se détruire ! Qu'est-ce qui se passe ?  
(T4) *E.Vert1Mac* : ya un problème ! (...) c'est pas aussi facile qu'on le croyait !  
(T5) *E.Jaune1Mac* : la structure n'est pas assez solide (...) ben non ça fait pas aussi solide que je pensais (...) on a mis des poteaux dedans mais...si on continue ça va s'écraser.

Les élèves constatent par exemple que le mode de façonnage du papier n'aboutit pas au résultat escompté : « *E.Vert2Mie* : ils se plient les trucs (grands rouleaux)... ça se plie, il faut tenir tout droit ! » ; ou que l'assemblage des différents segments de la construction n'est pas efficace : (T5) « *E.Jaune2Seb* : quand on essaye d'assembler là, ça tombe ».

Progressivement, les élèves vont parvenir à distinguer plus précisément les différents paramètres technoscientifiques qui « posent problème ».



L'obstacle majeur, identifié par les élèves, est le manque de rigidité des feuilles de papier journal : (T4) « *E.RougeSeb : mais là c'est plié ! Ça aurait jamais dû être plié !* », « *E.Blanc4Mie : ce papier il est insupportable* ».

Tous les groupes rencontrent cet obstacle, mais les groupes qui avaient opté pour l'utilisation d'une feuille de journal dépliée –par exemple, une construction en façades, ou une construction en étage– éprouvent davantage de difficulté dans la réalisation de leur projet.

Premièrement, regardons les groupes qui ont opté au départ pour une construction en façades, au moyen de feuilles dépliées collées bout à bout pour former un parallélépipède. Nous l'avons dit, dans ce cas les élèves s'attendent à ce que la forme générale de la construction suffise à créer la rigidité nécessaire à la tenue de la tour, soit que les feuilles de papier journal dépliées aient suffisamment de rigidité pour tenir sans s'affaisser. Objectivement, cette stratégie peut difficilement suffire pour réaliser une construction de 1 mètre de haut, et effectivement, les élèves se trouvent bien empruntés face aux limites du matériau lui-même. Parmi les quatre groupes qui avaient ce projet au départ sans anticiper le manque de rigidité du papier et sans prévoir des stratégies de maintien supplémentaires, deux trouvent des moyens en cours de route pour augmenter la solidité de leur tour. Un groupe (groupe Vert Fed, avec leur pyramide à trois faces) parvient contre toute attente à construire une tour de mètre qui tient debout, cependant elle ne supporte pas le poids du livre servant symboliquement de panneaux solaires.

Un seul des quatre groupes (groupe Rouge Fed) ne parvient à finaliser sa construction mais celle-ci se révèle peu efficace : les élèves doivent se mettre à plusieurs pour soutenir leur construction qui mesure bien un mètre mais qui ne tient pas debout. C'est un des seuls groupes qui ne cherche pas à apporter de régulations en cours de route : le groupe priorise l'objectif de la hauteur en veillant à optimiser la grandeur des feuilles de papier et persévère dans la volonté de mener à bout le projet de départ. Plusieurs explications peuvent être proposées : soit c'est leur souci de vraisemblance du projet (critère symbolique) qui a fait obstacle à la remise en question de la démarche, c'est-à-dire la difficulté à se détacher de l'enjeu premier du défi. Soit, c'est la nécessité vécue par les élèves de devoir parvenir à aller jusqu'au bout de la réalisation de leur projet.

Rappelons que cette même idée de construction en façades, consistant à établir les murs de la tour en papier et témoignant d'un souci particulier à faire ressembler leur construction à un building standard (4 murs) est une idée abandonnée par plusieurs groupes en cours de route. Par exemple le groupe Rouge Mac, qui lors de la mise en commun finale (T7) explicite son choix d'abandonner, déjà lors de la phase de conception (T2), la question de la ressemblance au profit du souci d'économie de temps et de matériel ; ou le groupe Jaune Mac, qui abandonne l'idée des parois au profit d'une structure interne dès le début du T4.

(T7) *E.Rouge2Mac : au début, on allait faire un immeuble, comme ça (montre le croquis), enfin une espèce de...*

*E.McRouge1 : c'était censé être un mur...et après un autre mur/ mais ça faisait trop long parce qu'il faudrait faire plusieurs étages et...*

(T7) *E.Jaune1Mac : (...) enfin, on pensait d'abord faire une tour un peu plus carrée... (mais) après on a fait des tubes (...)*

Le problème de la rigidité est un point qui ressort lors de la phase de tests (T7). A ce stade, au moyen de l'observation et de l'analyse des résultats, il est possible alors pour les élèves de mieux définir en quoi consiste les limites du matériel : le papier perd de sa solidité une fois plié.

(T7, Classe Mie)

(Delphine mesure la tour du groupe Jaune Mie)

*D : On est à 1 mètre et 4 centimètres, encore plus haut que les autres. Par contre vous, elle ne tient pas debout... quelles seraient les pistes solutions pour que ça tienne ? (...) qu'est-ce que vous pourriez améliorer vous ? Est-ce que vous gardez des pistes, est ce que vous changez tout ?*

*E.JauneMie : ça c'est bon (montre la base confectionnée de 4 piliers formant une structure pyramidale)*

*D : donc ça vous garderez cette base la solide et ensuite comment vous faites la haut alors (montre le grand tube en papier qui qui s'affaisse) ?*

*E.JauneMie : ben en fait le problème là c'est qu'on n'arrêtait pas de chiffonner...on voulait pas jeter*

*D : ah vous avez essayé d'économiser. Et une fois que le papier était chiffonné, c'est vrai qu'avec ça on ne peut pas faire grand-chose, à mon avis même pas à faire un rouleau qui se tienne, hein. (Delphine défait le haut de la construction et tente de confectionner un rouleau plus solide en le serrant davantage, en vain) Non, on n'arrive pas... ça c'est un problème du papier, effectivement, à force d'être tripoté le papier il perd de ses qualités, on arrive plus à le rendre solide. Alors on va juste noter ça, pour s'en rappeler (...) Comment on pourrait dire : attention le matériel perd de sa...*

*E.JauneMie : valeur ?*

*D : valeur...oui, si on le chiffonne trop. On peut le chiffonner mais en tout cas si on veut faire des rouleaux on ne peut pas chiffonner avant. Ok. (...)*

#### **4.8.2.2 Les régulations mises en œuvre pour résoudre le problème de solidité / rigidité**

A partir de ces obstacles vécus par les élèves, plusieurs stratégies de régulation sont imaginées, discutées et négociées au sein des groupes. Le type de stratégies trouvées ne diffère pas de celles imaginées lors de la phase de conception, pour la plupart.

Premièrement, la représentation partagée par la majorité des groupes est que, pour renforcer ou consolider la tour, il est nécessaire de rajouter du papier. Autrement dit, pour accroître la solidité de la tour, il faut augmenter la quantité (la masse) de papier.

(T7) *D : alors si c'était à refaire qu'est-ce que tu ferais ?*

*E.Vert1Mac : ben oui, plus solide (...) en mettant plus de papier (...) parce que c'était pas très stable, c'était pas solide (...)*  
*E.Blanc3Mac : bah euh ...plus de euh... dans le... euh (montre les boulettes de papier à l'intérieur de la construction)*

A partir de cette représentation, les implications stratégiques sont multiples.

Plusieurs groupes<sup>168</sup> prévoient d'augmenter la masse pour créer plus de volume, et ont eu l'idée de mettre en œuvre un rembourrage à l'intérieur de leur construction de manière à faire tenir des parois peu rigides : (T4) « *E.Vert1Mac : on va faire un tas de grosses boulettes* », (T5) « *E.Vert2Seb: ben, on a rajouté des choses à l'intérieur pour qu'en bas ça soit plus solide (...) des boulettes de papier* ».

D'autres groupes pensent à augmenter la masse pour augmenter la rigidité de la structure, en rajoutant par exemple des couches autour de la structure : (T4) « *E.RougeSeb : on aurait dû direct mettre plusieurs couches (...) mais les gars faites plusieurs couches sinon ça va jamais tenir hein !* ». Soit en rajoutant des segments rigides à l'intérieur de la structure : (T4) « *E.Vert1Mac : j'ai peut-être une bonne idée ! Enrouler des feuilles de papier et ensuite on les scotche (...) on met des barres ! (...) après il faut plus les serrer les barres, il faut que ça soit vraiment solide... non c'est pas assez serré, il faut la resserrer !* ».

#### **4.8.2.2.3 Les régulations mises en œuvre pour remédier au problème de rigidité/stabilité de la structure**

D'autres stratégies sont imaginées pendant la phase de mise en œuvre pour surpasser l'obstacle du manque de stabilité. On retrouve le rapprochement entre la stabilité générale et la solidité de la base, explicitée lors de la phase de conceptualisation. L'idée de *rajouter* du papier est pensée comme moyen d'*alourdir* la base, ou alors comme moyen d'*élargir* la base. Ces idées partagent une représentation commune, celle de la corrélation entre la stabilité et la répartition du poids de structure.

(T4) *E.Blanc2Mie : il faut mettre des boules plus grosses en bas et moins grosses en haut (...) parce que après ça tombe pas.*

Cette stratégie fait l'objet de débat important en particulier dans la classe Mac lors de l'étape de l'analyse des résultats, et lors de la réflexion en commun des pistes d'amélioration autour des constructions présentant un manque de stabilité. Si certains élèves faisaient déjà le rapprochement entre la stabilité et le poids de la structure, ils identifient maintenant que c'est la répartition du poids dans la construction qui a un impact sur l'équilibre de la tour.

---

<sup>168</sup> Le groupe Vert Seb (boules), le groupe Vert Mac (boules), le groupe Bleu Fed (boules et tubes) et le groupe Rouge Seb (boules déjà prévues au T2, mais ajout de multiples couches au T4).

(T7) D : *Qu'est-ce qu'il faudrait pour qu'elle puisse tenir debout ? Est-ce qu'il y a des idées ?*

E.Blanc1Mac : *euh...du papier en plus sur...*

E.Blanc4Mac : *en bas*

E.Blanc1Mac : *en bas...ici*

E.Blanc4Mac : *(...) parce que ça (montre la base) c'est tout petit, enfin je veux dire euh (mime quelque chose de plus large à la base de la construction)*

E.Blanc2Mac : *(...) il faut mettre des boules plus grosses en bas et moins grosses en haut (...) parce que après ça tombe pas (...) en fait on doit enlever du papier parce qu'on en a trop mis en haut, c'est pour ça que c'est trop lourd et ça tombe (...)*

(...)

E.Jaune1Mac : *(...) en fait ça basculerait parce qu'il y aurait plus de poids en haut, donc ça ferait comme ça (...) il faut mettre plus de poids en bas*

(...)

D : *(...) l'idée que vous retenez c'est, plus vous mettez de papier plus c'est solide ? (...)*

E.Vert1Mac : *euh...plus c'est lourd... en bas*

(...)

E.Rouge1Mac : *(...) ben c'est aussi la largeur (...il faudrait) renforcer, euh... faire une base plus large et plus lourde en bas (...) il voulait dire qu'on fasse plus lourd en bas, en rajoutant...(...) et on mettra des bouts de papier au fond (...)*

Par ailleurs, une idée qui ressort notablement dans les groupes, pour pallier au manque de rigidité de la structure, est de rajouter des éléments de soutien. D'une part, certains groupes<sup>169</sup> pensent à créer des renforts au centre de la construction :

(T4) E.Rouge4Seb : *eh les gars j'ai une petite idée là tout d'un coup... on met un gros pilier là au milieu (...)*

E.Rouge1Seb : *ouais ! Pedro fait un rouleau de papier !... ça va être encore plus résistant... regarde, tu plies comme ça et encore comme ça et toujours un peu plus (...) mais oui ! ... eh les gars ! Tu mets des piliers de travers pour tenir ! (...) mais comme ça ! Mais là t'as le pilier du centre ! Mais bien sûr ! Ça renforce la paroi ! (...) les gars on fait encore deux piliers pour le milieu !*

D'autres groupes ont l'idée d'augmenter la stabilité générale des constructions au moyen de renforts sur les côtés. Cette stratégie alternative, déjà anticipées au T2, est mise à l'épreuve ou fait l'objet de régulation et/ou de discussion dans plusieurs groupes<sup>170</sup> :

(T4) E.Rouge3Mie : *j'ai remarqué quelque chose, là il faut mettre des protections sinon ça va tomber*

---

<sup>169</sup> Les groupes Rouge Seb, Violet Fed et bleu Mac imaginent cette stratégie comme remédiation possible.

<sup>170</sup> Groupes Vert Seb, Bleu Mie, Rouge Mie.

*(T7) E.Rouge3Mie : nous on a juste modifié, rajouté ça pour que ça tienne (...) des protections (...) pour pas que ça tombe (...) ça penchait un peu*

*(T4) E.Bleu1Mie : et là on va faire quoi, 5 pylônes (points d'appui) ?  
E.Bleu2Mie : (après longue négociation) eh ! Autrement on n'en fait que 3 !  
Comme ça il peut pas tomber là !*

Cette même idée fait l'objet de discussion central lors de la phase tests –en particulier dans la classe Mie et dans la classe Mac– lorsqu'il est demandé d'imaginer collectivement les pistes d'amélioration possibles pour chacune des tours. Plusieurs formules sont imaginées par les élèves à tour de rôle face à l'analyse des résultats d'un des groupes (2 rouleaux en équerre de chaque côté, ou 1 rouleau de chaque côté à 45°, ou encore 1 rouleau de chaque côté à la verticale tenu par une ficelle).

*(T7) E.Bleu1Mac : (...) faire des appuis de côtés (...) faire des rouleaux, après les assembler (...comme) des supports*

*(...)*

*(T7) E.Rouge1Mac : ben si c'était une vraie construction on verrait 2 petits poteaux ici (de chaque côtés à la verticale)/ et une ficelle (qui rejoint au poteau central) ou bien euh 4...*

Toutefois, le passage des tests révélera d'autres aspects du problème de stabilité que l'utilisation de renforts latéraux (tubes). En effet, cette stratégie se précise en particulier lors de la phase tests, en posant la question du nombre, de la longueur, de la largeur et de la disposition des points d'appui au sol, ainsi que la manière –et plus précisément l'angle– dont ils sont rapportés à la structure centrale.

Au T7, lors de l'imagination de pistes d'amélioration des tours suite à l'analyse des résultats, les représentations des élèves semblent plus complètes et ceux-ci sont plus à même de pouvoir accepter les tensions impliquées dans la gestion simultanée de plusieurs contraintes.

Par exemple, dans l'exemple de la classe Mac, la question que les élèves se posent est s'il faut penser différemment l'agencement des segments (pour à la fois augmenter la solidité, économiser le matériel et éviter le surpoids) ou s'il s'agit de rajouter des segments supplémentaires (pour augmenter la stabilité) :

*(T7) ERouge2Mac : et puis qu'on mettrait plus vers l'intérieur parce que ça s'écarte un peu vers l'extérieur*

*ERouge1Mac: c'est trop au bord justement*

*ERouge2Mac : ouais plus au milieu*

*(...)*

*E.Bleu3Mac : (il faudrait) mettre plus des rouleaux, ici (montre au milieu) pour que ça tienne mieux (...) mettre un petit peu, des rouleaux ici, après des rouleaux ici, des rouleaux ici pour que ça renforce*

*E.Bleu1Mac : non pas trop (en rajouter) parce que après ça fait du poids*

Enfin, un tout nouvel élément est découvert par les élèves lors de la phase tests (en particulier avec l'utilisation du sèche-cheveux) : le problème de la prise au vent. La question de la prise au vent est corrélée au problème de la stabilité de la tour : d'une part, suivant l'angle du vent et la disposition des points d'appuis, la stabilité de la tour varie. D'autre part, plus les parois (la surface) de la tour sont grandes, larges, plus la tour risque de basculer. Une nouvelle stratégie gagnante émerge alors : l'idée de construire une structure sans parois...

(T7, classe Mac, Delphine enclenche le sèche-cheveux, force 1)

*E.1Mac : ça bouge même pas !*

*E.2Mac : ya trop de trous ! Ya trop de trous ! (contente)*

*E.3Mac : hein ouais ! Ya trop de trous !*

*E.2Mac : l'air il passe à travers les trous !*

#### 4.9 Synthèse et conclusion P3

L'analyse du point de vue du contenu de l'activité cognitive des élèves permet d'approfondir notre questionnement au sujet de l'activité de problématisation en situation de défi, et de proposer des pistes de réponse.

1. *Quelles représentations du problème se font les élèves ? En quoi consistent leurs questionnements et leurs hypothèses ? Quelles différentes composantes du problème sont identifiées par les élèves, et intégrées dans leur recherche de solutions ?*
2. *Les représentations du problème évoluent-elle au cours de la séance ? Les solutions évoluent-elles en conséquence ? De quelle manière ?*
3. *Comment la problématisation des élèves "navigue"-t-elle entre la pluralité des contraintes, les différents niveaux de problématisation, et les obstacles empiriques ?*

Tout d'abord, pour répondre à la première question, il nous semble que la carte conceptuelle représente la forme la plus efficace pour rendre compte globalement des différents éléments du problème intégrés dans le questionnement des élèves, ainsi que leurs interrelations. Ensuite, la comparaison entre les tableaux de la phase 1 et de la phase 2 permet d'apporter des éléments de réponse intégrant les dimensions évolutive et contextuelle (question 2 et 3).

Les deux premières cartes exposent les corrélations établies et les pistes de solutions imaginées par les élèves, d'une part, à l'issue de la phase de conceptualisation et d'autre part à l'issue de la phase de mise en œuvre des projets. On peut distinguer les corrélations établies entre les différents paramètres technoscientifiques en jeu dans la résolution du défi. De plus, on peut relier chaque piste de solution en tant que *réponse* à un élément particulier du problème.

Il faut rappeler que ces résultats ont été établis sur la base des notions *explicitées* par les élèves, et informent des éléments majoritairement *discutés* par les élèves ; ils représentent ainsi les indices relativement fiables de leur activité de problématisation. Néanmoins, la partie explicite du contenu de problématisation n'est sans doute pas représentative de l'activité cognitive globale des élèves, qui reste en partie *immergée*.

Premièrement, on peut remarquer que dans la première phase de recherche (sans matériel), les élèves identifient déjà beaucoup d'éléments du problème. Le niveau de problématisation se porte en grande partie sur les enjeux de la tâche (tension entre

contraintes symboliques et contraintes matérielles)<sup>171</sup> ainsi que sur les pistes de solution sous forme de propositions de *design*. Encore peu de paramètres du problème technoscientifiques et de variables d'actions sont distingués finement. Les corrélations entre les différents problèmes sont encore floues : les élèves perçoivent le défi comme une accumulation de contraintes, en percevant globalement la difficulté à les concilier, mais n'établissent pas encore précisément les liens qui les sous-tendent.

Voici une carte représentative du contenu de la problématisation lors de la phase 1 (conceptualisation des projets), intégrant trois niveaux de problématisation interreliés :

- les corrélations établies entre les *paramètres technoscientifiques* sous-jacents (ensemble de corrélations distinguées par trois couleurs) ;
- les *variables d'action* identifiées pour remédier aux différentes facettes du problème (en gris), et
- les *pistes de solutions* (en couleur).

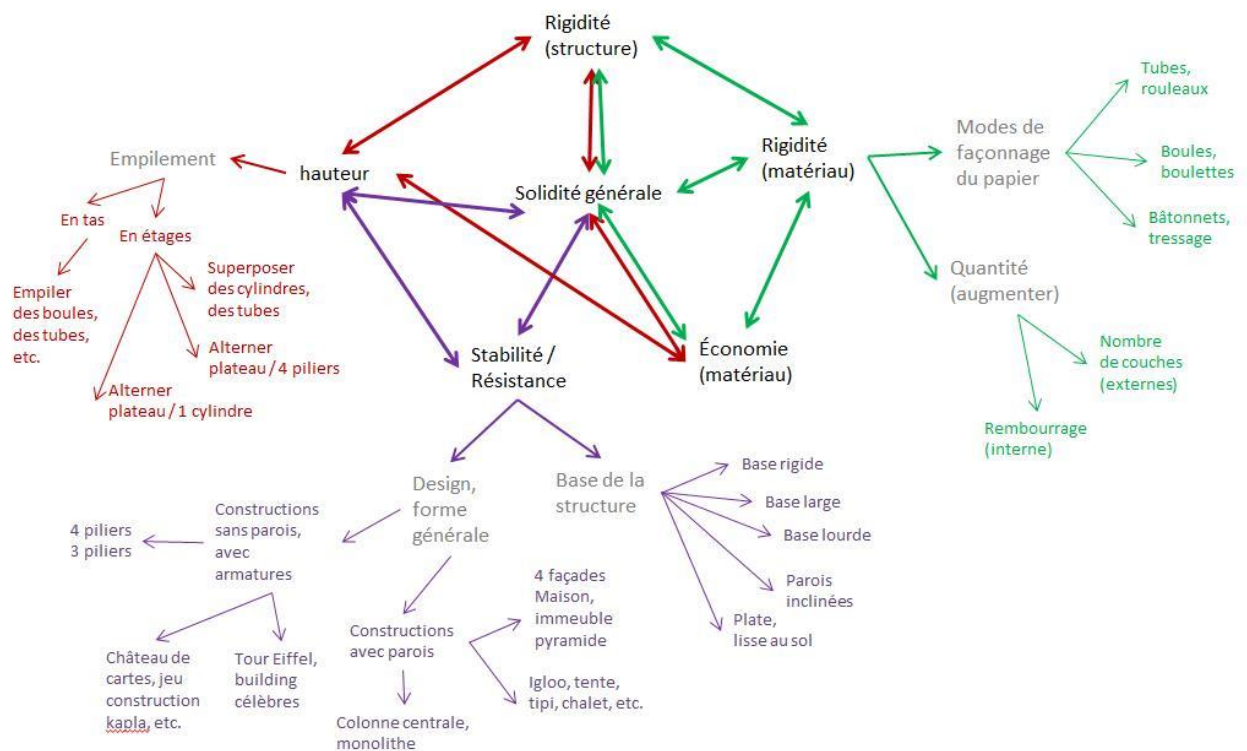


Figure 4 Corrélations et propositions Phase 1

<sup>171</sup> Non représenté dans le schéma ci-dessous.



En comparaison, voici la carte représentative du contenu de la problématisation lors de la phase 2 (mise en œuvre des projets), intégrant elles aussi plusieurs niveaux de problématisation :

- les tensions éprouvées entre les différents *paramètres du problème* lors des obstacles rencontrés ;
- les régulations mises en œuvre (*pistes de solution*) pour remédier aux obstacles.

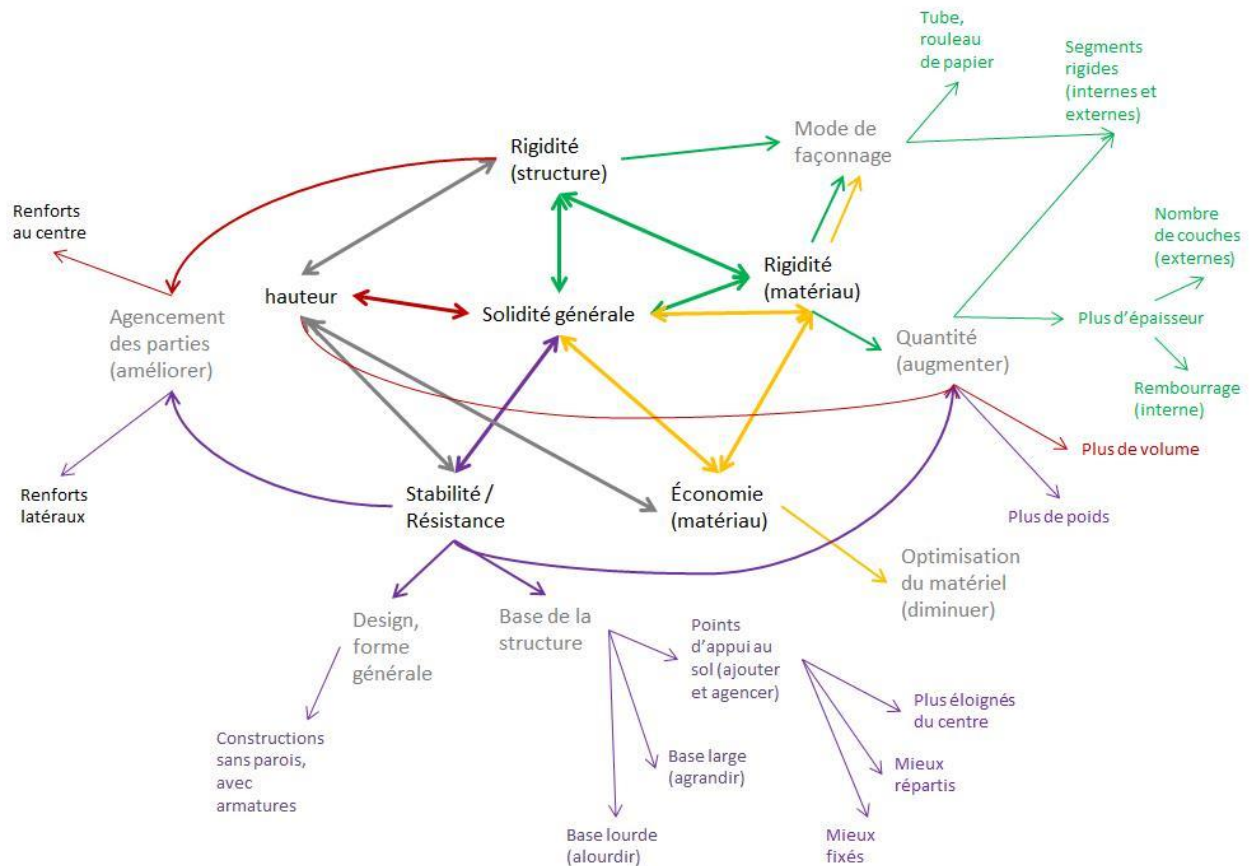


Figure 5 Corrélations établies et pistes de solutions explorées Phase 2

Globalement, un plus petit nombre d'éléments constituant le problème sont explicités lors de la phase 2. Dans le feu de l'action, les élèves prennent sans doute moins le temps de *discuter* des problèmes qu'ils rencontrent et cherchent avant tout à les *dépasser*, en agissant par adaptations et régulations successives. Aussi, probablement qu'une partie des éléments sont déjà intégrés, et comme ils ne représentent pas de nouveaux obstacles, les élèves se concentrent sur certains éléments qui résistent particulièrement. Dans ce cas, les éléments font alors objets de discussion ou d'observation, ce qui leur permet de creuser le problème et de déboucher sur une représentation plus fine et complexe du problème.

On observe essentiellement une précision des variables d'action et un meilleur discernement des variables technoscientifiques en jeu. Dans l'ensemble, on passe à un niveau supérieur de problématisation et d'opérationnalisation des hypothèses. En outre, une partie de la problématisation se poursuit parallèlement sur le plan premier des consignes. Mais contrairement à la phase 1, les élèves se concentrent sur la gestion de certaines contraintes en particulier, et sont capables d'explicitier les *tensions* qui s'opèrent entre elles.

En soi, les obstacles rencontrés par les élèves ne sont pas différents des obstacles anticipés par les élèves dans la phase de conception. Cependant, le fait d'y être confrontés concrètement, d'en faire le constat, et de réfléchir à des remédiations possibles, mène les élèves à préciser leur représentation du problème et à affiner leurs pistes de solutions initiales.

Si dans l'ensemble, les régulations mises en œuvre sont parfois similaires aux premières pistes imaginées, elles se montrent à la fois beaucoup plus précises et consciemment étudiées pour agir *en réponse* aux différents problèmes.

Enfin, la plupart des questionnements des élèves persistent du début jusqu'aux dernières minutes de l'activité. En quelque sorte, le questionnement reste ouvert et pourrait continuer à évoluer bien au-delà de l'heure et demie d'activité. Au moment des tests, les constructions réalisées apparaissent alors comme des dispositifs permettant de mieux *visualiser* le problème, davantage que des dispositifs représentatifs des solutions efficaces au problème.

Pour finir, le tableau suivant illustre quelques éléments significatifs du questionnement des élèves ; il illustre à la fois l'affinement du questionnement et la perdurance des obstacles :

Obstacles Identifiés		Questionnement émergent (problèmes)	Hypothèses émergentes (solutions)
<i>Phase 1</i>			
Tensions pressenties au départ de l'activité	La tension entre le problème du matériel à disposition, la restriction de matériel et la solidité générale	<i>Comment construire une tour avec seulement du papier, et de plus est, en petite quantité ?</i>	→ <i>il faut économiser à tout prix le matériel</i> → <i>plusieurs idées de design général de multiples inspirations</i>
	La tension entre le souci de vraisemblance / et la faisabilité de la tour	<i>Faut-il que la tour ressemble à une vraie tour ?</i>	→ <i>réfléchir avant tout à une solution réalisable en papier</i> → <i>s'inspirer des bâtiments existants</i>
<i>Phase 2</i>			
Tensions éprouvées en situation dans la gestion des différentes contraintes	La tension entre l'économie de matériel / et la solidité de la tour	<i>Faut-il viser la solidité de la tour sans se soucier de la quantité de papier ?</i> <i>Faut-il chercher à économiser au maximum au risque de ne pas parvenir à une tour solide ?</i>	→ <i>optimiser le matériel pour minimiser les dépenses et maximiser les effets</i> → <i>plusieurs stratégies trouvées pour rigidifier les feuilles de papier</i>
	La tension entre le souci de vraisemblance / et la faisabilité de la tour	<i>Faut-il tenter de terminer la tour sans se soucier de l'aspect général ?</i>	→ <i>viser l'efficacité au détriment de l'esthétisme</i>
Confrontation tangible et constats	Le manque de rigidité du papier Le papier une fois plié perd de sa rigidité	<i>Comment renforcer la construction ?</i> <i>Comment éviter que ça plie, que ça s'effondre ?</i>	→ <i>rembourrer l'intérieur</i> → <i>augmenter le nombre de couches de papier et de scotch</i>
	Le manque de stabilité de la construction	<i>Comment éviter que ça bascule ? Comment maintenir l'équilibre ?</i>	→ <i>agrandir ou alourdir la base, ajouter des points d'appui</i>

Tableau 12 Questionnements liés aux obstacles identifiés

## 5 Conclusions générales

De nombreux éléments de réponses ont pu être élaborés sur la base de nos différents résultats de recherche et ont été présentés à travers nos multiples dimensions d'analyse (subjective, évolutive et contextuelle) ainsi que nos différents points de vue d'analyse (de la classe, du groupe et du problème).

Pour conclure, nous proposons de reprendre nos trois questions générales sans distinction de points de vue.

- 1) *Les élèves s'approprient-ils le problème ? Problématisent-ils ? De quelle manière ?*
- 2) *L'élaboration du problème évolue-t-elle au cours de la séquence ? De quelle manière ?*
- 3) *L'environnement participe-t-il à l'avancement de l'élaboration du problème ? De quelle manière ? Quelles composantes en particulier ?*

D'une manière générale, les résultats de notre recherche permettent de répondre positivement à nos trois questions.

Premièrement, une partie des résultats confirme que les élèves se sont bien approprié le problème et qu'ils se sont investis dans son élaboration.

En effet, le constat de leur enthousiasme général et de leur investissement à relever le défi, le fait qu'ils se soient *mobilisés* personnellement –cognitivement, socialement, matériellement et émotionnellement– témoigne de leur authentique appropriation du défi.

L'analyse des temps de travail en équipe révèle que les élèves ont effectivement "pilote" leurs investigations. La diversité des parcours de recherche observée, ainsi que la spontanéité, voire la naïveté de certains fonctionnements, nous informent en quelque sorte de l'authenticité des cheminements parcourus.

Le fait que les élèves aient été capables de générer des pistes de solutions personnelles, originales pour répondre au défi, et qui plus est la diversité et la créativité des propositions formulées, témoignent de l'appropriation du problème par les élèves.

Les résultats montrent que les élèves se sont investis dans un réel questionnement face aux difficultés du défi. Leurs remarques, leurs réactions, leur manière d'anticiper les difficultés et de critiquer les propositions de leurs camarades, permettent de souligner

également qu'ils se sont "emparés" du problème. De manière générale, leurs questions et leurs réponses sont les indices de leur engagement dans l'exploration des champs des possibles.

De plus, l'analyse fine des propos des élèves a mis en évidence la façon dont les élèves ont travaillé, trituré le problème à travers ses différentes composantes. L'analyse du contenu des échanges verbaux révèle les divergences de représentations du problème (les préoccupations prédominantes, les tensions ressenties, les corrélations établies, les obstacles identifiés) et indique de quelle manière les propositions des élèves font référence aux différentes composantes du problème.

L'observation des confrontations entre les différents points de vue des élèves informe de leur navigation à travers les différents niveaux de problématisation (enjeux de la tâche, contraintes explicites, paramètres technoscientifiques, variables d'action).

Deuxièmement, les résultats attestent que l'élaboration du problème a non seulement progressé au long de l'activité mais s'est développée du début à la fin.

Les élèves ont dans l'ensemble tous participé au travail du problème et à l'avancement des solutions à un moment ou un autre.

Les sinuosités des chemins de recherche (les blocages, les changements de pistes, les retours en arrière) aussi bien que l'élaboration progressive et "ascendante" des constructions en papier, sont révélatrices de l'élaboration du problème à mesure de l'avancement dans le temps.

Plus précisément, l'analyse des propos vient renforcer l'idée que les hypothèses des élèves subissent des transformations, des mutations, des adaptations au fur et à mesure des investigations. Non seulement les élèves sont capables de mettre en place des régulations de leurs dispositifs mais ils se montrent aussi capables de mettre en question leurs hypothèses premières.

L'enchaînement des discussions rend compte par ailleurs de l'élaboration progressive et conjointe du problème et de la solution. Les solutions mises en œuvre deviennent de plus en plus opérationnelles, et ceci à mesure que le problème se définit dans sa complexité.

Si certaines solutions ne sont clairement que des "palliatifs" au problème, d'autres sont le fruit d'une meilleure représentation du problème. Si la plupart des conceptions qui font obstacles sont moins facilement "dé-constructibles" et reconstructibles que leurs créations en papier, il est important de souligner que les élèves se dirigent globalement vers une compréhension plus aiguisée du problème.

En effet, lorsqu'on examine minutieusement les propos des élèves, on peut observer une progression à travers les différents niveaux de problématisation. Si l'occurrence

et la fréquence des éléments *explicités* du problème, ne sont pas à l'échelle des éléments *intégrés* plus "silencieusement" dans l'élaboration du problème, les propos révèlent les nombreuses corrélations que les élèves parviennent à établir entre les différents éléments du problème.

Enfin, certaines stratégies d'élèves en fin d'activité dénotent une amélioration dans l'identification et la hiérarchisation des contraintes, et signalent une meilleure aptitude à gérer simultanément plusieurs variables.

Troisièmement, plusieurs observations mènent à penser que l'environnement didactique dans son ensemble participe favorablement à l'élaboration du problème par les élèves.

Les différentes caractéristiques propres à la situation mise en place, tel que le temps organisé pour le travail en groupe, ou le temps réservé aux discussions en plénières, ont des effets différents sur l'activité des élèves, et participent à leur manière à impliquer les élèves dans le problème.

Les temps de recherche en groupe sont particulièrement favorables à l'élaboration du problème, qu'ils se déroulent avec ou sans matériel à disposition.

En effet, l'analyse de la dynamique des échanges révèle comment le problème s'élabore très progressivement à travers un jeu d'arguments et de contre-arguments au sein des équipes. L'observation des tâtonnements avec le matériel fourni confirme entre autre que les hypothèses se précisent à travers un enchaînement d'obstacles et de régulations.

On peut également remarquer que les interventions de l'enseignant, structurant les plénières ou ponctuant le travail de groupe, participent notablement à l'identification et à l'explicitation des différentes facettes du problème. Par exemple, les mises en commun régulières participent à mettre en lumière des éléments qui seraient restés dans l'ombre. Elles participent également à bousculer les idées confortables et à freiner les conclusions hâtives des élèves.

L'explicitation et l'argumentation, parfois exigées par l'enseignant, parfois naturellement engendrées par le débat, forcent les élèves à creuser le problème et permettent d'accéder à un niveau de problématisation plus profond. En témoignent les interventions de l'enseignant qui poussent les élèves à passer d'une discussion au sujet des contraintes à l'explicitation des variables technoscientifiques.

Une observation de l'activité des élèves à travers l'enchaînement des étapes du défi indique que les différentes consignes viennent rythmer l'élaboration du problème et favoriser son avancement. Plus précisément, le passage de la phase de conception à la phase de réalisation, aussi bien que l'alternance entre les temps de recherche en groupe et ceux de discussion en plénière, incitent les élèves à changer régulièrement

de posture et de point de vue, contribuant ainsi à un élargissement de leur regard sur le problème.

Enfin, la multiplicité des contraintes ainsi que les différents niveaux de problématisation propres au défi font partie intégrante du contexte avec lequel les élèves interagissent. Ils sollicitent visiblement l'élaboration du problème en générant de multiples points de vue "à discuter".

## 6 Discussions

A ce stade, je propose de revenir sur mes deux hypothèses initiales générées par le cadre conceptuel (voir chapitre 2.6 *Questions et hypothèses générales de la recherche*) afin de proposer des hypothèses affinées : d'une part, concernant la nature du processus de problématisation, et plus particulièrement en situation de défi créatif, d'autre part, concernant un environnement favorable pour cette élaboration.

Cette discussion sera également l'occasion de partager des observations sur mon processus de recherche personnel, notamment certaines difficultés rencontrées lors de la mise au point des outils d'analyse et du traitement des données. Ces remarques contribuent à une meilleure compréhension des hypothèses avancées.

Premièrement, plusieurs observations viennent confirmer et alimenter les hypothèses premières concernant l'activité d'élaboration de problème des élèves.

### 6.1 La problématisation comme processus subjectif, progressif et transversal

Il importe tout d'abord de souligner que les élèves ne construisent pas uniquement le problème en début d'activité, et exclusivement à partir des instructions données lors de la lecture des consignes. Ils le construisent progressivement tout au long de l'activité, lors des phases de réflexion en groupe et lors des investigations avec le matériel, lors des mises en commun et lors des tests en plénière. Cette remarque confirme l'idée que l'élaboration du problème serait un processus progressif et transversal de l'activité d'investigation.

### 6.2 Le problème se construit conjointement à une solution qui y répond

Dès les premiers éléments de consigne donnés, des idées se profilent. Plus les élèves avancent dans leur représentation du problème, plus leurs idées se précisent. En devenant de plus en plus opérationnelles, de nouveaux paramètres du problème doivent être considérés... ce qui mène souvent à améliorer les solutions. Ceci contribue à renforcer notre hypothèse selon laquelle l'élaboration du problème se ferait *conjointement* à la construction des solutions ; ceci, dans un va et vient constant, voire même simultanément. C'est pourquoi, il a été parfois difficile de séparer les deux activités cognitives pour en extraire des éléments de résultats pour la recherche.



A ce propos, je souhaite partager une observation intéressante concernant un obstacle rencontré lors de l'opérationnalisation de mes hypothèses de recherche. Au départ, je pensais pouvoir catégoriser les propos des élèves selon que ceux-ci étaient en train de *définir* le problème ou d'*élaborer* leurs solutions. Je pensais pouvoir *distinguer* ces deux facettes de la démarche des élèves et m'attendais à observer un certain va-et-vient entre l'une et l'autre dans des moments distincts de l'activité. Par exemple, en tout début de séquence, l'activité langagière des élèves aurait pu se porter principalement sur la définition du problème, puis des pistes de solutions auraient pu être formulées pour y remédier. Cette vision, qui me semble bien naïve à présent, s'est donc révélée caduque au moment même où je tentais de mettre à l'épreuve mes outils d'analyse. D'abord, il fût impossible de classer véritablement les propos des élèves, tant ils pouvaient relever d'autant à l'un (le problème) ou à l'autre (la solution). Peut-être cela révèle-t-il les limites du niveau de formulation ou d'explicitation des élèves. Le constat le plus marquant fût que les propositions étaient en *constante mutation*. Ensuite, le fait d'isoler les propos pour les catégoriser revenait à considérer les idées des élèves hors de leur processus de construction global et progressif. Finalement, une catégorisation de ce type ne me sembla finalement plus du tout pertinente, compte tenu de mon intérêt d'approcher le *processus* de construction plutôt que des résultats isolés.

Cette observation s'est reproduite alors que je tentais d'observer l'éventuelle évolution de la forme des hypothèses<sup>172</sup> à travers le déroulement de la séquence. Plus tard, une nouvelle stratégie d'analyse s'est présentée pour rendre compte du caractère progressif de la problématisation ; elle a été de repérer à quelles composantes du problème les propos des élèves faisaient référence, indépendamment de la façon dont elles étaient formulées (sous forme interrogative, affirmative, propositionnelle, etc.), puis de distinguer plus finement les propos selon plusieurs niveaux de problématisation.

### 6.3 Une problématisation à travers différents niveaux du problème

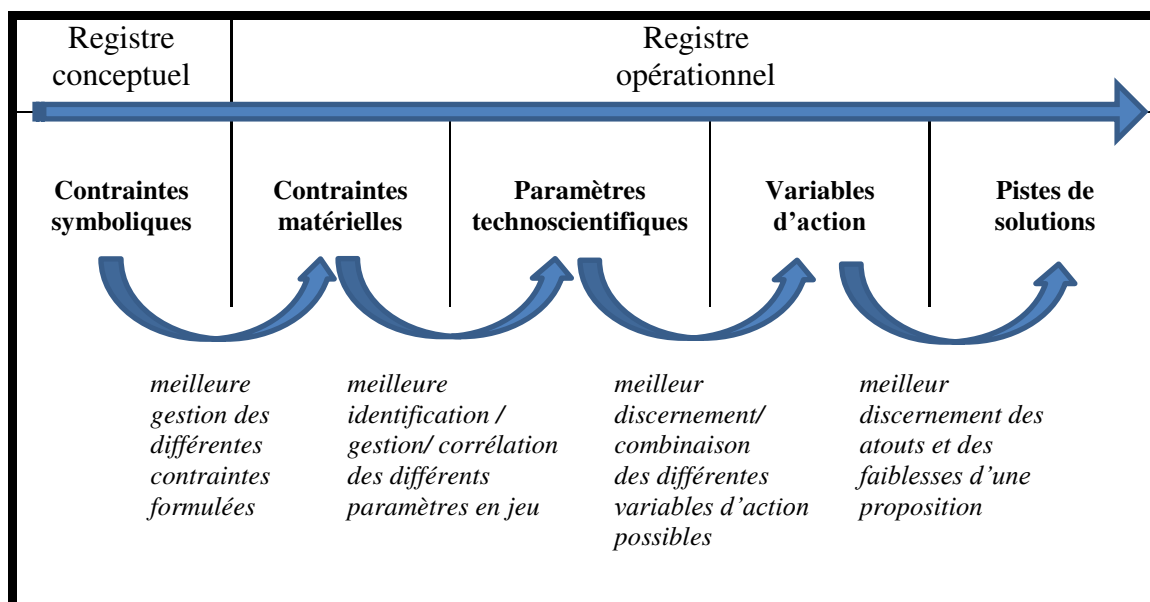
Comme expliqué dans ma méthodologie, les différents niveaux de problématisation ont été définis progressivement. Une première étape a été de distinguer les propos qui se référaient aux consignes explicites, des propos qui traduisaient une identification des problèmes non explicités par les consignes du défi. Puis, une autre étape a été de chercher à identifier les correspondances entre les problèmes identifiés par les élèves et les solutions mises en œuvre, en tant que *réponses* –plus ou moins globales vs spécifiques– aux différents problèmes.

Enfin, la distinction entre le registre conceptuel et le registre opérationnel, ainsi que la définition de catégories interreliées et progressives –*contraintes/paramètres*

---

<sup>172</sup> Je parlerai de cette observation plus loin, au point *Graines d'hypothèses en germination*.

*technoscientifiques/variables d'action/pistes de solution*– sont apparues comme des outils pertinents et opérationnels, non seulement pour l'analyse, mais également pour tenter de *modéliser* le concept de problématisation, à la fois sous l'angle du processus et du contenu.



**Tableau 13** Progression de l'élaboration du problème à travers différents niveaux de problématisation

A l'aide du schéma ci-dessus, l'activité de problématisation pourrait ainsi être définie comme telle :

Construire le problème en situation de défi, signifierait d'identifier les différents éléments qui constituent la situation de défi, hiérarchiser ces différents éléments, faire des choix et établir des priorités dans la prise en compte, la gestion de ces différents éléments.

La progression potentielle de l'élaboration du problème serait identifiable par le glissement progressif vers des niveaux de problématisation plus profonds et opérationnels.

Néanmoins, il faut préciser que ce processus ne se développe pas linéairement. Les différents niveaux sont interreliés mais ne représentent en rien des étapes successives. L'avancement de l'activité de problématisation se ferait dans une *navigation* entre les différents niveaux de problématisation.

Le schéma ci-dessous tente d'illustrer le caractère sinueux et itératif du cheminement de recherche, partant des premiers matériaux bruts du problème (les consignes de la tâche) et débouchant sur des formes tangibles de solutions. Le symbole des boucles pourrait tout aussi bien être remplacé par des zigzags.

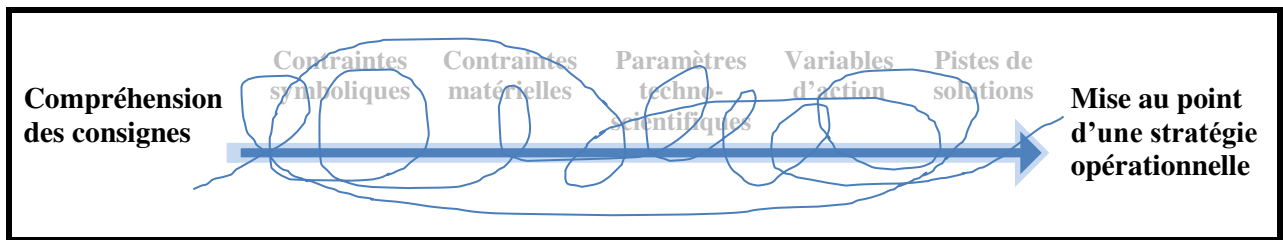


Tableau 14 cheminement de recherche lors d'un défi créatif

Sur la base de ce schéma, l'activité de problématisation pourrait ainsi être définie comme telle :

La problématisation en situation de défi correspondrait à la navigation entre l'élaboration des questions et l'élaboration des réponses, entre l'anticipation d'obstacles et l'imagination de solutions, entre les contraintes et les possibilités. Les élèves avanceraient dans l'élaboration du problème conjointement à l'élaboration d'une solution pour le résoudre vers une représentation du problème toujours plus précise et complexe.

Pour finir, travailler un problème complexe en situation de défi n'aurait pas pour (unique) objectif de mieux comprendre/résoudre le problème en tant que tel, mais (aussi) d'apprendre à définir/élaborer des problèmes complexes en général. Ainsi, apprendre à élaborer un problème complexe, ce serait développer un esprit de discernement, d'analyse, venant compléter et enrichir un esprit créatif. Ce point est discuté de manière plus approfondie dans le point *Prolongements*.

## 6.4 Diverses sources de confrontations fertiles pour l'élaboration du problème

Un autre point significatif à retenir concerne l'avancement de l'élaboration du problème à travers des confrontations successives. Deux sources importantes de confrontations sont à mentionner : les confrontations dues aux interactions entre pairs, et celles dues aux obstacles empiriques.

### 6.4.1 La fertilité des divergences

Les approches de la situation-problème sont sources de diversité autant dans les questions que dans les réponses, et cette diversité crée des divergences. En effet, la situation implique différents niveaux de problématisation : différents registres du défi, différentes contraintes de la consigne, différents paramètres technoscientifiques en jeu, et différentes variables sur lesquelles agir. Chaque niveau regroupe différents éléments. Du point de vue des élèves, l'approche de la situation peut être différente :

elle peut se faire sur différents niveaux, et en considérant plus ou moins fortement certains éléments parmi d'autres. Ces différentes représentations du problème sont *source de divergences fertiles* pour l'élaboration du problème.

En effet, les élèves ne se comprennent pas ou n'adhèrent pas entre eux souvent parce qu'ils ne parlent pas de la même chose, ou parce qu'ils portent leur attention sur des facettes différentes du problème. Les incompréhensions ou les désaccords peuvent être générés par des questionnements portés sur des registres différents ou une hiérarchisation différente des priorités dans la gestion des consignes, ou encore des perceptions différentes des paramètres technoscientifiques en jeu et de leurs corrélations. Toutes ces divergences potentielles impliquent nécessairement une certaine *résistance* au sein des groupes qui les empêche dans un premier temps de simplement suivre son cours sans *remise en question* ; c'est la première résistance caractéristique du milieu.

Dans l'ensemble, le travail en groupe favorise une co-élaboration du problème et d'une solution par les confrontations qu'il implique, qu'elles se fassent de manière conflictuelle ou consensuelle.

Ensuite, les *résistances* sociocognitives ainsi générées mènent le plus souvent à des confrontations, qui tendent "naturellement" à être dépassées de par l'importante motivation suscitée par *le désir de relever le défi*. De plus, face à la *nécessité d'aboutir à une solution commune*, de *parvenir à converger* dans la même orientation, les élèves s'impliquent dans un effort d'explicitation et d'argumentation pour pouvoir se comprendre et/ou se convaincre.

L'argumentation qui se met en œuvre au sein des groupes, mais aussi sollicitée par les mises en commun en plénière, participe de cette manière à mieux définir le problème, et ceci du début à la fin de la séquence.

#### **6.4.2 L'argumentation comme moteur à l'élaboration du problème**

L'argumentation des propositions, sollicitée par le travail en groupe et les plénières, implique l'explicitation des différents éléments du problème intrinsèquement liés aux propositions. Ensuite, plusieurs facteurs sollicitent l'effort de l'argumentation dans le groupe. L'argumentation peut être motivée par le désir de faire valoir la pertinence de sa propre proposition (justification) ou pour démontrer le manque de pertinence de celle de l'autre (réfutation). Les arguments qui semblent les plus construits et précis sont le plus souvent formulés comme des arguments venant mettre en doute ou *confronter* les propositions des autres, et moins comme des arguments servant à *défendre* ses propres propositions. L'argumentation pour justifier les propositions se fait moins spontanément et paraît plus faible. Dans ce cas, le travail d'explicitation repose davantage sur la nécessité de présenter le plus clairement son idée sous forme imagée (à l'oral ou en dessin). Dans l'ensemble, les élèves font

souvent preuve d'une argumentation construite et pertinente, même si le modèle de référence n'est pas un modèle *fondé* scientifiquement, ou peu opérationnel.

Le schéma ci-dessous illustre la dynamique des échanges participant au travail du problème. En quelque sorte, il pourrait illustrer la *logique de résolution* du problème à travers les interactions entre pairs, dominante dans les équipes.

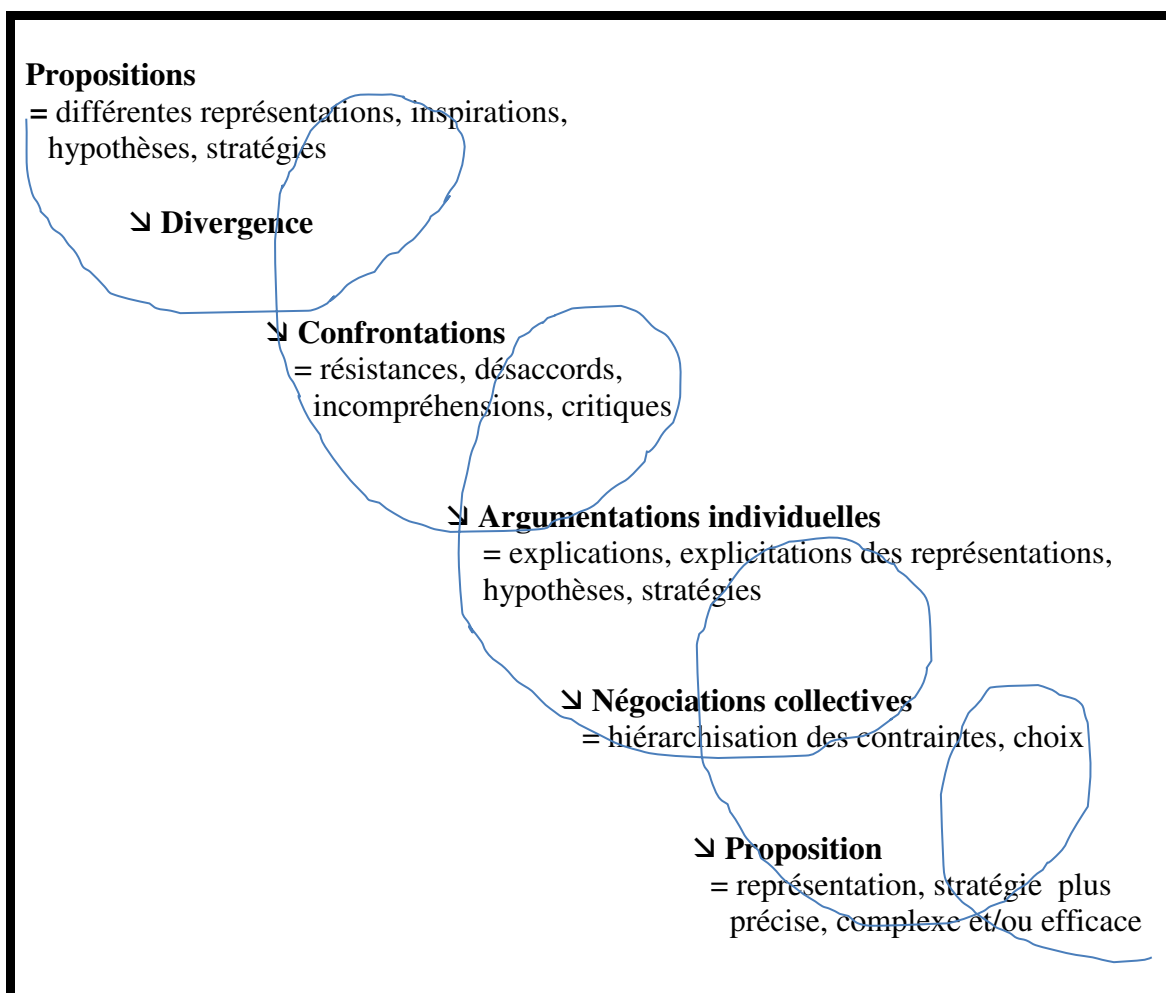


Tableau 15 Dynamique des échanges participant au travail du problème

Cette dynamique sociocognitive ne s'observe pas uniquement au début de la séquence, lors de la phase de conceptualisation suivant les consignes. Elle est présente tout au long de l'activité des élèves, même lors de la phase de réalisation, et en particulier dans les moments de travail en groupe.

Enfin, nous avons vu que l'élaboration d'un problème complexe impliquait non seulement l'identification et la prise en compte de nombreux facteurs, mais aussi l'élaboration d'un certain *compromis* entre plusieurs alternatives. Dans ce sens, le fait de devoir élaborer le problème en collectivité pour trouver ensemble une solution consensuelle, participerait favorablement à cet exercice du compromis.

Plus globalement, il semblerait que l'*exigence du consensus* –c'est-à-dire la nécessité de se comprendre, de se mettre d'accord, de faire des choix communément afin d'aboutir à une solution consensuelle– serait un puissant moteur pour l'avancement du problème.

## 6.5 Des productions révélatrices mais non représentatives

Par ailleurs, « il se passe des choses » dans les groupes qui ne se traduisent pas dans les productions des élèves. En effet, les résultats des constructions matérielles ne sont guère représentatifs de la richesse du processus d'élaboration qui s'est opéré jusque-là au niveau cognitif.

Plus précisément, les constructions finales (les tours en papier) ne témoignent pas des différentes étapes de fabrication ni des sinuosités des cheminements de recherche. En effet, les modalités des constructions en papier se sont définies en partie lors du travail de groupe sans matériel, et ont évolué ensuite au contact du matériel d'investigation. Une construction est le produit de plusieurs pistes de solutions imaginées et mises en œuvre. Plusieurs obstacles se manifestent et jusqu'au dernier moment –les dernières secondes parfois– des régulations sont apportées dans tous les groupes.

Les constructions finales sont donc rarement à l'image du projet construit par les élèves. Or ce constat ne suffit pas à conclure que le projet était mauvais (peu réaliste, peu opérationnel, etc.) ou que les hypothèses n'étaient pas valides. Il s'opère simplement un décalage fréquent entre *ce qui se dit* et *ce qui se fait* ou *ce qui parvient à se faire* dans les groupes. Le passage à l'investigation comporte des obstacles pratiques qui ne permettent pas aux élèves de simplement exécuter, mettre en formes le projet imaginé, même si celui-ci –ou certains aspects de celui-ci– est pertinent du point de vue conceptuel ou technologique. Par exemple, une idée, pertinente pour traiter un paramètre du problème, peut sembler opérationnelle sans pouvoir se montrer efficace lors de l'opérationnalisation, à cause de la négligence d'un autre paramètre du problème (par exemple, l'idée de rouler le papier est une idée qui fonctionne bien, sauf si la feuille a été pliée plusieurs fois).

De plus, les résultats des constructions donnent peu d'informations sur *comment les élèves en sont arrivés là*. En d'autres termes, le questionnement qui a accompagné les investigations du début à la fin des constructions, ou l'argumentation des différentes pistes choisies qui a dû se faire au sein du groupe pour parvenir à ces résultats. Par exemple, une construction non menée à bout ou peu efficace ne prouve pas que les élèves n'aient pas problématisé la situation de manière satisfaisante. À l'inverse, un résultat efficace (répondant à tous les critères donnés) n'assure pas forcément la pertinence du travail engagé pour y arriver.

Ainsi, évaluer le résultat des constructions sans tenir compte du travail effectué en amont –tant sur le plan conceptuel que sur le plan opérationnel– aurait peu d'intérêt,

même si l'on souhaitait uniquement évaluer l'intégration des notions technoscientifiques en jeu à un moment précis sans s'intéresser aux étapes de construction du processus. Le résultat des constructions représente bien un produit, mais non représentatif de l'activité cognitive réelle. En bref, ni au niveau méthodologique ni au niveau pédagogique de cette recherche, les résultats des constructions ne peuvent se suffire à eux-mêmes.

## 6.6 Entre solutions originales et inspirations mutuelles

Les groupes partagent parfois les mêmes idées ou les mêmes dénominations pour décrire ou mettre en pratique leurs solutions (par exemple « pyramide », « plateforme »). Il est difficile de dire si les similitudes effectives sont la conséquence de la proximité visuelle entre les groupes ou/et des séances de mise en commun, ou si elles sont l'objet de coïncidence. Néanmoins, les observations propres à cette recherche montrent que la plupart des similitudes semblent émerger spontanément et simultanément. Cette idée est renforcée par la comparaison inter classes : les mêmes idées se retrouvent dans des classes différentes ne communiquant pas entre elles<sup>173</sup>.

Toutefois, il semble que ces *inspirations* ne soient pas toujours conscientes et encore moins souvent volontaires. Les enregistrements audio dévoilent quelques rares exceptions où une discussion se porte sur la question du « copiage ». Dans le même sens, les enregistrements vidéo démontrent que les groupes se regardent peu entre eux, et discutent peu des productions des autres. On surprend quelques regards furtifs de temps en temps, qui trahissent plutôt un souci lié à l'état d'avancement dans le temps. Quelques groupes comparent ouvertement aux autres la quantité de matériel utilisé. Plusieurs raisons peuvent expliquer le peu de *référence* au travail des autres. La première serait qu'en référence à la culture scolaire traditionnelle, les élèves pensent ne pas avoir le *droit* de regarder ou de s'inspirer des productions des autres, et s'interdisent par eux-mêmes au copiage. La deuxième serait qu'ils pensent que l'on attend d'eux une solution inédite, en référence cette fois aux consignes de départ les encourageant à trouver « plusieurs solutions possibles » et à « vendre leur projet » devant les autres en justifiant et valorisant ses spécificités. Dans une dynamique de défi vécue de manière compétitive, les élèves se montreraient à la fois soucieux de se distinguer des autres et décidés à revendiquer *l'originalité* et *l'authenticité* de leur projet. La troisième possibilité rejoint et complète la dernière : dans une dynamique de défi où le temps est compté, les élèves sont si concentrés et investis dans l'élaboration d'une solution à laquelle ils s'identifient qu'ils ne montrent pas ou peu d'intérêt pour celles des autres, ou ne prennent pas le temps de le faire même s'ils

---

<sup>173</sup> Des recherches parallèles menées avec un grand échantillon de population d'étudiants et d'enseignants (plus d'une centaine d'équipes de travail sur plusieurs années) renforcent cette hypothèse.

savent qu'ils le peuvent, voire même qu'ils le doivent<sup>174</sup>. Le sentiment des élèves de devoir/pouvoir avant tout *mener à bout leur idée* prédomine fortement dans leurs démarches.

## 6.7 Les graines d'hypothèses en germination

Les résultats mènent à conclure qu'une partie des productions des élèves peuvent effectivement être considérées comme des hypothèses ou des pré-hypothèses. En effet, les différentes propositions des élèves pour relever le défi représentent des stratégies possibles pour résoudre le problème, en quelque sorte des réponses en attente d'être validées (ou invalidées), et donc des "hypothèses scientifiques" car réfutables au sens de Popper. De plus, ces stratégies sont basées sur des « modèles » cognitifs divers plus ou moins explicités (modèles de référence ou modèles explicatifs). Les fondements existants en soubassement de ces pré-hypothèses apparaissent dans les propos des élèves à différents niveaux d'explicitation. Les confrontations entre pairs favorisent l'évolution du niveau d'explicitation des hypothèses.

Comme élèves ne détiennent pas les éléments de résolution du problème, les pistes de solution qu'ils imaginent sont déjà des hypothèses. De manière générale, les hypothèses des élèves ont pour caractéristiques d'être *intuitives* et *spontanées*, car ceux-ci découvrent les éléments du problème pour la première fois. Les hypothèses des élèves ne sont pas pour autant *autogénérées*<sup>175</sup> : elles se basent certainement sur des expériences ou des représentations antécédentes à l'activité, mais elles ne se fondent pas sur des notions formalisées en classe auparavant.

De plus, les résultats montrent que la plupart des hypothèses formulées *spontanément* en tout début de séquence<sup>176</sup> vont progressivement se préciser (si elles sont retenues au sein du groupe) et devenir plus opérationnelles.

Pour conclure, je souhaite partager une nouvelle remarque concernant mon cheminement de recherche personnel. De prime abord, je pensais pouvoir catégoriser les différentes hypothèses des élèves selon si elles se reportaient davantage à des appréhensions, des prévisions, des propositions ou des explications. Plusieurs catégories d'analyse ont été mises à l'essai pour tenter de mettre en lumière la

---

<sup>174</sup> Rappelons en effet que les réunions générales font partie de la tâche et sont présentées dans les consignes comme des moyens de mettre en commun les différentes idées et observations de manière à « optimiser les résultats de la communauté ».

<sup>175</sup> Nous entendons par là « sorties de nulle part ». En effet, les hypothèses ont forcément un référent empirique, un cadre épistémologique de référence.

<sup>176</sup> Majoritairement dans les premières minutes de la Phase de conceptualisation.



progression du processus d'élaboration des hypothèses des élèves. Une des tentatives a été de catégoriser les énoncés des élèves selon plusieurs types (les *affirmations*, les *questions* et les *suppositions*) inspirés par exemple des modalités en linguistique (valeur *aléthique*, valeur *épistémique*, valeur *déontique*) ou de la philosophie (proposition *catégorique* « il faut faire comme ça » ou proposition *hypothétique* « ça peut tenir si on fait comme cela » ou « peut-être que si on fait comme cela, cela tiendra »). Ceci, de manière à observer une *progression* éventuelle d'une forme d'énoncé à un autre entre le début et la fin de la séquence. On pourrait distinguer par exemple des énoncés du type « il faut faire comme cela » ou « faisons comme cela » à des énoncés « il faut essayer de faire comme cela pour voir si... ». J'ai eu également l'intention d'identifier si les propositions des élèves reposaient davantage sur des arguments d'autorité que sur une argumentation logique.

Mais, ces catégorisations se sont révélées peu opérationnelles, bien qu'intéressantes conceptuellement parlant. Nous expliquons cela par le fait que les propositions langagières des élèves (forme des hypothèses), tout comme leurs propositions cognitives (le contenu des hypothèses), sont en constante mutation. De plus, le fait d'isoler certains propos pour les placer dans des catégories s'est révélé peu pertinent et opérationnel pour affiner nos hypothèses de départ concernant le processus de problématisation.

Enfin, il est apparu que le mode d'expression des élèves du début à la fin du défi était principalement de l'ordre de *l'affirmation*. Pourtant, cela ne pouvait exclure l'éventualité d'une progression des hypothèses à travers la séquence, car dans la situation de défi, le mode affirmatif utilisé par les élèves semble d'abord être le mode le plus direct pour transmettre rapidement ses idées aux pairs (contrainte du temps). Ensuite, ce mode affirmatif semble être le mode utilisé le plus efficace pour convaincre ses pairs d'opter pour sa proposition (nécessité du consensus). C'est pourquoi la manière dont les idées sont formulées ne pourrait représenter l'activité de problématisation.

Pour finir, je souhaite présenter ici succinctement les observations partagées en amont dans les différents points d'analyse, susceptibles d'enrichir mes hypothèses premières concernant un dispositif didactique favorable à l'élaboration du problème.

Sans faire de généralisations, des pistes de compréhension sont présentées en termes de « limites » et d'« atouts » de la situation de défi mise en œuvre dans le cadre de cette recherche. Pour faciliter la lecture, une présentation synthétique en vingt-deux points est proposée.

## 6.8 Les limites du défi

1. Les élèves n'éprouvent pas la nécessité de préciser le problème dès le moment où les membres du groupe se comprennent parfaitement et convergent naturellement vers une solution similaire. Or l'obtention d'un consensus dans le groupe ne signifie pas que l'objet du consensus soit pertinent ou la solution efficace.
2. La motivation d'aller jusqu'au bout de son projet l'emporte sur la motivation à trouver la solution la plus efficace pour relever le défi. Souvent, la phase de construction avec le matériel est vécue comme une phase d'exécution (mise en forme) du projet et non comme une phase de l'investigation (mise à l'épreuve).
3. Les groupes s'accrochent et défendent plus volontiers l'authenticité, l'*originalité* de leur projet que les changements opérés pour arriver aux résultats. Dans ce sens, la remise en question des limites du projet initial est difficile, les groupes avancent plus volontiers dans une suite de multiples micro-régulations.
4. Une solution qui fonctionne serait perçue comme une bonne solution. Les élèves ressentent difficilement l'intérêt d'aller plus loin si les résultats des investigations les contentent.
5. Le dépassement des obstacles expérimentaux ne suffit pas à dépasser les obstacles épistémologiques. Autrement dit, la confrontation à des obstacles expérimentaux ne suffit pas à motiver les élèves à abandonner leurs aspirations premières, et par là même, leurs représentations premières.
6. Il existe un esprit collaboratif entre pairs (son équipe) mais compétitif entre tiers (les autres équipes). Les élèves ressentent difficilement l'intérêt des plénières comme possibilités d'amélioration de leur projet personnel.

## 6.9 Les atouts du défi

1. Le caractère ludique et à la fois authentique de l'énoncé du problème génère de la curiosité et le *désir* d'essayer.
2. La motivation et l'excitation suscitées par le défi permettent aux élèves d'entrer dans la complexité du problème en acceptant l'inconfort et l'incertitude.
3. L'espace donné pour les initiatives des élèves est important malgré le contexte très contraignant ; cela favorise la créativité et l'appropriation de la situation.
4. Le travail en équipe en situation de défi suscite un esprit collaboratif et un sentiment de responsabilité propice à l'*investissement profond* de chacun dans la tâche.
5. La complexité du problème provoque facilement des *divergences* de points de vue et de représentations, sources potentielles de confrontations fertiles.

6. La *pluralité de réponses possibles* pour résoudre le problème conjointe à la nécessité de converger vers *une seule solution* au sein du groupe implique des confrontations fertiles.
7. Le besoin *naturel* ressenti par l'élève d'aller jusqu'au bout de la réalisation de son idée afin de *vérifier par lui-même*, d'en avoir *le cœur net*, de *voir pour y croire*, motive et donne du sens à l'expérimentation et à l'effort de validation des hypothèses exigé par la tâche.
8. L'espace de tâtonnements et d'explorations avec le matériel favorise l'*ancrage avec le réel* autant pour la *recherche* de solutions que pour la *validation* des solutions.
9. L'expérience d'un *réel* particulièrement *résistant* implique nécessairement la confrontation à des obstacles *devant* être surpassés.
10. La nécessité du *passage à l'acte* (l'opérationnalisation) pour réussir le défi, motive le dépassement des obstacles expérimentaux.
11. L'exigence de la *mise en œuvre* de la solution implique aussi la *mise à l'épreuve* des idées et modèles qui l'ont générée.
12. Les initiatives des élèves peuvent être exploitées comme éléments centraux pour articuler la progression de la séquence.
13. L'accueil d'une pluralité de *cheminements* et de *démarches* de recherche pour arriver à un résultat n'empêche pas de guider l'expérience à travers plusieurs passages clés, faisant échos aux dimensions fondamentales de la démarche scientifique authentique.
14. Au-delà d'une *sensibilisation* aux démarches d'investigation scientifiques, qui induit l'idée de superficialité, et différent d'un *exercice* qui sous-entend la reproduction de modèles ou des gestes, le défi créatif collaboratif est une *stimulation*. Il implique une expérience sensorielle, empirique, et provoque un *désir de répondre* et un *élan d'implication personnelle* dans une aventure heuristique.
15. Le défi créatif véhicule un message sur la science qui *se fait*, qui *se vit*, qui *se construit*, un message sur l'activité du chercheur *au sens individuel* qui s'inscrit et qui se construit dans la collectivité.
16. Le défi créatif illustre le rôle de l'*expérience* dans un processus d'investigation non limitée à l'*expérimentation*<sup>177</sup> et élargie à l'*exploration* ; l'expérience comme moyen de participer à préciser le problème et les hypothèses.

---

<sup>177</sup> C'est-à-dire, la validation/l'invalidation d'une hypothèse formulée en amont.

## 7 Prolongements

L'effet du dispositif mis en œuvre –le défi des Tour en Papier– sur l'apprentissage, dans une vision plus large que celle de la problématisation, soulève plusieurs remarques intéressantes qui peuvent être avancées sur la base des observations menées au cours de cette recherche.

Ce chapitre soulève la question de l'*authenticité* des démarches mises en œuvre à travers l'activité de défi, d'une part, du point de vue de l'élève (dans quelle mesure les démarches entreprises correspondent-elles à un cheminement de recherche authentique pour l'élève ?) et, d'autre part, du point de vue des pratiques scientifiques (dans quelle mesure les démarches entreprises reflètent-elles des images cohérentes des pratiques scientifiques ?). Sans chercher à répondre à ces questions de manière pointue, nous profitons de ce chapitre pour ouvrir notre questionnement sur des aspects didactiques, pédagogiques et épistémologiques.

### **L'émergence d'un esprit de recherche et de stratégies de résolution de problèmes complexes**

Pour commencer, cette recherche nous donne des pistes pour réfléchir au défi créatif comme dispositif didactique permettant de développer des connaissances qui font écho aux démarches d'investigation scientifiques.

D'abord, il semble que le défi créatif représente un outil intéressant pour favoriser une certaine *ouverture aux sciences* de manière générale. De par son côté attrayant et ludique, les élèves se laissent facilement prendre au jeu et sont encouragés à s'investir dans une activité pourtant très exigeante. La créativité et la curiosité stimulée par la formule du défi créatif sont plus que des facteurs motivants pour l'élève, elles représentent des composantes essentielles à la mise en route d'une démarche d'investigation.

De plus, le défi créatif, tel qu'imaginé et mis en œuvre dans le cadre de cette recherche, représente une situation didactique intéressante pour apprendre à aborder des *problèmes complexes*. Sur ce point, cette thèse fournit passablement d'exemples illustrant comment les élèves peuvent être amenés à approcher un problème – regroupant en réalité plusieurs problèmes interreliés– et à en construire, pas à pas, une représentation plus complexe et précise.

Une démarche d'investigation ainsi proposée en classe ou en formation, pourrait être envisagée comme un outil pédagogique propice à l'apprentissage de *capacités de résolution de problèmes complexes*.

Plus globalement, en référence à la pratique des chercheurs (traitant les problématiques complexes propres à leur domaine de recherche scientifique ou

technique), la mise en œuvre répétées d'investigations de type *défi créatif* développerait un certain "savoir-faire heuristique" et des "stratégies d'investigation".

Notons que cet esprit ce savoir-faire ne pourrait se résoudre à une méthode générique applicable ou à des stratégies de résolution reproductibles.

En effet, cet exercice –de type non "transmissif" et se distinguant d'un exercice applicatif "rassurant"–, implique d'accepter une certaine *incertitude*, tant pour l'élève que pour l'enseignant, et ce tout au long de l'activité. Pour l'élève, il s'agit d'accepter l'inexistence d'une solution unique, délivrée à un moment donné par une instance extérieure, et l'impossibilité de trouver une solution parfaite, une solution "miracle".

Ensuite, il s'agit de développer une *pensée créative* et *systémique*, nécessaire à la gestion ou la résolution de problèmes complexes. En effet, cette recherche a permis de mettre en lumière la façon dont l'environnement didactique mis en place exerçait les élèves à identifier les différents facteurs d'un problème, à distinguer différents paramètres, à considérer leurs interrelations et les tensions prédominantes en jeu, ceci de manière à imaginer des solutions possibles originales et *optimales*, intégrant au mieux les différentes composantes du problème.

Ce type d'exercice entraînerait non seulement la capacité à inventer et à générer des initiatives, mais aussi la capacité à mettre ses idées à l'épreuve afin de les faire progresser. Nous l'avons vu, l'idée de *mise à l'épreuve* dépasse la notion de test ou de validation d'une hypothèse forgée en amont ; elle comprend plus globalement la nécessité de *rendre possible* un projet de solution encore faiblement défini, et de mieux opérationnaliser leurs "pré-hypothèses". Ceci, non seulement en mettant en œuvre des stratégies pour *réaliser* ces pré-hypothèses, mais également en développant la capacité à les (*re*)mettre constamment *en question* et à les transformer en fonction des résistances ou des inadéquations rencontrées, que celles-ci soient empiriques ou sociales.

Dans ce sens, l'infrastructure du défi –permettant une gestion relativement autonome des parcours de recherche– présente plusieurs moyens pour que les élèves se rendent compte en partie par eux-mêmes des limites de leurs idées. Par exemple, le fait de devoir *dépasser les désaccords* au sein de l'équipe pour construire une solution collective, ou de réussir à *dépasser les obstacles pratiques* pour donner chance à son projet de fonctionner, impliquerait des confrontations fertiles pour l'avancement des investigations.

Ainsi, l'*argumentation* et l'*expérimentation* représenteraient les stratégies de résolution les plus adaptées pour réussir le défi. Dans les faits, les résultats de notre recherche montrent comment les élèves font recours à l'argumentation et à l'expérience comme *moyens* pour trouver/ juger/choisir une solution.

Par ailleurs, la difficulté des élèves à dépasser certains *obstacles épistémologiques* persistants malgré les opportunités multipliées que proposées le défi créatif a été

observée. C'est pourquoi, il serait intéressant de mener une étude longitudinale, de manière à observer les effets d'une confrontation répétée des élèves à ce type d'activité en classe. En effet, une séance unique de défi (une heure et demie !) n'est clairement pas suffisante pour constituer des acquis sur le plan épistémologique.

D'autres prolongements possibles de cette recherche peuvent être imaginés.

D'une part, les outils d'analyse élaborés dans cette recherche dans le but d'observer les mécanismes de problématisation et de résolution du défi pourraient servir de base pour l'élaboration d'outils d'évaluation des élèves<sup>178</sup>.

D'autre part, la recherche offre des pistes de réflexion intéressantes sur le rôle de *facilitateur* attribué à l'enseignant dans ce type de démarche, qui mériteraient d'être approfondies.

Par exemple, la posture qui caractérise l'enseignant dans une activité de défi, est avant tout de se rendre *disponible* aux initiatives des élèves, sans chercher à contrôler leurs cheminements et leurs issues. Sa fonction est de stimuler les élèves au questionnement, de les confronter aux limites de leurs représentations, de faire ressortir les obstacles, tout en leur laissant le temps d'*entrer véritablement dans le problème* et de *faire leur chemin*. Il est un élément de stimulation et de confrontation des idées, au même titre que l'environnement matériel pourrait le permettre, sans forcément induire plus que ce que les élèves pourraient constater par eux-mêmes. Particulièrement bien informé auparavant des obstacles matériels et épistémologiques fréquemment rencontrés, l'enseignant peut non seulement accueillir l'erreur mais *travailler l'erreur*, voire même volontairement la provoquer, afin de la placer "en première loge" de l'observation et de la réflexion. Enfin, son rôle est d'aider les élèves à rendre leurs projets possibles, en valorisant davantage le processus investi que les résultats effectifs.

### **L'avantage de la mise en oeuvre d'une démarche *technologique***

Un deuxième point à mettre en lumière concerne l'avantage de la mise en oeuvre d'une *démarche technologique* –proposé à travers le défi créatif–, par rapport à la *démarche scientifique* –propre aux sciences dures telle que la biologie ou la physique.

Une des possibilités fort intéressante que propose la mise en oeuvre en classe de démarches de type technologique est d'abord de ne pas nécessiter de savoirs disciplinaires préalables pour pouvoir avancer dans l'activité et construire de nouveaux apprentissages ; le minimum requis étant les connaissances "toutes premières" et des démarches spontanées des élèves. Le fait qu'ils manquent d'expérience en travail d'équipe ou en résolution de problèmes complexes n'est pas

---

<sup>178</sup> Par exemple, le tableau identifiant les différents niveaux de problématisation dans l'activité de défi, ainsi que les différents obstacles épistémologiques identifiés.

un frein en soi, tout comme le fait de n'avoir que des représentations intuitives par rapport aux problèmes technoscientifiques en jeu.

En outre, l'activité de défi offre la possibilité d'une démarche intuitive et exploratoire, facilement mobilisable dans un contexte expérimental (au sens large). Bien que ce type d'activité de défi rende possible le travail approfondi d'un problème complexe – en découvrant et en interagissant concrètement avec des "phénomènes" scientifiques (résistance, gravité, équilibre des forces, etc.)– le savoir disciplinaire mobilisé reste en fait un *prétexte* à la construction de savoirs scientifiques plus transversaux : des *savoirs épistémologiques*.

Une situation telle que le défi créatif représente alors une opportunité pour les élèves d'ouvrir leur regard sur les sciences et de développer une meilleure représentation de la nature de son fonctionnement, ses logiques, ses particularités (*the nature of science*). On pourrait aller jusqu'à dire que le défi se présenterait comme une *expérience symbolique* pour l'élève, véhiculant un message spécifique sur les sciences. Toute la question restant à définir est, bien évidemment, la nature de ce message.

### **Un message sur la science qui se fait**

Dans notre optique, la démarche scientifique n'apparaît pas comme une suite d'étapes linéaire ou une série de stratégies de résolution/validation rigoureuses. Elle ne se résout pas non plus à l'application d'un ensemble de « règles d'or » ou à l'acquisition d'un système de « réflexes » méthodologiques.

Le message véhiculé touche un aspect propre aux sciences toutes confondues, un sous-bassement épistémologique que nous jugeons fondamental. Il ne serait pas question de considérer la science comme une voie particulièrement éclairée révélant des vérités universelles : il s'agirait d'envisager la *science qui se fait*, en tant que processus de construction, laborieux et sinueux, individuel et collectif, commun et pluriel.

Ce point de vue rejoint celui décrit par Pestre (2006), historien et épistémologue des sciences. Pendant longtemps, et encore souvent en institution de formation, parler de la science s'est souvent limité à ce qu'elle « devrait être ». Parce que la science évoque d'emblée des images positives, un « *caractère de noblesse et de puissance* » et qu'elle est le plus souvent assimilée à la raison. Or, depuis quelques dizaines d'années en histoire des sciences, « *la science est abordée comme une institution et plus seulement comme un savoir [...] comme un ensemble de pratiques et de faire, au laboratoire ou sur le terrain et plus comme un ensemble conceptuel* » (ibid.). On observe un intérêt grandissant pour le faire et le savoir-faire des « acteurs ». Il s'agit de comprendre comment les acteurs sociaux agissent et font sens de leurs actes lors d'interactions sociales complexes.

Portant son intérêt sur « l'acte créatif » et « les formes multiples d'interaction avec le réel » que représentent les sciences, Pestre (2006) présente des images variées des dynamiques scientifiques, qui impliquent de décentrer la « Science » de la position idéale dans laquelle elle est traditionnellement installée. En effet, l'auteur nous explique que l'image de la science en tant qu'entité universelle, singulière, s'est progressivement déconstruite et imposée toute autre : diverse, changeante, locale. En effet, la science englobe une diversité de mondes, d'univers, de systèmes, de paradigmes et, par conséquent, non seulement une diversité d'objets de recherche et d'instruments d'analyse, mais aussi une diversité d'approches, de méthodes, et de logiques. « *Prise dans des activités et relations sociales diversifiées, répondant à des objectifs multiples (...) la science perd de sa singularité, elle s'hybride, se dissout comme entité évidente ; elle n'est plus mue seulement de l'intérieur, elle n'est plus un « champ » aux règles de fonctionnement unifiées et dont le principe serait simple* » (ibid.).

En insistant sur la pluralité des démarches et des rationalités scientifiques, Pestre souligne que l'univers scientifique ne vit ou ne survit pas isolément des univers qui l'entourent et dans lesquels il est imbriqué, voire pour qui et par qui il se meut. L'activité scientifique est imbriquée dans une infinité de liens avec divers milieux – pas seulement dans le milieu académique mais aussi les milieux techniques, militaires, politiques et industriels sont décisifs– : « *elle est technoscience industrielle ici, moyen d'action politique ou gestionnaire là, recherche pure ailleurs* ». L'histoire des sciences ne consiste plus en l'approche des grandes structures, de grandes régularités, de généralités, mais en l'« *étude de la complexité des actes humains en situation, qu'ils soient cognitifs ou pratiques* » (ibid.).

A partir de ces observations, il nous semble intéressant de poser la question de l'authenticité de la démarche proposée en classe : est-elle représentative de la *science qui se fait* ?

### **Un écho entre l'épistémologie de l'élève et l'épistémologie du chercheur**

Pour plusieurs raisons, il nous semble que le défi créatif, tel que proposé dans cette recherche, parvient à éviter le renforcement des images erronées les plus récurrentes, et tend à véhiculer des idées moins figées et plus "organiques" sur les sciences.

Le défi créatif crée l'opportunité d'aborder des problèmes et des solutions scientifiques –pourtant spécifiques à chaque discipline– non pas exclusivement sous l'angle du *savoir*, mais aussi sous l'angle du *processus de construction*, notamment à travers les dimensions de *questionnement* et *l'élaboration d'hypothèses*.

Sans pouvoir ni vouloir faire abstraction des savoirs –matériaux essentiels de la construction en question– le défi permet d'introduire l'idée que les savoirs sont *construits* plutôt qu'ils ne sont *révélés*. Pour reprendre une citation de Pestre (2006) :



« *la science n'est pas le discours ventriloque de la nature et n'est jamais neutre* ». Un parallèle peut être fait avec les hypothèses des élèves qui prennent corps et se métamorphosent au cours de leurs investigations.

De plus, les élèves ont l'occasion de se rendre compte, à travers le débat en équipe et les communications en plénière, de la diversité des points de vue, des logiques et des démarches de leurs camarades ; et que c'est dans la confrontation des différents points de vue que leur objet d'étude se construit et se précise. Cela rejoint l'idée que la science est une entreprise collective et qu'elle se construit à travers les interactions, les débats, et les rationalités multiples, et que « *la vision différente des choses, le désaccord, l'indécision et le doute constituent les états premiers et normaux de la science au travail* » (Pestre, 2006, citant Collins). De plus, il s'agit de penser dynamiquement la construction des savoirs : « [...] *le déploiement de la science est plutôt rhizomatique, il se fait à travers des milliers de chemins parallèles, à travers des outils différents [...] il crée au moins autant de divergence que de convergence* ».

Dans ce sens, l'histoire des sciences est une voie intéressante pour faire comprendre aux élèves comment les connaissances sur lesquelles on s'appuie actuellement ont été progressivement élaborées par des communautés de chercheurs<sup>179</sup>.

Or, notre proposition est autre : plus qu'*illustrer* des processus de recherche historicisés, le défi créatif tel que proposé permettrait aux élèves d'engendrer et d'*éprouver* eux-mêmes ce type de processus à travers des investigations personnelles et collectives. Cette fois, c'est la question de l'authenticité des démarches *de l'élève* qui est questionnée.

Les résultats montrent que les élèves sont bien parvenus à élaborer un questionnement de recherche et qu'ils ont imaginé et mis à l'épreuve leurs hypothèses. Leurs logiques spontanées et leurs connaissances sont forcément limitées et peu naturellement représentatives de la pratique et du savoir scientifique. Toutefois, l'intérêt didactique est justement de pouvoir *ancrer* une réflexion épistémologique sur les sciences à *partir* de l'épistémologie de l'élève. Ceci représente à nos yeux plusieurs atouts, pour l'élève et pour l'enseignant.

Du point de vue de l'enseignant, il s'agit alors de considérer le *point de vue subjectif* des productions ou des démarches des élèves de manière à en faire ressortir *du sens*, composante fondamentale à la fois de la motivation des élèves, et *ressources premières* à exploiter pour la gestion de l'activité. Les significations subjectives représentent des matériaux de travail avec lesquels l'enseignant devrait composer afin d'adapter son accompagnement.

Du point de vue de l'élève, le fait de piloter son cheminement de recherche, le fait de pouvoir puiser dans ses ressources premières (initiatives, intuitions, intérêts, etc.) crée non seulement la motivation nécessaire pour s'investir dans un exercice exigeant

---

<sup>179</sup> Voir par exemple les propositions didactiques de Cariou (2010).

(productivité, raisonnement, persévérance, complexité, etc.), mais permet également de créer un *ancrage*, à partir duquel les nouvelles significations peuvent "faire écho".

Dans cette lignée, un prolongement intéressant de la recherche serait de parvenir à recueillir –par le biais d’entretiens individuels et de discussions en plénière– les représentations des élèves au sujet des pratiques scientifiques, afin d’observer dans quelle mesure mener une ou plusieurs activités de défi serait susceptible de modifier leur conceptions sur la science.

### **Un regard méta sur ses propres processus d’investigation**

Réfléchir sur ses propres démarches, tenter de les expliciter, les comparer avec celles entreprises par les autres, serait également le point de départ d’un travail métacognitif intéressant pour l’élève : *Quel a été mon cheminement de recherche ? Quelles questions je me suis posées au départ et comment j’ai tenté d’y répondre ? Quels moyens ai-je mis en œuvre pour parvenir à décider/juger si mon idée de départ était pertinente ? Comment ai-je dû m’adapter/transformer mon projet en cours de route ? Que pourrais-je améliorer dans ma démarche ?* Ce travail méta sur ses propres processus de recherche peut donner du sens à une réflexion plus large sur les pratiques scientifiques –*Comment aurait procédé un scientifique ? Comment celui-ci aurait-il fait pour estimer la valeur de ses hypothèses de départ ? Etc.*– et serait une base pour développer des compétences en termes de démarches.

Cette idée reste à creuser, toutefois elle propose déjà une piste pour favoriser le passage des démarches spontanées des élèves aux démarches plus "scientifiques". L’idée rejoint celle de Zhai, Jocz & Tan (2014), pour qui : « *teaching of science as inquiry and by inquiry will shape view their classroom experiences and their attitudes towards science* ».

Dans ce prolongement, un travail sur les valeurs épistémiques (*epistemic values*)<sup>180</sup> serait peut-être intéressant à adapter au contexte de l’école. Par ailleurs, les critères de scientificité mis en lumière par Blanquet (2014), représenteraient un outil intéressant pour engager un travail méta autour des démarches des élèves, afin de « *discriminer pratiques scientifiques et non scientifiques* ».

En somme, une activité telle que le défi créatif serait tout à fait applicable en classe dès l’école primaire (de préférence dès la 7-8P Harmos). L’intention ne serait pas de remplacer les activités expérimentales traditionnelles, mais de compléter, de les enrichir et de leur donner du sens. Par exemple, un défi créatif peut être particulièrement utile comme activité de départ, précédant une activité expérimentale, où le travail pourrait par exemple se centrer ensuite sur le développement d’une

---

<sup>180</sup> Voir par exemple, Steel, D. (2010). Epistemic Values and the Argument from Inductive Risk. *Philosophy of Science*, 77(1), 14-34.

rigueur méthodologique à travers l'isolement de variables. Le défi serait ainsi une activité déclenchante fertile pour initier des démarches d'investigation, à la fois authentiques pour l'élève, et reflétant également des images plus réalistes au sujet des sciences. Le défi créatif, comme activité à la fois fondatrice et complémentaire, serait à *panacher* avec d'autres types d'activités, afin de permettre à l'élève d'élargir ses représentations et ses connaissances au sujet des sciences.

### **Explorer pour mieux questionner**

Pour conclure, le défi créatif met en lumière des facettes de la pratique scientifique moins valorisées dans les cours de sciences traditionnels. Par exemple, plutôt que de mettre l'accent sur la primauté de l'expérience –comme mode de validation des hypothèses– dans les démarches expérimentales et explicatives propres aux sciences du vivant et de la terre, le défi créatif mettrait plutôt l'accent sur la valeur du tâtonnement empirique pour l'élaboration d'hypothèses.

A travers une approche exploratoire, systémique et compréhensive, le défi créatif valoriserait notamment le fait d'aborder les problèmes dans leur complexité, d'oser sortir du cadre déjà balisé, d'admettre l'importance d'*entrer dans le problème* et y rester pour un temps, d'accepter l'inconfort de l'inconnu, de l'incertitude, du non-défini d'avance, afin de créer des opportunités d'accéder à de nouvelles significations, voire de nouvelles dimensions.

\* \* \*

## 8 Bibliographie

- Abell, S. K. (1990). The Problem-Solving Muse. *Science and Children*, 28(2), 27-29.
- Adams, D. & Hamm, M. (2010). *Demystify Math, Science, and Technology: Creativity, Innovation, and Problem-Solving*. Rowman & Littlefield Education.
- Armstrong, T. & Heikkinen, M. (1977). Initiating Inquiry Through Open-End Problems. *Science and Children*, 14(6), 30-31.
- Arca, M. (1999). La représentation scientifique de la réalité : expérience et expérimentation à l'école primaire. *Aster*, 28, 191-218.
- Arsac, G., Germain, G. & Mante, M. (1991). *Problème ouvert et situation-problème*. Lyon : IREM de Lyon.
- Arsac, G. & Mante, M. (2007). *Les pratiques du problème ouvert*. Lyon : CRDP, académie de Lyon.
- Astolfi, J.-P. (1993). *Placer les élèves en « situations-problèmes » ?* Paris : INRP.
- Astolfi, J.-P. (2005). Construire le savoir scientifique par l'expérimentation ? *Résonances*, 8.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Paris/Bruxelles : De Boeck Université.
- Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Verin, A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Verin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences ? Clé pour renouveler l'enseignement scientifique*. Paris : Retz.
- Audigier, F. (2007). L'éducation à la citoyenneté dans ses contradictions. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 44, 25-34.
- Audigier, F., Fink, N., Freudiger, N. & Haerberli, Ph. (2011). *L'éducation en vue du développement durable: sciences sociales et élèves en débats* (Cahiers de la Section des Sciences de l'éducation de l'Université, n° 130). Genève : Université de Genève.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology, a Cognitive View*. New York : Holt, Rinehart and Winston, p. 166-170.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Balmes, R.-M. & Coppé, S. (1999). Les activités dans la résolution de problèmes au cycle 3. *Grand N*, 63, 39-57.
- Balslev, K., & Saada-Robert, M. (2007). Les microgenèses situées. Unités et procédés d'analyse inductive-déductive. *Recherches qualitatives*, 26(2), 85-109.
- Bandura, A. (1977). *Social Learning Theory*. New York : General Learning Press.
- Berthelot, J.-M. (1990). *L'intelligence du social*. Paris : PUF.
- Beghetto, R. A. (2009). Correlates of intellectual risk taking in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 210-223.

- Beorchia, F. (2005). Débat scientifique et engagement des élèves dans la problématisation : cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2 (10-11 ans). *Aster*, 40, 121-151.
- Berland, L. K. & Hammer, D. (2012). Framing for scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(1), 68-94.
- Birck, J. B. (2009). Créer des problèmes. Eléments pour une pédagogie des problèmes à partir de Gilles Deleuze. *Recherche en Education*, 6, 59-65.
- Blanquet, E. & Picholle, E. (2010). *Les critères de scientificité : un outil pour distinguer sciences et pseudosciences ?* Nice : CNRS.
- Blanquet, E. (2010). *Démarche d'investigation et science scolaire : quelques critères de scientificité*. Présentation aux Doctoriales, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Blanquet, E. (2014). *La construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation. Une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire*. Thèse de doctorat, Université de Nice et Université de Genève.
- Boilevin, J.-M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, 40, 13-37.
- Boilevin, J.-M. & Dumas-Carré, A. (2001). Un modèle d'activité de résolution de problèmes de physique en formation initiale d'enseignants. *ASTER recherches en didactique des sciences expérimentales*, 32, 63-90.
- Bomchil, S. & Darley, B. (1998). L'enseignement des sciences est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26, 85-108.
- Buchner, A. (1995). Basic topics and approaches to the study of complex problem solving. *Complex problem solving: The European perspective*, 27-63.
- Buchs, C., Lehraus, K. & Crahay, M. (2012). Coopération et apprentissage. In M. Crahay, *L'école peut-elle être juste et efficace ?* (pp. 421-454). Bruxelles : De Boeck.
- Buchs, C., Darnon, C., Quiazade, A., Mugny, G. & Butera, F. (2008). Conflits et apprentissage. Régulation des conflits sociocognitifs et apprentissage (pp. 168). *Revue française de pédagogie*, 163.
- Burr, J. E., Gourley, T. J. & McDonnell, R. C. (1992). *Cognetics: Thinking skills activities in inventions/technology and science : teacher's manual*. Philadelphia, PA: Research for Better Schools.
- Buty, C. & Plantin, C. (2008). *Argumenter en classe de sciences*. Lyon : INRP.
- Brossard, M. & Fijalkow, J. (dir.) (1998). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes*, Bordeaux : Presses Universitaires de Bordeaux.
- Brunet, P. (1998). Enseigner et apprendre par problème scientifique dans les sciences de la vie. État de la question. *Aster*, 27, 145-181.
- Brown, J.S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18, 32-42.
- Brousseau, G. (1986). La relation didactique : le milieu. In *Actes de la IVème Ecole d'Eté de didactique des mathématiques* (pp. 54-68). Paris : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques Paris 7.
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 309-336.

- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Calmettes, B. (dir.) (2012). *Didactique des sciences et démarches d'investigation*. Paris : L'Harmattan.
- Cariou, J.-Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*. Thèse en sciences de l'éducation, Université Genève.
- Cariou, J.-Y. (2010). *Tentative de détermination de l'authenticité des démarches d'investigation*. In C. Loisy, J. Trgalova & R. Monod-Ansaldi (Ed.), *Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. Actes des journées scientifiques DIES (Lyon, 24-25 novembre 2010)*. Lyon : INRP.
- Caron, D. W., Fuller, J., Watson, J. & St Hilaire, K. (2007). *Lunar plant growth chamber: Human exploration project STS-118 design challenge. A standards-based high school unit guide. Engineering by design: Advancing technological literacy. A standards-based program series*. International Technology Education Association. En ligne : [http://lroc.sese.asu.edu/files/EducatorGuides/Lunar\\_Plant\\_Growth\\_Chamber.pdf](http://lroc.sese.asu.edu/files/EducatorGuides/Lunar_Plant_Growth_Chamber.pdf).
- Chappaz J. & Michon, F. (2003). Il était une fois... la boîte du pâtissier. *Grand N*, 72, 19-32.
- Charnay, R. (1992). Problème ouvert - problème pour chercher. *Grand N*, 51, 77-83.
- Charnay, R. & Mante, M. (2003). *Préparation à l'épreuve de mathématiques du concours de professeur des écoles* (tome1). Paris : Hatier Pédagogie.
- Chatoney, M. (2005). Organiser des activités de production à l'école primaire. Sélectionner des matériaux avec des élèves de 6 ans. *Aster*, 41, 139-158.
- Charpak, G. et al. (1998). *La main à la pâte. Les sciences à l'école primaire*. Paris : Flammarion.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevalier, A. (1985). La résolution d'un problème non routinier en géométrie. *Petit x*, 9, 41-62.
- Cho, Y., Chung, H. Y., Choi, K., Seo, C. & Baek, E. (2013). The Emergence of Student Creativity in Classroom Settings: A Case Study of Elementary Schools in Korea. *Journal of Creative Behavior*, 47(2), 152-169.
- Clarke, A. & Fujimura, J. (dir.) (1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.
- Cohen, M. R. & Flick, L. (1981). *Expanding Children's Thinking through Science, CESI sourcebook II*, Information Reference Center (ERIC/IRC), The Ohio State University, Columbus.
- Coppé, S. & Houdement, C. (2002). Réflexions sur les activités concernant la résolution de problèmes à l'école primaire. *Grand N*, 69, 53-62.
- Coquide, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.
- Coquide, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Paris sud Orsay.
- Coquide, M. (2001). Postures dans les expériences du vivant et de la matière. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds.), *Expériences de la nature et de la technique*,

*Actes des XXIIIes Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles*, 43-48.

- Coquide, M., Bourgeois-Victor, P. & Desbeaux-Salviat, B. (1999). « Résistances du réel » dans la pratique expérimentale. *Aster*, 28, 57-77.
- Daunay, B., Reuter, Y, Schneuwly, B. (2011). Les concepts et les méthodes en didactique du français, Namur : Presse universitaire de Namur.
- Deaton, C. C., Chessin, D. & Coskey, S. (2012). Learning through building: Constructing knowledge of design. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 49(2), 44-53.
- De Bruyne, P., Herman, J. & De Schoutheete, M. (1974). *Dynamique de la recherche en science sociales*. Paris : PUF.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). Overview of self-determination theory: An organismic dialectical perspective. IN E.L. Deci & Ryan (eds), *Handbook of self-determination research*, 3-33. Rochester, NY: University of Rochester Press.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- Deleuze, G. (1968). *Différence et répétition*. Paris : PUF.
- Deleuze, G. (1969). *Logique du sens*. Paris : Minuit.
- De Dreu, C.K.W. & Beersma, B. (2001). Minority influence in organizations: Its origins and implications for learning and group performance. In C.K.W. De Dreu & N. K. De Vries, *Group consensus and minority influence: implication and innovation* (pp. 258-283). Oxford : Blackwell.
- Defina, A. V. (2000). Building Science Process Skills. *Science Teacher*, 73(1), 36-41.
- Delevay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 1-15.
- De Vecchi, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe, pour une véritable éducation scientifique*. Paris : Hachette éducation.
- De Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris : Hachette éducation.
- De Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes* (2<sup>e</sup> éd.). Paris : Hachette éducation.
- Dewey, J. (1930). *Experience and education*. Paris : Armand Colin.
- Dewey, J. (1933). *How we think: a restatement of the relation of reflective thinking to the education process*. Chicago : H. Regnery.
- Dewey, J. (1938). *Logic: The Theory of Inquiry*. New York : Holt, Rinehart & Winston.
- Dewey, J. (1993). *Logique, la théorie de l'enquête*. Paris : PUF.
- Dewey, J. (1910/2004). *Comment nous pensons* (Trad. Ovide Decroly). Paris : Seuil.
- Doise, W. & Mugny, G. (1997). *Psychologie sociale et développement cognitif*. Paris : Armand Colin.
- Dorier, J. (2010). L'analyse a priori : Un outil pour la formation d'enseignants – exemple d'un jeu issu des manuels suisses romands de première année primaire. In P. Danos (Ed.), *L'enseignement des mathématiques à l'école : Où est le problème – actes du XXXVIème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques (COPIRELEM)* (pp. 80 et cédérom).

- Driver, R. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Dumas-Carré, A., Caillot, M., Martinez Torregrossa, J. & Gil-Perez, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolutions de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse. *Aster*, 8, 135-160.
- Duschl, R. A. & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72.
- Duval, R. (1990). Pour une approche cognitive de l'argumentation. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 3, 195-221.
- Duval, R. (1992a). Argumenter, démontrer, expliquer : continuité ou rupture cognitive? *Petit x*, 31, 37-61.
- Duval, R. (1992a). La compréhension des énoncés de problème de mathématisation : de la lecture à la résolution. Approche cognitive des processus d'apprentissage, *Didactics of Mathematic's Technologies in Education* (Ed. Br. D'Amore & A. Gagatsis).
- Eastes, R. E. & Pellaud, F. (2004). Un outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive. *Union des professeurs de physique et de chimie*, 98, 1197-1208.
- Egan, L. H. (1997). *Inventors and inventions: Creative cross-curricular activities*. New York : Scholastic Professional Books.
- Evans, D. J. (1987). Encouraging Science Hypotheses in the Primary School. *School science review*, 69(247), 358-361.
- Eyster, L. (2010). Encouraging creativity in the science lab: a series of activities designed to help students think outside the box. *Science Teacher*, 77(6), 32-35.
- Fabre, M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques : le cas de la situation-problème. *Revue française de pédagogie*, 120, 49-58.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*. Paris : PUF.
- Fabre, M. (2007). Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeux. La faute à qui ? *Revue française de pédagogie*, 161, 69-78.
- Fabre, M. (2009). Qu'est-ce que problématiser ? Genèses d'un paradigme. *Recherche en éducation*, 6, 22-32.
- Fabre, M. & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- Fabre, M. & Musquer, A. (2009). Comment aider les élèves à problématiser ? Les inducteurs de problématisation. *Les sciences de l'éducation-Pour l'ère nouvelle*, 42(3), 111-129.
- Farges, H. (2002). Petits bateaux sur l'eau... Comportement de différents papiers au contact de l'eau. Grande section de maternelle. *Grand N*, 69, 99-105.
- Favre, D. & Rancoule, Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, 16, 29-46.
- Flavell, J. H. (1976). *Metacognitive aspects of problem-solving*. In L. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 364). Oxford : Lawrence Erlbaum Associates.
- Feldmann, R. S., Giroux, S. & Cauchy, F. (1994). *Introduction à la psychologie. Approche contemporaine*. Montréal : McGraw-Hill.
- Fink, N. & Haeberli, Ph. (2010). *Pourquoi et comment enseigner les questions socialement vives à l'école ? Journée de formation du 9 décembre 2010*. Genève : Equipe de



recherche en didactique et épistémologie des sciences sociales, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation.

- Firode, A. (2009). La notion de problème chez K. Popper et ses implications pédagogiques. *Recherche en éducation*, 6, 33-41.
- Flande, Y. (2003). Le pendule, comme support de tests d'hypothèses : une séquence réalisée en CM1 à adapter pour la seconde ? *Bulletin de l'Union des physiciens*, 850, 85-102.
- Fischer, K. W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 477-531.
- Freinet, C. (1946). *L'Éducation du travail. Œuvres pédagogiques* (tome 1). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Freinet, C. (1978). *Les Dits de Mathieu : donner soif à l'enfant. Œuvres pédagogiques* (tome 2). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Furio Mas, C. J., Barrenetxea, J. I., Reyes Martin, J. V. (1994). La résolution de problèmes comme recherche : une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. *Aster*, 19, 87-102.
- Galiana, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster*, 28, 9-32.
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning*. New York : Holt, Rinehart & Winston.
- Gil-Perez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, 17, 41-64.
- Gil, D. & Carrascosa, J. (1992). Approaching pupils' learning to scientific construction of knowledge: Some Implications of the History and Philosophy of Science in Science Teaching. *Proceedings in the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching*, pp. 375-389. Kingston, Ontario
- Gil, D. & Martinez-Torregrassa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5, 447-457.
- Gil-Pérez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, n° 17, Paris : INRP.
- Gilly, M. (1993). Psychologie sociale et constructions cognitives : perspectives européennes. *Bulletin de psychologie*, 412, 671-683.
- Giordan, A. (1978). *Une pédagogie des sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre!* Paris : Belin.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (2002). *L'enseignement scientifique, Comment faire pour que « ça marche »*. Paris : Delagrave.
- Giordan, A. & Pellaud, F. (2008). *Comment enseigner les sciences ? Manuel de pratiques*. Paris : Delagrave.
- Giordan, A. & Souchon, Ch. (2008). *Une éducation pour l'environnement vers un développement durable*. Paris : Delagrave.

- Girault, Y. & Lapérouse, C. (2005). Dans le cadre d'un partenariat conduire progressivement des élèves à la formulation d'un problème scientifique: un suivi de cohorte du CP au CE2. *Aster*, 40, 95-119.
- Godot, K. (2005). *Situations recherche et jeux mathématiques pour la formation et la vulgarisation*. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Gohau, G. (1976). Deux esprits scientifiques. *Cahiers pédagogiques*, 141, 9-19.
- Golay, A., Lager, G. & Giordan, A. (2009). *Comment motiver le patient à changer ?* Paris : Maloine.
- Goubet, J.-F. (2009). Le problème pédagogique comme expression et travail. *Recherche en Education*, 6, 42-48.
- Gueudet, G. & Lepoche, G. (2006). Séquence de résolution de problèmes complexes : quelle mise en œuvre ? *Grand N*, 77, 35-54.
- Guichard, J. & Hebrard, J. & Zana, B. (dir.) (2002). *Les savoirs à l'école. Sciences et technologie, CM2, CM1, CM2, Cycle 3*. Paris : Hachette éducation.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.
- Grangeat, M. (dir.) (2013). *Les enseignants face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques en classe*. Grenoble : PUG.
- Groseclose, T. (1993). Physics Fun Fest. *Science Scope*, 16(7), 12-15.
- Hersant, M. (2008). « Problèmes pour chercher » : des conduites de classe spécifiques. *Grand N*, 81, 57-75.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2006). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational psychologist*, 42(2), 99-107.
- Hofstein, A., Kipnis, M. & Kind, P. (2008). Learning in and from Science Laboratories: Enhancing Students' Meta-cognition and Argumentation Skills. In C. L. Petroselli (dir.), *Science education issues and developments* (pp. 59-94). New York : Nova Science, Inc.
- Holley, D. (1996). *Sciencewise Books 1 and 2: Discovering scientific process through problem solving*. Pacific Grove, CA : Critical Thinking Books & Software.
- Host, V. (1980). Les opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifiques. *Repères*, 58, 10.
- Host, V., Deman, C. & Deunff, J. (dir.) (1976). *Activités d'éveil scientifiques, 4 : Initiation biologique*, 86. Paris : INRDP, coll. Recherches pédagogiques.
- Host, V. & Giordan, A. (1978). *Recherche sur les processus et les conditions de travail de l'élève*. Rapport de recherche DGRST. Ronéoté. Paris : INRP.
- Host, V. & Martinand, J.-L. (1975). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 3 : Initiation physique et technologique*, 74. Paris : INRDP, coll. Recherches pédagogiques.
- Houdement, C. (1999). Le choix des problèmes pour « la résolution de problèmes ». *Grand N*, 63, 59-76.
- Houdement, C. (2003). La résolution de problème en question. *Grand N*, 71, 7-23.
- Houssaye, J. (2000). *Le triangle pédagogique. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire* (3<sup>e</sup> éd.). Berne : Peter Lang.

- Huber, W. (1987). *Introduction à la psychologie de la personnalité*. Bruxelles : Mardaga.
- Hung, D., Tan, S. C. & Koh, T. S. (2006). Engaged learning: making learning an authentic experience. In D. Hung & M. S. Khine (Eds.), *Engaged learning with emerging technologies*, 29-48. Dordrecht: Springer.
- Jorde, D. (2009). Technologies, resources and inquiry-based science teaching. Review of literature. In D. Jorde (Ed.), *Mind the Gap FP7 project: Learning, Teaching, Research and Policy in Inquiry-Based Science Education (Deliverable 5.1 (p.32))*. Oslo : European Union.
- Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (1989). *Cooperation and competition: theory and research*. Minneapolis : Interaction Book Company.
- Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (1995). *Creative controversy, intellectual challenge in the classroom*. Minneapolis : Interaction Book Company.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T. & Smith, K. A. (2007). The state of cooperative learning in postsecondary and professional settings. *Educational Psychology Review*, 1(19), 15-29.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-53.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- Julo, J. (1995). *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques : un apport de la psychologie cognitive à l'enseignement*. Rennes : PUR.
- Julo, J. (2002). Des apprentissages spécifiques pour la résolution de problèmes ? *Grand N*, 69, 31-62.
- Katchevich, D., Hofstein, A. & Mamlok-Naaman, R. (2013). Argumentation in the chemistry laboratory: Inquiry and confirmatory experiments. *Research in Science Education*, 43(1), 317-345.
- Kilpatrick, W. H. (1918). The project method. *Teacher College record*, 19, 319-335.
- King, P.-M. & Kitchener, K.-S. (1993). The Development of Reflective Thinking in the College Years: The Mixed Results. *New Directions for Higher Education*, 84, 25-42.
- King, P.-M. & Kitchener, K.-S. (1994). *Developing Reflective Judgment: Understanding and Promoting Intellectual Growth and Critical Thinking in Adolescents and Adults*. San Francisco, CA : Jossey-Bass Publishers.
- King, P.-M. & Kitchener, K.-S. (2002). The reflective judgment model: Twenty years of research on epistemic cognition. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Ed.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 37-63). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publisher.
- Kirch, S. A. (2007). Re/Production of science process skills and a scientific ethos in an early childhood classroom. *Cultural Studies of Science Education*, 2(4), 785-845.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2010). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kochen, M. & Badre, A. N. (1973). *Recognizing and Formulating Problems: Learning to Comprehend and Organizing Knowledge into Structures*. Michigan University, Ann Arbor. Mental Health Research Institut, (Report) 2-45.

- Kolsto, S. D. (2001). "To trust or not to trust"...pupils ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 23(9), 877-901.
- Kosyvas, G. (2013). Pratiques pédagogiques de problèmes ouverts dans un collège expérimental à Athènes. *Repères-IREM*, 91, 25-50.
- Kouliaidis, V. & Tsatsaroni, A. (1999). Un cadre pour reconsidérer l'enseignement des sciences. Distinguer expérimentation et expérience. *Aster*, 28, 167-190.
- Krustchinsky, R. & Weiss, A. (1991). Sensory Science: Activities for Young Children. *Science Activities*, 28(2), 8-14.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810-824.
- Kuhn, T. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Kutnick, P., Ota, C. & Berdondini, L. (2008). Improving the effects of group working in classrooms with young school-aged children: Facilitating attainment, interaction and classroom activity. *Learning and Instruction*, 18(1), 83-95.
- Kyza, E. A. (2009). Middle-school students' reasoning about alternative hypotheses in a scaffolded, software-based inquiry investigation. *Cognition and Instruction*, 27(4), 277-311.
- La Banca, F. (2008). *Impact of Problem Finding on the Quality of Authentic Open Inquiry Science Research Projects*. ProQuest LLC, Ed.D. Dissertation, Western Connecticut State University.
- La Banca, F. (2012). *The Creative Process of Problem Finding Manifested in Open Inquiry*. Center for 21<sup>st</sup> Century Skills at Education connection, Lichtfield, CT.
- Lacombe, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster*, 8, 17-27.
- Lacroix, D. (1992). Vu dans une classe de CE : la malléabilise, une propriété mécanique des matériaux. *Grand N*, 51, 91-126.
- Lalanne, J. (1985). Le développement de la pensée scientifique (orientation biologique) chez les enfants de 6 à 14 ans. *Aster*, 1, 155-170.
- La Main à la Pâte (France) : <http://www.lamap.fr>
- Lawson, A. E. (2005). What Is the Role of Induction and Deduction in Reasoning and Scientific Inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 716-740.
- Legardez, A. & Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF.
- Les Atomes Crochus (France) <http://www.atomes-crochus.org>
- Lecomte, J. (1997-1998). Les théories de la motivation [hors-série]. *Sciences humaines*, 19.
- Les Petits Débrouillards (Québec, France et autres pays) : <http://www.lespetitsdebrouillard.org>
- Lehraus, K. & Buchs, C. (2008). *Les interactions entre pairs dans des dispositifs structurés selon les principes de l'apprentissage coopératif*. Bruxelles : De Boeck.
- Lépine, L. (1996). Tout problème ouvert n'engage pas nécessairement une bonne recherche. *Grand N*, 60, 43-55.

- Lhoste, Y. (2005). Argumentation sur les possibles et construction du problème dans le débat scientifique en classe de 3ème sur le thème de la nutrition. *Aster*, 40, 153-176.
- Lombard, F. (2012). *Conception et analyse de dispositifs d'investigation en biologie : comment conjuguer autonomie dans la validation scientifique, approfondissement conceptuel dans le paradigme et couverture curriculaire ?* Thèse de doctorat, Université de Genève.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. In *Actes du Séminaire de didactique des disciplines technologiques (Cachan 1994-1995)* (pp. 7-19), Paris,
- McCormack, A. J. & Smucker, T. (1982a). Biology Olympics: Biology and Art: Interdisciplinary Challenges. *American Biology Teacher*, 44(2), 112-115.
- McCormack, A. J. (1982b). Biology Olympics: Some ideas from students. *American Biology Teacher*, 44(8), 498-501.
- McBride, J. W. (1995). Acid tests and basic fun. *Science and Children*, 32(4), 26-27.
- Meirieu, Ph. (1988). *Apprendre... oui mais comment ?* Paris : ESF.
- Meyer, M. (1979). *Découverte et justification en science*. Paris : Klincksieck.
- Meyer, M. (1986). *De la problématique*. Bruxelles : Mardaga.
- Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction. What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 474-496.
- Moulin, M. (2010). Mathématiques et récits. Des textes de fiction pour "bien lire" des énoncés de problèmes de mathématiques en classe de CM2, *Grand N*, 86, 33-57.
- Mugny, G., Butera, F. & Falomir, J.-M. (2001). Social influence and treat in social comparison between self and source's competence: Relational factors affecting the transmission of knowledge. In F. Butera & G. Mugny, *Social influence in social reality* (pp. 225-246). Seattle/ Göttingen : Hogrefe/Huber.
- Mugny, G., Butera, F., Quiazade, A., Dragulescu, A. & Tomei, A. (2003). Comparaison sociale des compétences et dynamique d'influence sociales dans les tâches d'aptitudes. *L'année psychologie*, 104, 469-496.
- National Research Council (NRC) (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Musquer, A. (2009). Accéder à l'espace problème de recherche des élèves. Le cas de la résolution de problèmes arithmétiques. *Carrefours de l'éducation*, 28, 215-228.
- Neber, H. & Neuhaus, B. J. (2013). *Creativity and Problem-Based Learning (PBL): A Neglected Relation*. In A.-G. Tan, *Creativity, Talent and Excellence* (pp. 43-56). Springer Singapore.
- Newton, P., Driver, R. & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Nuttin, J. (1985). *Théorie de la motivation humaine*. Paris : PUF.
- O'Grady, G. & Alwis, W.A. M. (2012). Holistic assessment and Problem-based Learning. In G. O'Grady, E. H. J. Yew, K. P. L. Goh & H. G. Schmidt (Ed.), *One day, One problem: An Approach to Problem-Based Learning* (pp. 187-212). Singapore : Springer.

- O'Grady, G., Yew, E. H. J., Goh, K. P. L. & Schmidt, H. G. (Ed.) (2012). *One-Day, One-Problem: An Approach to Problem-Based Learning*. Singapore : Springer.
- Orlandi, E. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13, 111-132.
- Orange, C. (2003a). Investigations empiriques, construction de problèmes et savoirs scientifiques. In Larcher, C., Goffard, M. *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes* (pp. 59-84). Paris : INRP.
- Orange, C. (2003b). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, 83-107.
- Orange, C. (2005a). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 3-11.
- Orange, C. (2005b). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation-Pour l'Ère nouvelle*, 38(3), 69-94.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Bruxelles : De Boeck.
- Orange, C., Beorchia, F., Ducrocq, P. & Orange, D. (1999). « Réel de terrain », « réel de laboratoire » et construction de problèmes en sciences de la vie et de la terre. *Aster*, 28, 107-129.
- Orange Ravachol, D. (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *Aster*, 40, 177-204.
- Park, S. & Seung, E. (2008). Strategies to promote student creativity in science classroom. *The Science Teacher*, 45-48.
- Pauker, R. A. & Roy, K. R. (1991). Strategies for Learning: Teaching Thinking Skills across the Curriculum through Science. Generating and Testing Hypothesis. *Teacher's Edition*, First Edition.
- Pélissier, L. & Venturini, P. (2012). Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission savoirs épistémologiques. In B. Calmettes, *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation* (pp. 151-181). Paris : L'Harmattan.
- Peltier-Leculée, I. & Sayac, N. (2004). Questionner l'énoncé pour résoudre le problème. *Grand N*, 74, 53-65.
- Peroz, P. (2000). Des problèmes dans les énoncés. *Grand N*, 66, 55-70.
- Perrenoud, P. (1993). Sens du travail et travail du sens à l'école. *Cahiers pédagogiques*, 314-315, 23-27.
- Perrenoud, P. (1997). Gérer la progression des apprentissages. *L'Éducateur*, 12, pages. En ligne : [http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php\\_main/php\\_1997/1997\\_16.html](http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1997/1997_16.html)
- Piaget, J. (1935). Les méthodes nouvelles. Leurs bases psychologiques. *Psychologie et pédagogie*, Editions Denoël.
- Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome III : La pensée biologique. La pensée psychologique. La pensée sociologique*. Paris : PUF.
- Piaget, J. (1967). Logique et Connaissance scientifique. *Encyclopédie de la Pléiade*.
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. Paris : Gonthier Denoël.

- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris : PUF.
- Piaget, J. et al. (1977). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante. Etudes d'épistémologie génétique*, vols. 34 et 35. Paris: PUF.
- Piaget, J. & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Plantin, Ch. (1995). *Recherches sur l'interaction argumentative*. Document de synthèse présenté pour l'Habilitation à diriger les recherches, Université Lyon 2.
- Plantin, Ch. (1996). *L'argumentation*. Paris : Seuil.
- Popper, K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- Popper, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Popper, K. (1997). *Toute vie est résolution de problèmes*. Paris : Actes Sud.
- Pulis, L., Lee, F. & Baroway, W. (2012). *Science by Design. Construct a...Boat, Catapult, Glove and Greenhouse* (new ed.). Arlington : NSTA Press.
- Raynal, R. (2003). Les limites de la méthode expérimentale et de son utilisation dans l'enseignement des sciences. Toulouse : *Revue APBG*.
- Reiser, B. J., Berland, L. K. & Kenyon, L. (2012). Engaging students in the scientific practices of explanation and argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8-13.
- Rey, B. (1996). *Les compétences transversales en question*. Paris : ESF.
- Robardet, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, 17-28.
- Robardet, G. & Vérin, A. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants. *Aster*, 26, 3-10.
- Robardet, G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 95(836), 1173-1190.
- Robardet, G. & Guillaud, J. C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : PUF.
- Roth, W. M. (1995). Framing and Solving Problems. In *Authentic School Science*, p. 100-172, Netherlands : Springer.
- Roberts, E. & Gonzalez-Espada, W. (2006). Snap! Catch students' attention with mousetrap vehicles. *Tech Directions*, 65(10), 15-18.
- Roth, W.-M. & Roychoudhury, A. (1993). The Development of Science Process Skills in Authentic Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 127-152.
- Roy, D. (1995). Coaster construction: Rolling physics and amusement into one. *Science Teacher*, 62(6), 20-23.
- Rumelhard, G. (1997). Problématiser le vivant. In *La problématique d'une discipline à l'autre*, Editions ADAPT.
- Rumelhard, G. (2005). Problématisation et concept de paradigme approche épistémologique, psychologique, sociologique. *Aster*, 40, 205-223.
- Ryan, R.-M. & Deci, E.-L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55, 68-78.
- Sadeh, I. & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(10), 1137-1160.

- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5-51.
- Sandoval, W. A. (2004). Developing Learning Theory by Refining Conjectures Embodied in Educational Designs. *Educational Psychologist*, 39(4), 213-223.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Schulz-Hardt, S., Brodebeck, F.-C., Mojzisch, A. Kerschreiter, R. & Frey, D. (2006). Group decision making in hidden profile situations: dissent as a facilitator for decision quality. *Journal of Personality and Social Psychology*, VI(91), 1080-1093.
- Schumacher, D. (2005). *La créativité, ça s'apprend ? À la recherche d'une pédagogie de la créativité*. Mémoire de licence en sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Schurmans, M.-N. (2006). *Expliquer, interpréter, comprendre. Le paysage épistémologique des sciences sociales* (Carnets de la Section des sciences de l'éducation). Genève : Université de Genève.
- Sensevy, G. (2001). Théories de l'action et action du professeur. In J.-M. Baudouin & J. Friedrich (dir.), *Théorie de l'action et éducation* (pp. 7-24) Bruxelles : De Boeck.
- Shahrin, M., Toh, K., Ho, B., & Wong, J. (2002). Performance assessment: Is creative thinking necessary? *Journal of Creative Behavior*, 36(2), 77-87.
- Shevick, E. (1995). *Science action labs part 3: Puzzlers. An innovative collection of hands-on science activities and labs*. Ed Shevick.
- Simonneaux, L. (2003). L'argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée. *Aster*, 37, 189-214.
- Simonneaux, L. (2007). Les enjeux didactiques des dimensions économiques et politiques du développement durable. *Ecologie & Politique*, 34, 129-140.
- Slavin, R. E. (1995). *Cooperative learning: Theory, research, and practice* (2<sup>e</sup> éd.). Boston : Allyn & Bacon.
- Slavin, R. E. (1983). When does cooperative learning increase student achievement? *Psychological Bulletin*, 94, 429-445.
- Spires, H. A., Rowe, J. P., Mott, B. W. & Lester, J. C. (2011). Problem Solving and Game-Based Learning: Effects of Middle Grade Students' Hypothesis Testing Strategies on Learning Outcomes. *Journal of Educational Computing Research*, 44(4), 453-472.
- Steel, D. (2010). Epistemic Values and the Argument from Inductive Risk. *Philosophy of Science*, 77(1), 14-34.
- Sullivan, F. R. (2011). Serious and Playful Inquiry: Epistemological Aspects of Collaborative Creativity. *Educational Technology & Society*, 14(1), 55-65.
- Sutherland, L. M., McNeill, K. L., Krajcik, J. S. & Colson, K. (2006). Supporting middle school students in developing scientific explanations. In R. Douglas, M. P. Klentschy & K. Worth (Ed.), *Linking science and literacy in the K-8 classroom* (pp. 163-181). Arlington, VA : NSTA Press.
- Tan, O.-S., Chye, S., Teo, C.-T. (2009). *Problem-based learning and Creativity: A Review of the Literature*. Singapore : National Institute of Education, Nanyang Technological University.



- Tan, O.-S. (2009). *Problem-based learning and creativity*. Singapore : Ed. Oon-Seng Tan.
- Tinnesand, M. & Chan, A. (1987). Step 1: Throw out the instructions. *Science Teacher*, 54(6), 43-45.
- Tomkins, S. P. & Tunnicliffe, S. D. (2001). Looking for ideas: observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations. *International Journal of Science Education*, 23(8), 791-813.
- Topping, K. J. (2005). Trends in peer learning. *Educational psychology*, 25(6), 631-645.
- Toussaint, R. M. & Lavergne, M. H. (2005). Problèmes complexes flous en environnement et pensée réflexive d'élèves du secondaire. *Aster*, 40, 39-66.
- Tozzi, M. (1993). Contribution à l'élaboration d'une didactique de l'apprentissage du philosophe. *Revue française de pédagogie*, 103, 19-31.
- Tozzi, M. (2001). *L'éveil de la pensée réflexive à l'école primaire*. CNDP/Centre régional de documentation pédagogique du Languedoc-Roussillon.
- Truchet, J. (1993). Le problème ouvert en classe de mathématique dans un institut médico-pédagogique. *Grand N*, 54, 71-81.
- Verin, A. (1998). Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ? *Aster*, 26, 133-163.
- Viau, R. (2007). *La motivation dans la création scientifique*. Québec : PUQ.
- Vygotsky, L.-S (1935-1985). *Le problème de l'enseignement scientifique et du développement mental à l'âge scolaire*. *Vygotski Aujourd'hui*, sous la dir. de Bronckart et Schneuwly. Paris : Delachaux et Nieslé.
- Weiner, B. (1979). A theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology*, 71(1), 3-25
- Weil-Barais, A. (1991). La résolution de problème. In J.P. Rossi (Ed.), *Paradigmes et méthodes en psychologie* (pp. 103-155). Paris : Dunod.
- Winslow, J. (2000). Space Day 2000. *Science and Children*, 37(6), 48-49.
- Wüstenberg, S., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Complex problem solving. More than reasoning? *Intelligence*, 40(1), 1-14.
- Zhai, J., Jocz, J. A., & Tan, A. L. (2014). 'Am I Like a Scientist?': Primary children's images of doing science in school. *International Journal of Science Education*, 36(4), 553-576.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills, *Developmental Review*, 20, 99-149.

## 9 Annexes



## 9.1 Annexe 1 Déroulement de l'activité de défi dans le temps

Classe Seb	T1 - plénière	T2 - groupes	T3 - plénière	T4 - groupes	T5 - plénière	T6 - groupes	T7 - plénière
	Mise en situation	Recherche sans matériel	<i>Réunion générale</i>	Recherche avec matériel	<i>Réunion générale</i>	Recherche avec matériel	<i>Réunion générale</i>
	Consignes		Mise en commun	Début des constructions	Mise en commun	Fin des constructions	Mise en commun
Minutes par étape	<b>7m</b>	<b>8m 20s</b>	<b>7m 40s</b>	<b>19m</b>	<b>6m</b>	<b>8m 30s</b>	<b>11m 45s</b>
Temps global	00m 00s - 7m 00s	7m 00s - 15m 20s	15m 20s - 23m 00s	23m 00s - 42m 00s	42m 00s - 48m 00s	48m 00s - 56m 30s	56m 30s - <b>1h 08m 15s</b>

Classe Mie	T1 - plénière	T2 - groupes	T3 - plénière	T4 - groupes	T3 - plénière suite	T4 - groupes suite	T5 - plénière	T6 - groupes	T7 - plénière
	Mise en situation	Recherche sans matériel	<i>Réunion générale</i>	Recherche avec matériel	<i>Réunion générale</i>	Recherche avec matériel	<i>Réunion générale</i>	Recherche avec matériel	<i>Réunion générale</i>
	Consignes		Mise en commun	Début des constructions	Précisions consignes		Mise en commun	Fin des constructions	Tests et analyse des résultats
Minutes par étape	<b>7m 30s</b>	<b>7m</b>	<b>8m</b>	<b>9m</b>	<b>1m 15s</b>	<b>15m</b>	<b>8m</b>	<b>12m</b>	<b>23m</b>
Temps global	01m 50s - 9m 15s	9m 15s - 18m 35s	18m 35s - 26m 35s	26m 35s - 35m 15s	35m 15s - 36m 30s	36m 30s - 51m 20s	51m 20s - 59m 30s	59m 30s - 1h 11m	1h 11m - <b>1h 36m</b>

Classe Mac	T1 - plénière	T2 - groupes	T3 - plénière	T4 - groupes	T5 - plénière	T6 - groupes	T7- plénière	T6 - groupes suite	T7 - plénière suite
Mise en situation		Recherche sans matériel	Réunion générale	Recherche avec matériel	Réunion générale	Recherche avec matériel	Réunion générale	Recherche avec matériel	Réunion générale
Consignes			Mise en commun	Début des constructions	Mise en commun		Mise en commun	Fin des constructions	Tests et analyse des résultats
Minutes par étape	<b>11m</b>	<b>8m 30s</b>	<b>4m 30s</b>	<b>28m 30s</b>	<b>5m 30s</b>	<b>19m</b>	<b>6m 30s</b>	<b>12m</b>	<b>30m</b>
Temps global	00m 00s - 10m 45s	10m 45s - 19m 10s	19m 10s - 23m 30s	23m 30s - 51m 50s	51m 50s - 57m 20s	57m 20s - 1h 16m 30s	1h 16m 30s - 1h 23m	1h 23m - 1h 35m	1h 35m - <b>2h 05m</b>

Classe Fed	T1 - plénière	T2 - groupes	T3 - plénière	T4 - groupes	T5 - plénière	T6 -individuel	T7- plénière	T6 - groupes	T7 - plénière
Mise en situation		Recherche sans matériel	Réunion générale	Recherche avec matériel	Réunion générale	Recherche avec matériel : <i>sous défi</i> (10 m)	Mise en commun (6 m)	Recherche avec matériel	Réunion générale
Consignes			Mise en commun	Début des constructions	Mise en commun			Fin des constructions	Tests et analyse des résultats
Minutes par étape	<b>8m</b>	<b>9m</b>	<b>8m 30s</b>	<b>20m</b>	<b>4m 30s</b>	<b>10m</b>	<b>6m</b>	<b>39m</b>	<b>20m 30s</b>
Temps global	00m 00s - 8m 00s	8m 00s - 17m 00s	17m 00s - 25m 30s	25m 30s - 45m 30s	45m 30s - 50m 00s	50m - 1h00	1h - 1h06m	1h 06m - 1h 45m	1h 45m - <b>2h 06m</b>

## 9.2 Annexe 2 Transcription des plénières de la classe Mac

### T1 : Mise en situation et consignes

D : Maintenant il va falloir ouvrir bien grand vos oreilles... (*Delphine demande à Julie de ramener en salle des crayons gris et du papier brouillon de la classe*) Alors c'est un moment où vous allez vous mettre un peu en situation, vous allez oublier que vous êtes un élève à l'école X<sup>181</sup> aujourd'hui, et vous allez essayer – bon vous pouvez fermer les yeux mais vous n'êtes pas obligés- de vous mettre en situation, aujourd'hui c'est un jour un peu spécial, vous êtes quelqu'un d'un peu spécial...vous allez savoir qui. Je vais lire le petit papier. « Nous sommes en 2022. De plus en plus de catastrophes surviennent sur notre planète terre. Tremblement de terre, ouragan, tsunami, avalanches... Il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de supporter ces différentes catastrophes naturelles qui peuvent advenir à tout moment. Vous, vous êtes des ingénieurs, des scientifiques (*les enfants rigolent*), des architectes, des scientifiques venant des quatre coins du monde et vous venez participer aujourd'hui à une journée très importante, une sorte de grande conférence, qui est une conférence internationale. Nous devons aujourd'hui réfléchir ensemble pour concevoir des modèles de tours très résistantes, à moindre coût et qui soient écologiques ». Ça veut dire qu'on doit réfléchir à créer des bâtiments capables de supporter ces catastrophes naturelles, ok ? Alors pour ça vous avez un cahier des charges, ça veut dire une liste de chose à faire aujourd'hui, donc vous vous êtes mis un petit peu en situation, vous savez qui vous êtes, pourquoi, maintenant on va vous demander quelque chose de très précis aujourd'hui, et c'est surtout ça qu'il faut bien écouter. « Chaque équipe de recherche doit construire une maquette en papier journal de... 1 mètre de haut (*montre la règle de 1 mètre de haut*)

E1<sup>182</sup> : mais non ... (*croit qu'on le charrie*)

E2 : hein ? (*stupéfait*)

E3 : quoi ?

E4 : hein ? .... c'est difficile

E5 : cool ! (*motivé*)

E2 : hein mon dieu !

(*Émulation générale*)

D : restez assis, il y a encore d'autres informations. Donc pour le départ, hein, juste pour commencer, le comité scientifique, c'est-à-dire, moi-même et ma co-équipière ici présente (*l'enseignante remplaçante*) vous donne au départ 5 feuilles chacun, pour commencer, et aussi un peu de scotch que je vous donnerais plus tard. Et c'est avec ça que vous devrez construire cette maquette de bâtiment, de tour en papier./ Donc vous avez la possibilité de venir chercher du matériel en plus, hein, vous n'êtes pas obligés de faire que avec ça. Si vous arrivez à faire que avec ça c'est très bien, mais vous avez le droit de venir chercher du papier en plus (*écrit au tableau et indique comment se tiendra la comptabilisation du matériel*)

---

<sup>181</sup> Le nom de l'école n'est pas divulgué de manière à respecter l'anonymat des élèves.

<sup>182</sup> Les élèves n'ont pas tous été identifiés lors de la transcription générale, mais uniquement pour les passages ayant servis à l'analyse. Parfois, le nom de l'équipe à laquelle appartient l'élève (couleur) est mentionné entre parenthèses, s'il a pu être identifié d'emblée.

*supplémentaire utilisé par chaque groupe*) et puis aussi du scotch (*finit d'écrire*)... c'est juste que, pour que chaque équipe sache exactement comment il a fait et qui puisse expliquer aux autres comment il a fait et si on devait le refaire, on a besoin de savoir combien il y en a. Et à la fin, on va tester vos tours, ça veut dire d'abord... qu'on va mesurer la hauteur (*écrit au tableau et indique les critères de comparaison des constructions*) on va voir si elle tient bien debout, et puis on fera- mais ça je vous en dis pas plus pour l'instant- quelques tests. Donc vous vous aurez une heure à peu près pour imaginer et construire cette tour, donc normalement jusqu'à la récré, et puis après la récré, on pourra discuter. Mais Attention ! Pendant cette heure-là, il y aura plein de choses différentes à faire, ça va être des moments où vous allez juste réfléchir en groupe, des moments où vous allez construire vos tours, et d'autres moments pour discuter en groupe classe. Attention ! Vous devrez vous présenter à des réunions générales. Il y en aura plusieurs, avec une petite clochette elles seront annoncées, et là il faut être vraiment à l'heure, alors je vous prierais chaque ingénieur, je ne voudrais pas d'arriver tardive – mais vous n'allez pas quitter cette salle, vous savez, mais même, quand la réunion sonne, il faudrait vraiment tout poser et puis là... alors là dans ces réunions générales, on fait plusieurs choses. Ça veut dire qu'on met en commun nos idées et nos problèmes, on discute un peu l'avancement des travaux, de notre recherche... alors par exemple nous avons commencé à avoir cette première idée, et ensuite, en voyant que le matériel était comme ça... enfin, c'est vous qui me direz comment... (*des enfants pouffent*) d'accord ? Vous imaginez un petit peu ?

E : on est des travailleurs, quoi

D : voilà/ mais pas que des travailleurs parce que vous êtes des concepteurs, ça veut dire que vous allez imaginer des solutions par rapport à ce que je vous ai dit, et puis vous allez proposer quelque chose, ok ? (*agitation*) Alors, je lis juste une fois, si je vous ai bien tout dit... (*check sur la liste*) hmm...hmmm... deux petites notes : alors première chose, c'est, pour votre tour, elle doit pouvoir bouger d'un continent à l'autre, on doit pouvoir la mettre sur pleins de sols différents. Si par exemple, j'imagine, vous êtes des ingénieurs d'Afrique (*mime une construction sur la table d'un des groupes*), il faut pouvoir tester cette tour, aussi en Asie (*mime le déplacement de la construction sur une autre table*)...

E : yes ! (*motivé*)

E2 : yes ! (*à fond*)

D : d'accord ? Donc peu importe les continents, vous pouvez choisir si vous voulez, mais ça ce n'est pas très important

(*Agitation*)

D : juste pour dire, c'est que vous n'avez pas le droit d'utiliser du scotch pour coller la tour sur la table

E : oh...(d<sup>é</sup>çu)

D : ça c'est très important. Et la deuxième petite note, et bien c'est qu'il n'y a pas une seule solution possible, il y en a plusieurs. En fait, un nombre infini qui peut être combiné, donc n'hésitez pas, avec vos idées, peut-être que vous en aurez une au départ qui va se transformer, mais petit à petit – peut-être vous en aurez plusieurs et vous devrez vous mettre d'accord pour une – peut-être que il y en a une que vous allez essayer mais qui ne va pas marcher donc vous allez devoir changer, hein, mais il y en a Plusieurs, en tout cas, qui sont possibles. Voilà maintenant, il y a des questions, j'écoute

E : mais euh, pour poser par exemple, si c'est un bâtiment qu'on va faire d'un mètre, pour le poser et le mettre dans une autre table, euh on mais quoi en dessous ?

D : alors, je ne vais pas forcément les bouger mais il faut que ça puisse être bougé, donc il faut que ça tienne comme ça dessus. On doit imaginer une forme qui puisse tenir debout toute seule, sans qu'on ait besoin de le scotcher, ok ? Est ce qu'il y a d'autres questions ? Non ? Tous est très clair pour vous ?

E : oui oui

D : Oui ? Donc, construire une tour de 1 mètre, là je vous passerais un mètre aussi pour voir, et qui tient debout, pour les tests, on verra plus tard, ok ? Et puis pour le matériel supplémentaire, vous ne venez pas vous servir tout seul, attention, vous venez ici... si vous êtes plusieurs à la fois, vous venez en queue-leu-leu et peut-être qu'au début vous en aurez pas besoin, à voir. Encore une autre question ?

E : Il y a assez de papier ?

D : oui oui ne t'inquiète pas, j'en ai encore dans mon sac. Alors ça je ne vous le donnerais pas tout de suite, parce que pour commencer, justement, il va falloir vous mettre d'accord et puis Julie nous fournira du matériel pour pouvoir justement faire des schémas, des dessins, écrire des idées, d'accord ? (...) Alors à partir de maintenant vous allez réfléchir pendant 10 minutes en groupe, à une idée ou plusieurs idées... Tu as déjà une idée toi ?

E : oui

D : alors vous les gardez entre vous. C'est parti !

[T2 : Travail en groupe. Recherche sans matériel]

### **T3 : « Réunion générale ». Mise en commun**

D : réunion générale ! Posez vos crayons, quand il y a l'alarme, ça veut dire que la réunion générale a commencé, vous restez assis et puis... Alors avant de vous distribuer le matériel, je vois que les équipes de recherches sont vraiment très bien lancées. La plupart d'entre vous sont déjà sur de bonnes pistes, enfin en tout cas sur des pistes et avant de commencer, ce qu'il y a de très important, c'est de clarifier un petit peu les choses. Comme vous avez déjà un peu mis cette situation dans votre tête, sûrement il y a des choses qui vous sont apparues comme des problèmes. Dans ce que je vous ai demandé de réaliser aujourd'hui, qu'est ce qui semble le plus difficile à faire ? Oui là-bas ?

E (vert) : la faire en papier

D : le papier (*note au tableau dans le « carnet de bord collectif »*) pourquoi c'est un problème le papier ?

E (vert) : Parce que c'est pas très dur (*filles groupe jaune ou vert*)

D : parce que c'est un matériel qui est un peu fragile, c'est ça ?

E (rouge) : ouais ça se tient pas

D : ... un matériau fragile... (*note encore*). Donc la question est de savoir, comment faire pour que ce papier soit solide... en fait c'est la manière dont on va faire avec qui va définir si



notre tour va être solide ou pas. Donc ça c'est la première chose, c'est comment faire avec ce papier, quelle forme lui donner, comment le plier, enfin comment le faire, voilà, première chose. Deuxième chose... est-ce qu'il y a d'autres problèmes il vous semble?

E (blanc) : euh si, si euh mmh, non euh, si euh ...la hauteur.

D : la hauteur, oui... la hauteur (*note au tableau*) un mètre, un mètre ça te semble beaucoup ou ça te semble pas beaucoup ?

E (blanc) : Non (*l'air de ne s'être pas bien fait comprendre*) parce que si on met pas beaucoup de papier après ça peut tomber

D : oui, donc la hauteur, pour que ça soit solide sur toute la hauteur, c'est ça que tu veux dire ?

E : hmm (*acquiesce*)

D : oui, d'accord, mais la hauteur, ça veut dire quoi « ça peut tomber », pourquoi ça tomberait par exemple ?

E (blanc) : parce qu'on a pas mis trop de papier

D : donc pour toi, une des solutions ça serait de mettre plus de papier pour que ça tienne (*note au tableau*), c'est ça ?

E : hmm (*acquiesce*)

D : pour ... pour renforcer. C'est une piste, parce que la première là-haut, c'est plutôt la manière de...

E2 : (*essaye de chercher aussi*) de le faire ...

D : de...

E2 : de plier...

D : de plier, on va dire de plier, mais pas seulement plier, hein (*note au tableau* « plier le papier ») ouais, peut-être que ces pistes combinées... est-ce qu'il y a d'autres choses encore qui vous sont apparues comme des problèmes ? oui ?

E (vert) : si la catastrophe elle va plus haut que la tour...

D : ahhh, toi tu es plus attentive à ce que j'ai dit dans le contexte, donc ce sont les « catastrophes naturelles » (*note au tableau*). Alors c'est plus l'idée... ouais / on ne sait pas trop à quoi s'attendre, on ne sait pas exactement ce que ça va donner ces catastrophes naturelles c'est ça (le problème), comment va réagir la tour... / Donc là, quelles sont les pistes que l'on peut imaginer pour ça ? Certains ont déjà des idées ?// Est ce qu'il y a d'autres choses qui vous sont encore apparues ? Vous pensez à cette tour, il y a la hauteur, il y a ce papier... pour l'instant il y a...oui ?

E (bleu) : ben aussi s'il y a une avalanche et (...) elle est trop haute ça peut toucher la tour et la faire basculer de l'autre côté.

D : hmm, alors effectivement, les « catastrophes naturelles » on ne sait pas déjà quoi, mais surtout dans l'idée que ça... on va dire basculer, on va garder le mot basculer (*note au tableau*). Donc là aussi, la solution ça va être de construire une tour suffisamment solide pour que même s'il y a quelque chose qui arrive dessus, elle tient bon. C'est ça. Donc une construction solide (*note au tableau*)... à voir comment on pourrait renforcer la construction.

/// Mais j'ai vu que dans les groupes, il y a déjà pas mal d'idées. Après il faudra voir qu'est ce qui est possible de faire avec le matériel./ Vous êtes prêts pour commencer ?

Es : oui !!!

D : ça y est !

[T4 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, début des constructions]

### **T5 : « Réunion générale ». Mise en commun**

D : (*fait sonner la sonnette*) alors je vois des scientifiques très très... même presque en avance, tellement ils sont à l'heure ! c'est super, bravo ! Ça me fait plaisir de voir que les équipes sont là au rendez-vous. A mon avis, c'est parce qu'il se passe des choses dans les groupes, et que quelques fois ça fait du bien, hein, de se faire des moments où on est tous solidaires en tant que scientifiques, même si on travaille dans des équipes différentes. On va mettre en commun un petit peu, et puis on va voir si on peut peut-être s'entraider, ok ? Alors, moi j'ai besoin de savoir : est ce qu'il y a des nouveaux problèmes que vous avez rencontré ? / alors tout là-bas.

E1 (jaune) : la structure n'est pas assez solide

D : la structure n'est pas assez solide, donc vous, vous avez eu une idée de structure, mais ce n'est pas assez solide, mais ça veut dire que par rapport à ton idée de départ, ça fait pas aussi solide que tu pensais ? Ou est ce qu'il y a un autre problème ?

E1 (jaune) : ben non ça fait pas aussi solide que je pensais.

D : donc « structure » (*note au tableau*) ... mais là par exemple, ça tient tout seul ! Pourquoi tu voudrais que ça soit plus solide ?

E1 (jaune) : on a mis des poteaux dedans mais ....

E2 (jaune) : si on continue...

E1 (jaune) : si on continue ça va s'écraser.

D : à cause du poids du papier, tu penses que ça ne tiendra pas sur la hauteur, c'est ça ? « structure assez solide » (*note au tableau*) pour aller jusqu'à la « hauteur » demandée.

D'accord. Et ça c'est aussi à cause du poids du papier. Donc effectivement il faudrait trouver une solution pour pouvoir permettre d'avoir une deuxième partie par-dessus, c'est ça ? Donc il faudrait trouver une façon de pouvoir poser sur comme un deuxième étage, c'est pas ça l'idée, peut-être ? Est ce qu'il y a des groupes qui pourraient, qui ont des idées pour aider un peu les collègues ? // Non, bon. Est ce qu'il y a d'autres problèmes rencontrés, là, le groupe rouge par exemple.

E (rouge) : bah euh... l'économie.

D : l'économie, oui. L'économie de papier (*note « économie » au tableau*) / mais je veux quand même vous dire qu'il ne faut pas que ça vous bloque. Vous utilisez autant de papier que vous voulez / mais du coup il n'y a pas que l'économie de papier, il y a aussi l'économie de temps.

E : hmmh ouais.

D : donc « papier » ...(*note au tableau*) et « temps » aussi ! Donc euh, est ce qu'il y a d'autres problèmes qui sont arrivés dans les équipes ? Oui ?

E (jaune) : économie de scotch aussi.

D : ah ! De scotch aussi// Mais pourquoi vous voulez économiser vous, votre groupe ?

E (jaune) : ben, parce que on a pas très envie d'utiliser plein de papier.

D : pourquoi ?

E (jaune) : ben parce que après, il n'y en aura plus et tout, on aura jamais assez pour atteindre le haut.

D : d'accord, donc c'est plutôt en anticipant que si dès le départ il t'en faut beaucoup, il t'en faudrait beaucoup pour continuer et du coup, peut-être, il y en aurait pas assez. C'est ça ?

E : acquiesce

D : ok. Ça c'est une bonne idée, après on peut décider d'utiliser peu de papier juste pour essayer de faire une tour économe. Après si ça nous empêche de construire jusqu'au bout, c'est dommage// Est ce qu'il y a d'autres problèmes qui sont apparus dans les groupes ? Moi j'ai vu un peu d'autres problèmes qui arrivent souvent dans les équipes de chercheurs, les scientifiques, il y a des moments des fois, des coups de mou, on se démoralise. Pourquoi on se démoralise ? Déjà un, ça marche pas forcément comme on avait pensé, deuxième solution, deuxième raison.../ on arrive pas à se mettre d'accord. Ça c'est dur on ne trouve pas les bons arguments pour... mais après, ce qui est important c'est de rester soudés, hein, et puis de faire au fur et à mesure. Et puis, il y a des groupes pour qui c'était très difficile et puis après ils ont retrouvés plein d'énergie, et puis ils sont sur des bonnes pistes. Et puis il y en a d'autres, par exemple vous vous avez pu retrouver une façon de vous mettre d'accord ?

Es : non

D : non. C'est difficile, hein, il y a beaucoup de groupes dans lesquels aujourd'hui, c'est ça qui pose problème/ chez les scientifiques, ça fait partie, ça fait partie de l'activité du chercheur, scientifique, ingénieur, architecte, c'est sûr. Donc ne vous découragez pas, moi c'est ça que j'ai envie de vous dire, ok ? Et puis... est ce qu'il y a pour certains groupes pour qui c'est tout facile, tout roule comme ils avaient prévu ?

(Rires)

D : vous ? (*s'adresse au groupe bleu*)

E (bleu) : non

D : vous ?... non ? Qu'est-ce qui vous a posé problème ?

E (bleu): euh..., le papier...

D : parce que ?

E (bleu): parce qu'il faut pas trop en utiliser, puis...

D : ok, vous vous aimeriez bien éviter d'en utiliser trop. / en même temps vous avez chacun des bonnes pistes. On a encore du temps pour construire, alors...ah mais on a oublié d'écrire les pistes, les nouvelles pistes de solution... est ce qu'il y a des nouvelles idées qui sont venues ? / donc par exemple pour la structure solide peut-être l'idée c'est de faire « plusieurs étages » (*note au tableau*), il y a un autre groupe qui a construit, ben vous, qui a construit quelque chose d'assez solide avec du papier, mais vous savez pas si vous voulez l'utiliser

comme base, comme mur, comme étage, comme toit, vous savez pas encore comment l'utiliser mais vous avez déjà quelque chose de bien. C'est là où il faut vraiment bien réfléchir. Le temps il tourne, vous n'avez pas tant de temps que ça. /// Vous en êtes où, vous avez le courage de continuer ?

Es : oui !!

D : ah c'est bien. Ok on va voir le temps qui nous reste (*regarde la montre*) Alors je vous donne encore 10 grandes minutes et on refera le point ensuite

[T6 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, suite des constructions]

### **T7 : « Réunion générale ». Mise en commun**

D : (*actionne la sonnette*)

Es : noooooon !! (*cris, excitation*)

D : calmez-vous, calmez-vous, posez toutes vos affaires. (...*cris, excitations*) Soyez organisés, on va discuter. (...*cris, excitations*)

D : (*fait sonner une deuxième fois la sonnette*) Votre attention s'il vous plait. « Très chers ingénieurs, je suis très fière de cette grande réunion aujourd'hui, vous avez dans chacune de vos équipes, vraiment, vous avez donné de vous-même, avec vos têtes, avec vos mains, avec votre équipe, super. J'ai entendu que quelques groupes, auraient rêvé d'avoir un tout petit peu plus de temps, alors moi qui représente le comité général scientifique, j'y réfléchirais pendant la récréation, il est fort probable que, lorsque vous reviendrez de la récréation, un petit temps vous soit accordé pour finaliser vos constructions.

Es: yes (*en chuchotant*) !

D : ensuite, nous testerons vos constructions et puis nous planifierons la suite des opérations, ok ? Parce que aujourd'hui vous avez trouvé des choses, mais on va se revoir une deuxième fois, et on va voir pourquoi. Alors il y a des questions ?

E : euh on aura combien de temps ?

D : pas beaucoup du tout, ça c'est tout ce que je peux vous dire, il faut aussi que je convainque aussi mes collègues responsables et le comité pour voir s'ils sont d'accord avec moi pour 5 minutes, 5 bonnes grosses minutes, normalement, ça pourrait être jouable, ok ? est ce qu'il y a d'autres questions ?oui ?

E : on peut laisser le temps de la récréation ?

D : non prenez votre récré, prenez votre récré

Es : non !! (*protestant*)

E2 : s'il vous plait.... (*insistant*)

E : moi j'y vais, je vais à la récré....

D : non prenez votre récré

E : s'il vous plait

D : alors ça dépend, moi je vous conseillerais de prendre l'air, je pense que ça fait du bien à tous scientifiques à des moments donnés d'être...

Ens<sup>183</sup> : regarde comme il fait beau dehors...

(*Brouhaha, protestations, confusion*)

D : deux possibilités, soit on prend 5 minutes maintenant, on finit, et après la récréation on teste, soit vous prenez votre récré maintenant, et après la récré...

Es : après la récré

D : après la récré ? Moi je pense que c'est une meilleure solution, après la récré. Plus de discussion, on se retrouve après.

(*Pause : Récréation*)

### **T7 (suite) « Réunion générale ». Mise en commun**

D : alors. J'étais en train de parler de parler de plusieurs couches, donc vous, c'est plutôt des (*dérangée par le bruit dans la classe*) les filles, vous avez utilisé du papier pour renforcer mais alors plutôt que de mettre plusieurs couches vous avez créé des... c'est quoi ça ?

E1 (vert) : des piliers ?

E2 (vert) : des barres, des bâtons, des bâtonnets.

E3 (vert) : des piliers

E1 (vert) : des rouleaux

D : oui, alors des rouleaux, des bâtons. On va mettre bâtons/rouleaux (*note au tableau*)... rouleaux qui eux servent de... de quoi, de renforts on pourrait dire ?

E1 (vert) : de structure

D : de « structure » (*note au tableau*). Donc en fait ça rejoint la première idée qui est de, plutôt que plier le papier, vous avez roulé, c'est ça ? / Est ce qu'il y en a d'autres qui ont roulé ? / Y en a pas mal qui ont trouvé l'idée de rouler le papier... et puis comment vous avez fait ?

E1 (bleu) : bah nous on a pris un papier journal après on a tout de suite enroulé

E2 (bleu) : en fait on a d'abord coupé le journal comme ça

D : oui

E2 (bleu) : et on le plie comme ça et on roule ici.

D : donc vous vous avez pris une demie feuille, vous avez plié en deux pour avoir plus de... puis après, comme ça ça vous faisait plus de différents rouleaux à, à...

E1 (bleu) : à assembler

D : à assembler, voilà. Donc vous avez eu l'idée d'assembler, en premier on roule et puis après on assemble les, ... les tubes (*note au tableau*).

E (bleu) : ouais //pour économiser (*chuchote dans le groupe*)

---

<sup>183</sup> Enseignante (remplaçante)

D : ok. Est ce qu'il y avait... et puis vous vous avez eu une idée différente, vous avez roulé le papier aussi, mais vous vous avez fait quoi ? / Qu'est-ce que vous avez fait avec ces tubes (*s'adresse au groupe jaune*) ?

E1 (jaune) : on les a mis les uns sur les autres

D : oui, vous les avez assemblés mais, parfois les mots ne suffisent pas, hein, vous les avez assemblés mais comment on pourrait dire plus précisément

E1 (vert) : empilé ?

D : comment ?

E1 (vert): empilé

D : empilé ? Ok, empilé... moi je dirais plutôt ici emboîté, hein, l'un dans l'autre, « emboîter » (*note au tableau*) « emboîter des rouleaux ». Et puis vous vous avez fait des sortes de rouleaux mais comme vous aviez chiffonné un peu le papier, ça ressemble plutôt à... vous avez mis quelque chose dans les rouleaux, c'est juste hein ? C'est ça votre secret !/ vous nous direz après. Donc, vous, vous avez mélangé différentes façons, en même temps on roule et puis en même temps on froisse avec du papier dedans. Donc vous vous avez renforcé mais pas en mettant plusieurs couches ni en faisant des bâtons, vous avez renforcé en mettant des... quoi des boules de papier ?

E : mmh (*acquiesce*)

D : (*note au tableau* « boules de papier ») Il y en a d'autres qui ont utilisé l'idée des boules de papier ?

E1 (rouge) : un peu, on a...

E2 (rouge): en fait on a roulé mais en même temps on a écrasé.

D : donc chiffonner pour pouvoir faire votre papier tressé, en fait.

E2 (rouge) : oui

D : donc vous vous avez chiffonné – j'ai plus de place pour marquer sur ce-

Es : (*rigolent*)

D : on va mettre ici « chiffonner » (*note au tableau*) Bon, je vais mettre au clair après. « chiffonner » et puis...pour le « tresser » (*note au tableau*) // Vous vous rendez compte toutes ces idées différentes, c'est fou hein ?/ après on va pouvoir voir la fin... je vous sens très impatients d'avoir ces 5 dernières minutes, c'est vrai ?

Es: ouais...

D : alors c'est parti !

[T6 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, fin des constructions]

### **T7 suite : « Réunions générale ». Test des tours et analyse des résultats**

D : (*actionne la sonnette*)

Ens : à vos places !

D : ok vous avez donc, vous ont donc été accordé 5 minutes qui se sont transformées en 10 minutes supplémentaires, pour votre information, je suis très contente comme ça vous avez réussi à aller jusqu'au bout de votre idée, bien sûr, si vous aviez plus de temps, plus de matériel, encore et encore vous pourriez perfectionner. Mais, de toute façon, c'est une première étape qui s'arrête là, vous allez voir, on va faire les tests et ensuite on va voir, on va un peu voir quels sont les bons côtés et les mauvais côtés de chacune des constructions et puis on va ensuite faire une liste de tout ce qu'on garde pour une prochaine étape, dont je vous parlerais après. Alors je vais commencer par le premier groupe, le groupe blanc...

(*Agitation*)

Ens : alors calmez-vous un petit peu, écoutez voir ce qui se passe là

D : alors, ce qui est important, bien sûr c'est le résultat, mais pas seulement et loin d'être seulement le cas, car j'ai besoin de savoir, et les autres aussi, savoir comment vous en êtes arrivés là. On t'écoute

E.Blanc3 : euh on a pris des papiers, on les a chiffon...

D : chiffonné

E.Blanc3 : chiffonné, après on a plié, on a euh, on en a fait quatre comme ça et puis après on a mis du scotch autour

D : oui

E.Blanc3 : et on a empilé avec du papier

D : et... donc, chiffonner le papier dedans et puis après tout mettre ensemble pour pouvoir... mais ça ne me dit pas comment vous en êtes là !? // euh...Michaela ?

E.Blanc2 : en premier, on s'est fâché et moi j'avais fait ce bout là et elles, elles ont fait ce bout-là. Après on les a collé et on a mis tout le papier

D : alors au début, effectivement, votre équipe elle s'est séparée en deux. Vous n'arriviez pas à vous mettre d'accord. Il y a les trois qui ont continué et qui ont retrouvé leurs énergies pour faire quelque chose de nouveau, et à la fin, le miracle c'est que vous avez réussi à reprendre les deux et faire une seule chose à la fin, ça c'est génial

E.Blancs (*rires gêné*)

D : donc c'est ce qui donne ceci – assied toi sur la chaise comme ça tout le monde peut voir, sinon on ne voit pas – donc effectivement c'est une structure assez imposante, on va la mesurer. Mais bon, la première chose c'est qu'on voit que malheureusement...

E.Blancs : elle tient pas

D : elle ne tient pas debout, donc il lui faudrait, quelque chose pour arriver à tenir debout (*fait balancer la structure de chaque côtés*) Qu'est-ce qu'il nous faudrait en plus, vous avez déjà une idée ? On va écouter déjà groupe là et peut-être les autres auront d'autres idées.

E.Blanc1 : euh tu peux, du papier en plus sur...

E.Blanc4 : en bas

E.Blanc1 : en bas / ici

E.Blanc3 : ici

D : en bas, mais qui soit chiffonné, plié... qui serve à quoi ?

E.Blanc2 : non, en fait on doit enlever du papier parce qu'on en a trop mis en haut, c'est pour ça que c'est trop lourd, et ça tombe.

D : alors il y a deux possibilités, soit enlever le papier parce que c'est trop lourd – mais n'empêche ça va être difficile d'en enlever là – mais toi tu penses qu'elle ne tient pas parce qu'elle est trop lourde en haut ?

E.Blanc2 : oui

D : et pas assez en bas ?

E.Blanc1 : ouais

D : donc rajouter du papier pour faire plus lourd ou pour faire plus solide ?

E.Blanc2 : plus... lourd

D : plus lourd

E.Blanc4 : et aussi plus solide

D : et aussi plus solide, pour équilibrer en fait avec le haut, pour contrebalancer. Et puis si on faisait l'inverse (*fait un signe d'inversement*), on mettait le lourd en bas et le léger en haut, vous avez essayé ou pas ?/

E.Blanc2 : ça tomberait

D : pourquoi ça ne tiendrait pas ?

E.Blanc2 : parce que après ça...

E.Blanc1 : ça serait plus lourd

D : ça ne serait pas équilibré/ et pourquoi ça tomberait ? Oh ! (*remarque que plusieurs élèves aimeraient intervenir*) il y a pleins plein d'idées dans les autres groupes aussi / après, on va les écouter

E.Blanc4 parce que ça (*montre la base*) c'est tout petit, enfin je veux dire euh euh (*mime quelque chose de plus large*)...

D : parce que c'est, ce n'est pas large ?

E.Blanc4 : ouais voilà

D : ça ne pourrait pas être une base suffisamment large pour que ça tienne, c'est ça ?

E.Blanc4 : ouais voilà

D : ah ah ! Donc ça, ça serait une autre piste, ça serait peut-être, ici en bas, pour que ce soit solide en bas et pas seulement rajouter du papier plus lourd, pour faire plus de couches, mais pour faire plus large votre base. Ouais, est ce qu'il y a... oui il y a une autre idée ?

E.Rouge1 : en fait euh, si ça marche pas de l'autre côté c'est que ça a le même poids en haut et en bas, alors si on mettait et ben ça reviendrait au même...

D : donc toi tu penses effectivement que ce n'est pas tellement une histoire de poids / par ce que tout est assez lourd partout

E.Rouge1 : ben c'est aussi la largeur, mais c'est pareil aussi



D : donc toi quelle serait la piste pour que ça tienne debout ?

E.Rouge1 : euh renforcer, euh, faire une base plus large et plus lourde en bas.

D : ok... Vous avez d'autres idées ou vous abondez dans ce sens-là ? (*s'adresse à un enfant qui semble avoir trouvé une idée « eurêka »*)

E.Bleu1 : ben c'était pour faire des appuis de côtés.

D : Ah... Ça une autre idée ! Faire des appuis de côtés... alors comment on ferait les appuis de côtés ?

E.Bleu1 : bah faire des rouleaux

D : mmh (*acquiesce*)

E.Bleu1 : après les assembler

D : les assembler ? Quelle forme ? Est-ce que tu as encore un rouleau, tu pourrais nous montrer comment tu le mettrais ?

E.Bleu1 : bah (*inaudible*)

D : hmm / par exemple oui. Quelqu'un a une autre idée de comment utiliser ces rouleaux ? tu veux venir montrer ?

E.Rouge3 (*s'avance vers la tour du groupe blanc*)  
(*Certains enfants pouffent, inaudible*)

E : on va mettre comme ça

D : ah voilà... Alors tout simplement un seul qui tienne là et de l'autre côté, par exemple, de côté comme ça. Ça serait pas mal ça d'essayer...

E.Bleu1 : mais ça glisse

D : oui

E.Bleu2 : bah coller ?

E.Bleu3 : bah ça peut glisser

E4.Bleu : bah faut scotcher

D : et peut-être alors ce n'est pas assez haut, c'est ça que tu dis, il faudrait des plus hautes ? non ? je n'ai pas entendu, oui ?

E.Rouge1 : euh, c'est (*inaudible*), sinon si c'était une vraie construction on verrait deux petits poteaux ici / et une ficelle

D : aaah !

E : ou bien euh 4...

D : mhhm

E : on dirait la tour de l'Europe là

D : donc en tout cas, c'est une base

E : tour de Pise !

D : « une base plus solide » ... donc là on va garder l'idée (*note au tableau*) Voilà je l'avais déjà écrit en fait pendant que vous étiez à la récré parce qu'il me semblait que les filles en avaient parlé / (*quelques enfants dissipés*) alors qu'en fait / là c'est vraiment maintenant que ça sert une base plus stable, donc plus large et peut-être, peut-être plus lourde. Ça c'est une idée. Ouais. Et puis l'autre, ça serait de créer... comment on appellerait ça ?

E : des rouleaux ?

D : alors des rouleaux, oui, mais ça s'appelle comment, des renf...

E (bleu) : des supports

D : des supports, tu disais. Donc supports ou renforts (*note au tableau*) avec des tubes. A voir comment on les arrangerait, ouais. On va quand même mesurer cette tour.

E : moi !

D : ah c'est toi qui l'a. Parce que si on a déjà une bonne longueur... pas mal, hein ?

E : ah mais c'est pas bon

D : oh mais c'est déjà... 90 centimètres ! C'est déjà super bien, hein les filles !

E : 90 centimètres !

D : « 90 centimètres » (*note au tableau*). Et elle ne tient pas debout mais avec des idées de /// Je pense qu'il y aurait de quoi faire. Donc les tests, on va pas pouvoir les réaliser, en tout cas maintenant, euh... est ce que vous nous avez tout expliqué ?

E.Blancs : oui

D : est-ce que vous seriez capable de refaire la même chose ?

E.Blancs : oui

D : exactement ? vous vous souvenez comment vous avez fait ?

E.Blancs : oui

D : d'accord donc... commence

(*Rires*)

E.Blanc2 : en premier on doit se fâcher

(*Rires*)

D : en premier vous devez vous fâcher !

(*Rires*)

D : et c'est très intéressant ce que tu dis parce que, quand on... la manière de fonctionner dans un groupe, ça veut dire plusieurs choses, ça veut dire la manière dont on construit notre idée et la manière dont on s'organise pour la construire. Donc c'est vrai, c'est tout aussi important, non pas de se fâcher, mais de voir comment le groupe il fonctionne. Est ce qu'il partage bien les tâches, est ce qu'il prend le temps pour se mettre tous d'accord avant de faire quelque chose. Ou est-ce que chacun cherche dans son coin et puis après tout le monde se met ensemble et puis parle de toutes les idées... il y a pleins de manières différentes de fonctionner dans groupe, et ça c'est vrai, ça fait partie de l'activité de recherche, ça c'est sûr / Alors, on passe à la deuxième tour, la tour des verts, qui tient debout là-bas... (*s'avance vers le groupe vert*) Wouahh, pas mal ! // ah on a oublié de voir que, que quand même le groupe

blanc – on va comparer avec le groupe vert- vous avez... tu arriverais à faire le total, je ne vois pas depuis là

E : 5, 10, 15, 20, 25, 25, 25

D : alors ne confondez pas le papier et le scotch, je crois qu'il y a 14 papiers, c'est ça ?

E2 : alors 5... j'arrive pas à voir s'il y en a 2 ou 3 là vers les jaunes, y en a 3.

Ens : 10 euh... 16 papiers. Attends, ouais c'est, 16.

E : 16

Ens : 5 et puis 5, 10, 16 et 13 papiers pour les verts. Et 5 15 et 10.

D : donc euhh

Ens : les verts on utilisés moins euh...

D : un petit peu moins oui, on va voir maintenant... Vous vous avez déjà quelque chose qui tient debout, c'est...(mesure la tour avec un mètre) Oh ! 1 mètre !ça alors !

E : pile !

D : un mètre, super ! 1 mètre c'est comme...

E : ils ont de la chance !

D : 100 centimètres (*note au tableau*), elle tient debout, oui et alors ces tests !? on va essayer les tests, hein ? j'ai oublié de – je suis bête, j'oublie à chaque fois. Op ! Alors « test du tremblement de terre », (*fait trembler la table*) C'est bon, bravo, félicitations (*applaudissements*)... Et maintenant le « test de l'ouragan » (*prends le sèche-cheveux*)

E : oh le sèche-cheveux !

(*Agitation, enthousiasme dans la classe*)

D : alors vous êtes prêts pour l'ouragan ? (*allume le sèche-cheveux et le dirige vers la tour*)  
//// Alors attention Ouragan force 2 ! Bah dit donc elle tient debout votre tour ! Oulalahhh.  
Bravo !

(*Applaudissements, excitation*).

D : nous ne ferons pas le test du tsunami et de l'avalanche aujourd'hui/ on ne le fera pas.

E : pourquoi ?

E2 : l'avalanche c'est avec des piles.

E3 : pourquoi ?

D : mais parce que, ce qui compte c'est surtout de voir une petit près où vous en êtes, donc on va dire que le test 1 et le test 2 sont réussis (*note au tableau*) Bah félicitations, mais ça c'est votre résultat maintenant moi j'ai besoin d'entendre comment vous en êtes arrivés là.

E.Vert1 : euh, alors on a euh pris du papier journal, on a plié les bords et on a mis des boulettes dedans et ensuite on a euh planté du papier journal comme ça, tout autour, enfin dedans et puis on a mis du scotch partout, et puis on a mis des bâtonnets. Et ensuite...ouais et ensuite on a remis un, on a mis un (*inaudible*) on a scotché tout autour et après on a euhhh mis des boulettes et puis des bâtonnets et puis...

E.Vert2 : on a mis des bâtons et on les a tordus comme ça.

D : il y a tellement d'idées mélangées en une seule construction ! mais c'est impressionnant ce que vous avez fait en papier !/ Alors ok. Par rapport à votre idée de départ, qu'est ce qui a changé ? Beaucoup de choses ou très peu de chose ? Beaucoup de choses. Parce qu'au fur et à mesure, au fur et à mesure vous vous êtes rendu compte que ça tenait pas, qu'est-ce qui vous a fait, comme ça, faire des ajustements au fur et à mesure ?

E.Vert2 : en fait, en premier, euh c'était euh un peu tordu et du coup si on soufflait ça tombait alors on a renforcé avec (*inaudible*)

D : voilà, au fur et à mesure vous avez trouvé plusieurs idées de consolider, de bandes plus solides, en roulant le papier, en le chiffonnant, en faisant des boulettes, en le mettant tout autour. Je n'arrive même pas à résumer toutes les façons différentes, en fait si on disait (*inaudible*) différentes sortes là (*inaudible*)

E.Vert2 : là derrière on voit !

D : ah ! Ben dites donc

(*Rires de la classe*)

D : d'accord ! Donc effectivement beaucoup !... Alors, quelque chose que j'ai oublié de demander à ce groupe là aussi, on vous entendra après, si vous deviez refaire... maintenant imaginons que l'on recommencerait à 0, est ce que vous garderiez votre idée ou est ce qu'il y a des choses que vous abandonneriez, quelles ont été peut-être vos erreurs, vos fausses pistes, ou est-ce que ça a été tout juste, vous feriez exactement la même chose ? Voilà...

E.Vert1 : ben en fait parce que ça, des fois la tour elle penchait, donc on a mis du scotch on a accroché beaucoup plus loin et ça...

D : donc ça c'était quoi l'erreur exactement, pourquoi penchait.

E.Vert1 : ah, parce que c'était pas très stable, c'était pas solide.

D : bah alors si c'était à refaire qu'est-ce que tu ferais ?

E : euh bein...

D : est-ce que tu ferais différemment ?

E.Vert1 : ben oui, plus solide

D : oui mais plus solide comment ?

E.Vert1 : en mettant plus de papier

D : alors vous votre idée, la solution que vous avez trouvé c'est que pour rendre plus solide, il faut mettre plus de papier, c'est ça que vous retiendriez ?

E.Vert2 : enrrouler...

D : enrrouler autour pour que ce soit plus solide... (*l'air dubitatif*) Malgré toutes les différentes idées que vous avez eu de plier le papier, c'est plus vous mettez de papier plus c'est solide, c'est l'idée que vous gardez ?

E : euh...

E.Vert1 : plus c'est lourd

D : plus c'est lourd

E.Vert1 : en bas

D : Quand même...d'accord

E.Vert2 : en fait on a fait en premier les murs et puis après on a fait les... (*mime les piliers*)

D : ah ça c'était une erreur, c'était une erreur, par ce que vous devriez faire quoi ? ... donc en premier la structure et ensuite les murs autour, c'est ça que vous feriez différemment ?

D'accord. Et puis vous (*s'adresse au groupe blanc*), qu'est-ce que vous feriez différemment ? Parce que j'ai oublié de vous demander.

E : euh

D : oui

E.Blanc3 : bah eh ( ? ) torde le ( ? ) dans le...dans le...

D : donc à l'intérieur vous avez rempli de boulettes de papier, et donc il faudrait en mettre plus ou en mettre moins ?

E.Blanc3: ben, des plus gros

D : des plus gros, pourquoi ?

E.Blanc3: euh parce que quand on met droit on dirait une crotte.

(*Rires*)

D : vous ne voudriez pas que ça ressemble à des crottes, c'est ça la raison ?

(*Rires*)

E.Blanc3 : ça tombe !

D : ça tombe, des plus grosses pour pas que ça tombe, c'est ça ? parce que plus c'est petit, plus ça tombe, tandis que les grosses boules, elles tiendraient, c'est ça votre idée ? Donc vous gardez l'idée de renforcer l'intérieur avec des boules, mais des plus grosses pour pas qu'elle tombe, c'est juste ? non ?

E.Blanc2 : non, il faut mettre des boules plus grosses en bas et moins grosses en haut

D : des plus grosses en bas et des boules plus fines en haut ?

E : oui

D : mais pourquoi plus fines en haut ?

E.Blanc2 : parce que après ça tombe pas.

D : ah d'accord, tu dis que si elles sont en haut elle ne tombe pas, tandis que si elles sont en bas, il faut qu'elles soient grosses. Ça serait à tester encore, hein. Moi je pense que vous avez plusieurs idées, mais il faudrait voir. On va passer au prochain groupe. Je sens que vous avez beaucoup de patience et qu'il va falloir en avoir encore un petit peu...

E.Rouge1 (*secoue la tour à partir de la base*)

E.Rouge3 : touche pas ça va tomber !

D : alors... (*mesure avec le mètre*) 1 mètre, ouais, 1 mètre 9, bah dit donc ! (*les enfants font des commentaires inaudibles pendant que Delphine note au tableau*)/// et alors, le test du tremblement de terre (*fait trembler la table*) pas mal (*fait trembler encore la table*)

(*Exclamations des enfants*)

D : (*la tour résiste aux tests*) ben bravo ! Après on voit qu'il y a une sorte de flexibilité, votre tour je ne sais pas si elle est faite exprès pour, mais il y a une sorte de mouvement...

E.Rouge3 : ben c'est logique quand il y a un tremblement de terre ça commence à se casser un peu non ?

E.Rouge1 : en fait on a pas eu le temps

E.Rouge2 : en fait on a pas eu le temps

D : vous n'avez pas eu le temps. alors on va faire les autres tests...

E.Rouge3 : l'ouragan ! L'ouragan !

D : ...et puis vous allez me dire ensuite...

(*Delphine transporte la construction sur la table des tests, émulation dans la classe*)

E.Rouge2 : non ! On tient par en bas ! (*effrayé*)/// ah au moins il tient (*fier et rassuré*)

E.Rouge1 : oh non ! (*anxieuse et impatiente*) sur 1 d'abord hein!

(*Delphine enclenche le sèche-cheveux, force 1*)

E.Rouge ? : ça bouge même pas !

E.Rouge1 : ya trop de trous ! Ya trop de trous ! (*contente*)

E.Rouge2 : hein ouais ! Ya trop de trous

E : l'air il passe à travers les trous !

D : alors ouragan force 2 !

(*Rires, exclamations des enfants*)

E : ouais mais nous elle est plus grande

Es : (*la tour passe les tests*) Ouais !!! (*cris et sauts de joie du groupe rouge, applaudissements des autres groupes*)

E.Rouge ? : nous c'est moins compliqué / en plus au début on a perdu au moins 20 minutes de despiration (*d'inspiration ?*)

D : alors justement, vous allez m'expliquez ça, alors...

E.Rouge1 : on a fait une plateforme...

D : alors justement, vous allez m'expliquez ça, alors...

E.Rouge1 : on a fait une plateforme...

D : vous avez fait une plateforme

E.Rouge1 : au tout début..

D : ouais

E.Rouge1 : on en a fait 2, puis après on s'est disputé pour savoir si ça allait le faire

E.Rouge3 : et j'ai dit « j'ai une idée » quand ils étaient en train de parler, j'ai dit « on met des poteaux »

D : voilà

E.Rouge3 : et comme ils avaient fait une deuxième plateforme...

E.Rouge1 : après on met une deuxième base (*montre la deuxième plateforme*) on met une 3<sup>ème</sup> base

D : ouais...

E.Rouge3 : et on a décidé les quatre de mettre une antenne

E.Rouge4 : et au début on avait plus la taille alors on a décidé de euh...

E.Rouge3 : l'antenne !

D : l'antenne pour la hauteur

E.Rouge1 : parce que si on avait fait un étage ça fait trop long

D : ok. Donc si je résume, vous avez eu l'idée maintenant, parce que vous l'aviez pas dit au départ, comment elle est construite votre plateforme ?

E.Rouge2 : au début, on allait faire un immeuble, comme ça (*montre le croquis*), quoi une espèce de...

E.Rouge1 : c'était censé être un mur...

E.Rouge3 : plusieurs de ça (*montre le croquis*)

E.Rouge1 : ...et après un autre mur/ mais ça faisait trop long parce qu'il faudrait faire plusieurs étages et...

D : voilà, mais comment vous avez fait ce carré-là, peut-être que tout le monde n'a pas vu

E.Rouge3 : ah euh Marie t'as fait comment ?

E.Rouge1 : alors euh...

E.Rouge3 : ah oui ! Je me souviens!!

E.Rouge1 : ça, ça, ça (*dessine sur la feuille de papier*) au-dessus, en dessous, au-dessus, en dessous

D : ok, comme un tissage.../ d'accord, donc vous avez commencé, vous êtes très vite allez là-dedans, vous avez fait ce carré, vraiment très solide en papier. Quand vous en aviez deux, vous vous êtes dit mais qu'est-ce que l'on va bien pouvoir en faire, si je résume, hein.

E.Rouge3 : oui

D : vous vouliez mettre, les empiler jusqu'à avoir un mètre

E.Rouge3 : oui

D : ça aurait pu prendre trop trop de matériel ou faire plusieurs murs, mais il en fallait la même chose, donc vous vous êtes dit non, on a fait deux étages et il faut juste après des tubes pour faire la structure

E.Rouges : oui

D : voilà ok. Et ensuite après vous avez rajouté un peu une hauteur. // Maintenant, est ce que vous gardez tout ou est ce qu'il y a des choses que vous abandonneriez si vous deviez repartir maintenant exactement à 0.

E.Rouge3 : euh on garderait tout mais maintenant comme on sait l'idée on va faire plus haut.

E.Rouge1 : *(inaudible)*

E.Rouge2 : et on va changer des trucs

E.Rouge3 : et le scotch

E.Rouge1 : et on mettra des bouts de papier au fond

E.Rouge3 : et comme Marie elle a eu l'idée

D : alors comme vous parlez en même temps, c'est pas très pratique pour moi de vous comprendre ! Donc vous gardez votre idée d'étage, votre idée de structure, mais j'ai entendu l'idée éventuellement de mettre moins de papier ou moins de scotch, c'est ça ? *(la cloche sonne la fin des cours)*

E.Rouge3 : euh oui parce que Marie elle en met deux paquets, voilà ces deux *(montre une double feuille pliée en deux)*

E.Rouge1 : pourquoi moi ? Vous aussi vous en avez rajouté !

E.Rouge3 : mais c'est toi qui a dit comment l'utiliser ! et après quand il y en a deux *(plié en deux)*, elle en fait un seul *(rouleau)*, et le deuxième elle en refait un par-dessus

D : ah vous aussi vous avez eu un peu des moments de perte d'espoir

E.Rouges : oui

D : ouais vous saviez plus comment choisir et tout, ouais. Alors j'ai juste un petit problème je viens d'entendre que c'est la récré, j'ai oublié de vérifier l'heure.

E.Rouge3 : euh...c'est fini là

E.Vert1 : c'est 4 heures

D : c'est fini les cours... est ce que vous pouvez tous rester juste 5 minutes pour finir ?

*(Les élèves acquiescent à part 2 élèves)*

E ? : moi j'ai pas le temps

E.Rouge3 : je dois juste aller chercher ma petite sœur

D : alors ceux qui doivent y aller, est ce que vous y allez, et est-ce que vous êtes d'accord que les autres vous leur raconterez ?

Es : oui

D : juste 5 minutes de plus, qu'on finisse, ok ? ça va ?

*(Deux élèves quittent la salle)*

[...]

D : juste une petite chose moi quand je vois ça, je ne suis pas sûre, vous allez me dire ce que vous en pensez, si on construisait encore par-dessus la même chose, est ce que vraiment ça tiendrait ?

Es : non *(général)*

E.Rouge ? : en fait...

D : attends attends, je donne la parole aux autres groupes maintenant



E. : en fait ça basculerait parce qu'il y aurait plus de poids en haut, donc ça ferait comme ça.

D : Moi je pense qu'effectivement, il y aurait des choses à revoir.

E.Rouge1 : oui oui bien sûr mais euh c'est pas ça qu'il voulait expliquer. Il voulait dire qu'on fait plus lourd en bas, en rajoutant

E2 : moi je mettrais plus vers l'intérieur parce que...

E3: c'est trop au bord justement

E.Jaune ? : plus lourd en haut ouais (*voix basse*)

D : vous vous en rajouteriez et puis, à voir, moi peut-être, je pense que j'enlèverais de la quantité.

(*Tous les élèves parlent en même temps*)

D : ok, on va passer au groupe suivant (*se dirige vers le groupe jaune*). Alors vous vous étiez que trois, hein, je le précise, ça change aussi et puis vous n'étiez pas non plus tout de suite d'accord. Vous pouvez expliquer un petit peu comment ça s'est passé ?

E.Jaune1 : euh on n'était pas d'accord de ... enfin on pensait d'abord faire une tour un peu plus carrée... après on a fait des...

D : tubes

E.Jaune1 : des tubes en voulant les mettre juste comme ça debout... après (*inaudible*)

D : voilà, et puis après, à la fin donc en fait, moi j'ai vu, hein, vous avez fait plusieurs petits tubes, qui ressemblaient à ici ou ici mais vous les avez empilé pour faire des longs tubes et ensuite tous ces tubes vous les avez regroupés ensemble, enroulés avec du papier pour que ça tienne. Voilà, donc quand on touche effectivement, c'est assez résistant par contre ça tient pas debout je crois, non. On va la mesurer... donc là (*mesure la tour*) 84 centimètres. Qu'est-ce qu'il faudrait pour qu'elle puisse tenir debout, est ce qu'il y a des idées...

E.Jaune1 : il faut mettre plus de poids en bas

D : plus de ... ?

E.Jaune1 : plus de poids

D : plus de poids en bas, c'est ce qu'on avait dit, sinon

E.Bleu1 : on devrait faire comme avez dit... de mettre les...

D : les renforts de côté ?

E.Bleu1 : oui

D : les structures, je pense que ça serait assez essentiel, effectivement. Bon, j'ai- je me permets de faire une toute petite remarque- à l'intérieur de ces différents tubes, bon maintenant ils sont, ils sont scotchés ensemble... je me demande si avec votre tout grand tube, on aurait pu faire quelque chose d'autre pour qui tienne debout sans devoir rajouter plus de papier. Moi je pense... vous y réfléchirez pour la première fois ? Parce qu'on va se revoir et puis on va voir...

(*Discussion en aparté du groupe jaune*)

(*Delphine se dirige vers le dernier groupe, le groupe bleu*)

D : Alors, tremblement de terre ! (*fait trembler la table*) Ouais ! Bravo ! (*mesure la construction*) Oh ! 1mètre 13, wouah...

(*Exclamations de joie du groupe bleu*)

D : On va effectivement transporter la tour comme ça (*la prise du sèche-cheveux n'est pas assez longue, agitation*) elle tient bien dites donc !

(*Delphine transporte la tour sur une autre table pour le test de l'ouragan*)

Es : aaah ! nooon !! Elle va mourir !

D : elle tient bien à part ça !

E.Jaune1 : youpi ! A force 2 elle va mourir votre tour !

(*Delphine enclenche le sèche-cheveux*). Bravo, test 2 (*rires, exclamations*)

E.Jaune1 : par dedans !... oui !!! (*Ricanements voyant la tour pencher*)

D : Bon, elle supporte, bravo ! (*Applaudissement, brouhaha*)...Alors juste une petite réclamation du groupe rouge, qu'est-ce qu'il y a ?

E.Rouge1 : c'est pas juste parce que vous avez fait au point où c'est le plus facile pour qui tienne

E.Bleu1 : non elle a fait de l'autre côté

D : ah je l'ai fait par la derrière, je peux te dire que là le vent qui appuie là-dessus...

E.Rouge1 : oui mais de l'autre côté, dans l'angle il y a...

E.Bleu2 : ouais elle savait pas, hein

D : là, de ce côté-là ?

E.Jaune1 : ouais faut refaire !

D : ah mais ça c'est les limites des tests quelques fois, hein, ils ne sont pas... il faudrait pouvoir le refaire effectivement.

E.Jaune1 : mais il faut que ça soit sécurisé ! (*rires*)

E.Bleu2 : normalement il faut faire un immeuble ou des gens habitent, c'est ça ? (*justifie le rajout d'une feuille autour de la structure, créant une surface de portance au vent*)

D : alors ça c'est une autre question, pour que ça ressemble plus à un immeuble, il faudrait une façade effectivement

E.Bleu2 : parce que si on fait des trous...

D : effectivement, mais surtout ce qui est important, c'était que ça tienne debout, c'était déjà ça. Donc vous en deux mots, comment vous vous êtes pris... oui

E.Bleu1 : ben on a fait des rouleaux on les a mis, on a mis plus de rouleaux en bas pour que ça tienne, pour pas que ça bascule de côté

D : ouais... oui

E.Bleu3 : on a fait un pilier, on a mis des rouleaux comme ça..

D : vous avez fait aussi des étages alors

E2 : on a aplati et comme ça, et on a scotché

E.Vert1 : elle est tombée ! (*la tour du groupe ? vient de tomber*)

Es : ouuais !!! (*exclamation générale*)

E : pas juste !

D : ah ça c'est vraiment pas... ce n'est pas de la solidarité !

Ens : parce que c'est que vous n'avez pas arrêté de la tripoter votre tour aussi, alors, hein.

D : voilà

E.Bleu3 : après on a mis ici du scotch, on a mis un petit peu partout, là on a mis les piliers et puis après on a fait une antenne, enfin...

E.Bleu2 : non en fait on a juste mis pour que ça fasse plus haut.

D : voilà, effectivement. Alors vous vous, j'imagine que vous garderiez votre idée des rouleaux, maintenant pour la consolider, qu'est-ce qu'il faudrait ?

E.Bleu3 : mettre plus des rouleaux, ici (*montre au milieu*) pour que ça tienne mieux

D : un peu des rouleaux par-ci par-là.

E.Bleu1 : non parce que après ça fait du poids

D : mais en même temps, moi ça me donne l'impression que c'est comme ici, c'est qui vous mettez plus du tout de rouleaux au milieu, la tour elle va faire quand même comme ça// donc euh...

E.Bleu3 : mettre un petit peu, des rouleaux ici, après des rouleaux ici, des rouleaux ici pour que ça renforce

D : ouais oui oui, oui oui à l'intérieur mais en même temps ça n'empêchera pas de pencher... oui ?

E.Bleu4 : mais au début on était parti pour mettre les rouleaux à l'extérieur pas à l'intérieur

D : d'accord, ok. Alors, toutes les équipes, je dois vous dire bravo et merci. Une petite chose c'est que vous n'avez pas été du tout, du tout économe en matière, effectivement, aucune équipe n'a vraiment des points... quoi que l'équipe des jaunes a été quand même (*se réfère aux points comptabilisé au tableau*).... Quels sont les jaunes déjà ? C'est vous ? Alors, vous, votre tour elle ne tient pas encore debout mais en même temps vous avez réfléchi avec moins de matériel, donc ça c'est intéressant aussi [...]

D : on va se revoir encore une fois, parce que là, ce n'est que la première étape. Avec toutes ces idées que vous avez eues, la prochaine fois, on va faire une liste de tout ce qu'on garde et on va se mettre d'accord sur LES idées qu'on garde. Tout le monde va retravailler, et cette fois-ci on va construire peut-être une tour un peu plus haute, une tour de 2 mètres, ou une tour sur laquelle on puisse poser quelque chose. Donc vous pouvez continuer à réfléchir parmi toutes les idées, qu'est-ce qu'on pourrait garder pour la prochaine fois, ok ?

E : mais on sera encore en groupe ou ça sera pour tout le monde ?

D : je pense que ça sera en groupe mais ça ne sera pas forcément les mêmes groupes.

E2 : et ils seront où ?

D : ah on recommence à 0

E : quoi ?

D : ah bah oui

E : vous les détruisez ?

E2 : on va pas les détruire ?

D : je vais les prendre en photos pour être sûre qu'on aille bien toutes les informations. Je ne pense pas qu'on arrivera à tout garder. Il faut qu'on reparte à 0, par ce que là, je vous dis, au niveau du matériel, c'est trop. Moi je suis pas satisfaite, l'équipe du comité scientifique n'est pas satisfaite. Il faut vraiment concevoir des tours qui soient plus économes. C'est pour ça qu'on va garder les bonnes idées et reconstruire.

E : si vous allez pas le garder on peut le déchirer ?

D : non non non, laissez tout comme ça, moi je m'en occupe. Je voulais vous dire MERCI MERCI MERCI pour votre participation, bravo, il y a eu des découragements, après ça c'est repris. Merci d'avoir mis 5 minutes de plus aussi et puis ben on se revoit la prochaine fois, dans une semaine ou deux... oui ?

E : ben en fait on peut construire la tour dans un trou.

D : ah, ça c'est d'autres idées. Si vous avez des idées, la prochaine fois, vous les ramènerez. On a pas le temps d'en discuter davantage

Ens : vous pouvez aussi marquer aussi vos idées sur un papier, une feuille comme ça...

D : oui très bonne idée, très bonne idée.

Ens : si c'est dans une ou deux semaines, ils risquent de....

D : et je vous dis au revoir par ce que là c'est l'heure et je sais qu'ils vont me mettre dehors là bientôt ! Vous laissez tout comme ça !

Es : au revoir ! Au revoir !

### 9.3 Annexe 3 Transcription des plénières de la classe Mie

#### T1 : Mise en situation et consignes

D : Aujourd'hui je vous propose une activité de science où en effet vous allez construire des choses avec du papier journal et un petit peu de scotch. Alors je vais vous demander quelque chose qui sort un petit peu de l'ordinaire, dans le sens où je vais vous demander de quitter un peu votre rôle d'élève, pour vous plonger, vous mettre en situation, vous mettre dans la peau de quelqu'un d'autre, dans la peau d'ingénieurs, architectes, scientifiques. Vous allez voir pourquoi. Ah je vais peut-être vous dire encore une petite chose : aujourd'hui donc c'est une activité de groupe -je ne sais pas si vous en faites souvent en classe- (E : ça va) ah oui quand même, c'est bien- comme c'est une activité un petit peu spéciale, on a tendance à devenir un petit peu foufou, donc je vous rappelle qu'on est à l'école, on est quand même en classe, et on fait quand même une activité très sérieuse parce que c'est pas si simple ce que je vais vous demander. Ok. Vous pouvez fermer les yeux pour vous mettre en situation si vous voulez ou tout simplement ouvrir bien grand vos oreilles : « Nous sommes en 2020. De plus en plus de catastrophes naturelles surviennent sur notre terre : des tremblements de terre, des ouragans, des avalanches, des tsunamis, et il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de supporter toutes ces différentes catastrophes naturelles qui peuvent advenir à tout moment aux quatre coins de la planète ». Et justement aujourd'hui, vous êtes des ingénieurs venant de ces quatre coins du monde et vous venez participer aujourd'hui à une réunion très importante, à une réunion internationale, une réunion de recherche et nous devons aujourd'hui, réfléchir tous ensemble pour concevoir des modèles de bâtiments, de tours qui soient résistants, donc à moindres coûts avec des normes écologiques aussi bien sûr. Voilà un petit peu la mise en situation... vous savez maintenant qui vous êtes et pourquoi vous êtes ici. Maintenant vous allez écouter le cahier des charges, ça veut dire, ce que vous devrez faire exactement aujourd'hui : chaque équipe de recherche doit construire une maquette en papier de 1 mètre de haut.

E<sup>184</sup> : oh ! (*stupéfait*)

E : oulah... (*dubitatif*)

D : donc pour cela vous aurez donc à disposition que du papier journal (E : quoi !) et (E : du scotch) du scotch, mais ! On vous donne au départ 5 feuilles - mais vous pourrez en venir en chercher à tout moment, simplement- bien sûr vous êtes des scientifiques, ingénieurs, architectes, contemporains, en fin même un peu futuristes, hein, vu que c'est quand même, hein, dans une bonne dizaine d'années... il va falloir quand même faire attention de ne pas trop gaspiller et de réfléchir à des moyens économiques, hm donc plus écologiques. Mais attention, l'important c'est quand même de réussir à construire votre tour et qu'elle tienne debout, ça c'est quand même l'objectif numéro 1. Donc j'ai d'autres choses à vous dire, attention : vous n'avez pas le droit de fixer votre tour ou votre bâtiment sur/ avec du scotch sur la table, parce que votre tour bien sûr elle doit pouvoir s'adapter à différents terrains. Deuxième chose, Il y a plusieurs solutions possibles, hein, donc même si vous pouvez peut-être vous influencer parmi, peut-être il y aura des moments où vous allez regrouper les idées

---

<sup>184</sup> Les élèves n'ont pas tous été identifiés lors de la transcription générale, mais uniquement pour les passages ayant servi à l'analyse. Parfois, le nom de l'équipe à laquelle appartient l'élève (couleur) est mentionné entre parenthèses, s'il a pu être identifié d'emblée.

donc c'est possible qu'il y ait plusieurs idées possibles et qu'elles se combinent entre elles – tu gardes bien ta question – et puis chose importante, vous devrez vous présenter à plusieurs réunions générales, ça c'est très important, vous serez en recherche comme ça, et à des moments donnés vous entendrez « cling cling » (*fait sonner la clochette*) et ça ce sera vraiment l'appel pour la réunion générale – et je vous prie d'être à l'heure, hein, ça veut dire que dès que la cloche sonne, (pas comme moi, c'est ça que tu viens de dire ? hahahah) dès que la cloche sonne, bien sûr la réunion générale commence et puis vous allez voir ce qui se passe. Donc à la fin, vous aurez environ 1 heure. Là on a, il est 10h c'est juste ? (E : 10h11) et ben dis donc c'est le moment que je ... donc à peu près une heure pour faire ça et à la fin de l'heure on va tester les tours vos maquettes vont subir des tests. Pour l'instant je ne vous en dit pas plus, c'est une surprise enfin (E : on va les casser ?) mais attention, on va évaluer bien sûr ce que vous avez fait mais ce qui est très important pour le comité, que je représente avec ma chère collègue, scientifique aussi, c'est de savoir comment vous avez fait pour arriver à votre résultat, donc pendant que vous êtes en train de construire, garder bien en tête qu'il va falloir, en tant que scientifique, que vous soyez capable d'expliquer aux autres équipes scientifiques et au comité, comment vous vous êtes débrouillés, c'est très important- je précise- (E : y a aussi ça mh mh). Ah ben si vous voulez oui, vous pouvez dire le plus de chose à voix hautes, ça c'est très très bien mais vous vous laissez là au milieu, vous n'avez pas besoin de parler devant sinon on entend rien du tout, je vous dis tout de suite. Voilà. Est ce qu'il y a des questions ?

E : est-ce qu'on peut faire une plateforme en papier et le coller dessus?

D : c'est possible. Moi je pense que avant qu'on parle trop- nous aurons une réunion générale dans un peu près 10 minutes- et pendant ces 10 minutes, vous allez dans votre groupe- chose que je n'ai pas prévu... parce que souvent quand on fait en classe, il y a tout le matériel... c'est des crayons. Est-ce que j'oserais vous demander d'aller chercher des crayons... juste 5 ça suffit). Donc pendant ces 10 minutes, je vous donnerai le départ, vous allez vous concerter pour voir quelles sont vos idées et puis si vous notez des choses, vous dessinez, vous faites des schémas c'est après vos avis. Attention le départ (E : on n'a pas de crayon !) ben réfléchissez déjà ensemble avant de dessiner, on va venir vous en amener –*clochette* - ça y est la séance est ouverte (E : déjà ?) Non non non non, elle commence, elle commence !

[T2 : Travail en groupe. Recherche sans matériel]

### **T3 : « Réunion générale ». Mise en commun**

D : asseyez-vous, asseyez-vous, posez vos crayons... On va commencer une réunion générale. Alors ce que j'ai besoin de savoir, il y a plus de craie hm hm, bon avec ça. Ha ha ha.

E : à part ça on a de bonnes idées

D : oui alors dans chaque groupe il y a de bonnes idées. Moi je ne sais pas si elles fonctionnent ou pas mais en tout cas ce qui est bien c'est qu'il y en a, et ça c'est bon. Par contre, quand vous avez réfléchi à ce que vous deviez faire, j'imagine que vous avez bien vu qu'il y allait avoir des problèmes, des difficultés, c'est quoi que vous avez identifié comme difficultés dans la tâche qui vous est demandée aujourd'hui ?

E (bleu) : ben quelque chose de stable

D : quelque chose de stable, donc une stabilité dans...euh... bah justement comment on faire pour avoir, obtenir de la stabilité ?

E : ben ça doit être du même poids partout

D : alors ça peut être une histoire d'équilibre, ouais, équilibre de poids. Donc ça l'équilibre ça serait lié à quoi, comment on pourrait avoir l'équilibre – tu dis en, ouais tu as dis en poids, mais ça voudrait dire que c'est la construction ou c'est la quantité de matériel qu'on va utiliser ?

E (bleu) : le volume

E : la quantité... les deux ?

D : les deux (*écrit au tableau*)

E : (*inaudible*)

D : Non ? Tu n'étais pas d'accord toi ?

E : si

D : quantité de matériel et aussi bah la forme qu'on va donner à la construction. Ok. J'avais vu une main qui s'était levée tout à l'heure. Oui ?

E : euh c'est ce que vous avez écrit

D : tu voulais dire ça ok. Est ce qu'il y a autre chose qui vous paraît difficile dans ce que l'on vous demande ?

E (blanc) : La taille

D : la taille oui, la hauteur. La hauteur de 1 mètre pourquoi ça vous semble...

E (blanc) : ben c'est tout petit

D : c'est ?

E (blanc) : c'est beaucoup !

E (blanc) : 1 mètre ça va hein

D : c'est tout petit ? Ça te semble trop petit ? Si tu pouvais faire 2 mètres ça t'arrangerait ?

E : moi je trouve qu'1 mètre c'est pas trop petit

E : non et 2 mètres !

E : non c'est grand

*Brouhaha*

D : ok d'accord s'il vous plait, s'il vous plait, quoi d'autre ?

E (blanc) : on pourrait faire plus d'1 mètre ?

D : alors oui vous pouvez faire plus d'1 mètre, après c'est déjà pas évident, donc faudra bien évaluer les priorités. Qui a d'autres idées de difficultés ? Est-ce que vous en percevez d'autres ? Par exemple, (*prend le papier en main*) qu'est-ce qu'on peut dire là-dessus. Oui ?

E : euh une feuille normale c'est un peu plus dur

D : oui. Déjà on vous demande du papier journal. Chais pas qu'est-ce qu'il vous semble ce papier, peut-être que ça vous semble facile de faire quelque chose avec

E (vert) : bah c'est compliqué par ce que ça teint pas forcément, ça tombe directement, faut réussir à le faire tenir

D : pourquoi il tombe ?

E : bah parce que c'est léger, c'est souple.

D : c'est souple le papier. Ok. Alors matériel (*écrit*) : il est souple et léger. Et puis du coup comment le faire tenir debout pour qu'il soit suffisamment... comment on pourrait dire ? Oui ?

E (bleu) : lui faire beaucoup de cotés.

D : alors ça c'est les pistes. Ça c'est les problèmes et ça c'est les pistes. Alors effectivement on peut déjà commencer à proposer les pistes. Peut-être qu'il y aura certains groupes qui vont dire « ah mais euh on nous a pas demandé nos idées ... » sachez que, n'empêche, on est une communauté de scientifiques et que c'est vrai que vous travaillez par équipe mais les réunions générales servent aussi à ça, quelques fois à s'aider un peu mutuellement. C'est à vous de faire le choix de dire ce que vous voulez dire ou pas dire mais, en tout cas, nous on vous encourage – je dis « nous » en tant que comité scientifique ahahah – ! Alors qu'est-ce que tu avais dit, sur les côtés, il fallait...

E : plusieurs côtés il a dit

E : il fallait plusieurs côtés pour que ça tienne

D : plusieurs côtés, si on fait tout droit comme ça, ça ne fonctionne pas donc faire des côtés. C'est ça ? Vous me dites si je comprends mal ? Quoi d'autre comme pistes, comme idées par rapport à la hauteur par exemple ?

E (blanc) : c'est pas rapport à la hauteur mais comme piste on peut mettre une plateforme en-dessous et le scotcher.

D : il y avait cette idée de plateforme. Alors la plateforme elle servirait à quoi ?

E : pour pas que ça tombe, pour que ça tienne

E : pour équilibrer ?

D : mais la plateforme si je comprends bien c'est ce qui est à même le sol ?

E : voilà

D : c'est juste hein,

E : comme ça on colle dessus

D : voilà donc en fait ça pourrait créer – comment dire- une base solide. Ok.

E : oui

D : une base solide. Ça c'est intéressant. A voir quelle forme on donne, hein, on sait pas. Quoi d'autre ? Vous avez d'autres pistes déjà ?

E : si on fait une tour fermée on peut mettre, on peut tourner le journal et mettre- comment dire- une barre de journal dedans, comme ça, ça tient



D : donc toi ça serait de trouver de mettre comme une structure intérieure pour que ça tienne. Dis donc t'as pas mal d'idée (*écrit*). Alors à voir quelle forme on donne, peut-être, j'ai pas très bien compris à quoi ça pourrait ressembler, mais là aussi je pense que là, il y a de quoi réfléchir aussi. Encore d'autres choses? Par exemple ce papier-là, qui est souple, qui est léger, qui est mou mais ça serait quoi la piste pour le rendre solide, lui-même, sans même penser à la forme que pourrait avoir votre tour, qu'est-ce qu'on pourrait faire ?

E (rouge) : bah mettre du scotch

D : alors peut-être (*écrit*) Donc le scotch ça pourrait permettre de solidifier. Oui ?

E : mettre plusieurs couches

D : plusieurs couches, ça, ça pourrait aussi. Alors dans toutes vos pistes, c'est sûr que c'est des bonnes pistes, parce que déjà vous en avez. Après tout ça, ça reste à voir avec quand vous devrez commencer à construire, hein. C'est toutes des pistes ça, ça veut dire qu'il faut- comme des hypothèses- il faudra après les vérifier. Oui ?

E (vert) : là faudrait mettre des poutres un peu

D : des poutres, par exemple. Donc toi ça serait, une structure mais qui soit... ça serait à l'intérieur ou à l'extérieur du coup ?

E (vert) : à l'intérieur

D : aussi à l'intérieur. Alors toi tu parlais de poutres ou autre chose. Bah aussi la structure extérieur, vous aviez parlé de murs, de côtés, peut-être que ça peut être une solution. Donc moi je pense que la réunion générale là c'est bon, on a donné, maintenant vous pouvez retourner dans vos groupes de recherche. Je vais vous distribuer le matériel, je vous donne le papier en premier, vous avez chacun le même nombre de feuille, hein c'est 5 feuilles. Je précise que je devrai récupérer vos projets par écrit, c'est important, ne partez pas avec. (À l'enseignant) je ne sais pas pourquoi ils partent avec !

[T4 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, début des constructions]

### **T3 suite : « Réunion générale ». Précisions des consignes**

D : (*fait sonner la clochette*) asseyez-vous ! J'ai une petite indication à vous donner... (*fait sonner la clochette une deuxième fois*). S'il vous plaît ! Quand la cloche sonne, s'il vous plaît, il faut vraiment poser le matériel, c'est la règle, merci, bravo. Alors ici c'est les couleurs de vos groupes. Je vais commencer à noter, donc si vous avez besoin de plus de papier ou plus de scotch, hein vous pouvez en prendre autant que vous voulez mais penser aussi à être économe -petite indication, c'est que, ce n'est pas forcément en mettant plus, qu'on arrive à mieux, voilà, c'est la seule chose que je vous dirais là-dessus. Et puis on va faire pour les groupes, on va faire simple : vous êtes le groupe rouge, bleu, vert, jaune et blanc. Donc, si vous avez besoin de plus de papier, c'est un par groupe, vous venez ici à l'entrée vous annoncez la couleur de votre groupe et le nombre de papier ou de scotch qu'il vous faut : une bande de scotch ou une feuille de papier, ou 3 feuilles de papier, ok ?

E : il y a droit aux ciseaux ?

D : non

[T4 suite : travail en groupe. Recherche avec matériel]

### **T5 : « Réunion générale ». Mise en commun**

D : (*fait sonner la clochette*) réunion générale ! Je vous prierais de poser toutes vos affaires. Au début on en a pas du tout envie, on a pas envie d'être sortis de notre activité, vous êtes en pleins dedans comme tu dis, sauf que, quelques fois un peu de recul fait toujours du bien, et fait toujours du bien, soit pour mettre en commun nos difficultés ou nos bonnes idées, soit tout simplement pour regarder ce que l'on a fait sans forcément être plongé dans l'activité. Par rapport aux problèmes -je ne vais pas vous retenir trop longtemps, hein, chers scientifiques je sais que vous êtes aussi très à l'aise lorsque vous êtes en action – mais, par rapport à toutes les choses qu'on avait vues au départ, les problèmes, est ce qu'il y a autre chose qui sont apparues? Est ce qu'il y a des nouvelles choses qui sont venues vous embêter dans la réalisation de vos idées ?

(*Silence général*)

E (blanc) : non, pas spécialement

D : non rien de nouveau ? Pas de nouvelles ou mauvaises surprises en tout cas ?

E (blanc) : des problèmes non

D : pas de problème. Par contre dans les pistes est ce qu'il y a des nouvelles choses ? Oui ?

E (blanc) : bah en fait pour faire exactement 1 mètre avec les rouleaux de papier, on les a emboîtés

D : donc c'était une piste pour la hauteur : ça serait « emboîter des .. » mais d'ailleurs ça c'est une chose qui dans les pistes n'avait pas été dite et je vois que chaque groupe est parti dans cette idée-là, plus ou moins différemment hein, de faire avec ce papier des sortes de rouleaux (*note au tableau*). Vous avez eu chacun votre petit secret de fabrication mais vous êtes quand même tous partis dans la même idée par contre j'ai l'impression que vous avez des idées différentes pour les assembler entre eux tous ces rouleaux, ça c'est une chose et puis il y a un autre groupe (*groupe vert*) qui avait essayé une façon différente de faire avec le papier, là-bas, tout au début, est ce que vous pouvez juste nous expliquer pourquoi euh, ce que vous allez faire de ça ? Donc là c'est, on pourrait dire des boules ?

E (vert) : de papier

D : des boules chiffonnées ?

E (vert) : oui. Avec du scotch et puis euh à chaque fois on mettait moins de boule et puis ça faisait une pyramide.

D : mhhh, vous auriez construit ouais, c'était une piste aussi oui, et pourquoi vous avez l'abandonné déjà ?

E (vert) : bah ça collait pas.

D : vous n'arriviez pas à faire tenir toutes les boules ensemble, ok.

E (blanc) : peut-être il en faudrait beaucoup pour 1 mètre aussi

D : peut-être que là un deuxième problème aurait été effectivement la quantité qui l'en fallait pour faire 1 mètre, oui, deuxième chose importante. Est ce qu'il y a d'autres choses...

(Silence)

E : non

D : moi j'aimerais savoir si par rapport à votre idée de départ, est ce qu'il y a eu beaucoup de changements, est ce qu'il y a des abandons d'idées, des nouvelles idées, comment ça se transforme dans le groupe. Peut-être qu'on va commencer par le groupe rouge.

E (rouge) : nous on a juste modifié, rajouté ça pour que ça tienne

D : c'est quoi ça ? Tu appellerais ça comment ?

E (rouge) : des protections

D : des protections ?

E (rouge) : pour pas que ça tombe

D : des protections pour pas que ça tombe...des... peut-être des renforts on pourrait dire, hein ? Protections c'est plus contre le vent ou contre les tsunamis ou je ne sais pas. Mais les renforts c'est vraiment l'histoire pour que ça tienne debout. Le mot renfort je crois qu'il est important, on va le mettre (*note au tableau*) renfort des côtés. Et comment vous avez eu l'idée de ça c'est en faisant que vous vous êtes rendu compte que ça ne tenait pas?

E (rouge) : ouais, ça penchait un peu

D : hm, d'accord. Et puis le groupe du fond là-bas (*groupe bleu*), vous aviez une idée de départ, est ce que c'est la même que sur le papier que vous aviez dessiné ?

E (bleu) : moi j'avais dit de prendre ça et puis de le mettre ici comme ça ferait plus d'économie et puis ça tombera pas mais eux ils veulent en mettre absolument trois (*brouhaha*)

D : pour assurer de la stabilité donc là dans votre groupe visiblement vous êtes – chut vous parlez trop dans les réunions, là c'est le groupe bleu qui parle- si vous avez de la peine à vous concilier dans le groupe il faut pouvoir amener des arguments. Donc toi tu aimerais, ton argument ça serait d'économiser du matériel...

E (bleu) : oui en le mettant ici et puis ça fait peu (*inaudible*)

D : Voilà. Et puis l'argument de ton collègue scientifique, c'est...

E (bleu) : de tous mes collègues

D : de tous les collègues, c'est que ce soit plus solide, c'est ça ?

E (bleu) : oui

D : ça assure plus de...

E (bleu) : quand on met ici, ça pourrait tomber ici

E (bleu) : ben non celui-là il le tiendrait

D : mais qu'est ce qui se passe avec votre collègue vers la gauche... il est pas très motivé ?

E (bleu) : il a rien compris depuis le début

E (bleu) : il est juste négatif

D : même avec les explications de tes camarades, non ça n'a rien changé ?

E (bleu) : non t'es un bâtard (*taquin*)

D : ok quelques problèmes d'intégration alors au groupe de chercheurs... Alors rien ne t'empêche de rejoindre tes collègues à la fin s'ils te donnent une tâche précise, pas de problème. Pour le groupe jaune par rapport à vos idées de départ, est ce que ça s'est transformé, est ce que c'est la même idée de départ ? Vous pouvez expliquer un peu, vous vous rappelez que la consigne c'est non seulement de construire quelque chose mais aussi d'être capable de dire comment vous procédez.

E (jaune) : ben en fait au début on voulait faire plus petit. Mais en fait il est trop petit.

D : plus petit ?

E (jaune) : ben en fait on voulait partir de (*inaudible*) mais c'est trop petit donc on allait prendre trop de temps

D : vous auriez construit en plus petit ?

E (jaune) : oui

D : mais comment vous auriez fait pour avoir 1 mètre ?

E (jaune) : ben en fait, non en fait on aurait fait des petites poutres comme ça...

D : vous vous seriez arrêté là ? Vous n'auriez pas fait un mètre, c'est ça ?

E (jaune) : si

D : ah si ? Mais comment alors, il faut que vous m'expliquiez?

E (jaune) : ben on aurait fait plusieurs poutres comme ça (*mime des étages supplémentaires*)

D : oui

E (jaune) : et on serait arrivé à un mètre

D : vous seriez arrivé à un mètre. Oui mais vous savez de quelle manière vous les auriez assemblés pour arriver à un mètre ? Vous ne savez pas encore.

E (jaune) : ben en fait on avait fait comme ça, après on allait mettre une feuille dessus et puis...

D : mmhh

E (jaune) : sauf que ça allait prendre du temps

D : sauf que ça allait prendre du temps, donc c'est quoi que vous avez...vous avez vu que ça prenait plus de temps que ce que vous vouliez donc qu'elle est votre solution ?

E (jaune) : donc du coup ce que l'on va faire, c'est que l'on va rajouter ça (*des plus grands tubes de papier*) avec.

D : vous allez rajouter, vous savez déjà comment vous allez rajouter ?

E (jaune) : non

D : pas encore, ok, donc ça c'est la prochaine phase (...) Le groupe blanc?

E (blanc) : ça va

D : ça va ?

E (blanc) : ça avance

D : par rapport à votre idée de départ est ce qu'il y a de grands changements ?

E (blanc) : non

D : non ? Bon moi sur papier par exemple je vois des choses différentes, alors qu'est-ce que vous avez gardé par exemple de votre idée de départ, moi je ne le vois pas ?

E (blanc) : on a gardé les grosses poutres

D : oui

E (blanc) : et la plateforme on va la fabriquer en entier

D : d'accord, ah vous avez quand même utilisé deux bases de poutres en hauteur

E (blanc) : ça on n'est pas sûr

D : vous n'êtes pas sûr encore, d'accord. Et le dernier groupe jaune, s'il vous plaît ? Par rapport à votre idée de départ, est-ce qu'il y a eu des changements ?

E (blanc) : non pas trop

D : pas trop ?

E (blanc) : bah en fait on a commencé ça après on a fait ça et après on a fait

D : voilà c'est juste, vous aviez eu l'idée de boules, de pyramides entre deux qui est venue « et si on faisait » et puis finalement vous avez abandonné et vous êtes revenu à votre idée de départ. C'est ça ?

E (blanc) : hm hm

D : ok, et tout ça dans vos groupes c'est parce que vous en discutez ensemble ou est-ce que ça vous semble évident quand vous avez le papier sous les mains ?

E (blanc) : ben un peu les deux, je dirais.

E (blanc) : oui, les deux

D : alors la séance est terminée vous avez encore 10 dernières minutes, 10 minutes, oui, pas plus, 10 dernières minutes pour concevoir votre structure.

[T6 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, fin des constructions]

### **T7 : « Réunions générale ». Tests des tours et analyse des résultats**

D : les équipes ont très très bien travaillé, toutes. Malgré quelques petites difficultés que certains groupes ont rencontrées quelques fois, que ce soit d'organisation, que chacun est bien son rôle, ou alors des changements de pistes, qui fait qu'à la fin on a peut-être pas le temps de finir. En tout cas ce qui est important, là maintenant, c'est de voir si nous avons réussi à trouver des solutions. Alors il y a peut-être des équipes qui ont des idées qui fonctionnent mieux que les autres mais ce qui est important c'est de savoir, au total, quels sont tous les points positifs de chaque tour. Donc on va faire les tests et évaluer les points positifs et négatifs. Alors on va commencer par le groupe rouge. Alors, premier point : votre structure tient debout, félicitations, deuxième chose : mesure t'elle 1 mètre ? Oh oui ! 1 mètre tout

juste, bravo ! Maintenant nous avons le test n° 1 qui est le test du tremblement de terre attention (*branle la table*)! Je ne sais pas à combien ça représente sur l'échelle de Richter mais... a un moment donné... ça peut s'agiter beaucoup beaucoup, bravo franchement. Applaudissements. Ensuite, nous allons voir : le test de l'ouragan

(*Excitation générale*)

D : en cas d'ouragan force 1 qu'est-ce que nous avons, on va voir (*enclenche sèche-cheveux*) ok bouge un tout petit peu mais alors elle a l'air bien stable. Maintenant ouragan force 2, nous allons voir. Ouh !

E : olé !

D : alors attention, ouragan force 2 je crois qu'il y a 1 côté qui ne supporte pas (*la tour bascule*). Ouais le côté ici est moins... mais on va féliciter quand même !

E (bleu) : c'est normal parce que il y a le journal qui se lève de ce côté

E (rouge) : non c'est pas ça c'est que c'est moins haut

E : ouais

D : ah, alors ça on va voir. On va essayer juste pour voir qui a raison.

E (bleu) : vous voyez il y a le journal qui se lève

D : alors c'est de ce côté et de ce côté. Qui est-ce qui a une idée, qui pourrait dire... déjà le groupe concerné oui, vas-y

E (rouge) : parce que là normalement ça devrait être comme ça et là ça tient comme ça

D : toi tu penses que ça devrait être plus... plus quoi ?

E : ça, je me disais que ça devrait être plus long (*un des tubes servant de contrefort*)

D : plus long. Un peu petit peu plus long celui-là. Une autre idée qui puisse faire que dans le test ouragan force 2 il soit plus résistant ?

E : la poutre, il faut qu'elles soient toutes à la même hauteur

D : alors regardez là, il y a des poutres à différentes hauteurs, ici, ici et là tu dis elle est trop basse ?

E : ouais

D : donc elle trop courte, toi tu disais elle est trop courte. Il y a encore autre chose, hein. Moi à mon avis. Qu'est-ce que cette poutre a de différent par rapport aux autres ? Oui ?

E (rouge) : non mais c'est pas ça mais ...

D : alors peut-être que la structure elle est plus, oui, regardez, si on la tourne, elle est plus mince de certains côtés que d'autres elle est plus large. Est-ce que par hasard, c'est serait parce que quand est plus large, il y a plus de prises au vent et le vent peut bien plus appuyer, ça c'est possible, ça c'est d'autres choses à réfléchir. Alors qu'est ce qui pourrait être fait en conséquence ?

E (bleu) : ben le faire plus gros

D : plus gros ? Ben on augmenterait la prise au vent. Si on augmente la surface où le vent il peut appuyer dessus... faudrait voir, à mon avis ça augmenterait la prise au vent. Mais regarder celui-là, la différence avec celui-là et celui-là

E (bleu) : un il est plus épais en bas.

D : alors il est plus court, il est bas mais regarder l'angle. Oui ?

E : celui-là il est plus écarté que celui-là

D : exactement, celui-là il est bien plus écarté du centre que celui-là. Celui-là il est très rapproché du centre. Alors effectivement regardez, quand on se met debout... viens voir pousse moi. Vas-y fort, tu me fais tomber ! Voilà maintenant vas-y, j'écarte mieux mes « poutres », vas-y

E : aha !

E : ehh !

D : ça je pense que c'est ça qu'il faudrait revoir. Refaire effectivement un pilier la même hauteur mais surtout penser à l'angle, à agrandir la base, alors. On va revenir sur cette idée après mais on va surtout noter : on a découvert la prise au vent, donc attention au diamètre, pas trop large et la 2<sup>ème</sup> chose c'est vous aviez appelé ça des... pas des protections des...

E : renforts

D : renforts. Qu'est-ce que vous pensez du mot pilier ? Ça pourrait être pas mal parce que les piliers dans l'idée qu'ils sont...

E : (*inaudible*)

D : voilà ils sont écartés, donc les renforts, il faut qu'ils soient –qu'est-ce qu'on avait dit-angle, attention à l'angle et puis... Qu'est-ce qu'on fait en fait quand on agrandit l'angle, quand on sépare les piliers, on fait quoi en fait ?

E : on renforce encore plus

D : On renforce parce qu'on agrandi la basse. La base elle est plus large, on élargit la base par rapport à ce que j'ai en haut, ok ? Donc on agrandi la base pour renforcer, ouais. Ok- j'ai pris un peu trop de place pour écrire les ...- euh est ce que vous voulez nous dire 2 mots encore sur la façon dont vous avez procédé dans votre groupe, le temps que vous avez pris pour discuter, réfléchir, tester, mesurer. Oui ?

E : ben on a commencé par faire des rouleaux

D : oui

E : 4 rouleaux

D : 4 rouleaux

E : les a entourés avec du papier journal

D : ils sont où vos rouleaux ?

E : dedans

D : aha ! 4 rouleaux réunis par 1 feuille. C'est pour ça que c'est si solide ! D'accord, ouais !

E : là on en a rajouté...

D : il y en a qu'une

E : non là il y en a deux

D : oui

E : et après on a fait...

D : après vous avez fait comme vous aviez expliqué. Moi j'ai une toute petite question : si toutefois maintenant vous devriez commencer à construire une tour, qui soit très solide, et qu'elle puisse en plus porter des panneaux solaires (*prend un livre dans la main*), vous pensez que ça serait suffisamment solide ?

E : non

E : non

D : on va voir, on va voir

E : peut-être

E : ouh !

E: mahh

E : ouais non

E: non

E: ouais parce que...

E: ils sont un peu grands les panneaux solaires, je trouve

E : ouais ils sont peu grands ouais de pense

D : ah ben...

(*Applaudissements*)

D : effectivement je ne pense pas qu'il supporterait des tests en plus. Alors qu'est-ce qu'on retient qu'il faudrait améliorer ?

E : l'angle

D : l'élargissement de la base, l'angle des piliers, des renforts. Et puis alors pour la prise au vent, je ne sais pas, il faudrait faire des essais, voir si- peut-être qu'avec une très bonne bases solide, on est tranquille la prise au vent passe aussi, à voir. On va rajouter le point subsidiaire : panneau solaire. Maintenant le groupe bleu !

E : mais là c'est quoi les tests là ?

D : ah oui vous avez raison, donc, tremblement de terre

E : le 1, le 2 mais pas le 3

D : ouragan oui mais pas celui-là par contre (*panneau solaire*)

E : cool ! ça va bien

D : Les bleus nous avons : 1 mètre exactement. Félicitations (*applaudissements*)

E : Emilie calme toi

D : elle tient debout. On a le droit d'exprimer sa joie, on a le droit d'exprimer sa joie !

E : ah

E : ahahaha

D : et le premier test. Vous avez déjà fait des tests préliminaires peut-être ?



E : euh oui un tout petit peu, on a fait moi et Pedro

D : alors tremblement de terre assez gentil. Vous connaissez un peu l'échelle de Richter ?

E : oui

D : là vous pensez qu'on serait à combien

E : 2

E : 3

D : on ose aller jusqu'à 6, 9 ? Bon voilà, c'est bon !

*(Applaudissements)*

E (bleu) : tu portes bonheur mec

E (bleu) : il fout rien

E (bleu) : attention !

*Enclenche le sèche-cheveux*

D : force 2. Dans ce sens-là pas de souci, mais...

*(Applaudissements)*

D : alors toi qu'est-ce que tu suggères, c'est de bouger celui-là et de le mettre... ?

E : un petit peu plus écarté

D : oui c'est intéressant parce que dans ce sens-là il y a aucun souci même avec la main, on arrive à la faire tomber, par contre dans ce sens-là effectivement il en manque un bout, nettement. Et là dans l'autre sens aussi.

E : oh mais vous l'avez cassé

D : ah mais ça c'est le restaurant tournant tout en haut, non ?

E : non mais vous l'avez cassé, et ça ne pourra plus tenir pour les panneaux solaires...

D : ah mais je pense que si j'ai fait tomber juste en touchant comme ça il n'aurait pas... enfin on va essayer avec les panneaux solaires. Mais c'est vrai que je pense c'est encore différent, hein, ce qu'il a dit, c'est que ce n'est pas ni la hauteur ni l'angle, parce que c'est le même ici que ici, c'est l'endroit où on pose le pied. Donc par exemple – bon moi je n'ai pas trois pieds, c'est ça le problème, mais imaginons, euh on pourrait faire ça comme ça, voilà

E : je peux le faire moi ?

D : vas-y, vas-y, vas-y, fais-moi tomber de côté

E : euh comme ça ?

D : ouais ouais. Non non vas-y, hein, plus fort ! Ok maintenant si mes piliers, ils ont le même angle, hein, identique, mais cette fois-ci je fais attention d'en mettre un vraiment très très reparti, vas-y essaye ! Voilà bon ça sera à tester maintenant avec vos tours

D : chut attention

E : panneau solaire. On va mettre sur une surface pleine

E : ouais !

*(Applaudissements)*

D : félicitations

D : alors on va se dépêcher un petit peu pour les autres groupes, en essayant de se focaliser sur (...) Donc vous, elle ne tient pas debout, ça, ça se voit par contre, si on -on va voir quand même- On est à 1 mètre et 4 centimètres, encore plus haut que les autres. Par contre vous, elle ne tient pas debout, quelles seraient les étapes pour que ça tienne ? Alors vous j'ai observé, vous avez passé par pleins d'étapes différentes, ça c'est très très positif dans une recherche, par ce que à des moments donnez vous avez su laisser tomber des pistes. Cette piste de la pyramide avec les boules, je pense qu'elle vous a pris un peu de temps, ça aurait pu être une idée qui fonctionnait, mais un moment donne, vous vous êtes dit non non non non et on le voit sur votre croquis, à un moment donnez vous avez su l'abandonner après vous êtes parti sur l'idée des poutres, l'idée des piliers mais vous vouliez faire des étages. Moi je ne comprends pas pourquoi vous avez abandonné cette idée

E : ça tenait pas

D : ça ne tenait pas... ça a été trop vite comme ça, ça n'arrêtait pas de bouger dans tous les sens, vous avez eu l'idée de réunir tous les piliers ensemble. Alors c'est vrai qu'on retrouve cette idée dans plusieurs autres mais là vous avez une base qui est extrêmement solide. Vous avez vu on dirait la position que j'ai fait au sol. Donc à mon avis la si vous construisez sur une base solide comme ça, là on a vraiment de quoi faire. Ah et puis on a oublié aussi de comparer un petit peu les différentes utilisations du papier – on a plus beaucoup de temps – donc ma fois les autres tests à mon avis ne le supporte pas mais qu'est-ce que vous pourriez améliorer vous ? Est-ce que vous gardez des pistes, est-ce que vous changez tout ?

E : ça c'est bon

D : donc ça vous garderez cette base-là solide et ensuite comment vous faites là-haut alors ?

E : ben en fait le problème là c'est qu'on n'arrêtait pas de chiffonner... on voulait pas jeter

D : ah vous avez essayé d'économiser. Et une fois que le papier était chiffonné, c'est vrai qu'avec ça on ne peut pas faire grand-chose, à mon avis même pas à faire un rouleau qui se tienne, hein. Non on n'arrive pas : ça c'est un problème du papier, effectivement, à force d'être tripoté le papier il perd de ses qualités. On arrive plus à le rendre solide. Alors on va juste noter ça, pour s'en rappeler parce que l'on va se revoir une deuxième fois et il ne faut surtout pas qu'on oublie tout ça pour la deuxième fois

E : quand ça ?

D : je vous dirais. Comment on pourrait dire : attention le matériel perd de sa...

E : valeur

D : valeur si on le chiffonne trop. On peut le chiffonner mais en tout cas si on veut faire des rouleaux on ne peut pas chiffonner avant. Ok. Le groupe blanc : oh vous êtes quasi à un mètre, ouais 99 centimètres quasi 1 mètre mais bon, la franchement on y est presque, on y est et puis – ah vous la avez pliée c'est ça la fin ? D'accord, donc on va voir. Premier test du tremblement de terre 1,2

E : ça va tenir

D : 4, 6, 8

E : ouais !

*(Applaudissements)*

D : il me faut l'ouragan, il me faut l'ouragan.

E : ouais !

D : il faut que vous me donniez l'heure parce que...

E : il est 13h33

E : 34

E : 35

D : je peux encore vous prendre encore 1 minute, vous êtes d'accord, tous d'accord ? Ou il y en a qui doivent partir à ce moment, juste le temps de finir les tests ?

E : non c'est bon

E : le 1 ça tient, le 2 ça tient

E : ouais c'est de la bombe

D : alors, elle ne bronche pas (force 2). Là il y a des irrégularités du bureau

E : ouais !

D : attendez attendez !

*(Applaudissements)*

E : nous on est allé au 3.

D : le test est le même c'est le test 3 mais c'est la force 2 de l'ouragan. Donc lui, il a aussi ses petites faiblesses suivant dans quel angle arrive le vent, donc effectivement on pourrait voir sur quelles régions arrive le vent, plutôt sud-est, bon d'accord, mais si on veut l'adapter à toutes sortes de vent, qu'est-ce qu'il vous faut en plus ?

E : encore 2, une ici et une poutre ici

D : ou alors si vous garder l'idée des trois pieds, qui sont à mon avis les trois minimum à avoir, deux ça suffit pas mais trois je pense que ça peut suffire, qu'est-ce qu'il faudrait faire par rapport à ce qu'on a dit ? Agrandir la base, peut-être, hein, force l'angle ce qui fait que peut-être rien qu'avec trois pieds ça peut tenir : moi je pense que ça, ça pourrait le faire, il faudrait le tester

E : c'est quoi le test

D : et puis...ah le test du...

E : panneau solaire !ah

E : bonne chance

E : bonne chance

E : là ça va mourir

E : là ça va tenir peut-être

E : non ça va mourir

E : c'est mort

E : non ça tient

E : ouais !

*(Applaudissements)*

D : bravo vous avez aussi gagné un point la dessus. Donc vous, comme amélioration possible, c'est cette histoire d'essayer avec trois pieds quand même et de grandir l'angle, est ce qu'il y aurait autre chose ? Est-ce que vous vous êtes dit non ça il ne faudrait vraiment pas qu'on refasse la même chose on a perdu du temps, ou...

E : mais juste les panneaux solaires, ça tient ? Parce qu'il y a les trois poutres qui remontent, elles se rejoignent en haut

D : ah, c'est les mêmes !

E : bah oui

D : ah c'est du solide je comprends sinon ça se serait plier à cet endroit-là. Comme elles ont retrouve cette difficulté, donc en fait c'est un prolongement des piliers

E : on en a mis 2 en 1

E : une on a scotché et ça se pliait à l'endroit

D : oui très très bien. Alors le dernier groupe, le groupe vert

E : bon c'est le plus économique, mais...

E : économique ?

E : ben oui elles ont utilisé que 4 scotchs et c'est tout

D : seulement ! Seulement 4 scotchs vous avez réussi à faire quelque chose qui tienne debout, de 1 mètre de haut, avec que ça ?

E : mh mhm

D : bravo. Peut-être qu'elle ne tient pas les tests... 2, 3, 4, 5, 6 !

*(Applaudissements)*

E : calme-toi

E : calme ta joie

D : alors en fait c'est parce que les autres – je vous dis tout de suite- les autres réussissent moins bien les tests, arrivent moins aux résultats que vous arrivez mieux, ça change absolument rien à votre résultat, par contre ça casse beaucoup l'énergie d'une communauté que ce soit élèves ou chercheurs...

E : ben oui parce que après ils sont tristes

D : vous ne gagnez pas des points parce qu'eux perdent... Il y a même pas des histoires de points, on essaye de voir les points forts. Alors vous parlez-moi de votre travail, vous votre point fort, c'est l'économie. Moi je suis sûre qu'avec les trois bonnes idées dans les autres groupes avec si peu de papier on arrive aussi il faudrait essayer, ça ça reste à voir. Ça c'est votre point fort, quoi d'autre encore ? Vous vous avez aussi eu l'idée d'avoir roulé le papier et

puis là vous avez des petites structures intermédiaires qui permettent de... est ce que c'est pas plutôt pour faire joli ?

E (vert): ça tient ici

D : ça tient les 2

E (jaune) : par contre la boule qu'ils ont fait ça sert à rien

D : ben ça vous avez vu le papier vous vous êtes dit faut bien que ça soit joli... pour renforcer la base, c'est ça ?

E : ouais

D : bon ,on a pris assez de temps en plus, la maintenant ça va être l'heure de manger, ce que j'aimerais bien que vous fassiez pour la prochaine fois c'est – il n'y a pas encore de date fixe, si si si c'est en mars, le 19 mars je crois bien, on va, je vous en dit pas plus, mais il faut que vous vous rappeliez bien quels ont été les points forts de chacune de vos constructions et aussi la façon dont vous vous êtes organisés dans le groupe. Moi je pense qu'il y a certains groupes, ils ont pas fait travailler tout le monde assez, par exemple il y a certains membres du groupes qui n'ont pas été assez solliciter, hein ? Donc il y a des choses à revoir à ce niveau-là. Pensez bien à toutes les bonnes idées, car la prochaine fois on va probablement reprendre ces idées pour essayer tous ensemble construire une tour de...

E : 2 mètres

D : peut-être 2 mètres, à voir...

## 9.4 Annexe 4 Transcription des temps de travail en groupe de l'équipe Bleu Mac

[T1 : Plénière. Mise en situation de défi et consignes]

### T2 : Travail en groupe. Recherche sans matériel

*10min45sec*

E.Bleu1 j'ai une idée !

E.Bleu2 on a tous à peu près une idée !

E.Bleu3 un building !

E.Bleu4 ouais on va tous faire un building !

E.Bleu1 euh pas moi

E.Bleu2 non pas moi...

E.Bleu3 non on peut faire la tour Eiffel !

E.Bleu1 la tour Eiffel !

E.Bleu3 non c'est trop dur après il faut faire des petits trous partout

E.Bleu2 comme ça hop pis après sa continue comme ça... pour avoir des appuis

E.Bleu1 euh tu parles de la tour Eiffel là !

E.Bleu3 mais les immeubles ils ne sont jamais comme ça !

E.Bleu4 faut faire un truc original ! Genre une tour comme ça tu fais tac tac tac (*dessine*) !

E.Bleu2 ça va pas être solide

E.Bleu1 oh regarde ! un tube voilà, de 1 mètre, une règle !

E.Bleu3 mais imagine des personnes dedans // il faut qu'on puisse monter/ après tu dois tourner après tu dois tourner comme ça, comment tu montes après ? //un assesseur ?

*3 secondes de silence*

E.Bleu4 et toi c'est quoi ton idée ?

E.Bleu3 ben je sais pas un building

E.Bleu1 la tour Eiffel ?

E.Bleu4 un building...mais c'est tous des buildings ! / Il faut faire un truc original

E.Bleu3 ah l'école !

E.Bleu2 (*rires*) l'école !

E.Bleu4 ok si tu veux on...

E.Bleu2 non un souterrain ! un souterrain !

E.Bleu1 une grotte

E.Bleu3 non ça c'est un truc de sans abri j'ai pas envie d'être paumé !

E.Bleu2 (*rires*) non mais je veux dire un immeuble, en dessous// du sol// comme ça il serait protégé partout (*dessine*)

E.Bleu3 ben non

*3 secondes de silence*

E.Bleu3 moi je sais pas

E.Bleu1 on fait comme ça, on fait la règle

E.Bleu4 non mais c'est une bonne idée ce que t'as fait comme ça / sauf qu'il faut rajouter quelque chose

E.Bleu1 de un mètre

E.Bleu4 ...pis après on met un truc comme ça en papier avec du scotch pour que ça tienne bien

E.Bleu3 on prend un petit bout de papier, on fait un cure dent, après on fait un autre cure dent, après on fait un autre cure dent, etc.

E.Bleu1 regarde ce qu'ils ont fait eux !

E.Bleu4 pourquoi un cure dent !

E.Bleu3 et après tu fais l'antenne !

*6 secondes de silence, regarde les autres groupes*

E.Bleu2 alors, Kim il dit qu'il faudrait faire...

*12min30sec*

E.Bleu4 il faut faire le truc comme il a dit, parce que c'est une bonne idée comme ça ça fait un appui et ça va de plus en plus haut

E.Bleu3 non !

E.Bleu1 ok alors on fait ça on fait ça ! (*impatient*) qui vote pour ça ?

E.Bleu3 oui mais sauf en carré, toi t'as dit comme ça

E.Bleu2 oui mais comme ça

E.Bleu4 non il a dit comme ça

E.Bleu2 non comme ça, parce que c'est un meilleur appui /// je voulais dire que c'est un meilleur appui parce que...passez-moi le crayon et la feuille/ je peux juste dessiner ?

E.Bleu3 non attends tu voulais dire un truc comme ça (*dessine*)

E.Bleu1 style arbre ?

E.Bleu2 euh, volcan !

E.Bleu3 volcan...

E.Bleu2 comme ça mais euh (*dessine*)... parce que comme ça c'est mieux, si par exemple quelque chose vient par-là // y a un appui par ici

E.Bleu3 euh c'est pas du tout ce que...

E.Bleu2 et si c'est carré

E.Bleu3 ouais mais nous on parle de ça

E.Bleu2 oui mais si c'est carré/ ça bascule

E.Bleu3 oui oui mais alors qui veut faire ça ?

*13min20sec*

*3 secondes de silence*

E.Bleu4 pour quoi ça devrait basculer ?

E.Bleu2 tu vois parce que s'il y a du vent...tu as déjà mis un truc qui tient comme ça...

E.Bleu1 quelqu'un sent le vent ici !?

E.Bleu2 il y a du vent, pam, et ça tombe!

E.Bleu1 mais ils ne vont pas tester du vent, si on fait un truc ils ne vont pas le casser !

E.Bleu4 mais non mais...comme ça, ça va marcher / comme ça regarde, tac tac tac...

E.Bleu1 ouais qui vote pour ça ?

E.Bleu2 aussi on pourrait mettre des petits appuis

E.Bleu4 ouais moi je parlais des appuis comme ça regarde (*dessine*)

E.Bleu3 ah un gâteau ?

*Rires*

E.Bleu1 et des petites antennes bougies !

E.Bleu4 on met des appuis genre... comme ça un peu partout tu vois...

E.Bleu1 non je sais ! je sais !

E.Bleu2 de chaque côté et après encore des petits appuis

E.Bleu1 ...après on a qu'à faire des cordes, des styles de cordes / qui tiennent

E.Bleu4 il faut juste tac avec des barrières qui descendent (*continue à dessiner et parler avec E2*) ///

E.Bleu1 oui qui vote pour ça ?

*13min50sec*

E.Bleu4 comme ça ça tient partout

E.Bleu3 tu sais qu'il faut faire ça avec du papier hein

*14min45sec*

*Dispersion en lien avec la caméra*

E.Bleu1 bon on fait quoi alors ! on fait quoi ?

E.Bleu2 on va faire une maison avec des appuis-barrières

E.Bleu3 ou sinon on a qu'à faire une maison

*15min30*



*Intervention Delphine*

D : vous êtes déjà partis sur des idées ?

D : mais si vous deviez expliquer ?

E.Bleus : oui

E.Bleu2 oui moi j'ai eu l'idée de faire comme un volcan pour avoir un appui (...)

D : c'est l'idée que vous allez garder ?

E.bleu2 euh non. En fait c'est un peu pareil mais on rajoute des...

E.Bleu3 : comme ça

E.Bleu2 : comme ça

D : mmh...d'accord... et si vous deviez expliquer là ?

E.Bleu3 ben c'est une maison en forme de volcan avec des appuis de côtés

D : des appuis de côté ok, et qu'est-ce qu'elle a de spécial en bas votre bâtiment

E.Bleu3 ben il a la forme d'un volcan

D : ça veut dire quoi comme un volcan ?

E.Bleu2 c'est comme un volcan, euh... c'est un immeuble, ça veut dire qu'il a déjà une première couche (*montre le dessin*)

D : ah c'est un peu plus large en bas c'est ça ?

E.Bleu2 oui et si par exemple quelque chose arrive par-là, ça va prendre appui de l'autre côté

E.Bleu3 et après ici ça commence à serrer un petit peu plus

*16min30sec*

*Delphine repart ; les élèves continuent à imaginer à quoi ressemblera leur tour à partir du dessin*

E.Bleu3 eh ouais on fait une bouteille

E.Bleu2 mais ouais on fait un truc comme ça

*17min15sec*

Ens : ce qui intéresse c'est qu'elle tienne la tour pas à quoi elle ressemble...

E.Bleu3 ben oui on a mis des appuis là là là /// ben voilà on a finis là

E.Bleu2 un volcan en bouteille d'*ice tea*

E.Bleu3 de toute manière on s'en fiche du dessin

*18min*

*Dispersion jusqu'à la clochette annonçant la fin du T2*

[T3 : « Réunion générale ». Mise en commun]

**T4 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, début des constructions.**

23min30sec

E : (*inaudible*)

E.Bleu3 y a pas d'avalanche au centre-ville !

E.Bleu2 oui mais si on est en montagne

E.Bleu3 oui mais là on est pas en montagne

*Distribution matériel et dispersion*

25min

*Intervention Delphine pour dire que le temps est compté, qu'il n'est pas conseillé de lire le journal distribué !*

E.Bleu3 on coupe en deux !

E.Bleu4 mais il faut réfléchir comment on fait /

E.Bleu3 j'ai trouvé !

E.Bleu4 mais non on est peut-être pas obligé de couper !

E.Bleu3 ben si / si on coupe pas la moitié...après on en a plus !

*Dispersion lié aux journaux*

E.Bleu3 ceux qui sont découpés on les pose ici

*Dispersion lié aux journaux*

26min15sec

E.Bleu3 non mais fait pas comme ça ! // tu coupes un petit peu et tu fais ça (*montre*)

*Dispersion pendant 60 secondes*

E.Bleu4 maintenant il faut réfléchir comment on fait en fait ! /// (*Dispersion continue*) il faut réfléchir comment on peut faire // attendez les gars réfléchissez comment on peut faire

E.Bleu2 on peut commencer par en bas / on commence par en bas, comme ça et après comme ça

E.Bleu4 mais comment tu veux faire ?

E.Bleu2 et se sera penché comme ça

E.Bleu3 pourquoi on fait pas comme carré en fait ? /// attend tu fais /// tu fais quelque chose comme ça

*Dispersion*

E.Bleu3 qu'est-ce que tu fais ? Qu'est ce qui fait !

E.Bleu4 non mais sérieux les gars / le temps est compté !

E.Bleu1 on a une heure devant nous !

E.Bleu4 mais sérieux / tu veux faire comment ton truc ?

E.Bleu2 non mais on fait un truc carré

E.Bleu3 je sais ! à la place de mettre des barrière qui vont presque pas tenir / on enroule

E.Bleu4 mais c'est pas bien de copier !

E.Bleu3 mais j'ai pas copié / eux ils font différent / tu enroules et après tu colles des autres côtés de la tour

E.Bleu4 mais non on fait comme on avait dit ça tiendra mieux / maintenant il faut juste penser, on fait comment ?

E.Bleu1 faut faire la forme !

E.Bleu4 sérieux les gars // mais pourquoi tu coupes ! //

E.Bleu3 faut d'abord faire le parterre de l'immeuble peut-être !

E.Bleu4 le parterre de l'immeuble ! / mais on fait pas ça // on fait juste l'immeuble

E.Bleu1 oui on fait ça, on fait ça

E.Bleu3 mais oui hein / oui mais parce que après tu dois mettre du papier / et le papier il va tenir où ? après tu vas le scotché là-dessus ou là-dessus ?

E.Bleu1 mais non il faut pas scotcher/ on va pas le scotcher

E.Bleu4 attend attend attend/ mais non il faut pas !// peut-être que si mais on sait pas ! // mais d'abord il faut penser on fait comment ton truc ?/ c'est incompréhensible ///

E.Bleu1 fais la forme !/ fais déjà... rond !

E.Bleu4 non mais arrêtez les gars/// non mais les gars sérieux vous pouvez m'aider

E.Bleu2 eh j'ai une idée ! Enrique m'a donné l'idée de faire comme ça / faut mettre plusieurs couches comme ça !

E.Bleu1 euh...t'es bête !

E.Bleu3 mais comment tu veux que ça soit carré ?

E.Bleu2 non mais ça c'est, je veux dire, c'est en bas, la barrière

E.Bleu4 mais non pour tenir on fait comme ça

E.Bleu3 mais non il faut faire des barrières rondes // et à la place de faire des trucs comme ça carré de côté /on fait des trucs comme ça on met un rond pis après on met un rond dessus !

E.Bleu4 mais non !

E.Bleu2 ben moi je suis d'accord avec David

E.Bleu4 mais non ça va pas tenir / un rond ça va pas tenir / vaut mieux un truc carré

E.Bleu2 mais si parce que à ce qui paraît le rond il résiste mieux parce que... c'est comme les sous-marins... la pression... ça les écrase pas ///

E.Bleu1 euh qu'est-ce que t'en sais !

E.Bleu4 bon d'accord si tu veux

E.Bleu1 mais comment tu sais ça alors ?

*Départ des constructions, après 7 min de concertations supplémentaires*

E.Bleu4 c'est pas comme ça qu'on roule, c'est comme ça

E.Bleu3 on en fait 4 alors

E.Bleu1 ouais mais pour le scotch comment on fait ? on va pas prendre tout ça !

*30min50sec*

E.Bleu4 on fait comment pour couper le scotch ?

E.Bleu3 il faut pas prendre des trop gros bouts

E.Bleu4 il faut en faire que quatre

*31min40sec*

*Bruits de papier*

*32min*

E.Bleu2 c'est bon, déjà 2 bouts on a fait ///

E.Bleu3 il en faut encore 4

E.Bleu2 ah non il en faut encore 8 ///*comme ça on peut les mettre sur tous les côtés*

E.Bleu2 mais non pas comme ça

E.Bleu4 mais t'inquiète je sais comment on fait !

*32min45sec*

Ens : vous faites quoi avec ces petits ronds là ?

E.Bleus c'est pour faire les petits appuis

*Bruit de papier, se mettent d'accord sur combien ils en ont et combien en faire*

D : alors dites-moi ce que vous êtes en train de faire ?

*Les élèves à compter continuent concentrés*

D : vous avez préparé des...

E.Bleu3 c'est des appuis

D : des appuis... c'est des rouleaux de papier pour créer des appuis //et après avec ça (les autres) vous allez construire la structure, c'est ça ?

E.Bleu3 après on va faire le reste

D : ok vous commencez par préparer... / chacun sait ce qu'il doit faire ?

*Sans réponses, bruits de papier*

E.Bleu2 (*parle à ses copains*) après il faut faire la plateforme en bas /

E.Bleu4 après le dessous, le sol, il faut faire avec du papier ?

D : oui bien sûr vous pouvez

*Bruits de papier, Delphine repart*

E.Bleu3 ah ha je m'en fiche que ça soit pas droit/

*35min30sec*

E.Bleu4 ok maintenant comment on fait les appuis ?

E.Bleu2 il faut les coller

E.Bleu4 mais tu veux qu'on fasse comme ça ? mais ça sert à quoi de faire comme ça ?

E.Bleu4 bon maintenant on fait la tour / il faut que ça fasse du plus petit au plus grand

[...]

E.Bleu4 on est obligé de faire carré, parce qu'on peut pas faire seulement comme ça / il faut mettre comme ça les appuis

E.Bleu3 d'accord

E.Bleu4 ok alors les gars on fait un carré

*38min10sec*

E.Bleu2 on construit déjà les appuis nous

[...]

E.Bleu2 il nous reste encore un appui

[...]

*39min*

E.Bleu2 eh c'est bon on a tous les appuis

E.Bleu4 il faut encore des tuyaux, vous savez pourquoi ?/ parce que si il y a de l'eau qui passe //s'il y a un tsunami après il y aura une inondation / t'es d'accord / ça va passer sous la maison et ça va la faire basculer/ il faut mettre des ... en dessous, des petits tuyaux comme ça/ pour que ça va passer dessous

E.Bleu3 non on fait encore 4 tuyaux comme ça.....

E.Bleu2 et on fait une maison en l'air !

E.Bleu3 ...et après on les plante ici, et après on fait la maison ici

E.Bleu4 ben non parce que s'il y a une avalanche elle va faire tomber, tu vois

E.Bleu3 ben non parce que après il y a les autres appuis

E.Bleu2 ah les autres appuis qui vont tenir

E.Bleu1 en tout il y a 8 appuis

E.Bleu4 ok on va essayer // on fait encore 4 appuis mec ? t'es sûr ?

E.Bleu2 allez il faut aller chercher des rouleaux

E.Bleu3 sauf que ces appuis sont tout petits maintenant

E.Bleu1 il faut encore 4 appuis comme ça

E.Bleu2 eh c'est bon ! quelqu'un me le scotche !

E.Bleu3 ouais mais euh tu l'as fait comment, parce qu'il faut le plier comme ça pour que ça soit renforcé...il faut le plier en deux

E.Bleu2 (*inaudible*)

E.Bleu3 ouais pas grave ! mais t'as fait comment ? tu l'as laissé comme ça ?

E.Bleu2 ouais

E.Bleu3 t'as plié comme ça ou tu as plié en deux et après t'as enroulé ?

E.Bleu4 non il a plié comme ça

E.Bleu3 et après t'as tourné ?

E.Bleu2 oui

E.Bleu4 mais il n'a pas fait comme ça

E.Bleu2 ça change quoi ?

E.Bleu4 ça change rien

E.Bleu2 non j'ai pas fait comme ça

E.Bleu1 eh Kim ! grand ou petit ?

E.Bleu3 non mais c'est bon, c'est de la même taille !

E.Bleu4 mais il faut couper !

E.Bleu3 non mais c'est pas serré ça ! c'est pas serré

E.Bleu2 bon ok je te le fais

E.Bleu3 on en a déjà trois// encore du papier ! //là il y en a encore là /// là il y a en a un

E.Bleu4 mais là les mecs on utilise trop de papier

*41min30sec*

D : donc vous partager bien les tâches à ce que je vois

E.Bleu3 nous on va faire une maison, on va mettre ça sur le...

E.Bleu2 en l'air

D : comment vous allez faire avec ces structures ?

E.Bleu3 on va mettre ça ici... après on va (*inaudible*) au-dessus, après on met les appuis en cas de danger

D : ah...pas mal... c'est bien c'est que vous êtes une bonne équipe, vous êtes bien cohérent dans vos idées

*Les élèves restent concentrés dans leurs discussions sans faire attention à l'intervention de Delphine*

E.Bleu4 ça sera pas assez grand

E.Bleu3 si

E.Bleu2 ça tiendra sur les poteaux

E.Bleu4 il faut faire des petits bouts, juste pour faire des petits appuis comme ça

E.Bleu3 (*inaudible*) comme ça si celui-là il se casse, celui-là il tient à la table

*42min30sec*

*Échanges liés à la construction, puis discussions en lien avec la comptabilisation du matériel utilisé dans les groupes*

43min20sec

E.Bleu3 c'est pas plutôt un losange ça

E.Bleu4 on fait une maison comme ça...

E.Bleu2 hein (*regarde la règle au tableau noir*)!!!! Un mètre, c'est ça !

E.Bleu4 eh regardez on met là-dessus et on scotch comme ça

E.Bleu2 eh regardez un mètre ! Regardez ce que c'est un mètre !

E.Bleu3 eh un bateau ! / Pourquoi on fait pas un bateau ? //

E.Bleu1 on fait une maison bateau ! Non mais regarde tu fais comme ça

E.Bleu3 on met un papier comme ça et après on met la maison !

E.Bleu1 on fait une maison qui va sur l'eau !

E.Bleu2 ouais mais si il y a un tsunami ?

E.Bleu3 ben si il y a un tsunami, elle crève parce qu'elle est engloutie...

E.Bleu2 eh regardez ce que c'est un mètre au moins/ regardez ce que c'est un mètre

44min30sec

*Dispersion, les élèves vont chercher le mètre et se mesurent entre eux*

E.Bleu4 les gars on peut pas faire sérieux là!

[...]

*Échanges inaudibles liés à la construction du papier, se savent pas comment agencer les tubes qu'ils ont préparés*

46min50sec

E.Bleu4 mais si on fait comme ça / il faut mettre plus de papier// on va prendre trop de papier alors

E.Bleu3 ouais mais ça c'est pas la même taille hein

E.Bleu4 mais on va utiliser trop de papier si c'est comme ça...

E.Bleu4 que ça soit bien il faut faire comment ? // vous voulez pas m'aider

E.Bleu3 j'ai l'impression qu'on est en train de faire de la merdre

E.Bleu2 ouais c'est vrai

E.Bleu3 il faut se décider là !

E.Bleu4 les gars pour que ça tienne il faut faire comment ?

E.Bleu1 un hélicoptère regarde// non j'arrive pas

E.Bleu4 eh mais voilà !

E.Bleu1 bon on fait quoi là !?

E.Bleu4 ben justement on peut faire un truc comme ça carré !

E.Bleu1 Et ça ça sert à quoi ?

E.Bleu2 je sais !!! on prend ça pour faire les murs de la maison

E.Bleu3 pourquoi on fait pas un T ?

E.Bleu4 pour faire comme ça tac tac tac tac... on fait comment !?

E.Bleu2 en fait il faudrait ....mettre un là un là un là

E.Bleu1 pourquoi on fait pas comme ça regarde, non tu fais comme ça, regarde !/ non tu fais comme ça regarde / eh ! Regarde ! Tu mets un autre ! mais oui !!! mais passes un bâton / non pas comme ça / et passes ça regarde / tu mets comme ça et tu mets un autre ici

E.Bleu3 tu mets ça comme ça, après tu en prends un tu le mets là,

E.Bleu1 attends passes encore un ! mets le ici / comme ça après

E.Bleu3 après on en et encore un ici... et ça fait déjà le bâtiment...et après on fait les murs, on scotch ici

E.Bleu4 aaah !

E.Bleu1 ouais après c'est comme ça regarde

E.Bleu4 ouais mais après regarde tout le papier qu'on va devoir utiliser !

E.Bleu2 mais c'est une bonne idée

E.Bleu4 ouais ok alors on calcule on calcule

E.Bleu1 eh ! je prends du papier /// combien ?

E.Bleu4 attends pas tout de suite avant il faut calculer

E.Bleu2 il faut le mettre comme ça

*Grande émulation dans le groupe d'avoir trouvé une solution, mise en œuvre*

*49min*

E.Bleu1 attend ça doit faire la taille de ça !

E.Bleu4 attends vous vous faites la même chose que nous mais en dessus de nous

*50min*

E.Bleu3 Il faut encore prendre du papier

E.Bleu4 attend quelqu'un peut prendre le mettre ! / calcule jusque-là

E.Bleu3 65 cm

E.Bleu2 il nous manque, il faut chercher du papier

E.Bleu3 j'y vais j'y vais

*51min*

[...]

E.Bleu4 ça doit faire un mètre c'est ça ?

D : le plus haut possible j'ai envie de vous dire...si c'est plus haut tant mieux, si c'est plus bas, tant pis

*Fin du T4*



[T5 : « Réunion générale ». Mise en commun]

**T6 : travail en groupe. Recherche avec matériel, fin des constructions**

*Grande effervescence, empressement*

E.Bleu vas-y on continue !

E.Bleu scotch !

E.Bleu mets plus de papier !

E.Bleu après il faudra mettre des appuis ici

*1h01min00*

E.Bleu du scotch //du scotch//// il faut du scotch/ ici ça lâche/

E.Bleu Il faut mettre aussi ici en bas

E.Bleu mais pourquoi il y aura une feuille

E.Bleu argh il faut plus de papier

*1h02min*

E.Bleu1 lâche lâche ! Ah ça tient regarde !

E.Bleu2 ouais ça tient mais...allez pourvu que ça marche

E.Bleu1 ah ça tient pas ici! ah ça tient pas !// il faut éviter que ça se plie !///// ah j'ai une idée regarde, il faut faire plat ici, tu vois ça tient ici // eh tu vois comment tu as fait plat ici, eh ben il faut faire la même chose !/ il faut aplatir /

Ens : est-ce que vous ne voyez pas comme un problème avec votre structure ?

E.Bleu oui ça tient pas

*Échanges inaudibles*

Ens : et qu'est-ce que vous pourriez faire pour y remédier

*Échanges inaudibles, dans le feu de l'action*

Ens : vous n'auriez pas meilleure temps d'assurer la base déjà... parce que là à chaque fois vous tenez pour pouvoir coller...

*1h04min*

E.Bleu Ici ça va pas très bien tenir je vous préviens déjà

*Les élèves passent leur temps à rajouter du scotch pour assembler leurs segments*

*1h05min*

E.Bleu Il reste encore un étage !

E.Bleu Il nous reste encore un étage et on a fini

*1h08min*

E.Bleu alors notre tour ressemble plutôt à une chaise// euh plutôt à une étagère (*rires*)

*1h10min*

*Les élèves mesure leur tour, elle n'atteint pas un mètre*

*5 dernières minutes annoncées pour finir les constructions*

*Grande émulation dans le groupe, empressement général*

E.Bleu maintenant il faut faire des trucs qui tiennent pendant ces 5 minutes, il faut rajouter du scotch partout pour que ça tienne// si c'est juste pendant 5 minutes mieux vaut renforcer/ il faut rajouter du scotch partout pour que ça tienne// partout pour que ça tienne !

[...]

E.Bleu maintenant lâchez tout pour voir où il faut en rajouter

E.Bleu oh là là tous les scotchs qu'on a mis !

E.Bleu eh regarde là ça tient là, de plus en plus !

E.Bleu ça va sonner ça va sonner !!

E.Bleu vite vite vite vite viiiiiite !

E.Bleu allez on se dépêche !

*1h15min*

E.Bleu mais eux ils nous copient...

E.Bleu1 eh mais alors attendez moi je vais faire un rouleau (*comme eux*) pour que ça soit haut/ fait un rouleau vite !

*1h16min*

E.Bleu nooon ! ça tombe !!!!

*Delphine fait sonner la clochette*

E.Bleu oui ça tient ! ça tient !!! (*hurle de joie*) //mais ça va pas tenir longtemps

[T7 : « Réunion générale ». Mise en commun]

### **T8 : Travail en groupe. Recherche avec matériel, fin des constructions.**

*Les constructions reprennent, avec autant d'empressement qu'avant*

*1h24min*

E.Bleu4 on fait les renforcements, alors vas-y faut scotcher ça/ on fait les renforcements

E.Bleu1 scotch scotch scotch !

*Bruits de papier, va et vient, échanges inaudibles ou très limités pendant toute la fin des constructions*

[...]

E.Bleu4 maintenant on a plus beaucoup de scotch / réfléchissons où on le met

[...]

*La cloche annonce la fin des constructions.*



## 9.5 Annexe 5 Exemple d'utilisation de la grille d'analyse relative à l'élaboration du problème dans les groupes

Equipe Jaune Seb									
T2 - PHASE CONCEPTUALISATION						T4, T6, T8 - PHASE MISE EN OEUVRE			
Proposition	Source d'Inspiration	Représentation (modèles explicatifs ou corrélations)	Contraintes priorisées	Objets de confrontation	Régulation, choix	Obstacles empiriques	Interprétation (modèles explicatifs ou corrélations)	Priorisation	Régulation
<b>Prop A</b> Empiler des boules de papier en pyramide « <i>des boules de papier journaux (...)</i> et on empile à chaque fois »	Explicite : Pyramide  Implicite : Tas de fruits (pommes, oranges) empilés sur les tréteaux de marché (?)	- <b>Corrélation objets sphériques/ empilement</b> (des objets sphériques peuvent être empilés les uns sur les autres en pyramide de manière stable)	- <b>Solidité / stabilité / hauteur</b>	- <b>Manque de résistance</b> anticipé face aux tests de simulation - <b>Tension originalité /esthétisme</b> - <b>Tension hauteur /quantité</b>	<b>Prop A+B</b>	- Stratégie d'empilement inefficace (difficulté à maintenir les boules ensemble et à éviter l'écroulement)  - Stratégie de façonnage des boules inefficace (ne permet pas de créer le volume et le poids attendu)  - Manque <b>temps et matériel</b>	- <b>La densité et/ou le volume sont liés au poids</b> (si ça tient pas c'est parce que les boules ne sont pas assez lourde > si on fait de plus grandes boules, on arrive plus vite à la hauteur, donc moins besoin de boules, et donc moins de papier... or pour faire de plus grandes boules, et faut plus de papier !)	- Tension <b>esthétisme/ efficacité</b>  Priorité = finaliser le dispositif imaginé au départ	- Idée d'optimiser l'utilisation du matériel (scotch)  - Essai d'augmenter le volume des boules (plus grandes)  <b>Prop A+B</b> '
<b>Prop B</b> Faire une base « <i>déjà il faudrait la base du truc (...)</i> plus lourd en bas (...) <i> plusieurs couches</i> »	Explicite : jeu de construction « <i>ouais comme un kapla, un là, un là, un là ...</i> »  Implicite : construction de chalets en rondins de bois (?)	- <b>Corrélation solidité structure/ solidité base</b> (une structure solide peut être obtenue au moyen d'une base solide) - <b>Corrélation solidité/poids</b> (pour qu'une base soit solide, la base doit être lourde) - <b>Corrélation mobilité/ rigidité base</b> (une structure mobile peut être obtenue au moyen d'une base rigide)	- <b>Solidité, stabilité</b> de la structure  - <b>Contrainte mobilité</b> de la structure						

## 9.6 Annexe 6 Vue d'ensemble des sources d'inspiration des élèves

Sources d'inspiration des solutions imaginées par les élèves implicitement ou explicitement



Constructions traditionnelles («immeuble», «maison», etc.)



Constructions célèbres (monuments historiques, bâtiments contemporains, etc.)



Jeux de construction Confections en papier/carton



## 9.7 Annexe 7 Défi des Tours en Papier. Fiche d'activité pour l'enseignant

Delphine Schumacher, Université de Genève, 2015

### Le défi des Tours en Papier

#### Défi techno créatif collaboratif

Dès (8)10 ans

#### Caractéristique du défi:

- Un **espace ouvert** pour questionner, tâtonner, explorer, dans un **cadre exigeant** (cahier des charges, temps imparti, justification de ses démarches)
- diverses solutions possibles

#### Objectifs de l'activité :

- développer des **démarches d'investigation** : développer un questionnement en groupe, la capacité à problématiser une situation, à élaborer des hypothèses, à imaginer des solutions, à mettre en œuvre des stratégies, à réguler ses actions en fonction des observations, à anticiper les résultats, etc.
- stimuler **l'esprit de recherche** et **l'imagination créatrice**

#### Matériel :

- papier journal (double feuille format GHI)
- scotch de peintre
- un mètre
- un sèche-cheveux (simulation « ouragan »)
- des livres (« panneaux solaires »)

#### Mise en situation :

*« Nous sommes en 2022. De plus en plus de catastrophes naturelles surviennent sur notre planète terre : tremblement de terre, ouragan, avalanche, tsunami, etc. Il devient urgent de commencer à construire des bâtiments capables de supporter diverses catastrophes naturelles pouvant advenir à tout moment.*

*Vous êtes des ingénieurs venant des 4 coins du monde et venez participer aujourd'hui à un symposium international très important : nous devons aujourd'hui réfléchir ensemble pour concevoir un modèle de tour très résistante, à moindre coût, et intégrant les normes écologiques usuelles ».*

### Cahier des charges de l'ingénieur:

« Chaque équipe de recherche doit construire une maquette en papier de **1 mètre** de haut. Vous n'aurez à disposition que du **papier journal (5 doubles feuilles au départ)**, quelques bouts de scotch (**2 bandes de 50 cm au départ**). Vous n'avez pas le droit d'utiliser le scotch pour fixer votre construction sur la table (car elle doit pouvoir s'adapter à n'importe quel sol), et devra supporter le poids de panneaux solaires (livre) que vous devrez installer au sommet de la manière que vous voulez sans utiliser de scotch. Important : vous avez la **possibilité de venir rechercher du matériel supplémentaire** à tout moment (des frais de construction seront déduits).

Vous avez **une heure** pour imaginer et réaliser votre tour, en sachant que des moments de mises en commun en font partie. A la fin, votre tour sera soumise à un exercice de simulation, et vous devrez **vendre votre projet** devant le comité. Les idées les plus efficaces et les mieux défendues lors de ce symposium serviront de base à la création d'un futur modèle ».

Avertissement : Il n'y a pas qu'une seule solution possible : toutes les pistes de solutions utilisant le matériel donné et respectant le cahier des charges sont bienvenues !

### Critères d'évaluation des résultats:

1. Quantité de papier journal en supplément (nbr de feuilles)
2. Quantité de scotch en supplément (nbr de bandes de 50 cm)
3. Hauteur de la maquette (cm)
4. Panneaux solaires tiennent au sommet (oui/non)
5. Tests de solidité :
  - a. Tient debout tout seul (oui/non)
  - b. Résiste au test « tremblement de terre » (oui/non)
  - c. Résiste au test « ouragan force 1 » (oui/non)
  - d. Résiste au test « ouragan force 2 » (oui/non)
6. Ingéniosité (*la solution répond efficacement à un maximum de critères donnés ; on peut juger de l'efficacité de la solution même si elle n'a pu être réalisée jusqu'au bout, par ex. par manque de temps*) (bonus)
7. Originalité (*Par ex., une piste de solution originale mais difficilement réalisable, ou particulièrement esthétique bien que peu efficace*) (bonus)

Avertissement : Le but n'est pas de définir un gagnant ! L'intérêt de cette étape est d'**évaluer/valoriser** les idées et les cheminements de chaque groupe.

### Déroulement de l'activité (env. 1h30):

0. Définir les groupes (de 5-6 pers.) et noter les noms au tableau
1. En plénière : mise en situation de défi et cahier des charges (5 min)
2. En groupe : temps de réflexion, concertation, pose du problème, premières pistes par écrits/dessins sans matériel (10 min)
3. En plénière : noter au tableau les **problèmes identifiés / pistes à investir** (10 min)
4. En groupe : lancement des constructions avec matériel. Tenir les comptes au tableau pour le matériel supplémentaire demandé (15 min)
5. En plénière : noter au tableau les **problèmes rencontrés / pistes investies** (10 min)

6. En groupe : suite et fin des constructions (20 min). Annoncer régulièrement le temps qu'il reste.
7. En plénière : tests des maquettes (résultats à noter au tableau selon les critères d'évaluation) ; puis chaque groupe « vend son projet » devant les autres (autant les pistes de solutions choisies que les démarches entreprises) (20 min).

### Rôle de l'enseignant :

En cours d'activité (n°4, n°6) : Accompagner chaque groupe dans ses **démarches** en posant des questions plutôt qu'en amenant des solutions, du type : *qu'est-ce qui est important à votre avis ? Qu'est-ce qui pose problème ? Comment il faudrait faire pour... ? Quelle est votre idée ? Qu'est-ce que vous êtes en train de faire, expliquez-moi ? Pourquoi vous avez abandonné l'autre idée ? Comment vous pensez faire ensuite ? Etc.)*

Pendant les plénières (n°3, n°5) : Encourager à poursuivre avec davantage de **métaréflexion** au sein des groupes : *Comment vous fonctionnez dans votre groupe (dynamique, partage des tâches, co-constructions des idées) ? Quel temps vous consacrez pour réfléchir, organiser et quel temps pour construire, essayer ? Etc.*

En fin d'activité (n°7) : Pendant ou après la mise en commun des résultats, mener chaque groupe à **explicit** et à **justifier** ses choix, ses idées, ses démarches, ses stratégies, en posant des questions du type : *Comment vous en êtes arrivés là ? Quel chemin depuis la première idée jusqu'au résultat ? Qu'est-ce qui vous a permis de ... ? Pourquoi vous avez choisi de... ? Quels éléments vous avez pris en compte, lesquels vous avez mis de côté ? Pensez-vous que vous avez suivi une bonne piste ? Pourquoi ? Quelles améliorations possibles ? Que feriez-vous différemment ? Etc.*

Dans ce cadre, une réflexion peut être engagée autour de la question de l'"optimum" en science : **gérer la complexité** dans la résolution d'un problème, c'est devoir prendre en compte plusieurs paramètres à la fois pour trouver une solution non pas parfaite mais **optimum** ("qui répond au mieux" à toutes les exigences), c'est sortir du paradigme binaire "soit l'un soit l'autre" ou "juste ou faux", en accueillant plusieurs solutions possibles.

Par exemple, trop investir dans une variable au détriment des autres (par ex. vouloir à tout prix économiser du papier ou obtenir exactement 1 mètre) peut fortement entraver la résolution du problème.

### Prolongement de l'activité :

Réaliser à nouveau le même défi (« modèle final »), à partir des meilleures idées et améliorations possibles envisagées en s'inspirant de notions scientifiques/technologiques telles que :

- Les structures de constructions (tours (par ex. Eiffel), ponts, échafaudage, grue, pylône, structure en tubes croisés, etc.)
- Le papier (carton, cellulose ; comme un matériau de construction résistant : carton de déménagement, nid d'abeille, ex. de meubles et constructions à base de cellulose, etc.)





## 9.8 Annexe 8 Timing général du Défi des Tours en Papier. Fiche pour l'enseignant

TIMING		DEROULEMENT DE L'ACTIVITE	REMARQUES
1h30m		Phases clé	
T0	Présentation	Définir les groupes (4-5 pers/groupe)	Noter au tableau les noms des groupes au tableau (par ex. attribuer une couleur à chaque groupe)
T1 5 min	plénière	<b>Mise en situation</b> de défi	1. Lecture de la <b>Mise en scène</b> et du <b>Cahier des charges de l'ingénieur</b> 2. Questions, réactions à froid, précision des consignes, etc. <i>Qu'est-ce qui pose problème dans ce défi ?</i>
T2 10 min	groupes	<b>Discussions</b> intragroupe sans matériel	Temps de réflexion, concertation, pose du problème, premières pistes par écrits/dessins après consigne sans matériel. <i>Comment vous allez vous y prendre dans votre équipe pour relever le défi ?</i>
T3 5-10 min	plénière	<b>Mise en commun</b>	Noter dans le <b>Carnet de bord collectif</b> - Les <b>problèmes identifiés</b> - Les <b>pistes à investir</b> avant d'entamer les constructions
T4 10-15 min	groupes	1 <sup>er</sup> <b>phase recherche</b> avec le matériel	Lancement des constructions avec matériel.  Tenir les comptes au tableau pour le matériel supplémentaire demandé
T5 5-10 min	plénière	<b>Mise en commun</b>	Noter dans le <b>Carnet de bord collectif</b> - Les <b>problèmes identifiés</b> - Les <b>pistes à investir</b> pendant l'avancement des constructions
T6 15-20 min	groupes	2 <sup>ème</sup> et dernière <b>phase recherche</b>	Suite et fin des constructions. Annoncer régulièrement le temps qu'il reste... et ne pas manquer d'annoncer les 2 dernières minutes !
T7 15 min	Plénière	<b>Mise en commun</b> des résultats - <b>Tests</b> des maquettes - <b>Comparaison des résultats</b>	Relever les résultats et noter au tableau (c.f. <b>critères d'évaluation</b> )
T8 15 min	Plénière	<b>Explicitation des démarches</b> - Etapes du processus de fabrication - Etapes du processus de résolution	Chaque groupe « vend son projet » devant les autres - Les pistes de solutions choisies - Les démarches entreprises pour parvenir aux résultats - Les pistes d'amélioration possibles
T9	Plénière	<b>Bilan</b>	<i>Qu'est-ce que vous avez appris ? (au sujet du problème technoscientifique, des démarches d'investigation, du travail du problème collectif)</i>

