

Quel Milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la terre ?

Christian Orange



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/educationdidactique/152>
DOI : 10.4000/educationdidactique.152
ISBN : 978-2-7535-1615-1
ISSN : 2111-4838

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2007
Pagination : 37-56
ISBN : 978-2-7535-0534-6
ISSN : 1956-3485

Référence électronique

Christian Orange, « Quel Milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la terre ? », *Éducation et didactique* [En ligne], 1-2 | septembre 2007, mis en ligne le 01 septembre 2009, consulté le 22 juillet 2022. URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/152> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.152>

QUEL MILIEU POUR L'APPRENTISSAGE PAR PROBLÉMATISATION EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE?

Christian Orange, IUFM des Pays de la Loire,
CREN Université de Nantes

Résumé : Nous analysons dans quelle mesure la théorie des situations didactiques de Brousseau peut convenir aux situations d'enseignement-apprentissage en sciences de la vie et de la Terre construites dans le cadre de l'apprentissage par problématisation. C'est en particulier les notions de milieu, d'adidacticité et d'apprentissage par adaptation qui sont interrogées. A partir des deux cadres théoriques en présence, nous étudions une séquence d'apprentissage sur le mouvement du membre supérieur au cycle 3 (grades 4 et 5) pour expliciter où se situent les difficultés de mise en correspondance. Nous proposons, en nous inspirant des travaux du physiologiste Claude Bernard, d'introduire la notion de milieu didactique intérieur pour rendre compte de la complexité du milieu qui intervient dans la problématisation. Mots clés : apprentissage par problématisation, théorie des situations didactiques, milieu, adaptation, savoirs en sciences de la vie et de la Terre.

Christian Orange

Les études que notre équipe mène au sein du CREN (Université de Nantes) sur les apprentissages des sciences de la vie et de la Terre (SVT) nous ont conduits à développer un cadre théorique, celui de l'apprentissage par problématisation, en articulant des références à Bachelard et Canguilhem avec des études de cas considérées comme autant d'investigations épistémologiques (voir, par exemple, Orange, 2002, 2005). Ce cadre théorique prend place dans une réflexion plus large sur la problématisation et ses liens avec les savoirs et les apprentissages (Fabre 1993, 1999).

L'importance que nous donnons aux théorisations didactiques rend nécessaire la prise en considération des théories construites dans d'autres didactiques, notamment en didactique des mathématiques où elles sont particulièrement développées. Dans cet article nous voulons discuter des relations entre notre approche par la problématisation et la théorie des situations didactiques, en nous limitant à ce que Salin (2002) nomme la première théorie des situations, celle des « situations à usage didactique »¹. La question nous paraît d'autant plus intéressante qu'il y a dans notre cadre théorique des présupposés qui semblent très proches de ceux de la TSD, comme le rejet d'une épistémologie et d'une psychologie des apprentissages empiristes. Ainsi quand Brousseau (1986/1998, p. 49)² écrit « *Savoir des mathématiques, ce n'est pas seulement apprendre des définitions et des théorèmes, pour reconnaître l'occasion de les utiliser et de les appliquer; nous savons bien que faire des mathématiques implique que l'on s'occupe des problèmes. On ne fait des*

mathématiques que lorsqu'on s'occupe de problèmes mais on oublie parfois que résoudre un problème n'est qu'une partie du travail; trouver de bonnes questions est aussi important que leur trouver des solutions », nous pouvons totalement adhérer à ses propos, en remplaçant simplement mathématiques par sciences de la vie et de la Terre. On pourrait encore mentionner, dans ce qui fait accord *a priori*, la mise en avant par Margolinas (1993) du caractère apodictique³ des savoirs.

Mais, cela dit, il ne faut pas chercher très loin (quelques lignes après la citation ci-dessus) pour trouver des affirmations qui nous paraissent moins claires : « *Pour rendre possible une telle activité, le professeur doit donc imaginer et proposer aux élèves des situations qu'ils puissent vivre et dans lesquelles les connaissances vont apparaître comme la solution optimale et découvrable aux problèmes posés.* » (Brousseau, 1986/1998 p. 49, souligné par nous). Parce que les connaissances y sont définies comme des solutions quand la problématisation met avant tout l'accent sur la construction des problèmes, et surtout parce que nous avons des difficultés épistémologiques à définir, en SVT, ce qu'est une solution optimale.

Plus largement, c'est la référence à l'apprentissage par adaptation de la TSD qui nous pose problème. Non pas que nous pensions que le milieu n'intervient pas dans les apprentissages, mais parce qu'il nous semble que les relations entre milieu et apprentissages scientifiques ne peuvent pas se penser simplement en termes d'adaptation. Nous savons que le concept d'adaptation, emprunté par Piaget aux biologistes,

est compliqué et ambigu, et nous avons une certaine réticence à nous y appuyer théoriquement.

Tout cela pour situer ce que nous voulons développer ici. Nous le ferons en rappelant brièvement les principaux éléments de l'apprentissage par problématisation et en résumant, comme nous les avons compris, les points de la TSD que nous voulons discuter. Puis nous mènerons cette discussion en nous appuyant sur un cas de séquence construite en lien avec notre cadre théorique.

Le cadre de l'apprentissage par problématisation en SVT

Le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation en SVT correspond à un certain nombre de positions épistémologiques que nous allons résumer en quelques points (Orange, 2002, 2005).

Les savoirs et problèmes scientifiques fondamentaux sont des savoirs et des problèmes explicatifs

Les savoirs en sciences de la nature sont fortement liés à des problèmes explicatifs, c'est-à-dire à des recherches d'explication et de caractérisation de phénomènes. Cela peut se traduire par le fait qu'ils articulent au moins deux registres : le registre empirique, celui des faits et phénomènes à expliquer, et le registre des modèles, où sont développées les explications (Martinand, 1992). Ainsi des élèves de l'école élémentaire tentent d'expliquer comment est constitué le « bras » (membre supérieur) pour qu'il puisse bouger : les schémas et les textes explicatifs qu'ils produisent (registre des modèles) sont en permanente relation, dans leurs échanges, avec le registre empirique représenté par l'expérience qu'ils ont du fonctionnement et de l'organisation de leur corps ; expérience renouvelée lors du travail pendant lequel ils tâtent et bougent en permanence leur membre supérieur. Ces deux registres (registre empirique et registre de modèles) sont co-construits lors de la problématisation sous le contrôle d'un troisième registre, plus ou moins explicite, que nous avons nommé « registre explicatif » et qui contient les éléments théoriques, méthodologiques et métaphysiques qui font qu'une explication peut être reçue comme une explication (sans préjuger de sa pertinence). Pour ces élèves travaillant sur le mouvement

du bras, par exemple, les explications convoquées sont de type mécaniste. Ce troisième registre est à rapprocher du concept de « cadre épistémique » de Piaget (Piaget et Garcia, 1983).

Les savoirs scientifiques sont apodictiques

Les savoirs scientifiques sont des savoirs présentant une certaine apodicticité. Savoir en science n'est pas simplement « savoir que », mais savoir que cela ne peut pas être autrement (Reboul O., 1992, p. 77). Plus précisément les savoirs scientifiques se caractérisent par la réduction du champ des possibles qu'ils opèrent : « *Il y a culture dans la proportion où s'élimine la contingence des savoirs* » dit encore Bachelard (1949, p. 14). Ainsi, pour que les élèves qui travaillent sur le mouvement du membre supérieur accèdent à un savoir scientifique, la seule description de l'articulation du coude (c'est comme ça, mais cela pourrait être autrement...) n'est pas suffisante ; ni même la description de son fonctionnement. Il s'agit d'identifier au mieux les conditions pour qu'une articulation puisse fonctionner ; ce que nous appelons les nécessités : nécessité de cohérence, nécessité d'un mouvement au niveau du coude, nécessité d'une limitation de ce mouvement. Ces nécessités ne sont aucunement transcendantales : elles sont construites par le développement du problème dans un cadre épistémique mécaniste plus ou moins explicite.

La problématisation comme accès aux savoirs apodictiques

Les SVT ne pouvant être ni axiomatisée, ni se développer uniquement à partir de postulats, l'apodicticité ne vient jamais de démonstrations mais d'un travail de construction critique de problèmes qui correspond, dans notre cadre, à la problématisation. À partir de tentatives de solution au sein d'un registre explicatif, le champ de possibles peut être exploré et délimité par des argumentations critiques qui s'appuient sur des connaissances, des considérations empiriques et des schèmes argumentatifs (Plantin, 2005) partagés ; elles conduisent ainsi à repérer des nécessités sur les modèles qui sont autant de conditions de possibilité des modèles acceptables. C'est parce que certaines solutions seront jugées impossibles que des conditions de possibilité des solutions (nécessités) pourront apparaître. Le caractère

d'apodicticité des savoirs construits correspond à ces nécessités. Didactiquement, la construction des nécessités par la classe s'appuie sur des épisodes que l'on peut nommer « débats scientifiques dans la classe » (Johsua et Dupin, 1989).

Ces positions épistémologiques donnent aux problèmes une place au sein des savoirs : le problème construit ne disparaît pas avec la solution retenue, mais il l'organise et lui donne sa signification scientifique.

Elles conduisent à une conséquence et à un problème didactiques. S'il s'agit de faire accéder les élèves à des savoirs scientifiques, ces savoirs doivent avoir un caractère d'apodicticité. Il ne suffit pas, aussi difficile que cela puisse paraître, de faire passer les élèves d'une conception à une autre, plus proche des savoirs savants : le but est de les conduire d'une connaissance non questionnée - une opinion - à un savoir scientifique raisonné, c'est-à-dire organisé par des nécessités. Le problème didactique vient alors : dans quelle mesure et à quelles conditions est-ce possible ?

Ce que nous retenons de la « théorie des situations à usage didactique »

Il nous faut maintenant présenter les points de la théorie des situations didactiques que nous voulons discuter pour l'apprentissage des SVT. La difficulté est grande car cette théorie est fort développée, donc impossible à présenter rapidement, et parce qu'elle comprend plusieurs niveaux qui se sont articulés au cours de son histoire (voir Perrin Glorian, 1994). Notre extériorité à cette théorie rend encore plus difficile mais aussi plus nécessaire cette présentation. Comme nous l'avons dit en introduction, nous nous limiterons ici à la première TSD (Salin, 2002), en donnant une place particulièrement importante au milieu matériel, à la question de l'apodicticité et à celle de l'apprentissage par adaptation. Pour ce faire, nous nous appuyons sur des textes de Brousseau et de quelques-uns de ses commentateurs immédiats, en laissant de côté les travaux les plus récents se rapportant plus ou moins directement à la TSD.

Apprentissage par adaptation et milieu

Dès le départ, la théorisation proposée par Guy Brousseau reprend les hypothèses de Piaget sur l'ap-

prentissage par adaptation (Perrin Glorian, 1994). Comme il le dit lui-même « *chaque connaissance doit naître de l'adaptation à une situation spécifique* » (Brousseau, 1986/1998 p. 49) ou encore : « *L'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres, un peu comme le fait la société humaine. Ce savoir, fruit de l'adaptation de l'élève se manifeste par des réponses nouvelles qui sont la preuve de l'apprentissage.* » (Brousseau, 1986/1998, p. 59)

Cette idée d'apprentissage par adaptation est donc liée fortement à la notion de milieu, considéré comme « *tout ce qui agit sur l'élève et ce sur quoi l'élève agit* » (Brousseau, 1977, cité par Perrin Glorian, 1994, p. 129). Dans la modélisation en termes de théorie des jeux, qui a « *un rôle important dans le développement dans la formulation de beaucoup de concepts de la TSD* » (Perrin Glorian, 1994, p. 117), le milieu est le système antagoniste du système enseigné, c'est-à-dire de l'élève (Brousseau, 1986/1998, p. 93).

Situations fondamentales et situations adidactiques

Brousseau décrit la conception moderne de l'enseignement par le fait que « *le maître va provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées par un choix judicieux des problèmes qu'il lui propose* » (1986/1998, p. 59) et qui le font évoluer par « *son propre mouvement* ».

Cela nécessite, d'une part, d'admettre que l'on peut transformer le savoir en problèmes (Bloch, 2002), ce qui construit la notion de situation fondamentale. « *La problématique des situations fondamentales, c'est de se demander s'il existe un problème, ou plutôt un réseau de problèmes ayant pour solution le savoir visé* » (ibidem). Si on se place dans une modélisation selon la théorie des jeux, il s'agit, « *pour un savoir donné, de trouver un jeu qui le fasse fonctionner comme connaissance* »⁴ (ibidem). On voit, comme dans la citation donnée en introduction, que les savoirs et les connaissances sont identifiés à une solution de problème.

D'autre part, l'idée du « mouvement propre » de l'élève conduit à la notion de situation adidactique définie par le fait que, « *entre le moment où l'élève accepte le problème comme sien et celui où il produit sa réponse, le maître se refuse à intervenir comme proposeur des connaissances qu'il veut voir apparaître.* » (Brousseau, 1986/1998, p. 59). L'élève, quant à lui, sait bien que

le problème vise à lui faire acquérir une connaissance nouvelle, mais qu'il peut la construire en ne s'intéressant qu'à la logique interne de la situation et sans chercher à deviner dans le détail les intentions du maître (« *sans faire appel à des raisons didactiques* », *ibidem*). Pour cela les intentions du maître doivent lui être suffisamment opaques.

Une fois cette notion introduite dans la théorie, les caractérisations de l'adidacticité varient d'un texte à l'autre et d'un auteur à l'autre. Sans trop anticiper sur les analyses qui suivent, nous sommes obligés de préciser ce point car c'est dans l'espace de cette variation que se situe la limite entre ce qui s'accorde avec l'apprentissage des SVT par problématisation et ce qui s'y accorde moins.

Dans la première catégorie, nous pouvons citer cette condition nécessaire (mais pas suffisante?) que donne Margolinas (1993, p. 33) : pour l'élève « *la situation est a-didactique seulement s'il a conscience d'y engager uniquement un raisonnement mathématique* ». On y trouve également, de façon plus ambiguë, les descriptions qui insistent sur l'autonomie de l'élève (par exemple, Salin, 2002).

La seconde catégorie, celle qui nous interroge comme nous le verrons, peut être illustrée par cette condition que donne Margolinas (1993, p. 39) à la dévolution d'une situation : « *une condition nécessaire pour qu'une situation permette un jeu a-didactique est de comporter un milieu qui permette une phase de validation* ». Une phase de validation étant définie ainsi dans le même ouvrage (p. 31) : « *nous dirons qu'une phase de conclusion est une phase de validation si l'élève y décide de lui-même de la validité de son travail* ». Or si on peut, en SVT, concevoir des situations où les élèves évoluent de leur propre mouvement, sans faire appel à des raisons didactiques, ils ne peuvent généralement pas accéder par eux-mêmes à une information sur la validité de leur travail.

Il faut noter que, dès 1982, Brousseau signale que si les situations quasi-isolées que sont les situations adidactiques sont pertinentes du point de vue de la recherche, en ce qu'elles permettent de contrôler les interventions du professeur pour observer l'élève (Perrin Glorian, 1994), leur intérêt pédagogique est encore à prouver et « *les prises de position à ce sujet sont encore nettement idéologiques* » (Brousseau cité par Perrin Glorian, 1994 p. 128).

Action, formulation, validation

Nous aurons besoin d'un autre élément de la TSD : la distinction entre situations d'action, situations de formulation et situations de validation. Cette distinction, introduite très tôt dans la TSD sous forme de trois dialectiques (Perrin Glorian, 1994, p. 108), est modélisée par Brousseau (1986/1998, p. 104 et suivantes), en référence à la théorie des jeux ; il parle ainsi de « *trois types de situations adidactiques* » et les schématise.

Dans les situations d'action, il y a une « *interaction effective avec le milieu et pertinente au sujet du savoir construit* » (Brousseau 1978, cité par Perrin Glorian, 1994, p. 110). En termes de jeu, l'élève joue et se fabrique des stratégies pour essayer de gagner. « *Le milieu pour l'action comprend du matériel, ou bien directement des objets mathématiques* » (Margolinas, 1993, p. 68). Dans le jeu de la course à vingt⁵ (Brousseau, 1998, p. 25 et suivantes), par exemple, c'est une situation de jeu à un contre un.

Dans les situations de formulation, « *le milieu (a-didactique) a été organisé de façon à contraindre l'élève à faire fonctionner sa connaissance pour produire des formulations* » (Margolinas, 1993, p. 77). C'est le cas, par exemple, quand le maître organise un jeu en équipes où des échanges sur les stratégies sont nécessaires.

Dans les situations de validation, les « *messages échangés avec le milieu sont des assertions, des théorèmes, des démonstrations, émises et reçues comme telles* » (Brousseau, 1986/1998 p. 99). Ce sont, toujours dans l'exemple de la course à vingt, des équipes qui jouent à proposer des conjectures qu'elles doivent faire accepter par tous (« *jeu de la découverte* »).

Dans les situations de formulation et de validation, le milieu comprend nécessairement des interlocuteurs (Margolinas, 1993, p. 68), généralement d'autres élèves.

La structuration du milieu

Le dernier élément de la TSD que nous voulons présenter, pour montrer la complexité du concept de milieu dans cette théorie, est la structuration du milieu didactique. Elle a été envisagée par Brousseau, à partir de 1986, de façon à pouvoir rendre compte des différents rôles des élèves et du maître dans les situations didactiques. Une situation didactique

donnée peut alors être décrite selon une structure de niveaux emboîtés. Les niveaux inférieurs correspondent à des situations non ou adidactiques qui sont incluses dans les niveaux supérieurs où l'intention didactique est présente (Brousseau, 1998 p. 326, Margolinas, 1995). La figure 1 reprend un schéma de cette structuration proposé par Brousseau.

Discussion

Cette présentation de la TSD est partielle, voire partielle. Une des difficultés rencontrées est la dynamique de cette théorie et son évolution au cours des trente dernières années. La sélection présentée ici est en partie due à notre connaissance incomplète du sujet ; mais des choix ont été faits, comme celui de nous limiter à la théorie des « situations à usage didactique », pour mettre en avant les points que nous voulons discuter.

Pour préparer cette discussion, que nous ferons à partir d'un cas d'enseignement-apprentissage en SVT,

nous allons résumer la façon dont le cadre théorique de la problématisation lit *a priori* celui de la TSD.

1) Il y a accord sur les relations fortes entre savoirs et problèmes, et sur le fait qu'un savoir peut être représenté par un problème ou un réseau de problèmes. Une petite différence cependant : du point de vue de la problématisation, ces relations ne peuvent pas simplement s'exprimer en faisant des savoirs les solutions des problèmes ; les problèmes construits ne disparaissent pas avec les solutions et font partie intégrante des savoirs.

2) Autour de cet accord relatif, deux points problématiques apparaissent. Du côté des choix méthodologiques, il ne semble pas évident que les savoirs (en SVT) peuvent toujours correspondre à des problèmes ou des situations modélisables sous forme de jeux (au sens de la théorie des jeux). Du côté des choix théoriques, nous l'avons déjà signalé, l'intérêt de l'apprentissage par adaptation pour penser la problématisation demande à être discuté.

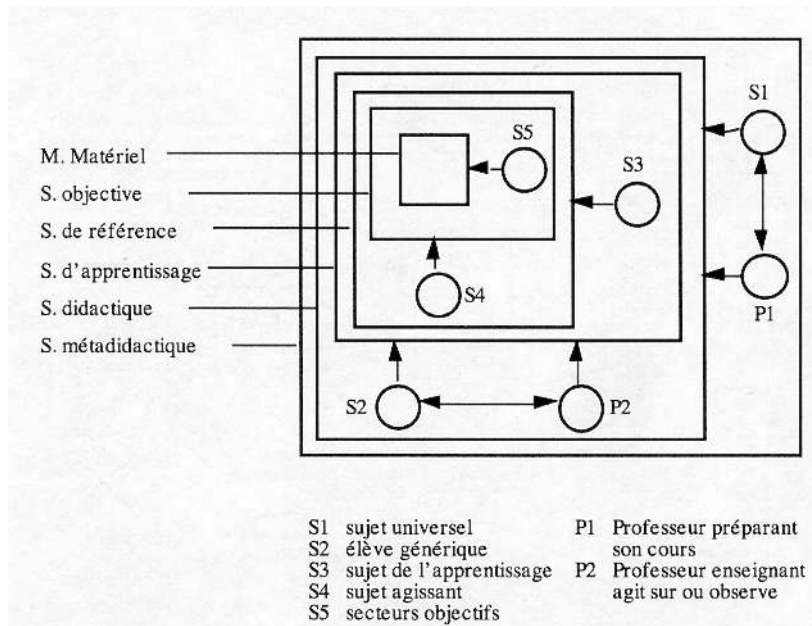


Figure 1 : la structuration du milieu (Brousseau, 1998)

Lecture d'une situation de débat scientifique en SVT selon la TSD

Pour développer notre discussion nous allons nous appuyer sur le cas d'une séquence d'enseignement-apprentissage de SVT construite dans le cadre de l'apprentissage par problématisation tel que nous l'avons présenté plus haut. Nous allons tenter de la lire avec le cadre de la théorie de situations à usage didactique. Dans un premier temps nous nous limiterons à la première partie de cette séquence, qui s'organise autour de deux débats scientifiques dans la classe.

Présentation du cas

Il s'agit d'une séquence de 9 séances sur le concept d'articulation, menée par Eric Maleyrot dans sa classe de CM1-CM2 (grades 4 et 5) à partir d'un travail sur le mouvement du membre supérieur de l'Homme. Les objectifs ont été volontairement limités aux aspects mécaniques de l'articulation, en laissant de côté les questions des muscles et de la commande nerveuse. Cette séquence a été co-construite par un groupe de recherche⁶, dont fait partie le maître, selon la méthode suivante :

-les objectifs de recherche de cette séquence sont définis a priori : il s'agit d'étudier les conditions pour que les élèves construisent un savoir (au sens de l'apprentissage par problématisation) sur le concept d'articulation et que cela se traduise par une mise en textes qui n'en reste pas à un savoir propositionnel (Delbos et Jorion, 1990 ; Astolfi, 1992) mais intègrent des éléments de la problématisation. Les aspects didactiques, théoriques et empiriques de la construction d'un savoir problématisé sont connus des membres du groupe de recherche, de même que les difficultés à mettre en textes ces savoirs.

-Concernant le concept d'articulation, une analyse préalable, qui s'appuie sur une étude épistémologique et d'autres séquences comparables, a identifié les nécessités à construire dans le cas d'un problème explicatif qui met en relation fonction biologique et fonctionnement : nécessité d'un mécanisme qui permet de plier au coude, nécessité d'une cohérence, nécessité d'un dispositif de limitation des mouvements. Le réseau de ces trois nécessités peut définir le concept d'articulation à ce niveau d'enseignement.

-Une réunion de recherche se tient avant chaque séance. On y fait le point de l'avancée des savoirs et des textes. Les didacticiens proposent des suites possibles, à partir de recherches déjà menées, des objectifs de cette recherche et des objectifs d'apprentissage. Ces possibilités sont discutées par les membres du groupe et des choix sont faits en tenant compte notamment de l'avis du maître quant au fonctionnement de sa classe et ce qui lui semble possible et pertinent. On passe alors à la préparation matérielle de la séance, préparation mise en forme et terminée par le maître.

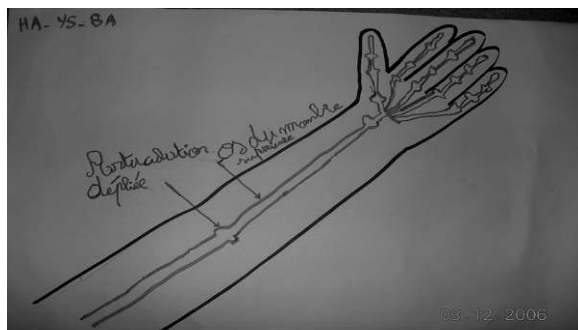
Toutes les séances ont donné lieu à un enregistrement vidéo et audio en continu. Les travaux de groupes ont été enregistrés en audio ; les productions écrites individuelles, de groupe ou collectives ont été recueillies. Nous n'utiliserons ici qu'une petite partie de ces matériaux.

Les deux premières séances sont consacrées, pour la première, à un travail individuel et, pour la deuxième, à un travail de groupe à partir de la consigne :

« Dessine ce qu'il y a dans le bras lorsqu'il est en position 1 et en position 2. À partir des 2 schémas, explique en deux ou trois phrases, ce qui se passe dans le bras lorsqu'il se déplace/bouge de la position 1 à la position 2. »

Les positions 1 et 2 correspondent aux deux silhouettes fournies aux élèves et aux groupes, la première où le membre est tendu et la seconde où il est fléchi. Lors de la deuxième séance, les six groupes de 3 ou 4 élèves⁷ sont, dans la mesure du possible, choisis pour mettre ensemble des élèves ayant des productions individuelles proches. Dans ces groupes les élèves doivent expliquer ce qu'ils ont produit, comprendre ce que les autres ont voulu représenter, discuter, puis produire ensemble un schéma et un texte.

Voilà les schémas de deux de ces groupes :



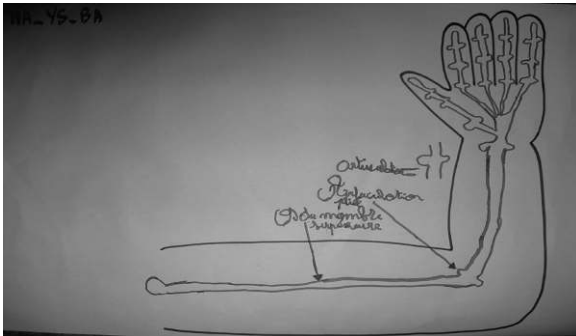


Figure 2 : schémas du Groupe HaYsBa (3 élèves)

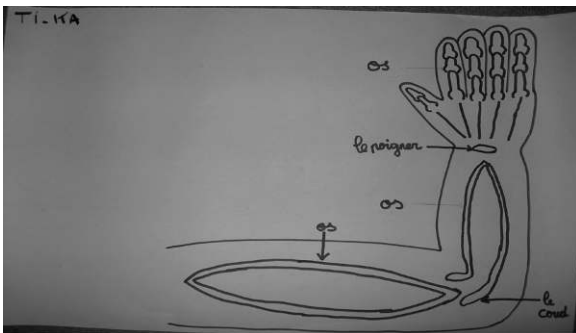
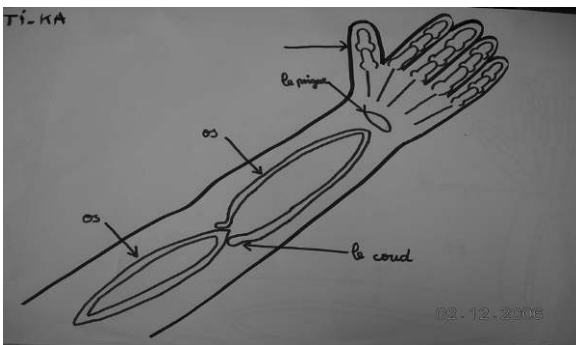


Figure 3 : schémas du Groupe TiKa (2 élèves)

La séance 3 est consacrée à un débat sur les productions de chaque groupe. Lors de ce débat, des argumentations sont produites pour justifier les productions ou pour montrer en quoi elles ne peuvent pas convenir. Mais devant la difficulté à saisir ces argumentations pour les travailler avec la classe, le choix a été fait, pour la séance suivante, de proposer aux élèves ce que nous avons appelé « des caricatures », c'est-à-dire des schémas s'inspirant des productions des groupes, mais dessinés par nous.

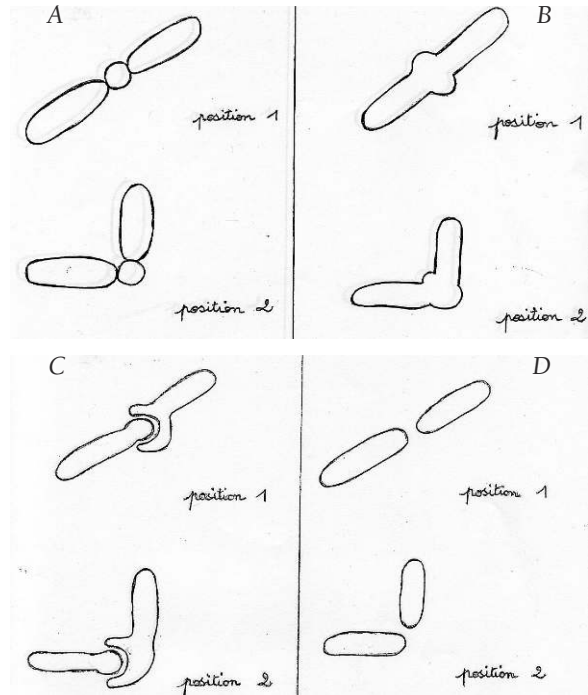


Figure 4 : « caricatures » proposées aux élèves lors de la séance 4

Lors de la séance 4, les élèves devaient, individuellement par écrit puis en groupes et enfin en collectif, discuter ces schémas pour dire « Quelles sont les représentations qui ne peuvent pas fonctionner et pourquoi? Et celles qui peuvent fonctionner et pourquoi ». Le maître a beaucoup insisté sur le fait que c'était le « pourquoi » qui l'intéressait.

La séance s'est terminée par un nouveau travail individuel avec les mêmes consignes que pour celui du début de la séance.

Dans les premières analyses, nous nous en tiendrons à ces 4 séances qui, du point de vue de la problématisation, sont essentielles. La séquence s'est poursuivie par un travail sur des « documents » divers (schémas, radio, reproduction en taille réelle d'un squelette de membre supérieur) et par des travaux d'écriture sur lesquels nous reviendrons plus loin.

A quel jeu joue-t-on ?

La première question que nous voudrions poser dans une analyse selon la TSD, est celle du jeu. En

effet, même si la modélisation selon la théorie des jeux n'y est pas fondamentale, elle a eu une valeur heuristique évidente et a joué un rôle important dans le développement de la TSD. Peut-on penser ce qui se fait dans les quatre premières séances sur le mouvement du bras que nous venons de présenter en termes de jeu ? L'analyse des enregistrements de ces séances montre que les élèves entrent bien dans le problème, ils semblent, pour la plupart, motivés et y trouvent un certain plaisir : ils ne s'ennuient pas. Mais jouent-ils au sens de la théorie des jeux ? Aucune compétition n'est explicitement mise en place.

On aurait pu se mettre d'accord sur le fait, par exemple, qu'un élève gagne quand il voit son idée ou son argumentation retenue par toute la classe. Mais la situation n'est pas organisée pour marquer ces points. S'il y a un jeu, il reste implicite. En fait, la situation remplit très peu des conditions de structure que donne Brousseau pour définir formellement un jeu (1986/1998 p 83) :

-impossible de repérer le joueur « au trait », sauf à dire que c'est celui qui demande la parole lors du débat ;

-on peut difficilement définir l'ensemble des positions possibles ; en tout cas l'application qui définit les positions permises (les règles) n'est pas explicite ;

-l'état final n'est pas connu.

Certes Brousseau note (ibidem) que la définition de jeu qu'il donne n'est pas générale et il est bien possible que la théorie des jeux puisse modéliser ce que nous étudions ici. Mais le jeu ... en vaut-il la chandelle ?

Nous devons envisager une autre possibilité : cette difficulté à modéliser selon la théorie des jeux serait liée aux situations choisies dans cette séquence de SVT qui pourraient être didactiquement plus pertinentes (plus « adidactiques ») ? Cette position est recevable, mais nous devons l'accompagner des remarques suivantes :

1) Nous adhérons totalement à la proposition de Brousseau quand il dit que le travail de l'élève doit être par moments comparable à l'activité du scientifique (1998, p.49). Or, s'il est possible de comprendre l'activité des chercheurs (en biologie et en géologie comme dans les autres domaines) comme un jeu social où le gain est la reconnaissance des pairs et l'évolution de la carrière (voir les travaux de socio-

logie des sciences), il est loin d'être évident que les savoirs qu'ils construisent correspondent à des stratégies optimales de jeux scientifiques aux règles bien identifiées, ou qu'ils puissent être traduits ainsi.

On voit mal quelles stratégies, et pour quels jeux, les concepts de respiration, de circulation sanguine, de milieu intérieur ou même d'articulation pourraient soutenir. Plus généralement, les savoirs à construire en SVT peuvent difficilement être associés à des connaissances qui font gagner à un jeu prédéterminé. Nous écrivons bien ici « prédéterminé ». Si on considère qu'il s'agit d'un jeu dont les règles se construisent dans l'action, a-t-on besoin pour cela de la théorie des jeux ? Ne peut-on pas, plus simplement, parler de l'étude d'un problème ?

2) La production d'idées explicatives et le travail critique sur ces idées sont particulièrement importants pour la problématisation. Or les activités correspondantes sont difficilement classables dans la typologie : situations d'action, de formulation et de validation. Les productions d'idées (individuelles ou en groupes) peuvent être considérées comme des situations de formulation, mais pour lesquelles il n'existe pas de situation d'action adidactique de référence à laquelle on aurait joué avant. Quant au débat (séance 3), c'est une situation de formulation mais aussi de validation, dans la mesure où les propositions des groupes peuvent être considérées comme des assertions qui sont discutées.

Ainsi au sujet de la production du groupe HaYsBa (voir plus haut), Ka dit : « Bah comment on va... comment on va voir les deux fractions puisque vous avez montré qu'un seul os ? Si on casse le bras on peut pas avoir deux fractions⁸ puisque y a qu'un seul os ? »

Et, pour ce que propose le groupe TiKa, Ys objecte : « Pourquoi dans l'os y a un creux... ça veut dire est-ce que je pourrais enfoncer mon... enfoncer mon... un doigt... un doigt dans mon bras ? ».

Derrière cette impossibilité à faire entrer ces situations dans les types proposés par la TSD se pose la question du milieu. Leur correspond-il un milieu adidactique et lequel ? Nous y reviendrons dans la partie suivante.

3) Nous avons évoqué ci-dessus la possibilité de transformer les débats de la séance 3 et de la séance 4 en un jeu de « la découverte », pour reprendre la terme employé par Brousseau pour la course à vingt

(1998, p. 37) : chaque proposition doit être acceptée ou contrée par l'équipe adverse, et des points sont attribués à l'équipe qui a fait une assertion ou une objection acceptée par l'autre équipe. Est-ce possible pratiquement, compte tenu de la grande variété de propositions et d'argumentations possibles ? Supposons cette interrogation levée, il reste selon nous le problème essentiel : les argumentations (ou

les propositions) des groupes ne peuvent généralement pas être acceptées ou refusées telles quelles : elles donnent lieu le plus souvent à une négociation de schématisation⁹ (au sens de Grize, 1990) et cette négociation est particulièrement importante pour la problématisation (Orange, 2003a). Ainsi, dans le débat de la séance 4, au sujet de la « caricature A » (voir figure 4) :

64	Ke : Ca peut pas fonctionner parce que si jamais ça bouge, ça ça peut bouger n'importe où et ça aussi.
65	M. : Explique avec euh... vas-y... vous comprenez ce qu'il dit ?
66	Elèves : Non.
67	Ke : Bah là par exemple si jamais je me plie comme ils disent (<i>il plie son bras</i>) ça (<i>il montre son avant bras</i>) ça pourrait y aller... ça pourrait faire ça (<i>il déplie son bras et montre que son avant bras pourrait aller plus loin</i>), ça pourrait aller n'importe où en fait. Si jamais on peut... si jamais on peut bouger euh...
68	M. : Alors... les autres ? Ysad ?
69	Ys : Il veut dire que comme c'est une rotule si il peut se plier dans l'autre sens (<i>il plie son bras vers l'épaule</i>) si il peut le plier de ce sens... euh dans ce sens il peut se plier dans l'autre sens aussi.

Si cette argumentation est finalement acceptée par la classe, qui a gagné, Ke ou Ys ?

Ce que nous voulons dire, c'est que, dans un travail collectif de problématisation, les élèves ont bien des idées à défendre. Mais ces idées se développent et le débat, tout en étant une situation fortement argumentative (Plantin, 2005), est un lieu d'argumentations heuristiques où les idées et leurs formulations évoluent. Si des accords sur telle ou telle argumentation se font, c'est généralement au terme d'un travail qui a impliqué plusieurs élèves de la classe, sans qu'on puisse les dire d'un groupe ou d'un autre.

Dans ces conditions la modélisation selon la théorie des jeux n'est certainement pas impossible, mais elle ne nous semble pas très efficace pour la mise en oeuvre et la compréhension de situations d'aides à la problématisation.

3.3 Quel milieu pour les savoirs en SVT ?

La notion de milieu dépassant, dans la TSD, la modélisation en terme de jeu, nous voulons poursuivre notre analyse du travail sur le mouvement du membre supérieur en essayant d'identifier le ou les milieux qui y interviennent.

En nous référant à la structuration du milieu didactique (voir 2.4), nous pouvons proposer la description suivante. Nous le faisons avec beaucoup de prudence, sans être sûr d'éviter les ambiguïtés

dont parle Perrin Glorian (1999) entre situation d'action et « sujet agissant ».

- Le milieu objectif correspond aux mouvements du membre supérieur tel que l'élève peut les observer (sur lui-même ou ses collègues).

- La situation de référence correspond à un élève (agissant) construisant un modèle explicatif, sous forme d'un schéma et d'un texte, rendant compte de ces mouvements (séances 1 et 2).

- Cette situation de référence sert de milieu à une situation d'apprentissage où les élèves font une analyse critique des explications produites (débat ; séances 3 et 4).

- Ce débat sert à son tour de milieu (de référence) pour un travail, non encore décrit pour cette séquence, car relevant des séances suivant la séance 4.

Une description en terme de structuration du milieu semble donc pouvoir se faire, à certaines conditions cependant qui rejoignent ce que nous avons dit dans la partie précédente :

- Il nous faut certainement renoncer à une description des situations selon la théorie des jeux ;

- la situation de référence est bien une situation d'action, mais cette action consiste en la production d'un modèle explicatif et c'est également une situation de formulation.

Il vient alors le problème suivant : dans cette séquence, le milieu objectif ne permet pas une réelle

Christian Orange

validation de l'activité de l'élève. Nous ne voulons pas dire qu'il n'intervient pas dans cette activité, puisque, de toute évidence, les productions réalisées sont des modèles explicatifs des mouvements du membre supérieur : le milieu objectif joue bien le rôle de milieu scientifique. Mais ce milieu objectif ne permet pas à l'élève de décider de lui-même de la validité de son travail. Il ne permet donc pas, d'après Margolinas (1993, p. 48), un jeu adidactique. Cela est lié, bien sûr, au fait qu'à aucun niveau il n'y a une situation d'action avec un milieu matériel pouvant jouer totalement le rôle de système antagoniste. Si on s'en tient à une définition plus large de l'adidacticité, on peut dire cependant que l'élève évolue de son propre mouvement, sans faire appel à des raisons didactiques.

Ne pourrait-on pas transformer ce milieu objectif pour améliorer les possibilités de validation ? Nous allons explorer différentes possibilités pour préciser dans quelle mesure la TSD et le cadre de l'apprentissage par problématisation ne sont pas théoriquement équivalents.

Une validation empirique ?

Etant dans le domaine des sciences de la nature, la première idée qui peut venir en ce qui concerne le milieu objectif est de permettre une validation empirique (par observation et/ou expérimentation) des modèles proposés par les élèves.

Notons d'abord les limites théoriques d'une telle entreprise, si on s'en tient à une vieille idée, thématisée par Duhem (1914) et Popper (1984), selon laquelle les observations et les expériences ne peuvent jamais prouver une théorie ou un modèle, mais uniquement les réfuter¹⁰. Au mieux pourrait-on espérer un milieu « réfutant » et non validant : face aux données empiriques, on ne gagne jamais, mais on peut ne pas perdre.

D'un point de vue plus pratique, la quantité d'observations et d'expériences pouvant être construites ou convoquées dans un problème explicatif précis est considérable et fortement liée aux modèles que l'on doit mettre à l'épreuve. Comme préparer un milieu objectif dans ce but ? Ce serait donc en terme d'évolution du milieu qu'il faudrait penser. Ajoutons à cela que le « réel » n'est pas immédiat : il ne suffit pas d'être en présence d'une radio du coude ou même

d'un squelette du membre supérieur pour valider ou invalider une idée explicative¹¹. Ainsi, aucun ligament ne se voit dans ces deux objets, ce qui ne veut pas dire que l'idée d'une structure qui attache les os est fautive. Quant à une photo d'une articulation d'un animal de boucherie - ou à une articulation réelle - elle ne permet pas, de par la complexité de la capsule articulaire, de réfuter des modèles comme celui proposé par le groupe HaYsBa (figure 2, ci-dessus).

Mais la limite essentielle de cette possibilité de validation empirique est ailleurs, du côté des savoirs visés. Si des modèles explicatifs peuvent être validés empiriquement, cela valorise les connaissances que représentent ces modèles-solutions : on en reste à un savoir descriptif, contingent et donc assertorique (c'est ainsi, mais cela pourrait être autrement), alors que la problématisation vise des savoirs apodictiques.

Une validation catégorielle ?

Autre évolution envisageable du milieu objectif : un ensemble d'objets ou de schémas mis pour les uns dans la catégorie « articulation », pour les autres dans la catégorie « non articulation » et pour les derniers dans une catégorie indéterminée. Le but serait de trouver les attributs d'une articulation et de classer les « douteux ». On tient là un jeu qui rappelle ceux que propose Barth (1987), avec des exemples oui et des exemples non. Mais, s'il est possible d'arriver de cette façon à une définition d'une articulation, on en reste à des concepts catégoriels et non à des concepts scientifiques (Cassirer, 1910 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993) qui, dans notre cadre, sont intimement liés à un problème explicatif. Là encore, les savoirs en jeu sont assertoriques.

Une validation des nécessités ?

Les deux premières tentatives pour améliorer le milieu objectif posent donc un certain nombre de difficultés épistémologiques et n'orientent pas vers un savoir problématisé, apodictique. L'analyse de ces tentatives était nécessaire pour dépasser l'idée d'une simple validation empirique des connaissances et des savoirs en SVT, mais le résultat n'est pas étonnant : en didactique des mathématiques, lorsque qu'un milieu objectif peut fonctionner de manière adidactique, les validations qu'il permet portent sur des stratégies ou

des décisions, et non directement sur des propositions mathématiques de nature apodictiques (théorèmes, par exemple). L'apodicticité, lorsqu'elle est construite, relève de situations de validation. Cependant, ce qui rend selon nous les choses différentes en SVT, c'est que le milieu objectif ne peut pas faire fonctionner les connaissances sous forme de techniques de choix à partir desquelles se travaillera la technologie qui les justifie; tout simplement parce que les savoirs biologiques et géologiques ne sont généralement pas traduisibles en techniques de décision d'action sur un milieu objectif¹². Les problèmes fondamentaux en SVT sont de nature épistémique : ils visent directement des connaissances scientifiques. Et si l'on voit bien l'intérêt de valider une technique avant de la formuler et de la questionner en tant qu'assertion, la validation d'un modèle est d'un autre ordre : d'une part, elle est dans l'absolu impossible¹³, nous l'avons vu; d'autre part toute mise à l'épreuve empirique prématurée d'un modèle risque de contrarier fortement la problématisation car elle réduit les possibles sans travailler les raisons, les nécessités. Or ce sont ces nécessités qui organisent les savoir à construire (voir 1.3).

Pour en revenir au cas étudié, les séances 3 et 4, qui nous semblent proches de situations de validation, voient apparaître, dans les argumentations des élèves, des nécessités. Voici, par exemple, ce qu'écrivent individuellement des élèves (orthographe rétablie) après le débat de la séance 4.

Au sujet de la représentation D (voir figure 3)

« ça ne fonctionne parce que les os ne sont pas reliés »

Au sujet de la représentation A :

« ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a pas de blocage »

On peut voir dans ces argumentations la trace de la nécessité d'un système qui relie les os et de la nécessité d'un dispositif de blocage pour que le membre ne se plie pas « dans tous les sens ». Qu'est-ce qui fait que ces nécessités vont être acceptées par la classe? Un ensemble d'éléments que les élèves partagent : vécu empirique, connaissances, schèmes argumentatifs... Mais en aucun cas la décision de retenir ces nécessités ne peut venir d'un milieu objectif seul.

Ce que nous disons là n'est pas spécifique des SVT. Margolinas (1993, p. 128) note ainsi : « il n'est pas possible que la conclusion vienne toujours du milieu

extérieur à l'élève. Si c'était toujours le cas, aucune décontextualisation ne serait possible ». Nous sommes bien dans cette situation, l'établissement de nécessités (la problématisation) pouvant être considéré comme une décontextualisation dans la mesure où ces nécessités dépassent toujours les cas étudiés. Margolinas introduit alors ce qu'elle nomme les « critères de validité » qui sont des connaissances des élèves qui leur servent pour la validation dans une phase de conclusion.

Discussion

Cette difficulté à trouver un milieu adidactique n'est pas un obstacle à la problématisation, au contraire. Comme nous l'avons dit, toute validation prématurée de connaissances verbalisées ne peut que gêner la problématisation, sauf à maîtriser la surveillance intellectuelle dont parle Bachelard (1949).

Nous sommes en fait devant deux modes d'apprentissages, liés à la fois aux caractéristiques des savoirs en jeu et aux références épistémologiques et psychologiques. Dans un cas (TSD et apprentissages mathématiques), les savoirs sont traduits en techniques de jeu qui sont travaillées par les élèves dans des situations adidactiques, puis discutées quant à leur fondements. Cela peut se traduire par le schéma « réussir et comprendre ». Notons cependant que si ce schéma s'applique bien aux situations de type « épaisseur d'une feuille de papier » (Brousseau, 1998, p. 257), il semble moins bien correspondre à la situation du puzzle (ibidem, p. 237). Dans l'autre cas (problématisation en SVT), les problèmes sont des problèmes explicatifs dont la visée est la production de savoirs. Il y a adidacticité, au sens large, puisque le maître n'intervient pas, dans un premier temps, pour évaluer les modèles et les argumentations; mais il n'y a pas adidacticité, au sens restreint, dans la mesure où il n'y a pas possibilité de validation par l'élève de ses modèles et de ses argumentations grâce à un milieu objectif antagoniste. Se développe ainsi un espace problématique qui permet l'exploration et la délimitation du champ des possibles, par établissement de conditions de possibilité des solutions (nécessités). Ce champ sera secondairement peuplé par des solutions validées par saturation du registre empirique ou du registre des modèles¹⁴. Si le premier mode correspond bien à un apprentissage par adaptation (au moins dans ses premières phases),

Christian Orange

le second fonctionne par pratique théorique, c'est-à-dire par construction de solutions possibles et examen critique de ces solutions. En fait ce dernier fonctionnement n'est certainement pas très différent de celui des situations de validation prévues dans la TSD ; mais, dans ce cas, est-on encore sur un apprentissage par adaptation ? La seule différence vient du fait qu'en SVT on ne peut jamais aller à la démonstration.

Comme nous le supposons dès le départ, l'opposition est loin d'être totale, surtout quand Brousseau écrit (1986/1998, p. 77) :

« L'image simple d'une adaptation à des perturbations extérieures n'est pas satisfaisante pour présenter le phénomène d'apprentissage. Elle ne laisse pas de place à deux éléments essentiels pour le maintien du processus :

- d'une part, la création d'une motivation intrinsèque qui relance l'élève dans la recherche d'une autre « occasion » de s'adapter sans la tentative d'adapter le milieu lui-même,

- d'autre part, l'adaptation interne du sujet sans perturbations extérieures et sans « activité » réelle. »

Il y a bien encore référence à l'adaptation, mais cette idée d'adaptation interne nous semble intéressante. Nous notons, en tout cas, que le milieu extérieur perd de son pouvoir au moment où il s'agit d'entrer dans les concepts scientifiques (au sens large de Vygotski), c'est-à-dire, pour nous, dans les savoirs apodictiques. Doit-on alors aller vers un milieu didactique intérieur ?

Vers un milieu didactique intérieur ?

Les difficultés rencontrées pour mettre en relation la TSD et l'apprentissage par problématisation, notamment en ce qui concerne la définition des milieux, nous ont depuis quelques années fait penser aux travaux du physiologiste Claude Bernard sur le milieu intérieur que nous avons étudiés par ailleurs (Orange, 2003b). Cela nous a conduit à l'idée qu'il pourrait être intéressant de développer la notion de milieu didactique intérieur. En fait cette idée n'est pas neuve car elle est déjà présente, mais nous n'en avons pas souvenir, dans le travail de Margolinas (1993). Voilà ce qu'elle écrit au sujet du retrait du milieu extérieur dans les situations de validation et de la nécessaire intervention de critères de validité

des élèves : *« Nous interprétons le « renversement » opéré au sujet de la validation comme un changement dans la nature du milieu : d'extérieur à l'élève, il est intériorisé »* (p. 131).

Pour introduire cette notion d'intériorisation du milieu, Margolinas s'appuie sur les difficultés à penser les phases de conclusion dans les situations de validation uniquement à partir du milieu extérieur. Ce milieu pour la validation va donner une place de plus en plus importante aux connaissances des élèves au fur et à mesure que ceux-ci intériorisent les actions. Le rôle des connaissances des élèves devient ainsi double : outils pour prendre des décisions, elles servent aussi d'outils dans la validation (Margolinas, 1993, p. 130). Il y a là un bouclage entre milieu et connaissances (le milieu permet de construire des connaissances qui entrent à leur tour dans le milieu) qui n'est pas sans rappeler la problématique du milieu intérieur de Bernard (Grmek, 1997¹⁵; Orange, 2003b). Nous allons rapidement présenter cette problématique et ce concept pour voir comment ils pourraient éclairer la notion de milieu didactique intérieur. Le procédé peut sembler un peu cavalier, mais nous avons une illustre excuse en la personne de Piaget (1967) lorsqu'il développe l'apprentissage par adaptation à partir des théories biologiques.

Le milieu intérieur de Claude Bernard

Le milieu intérieur est un concept central dans la pensée de Claude Bernard. Il l'a construit à partir de certains problèmes de nutrition qu'il a rencontrés et développés, jusqu'à ce qu'il devienne la référence de toute sa pensée biologique. Cette pensée se construit en renvoyant dos à dos les deux grands courants qui animent les questions biologiques au milieu du XIX^e siècle : d'une part le vitalisme, qui donne à la vie des propriétés spécifiques interdisant toute approche expérimentale ; d'autre part le mécanisme, qui réduit l'être vivant à un système physico-chimique et fait de la biologie une partie de la physique et de la chimie.

Pour Bernard, il y a deux conditions indispensables à l'accomplissement des manifestations de la vie : l'organisme animé et le milieu extérieur. *« La vie résulte du contact de l'organisme avec le milieu »* (cité par Grmek, 1997, p. 124). Comment développer une pensée biologique déterministe quand, en contradiction apparente avec ce postulat, l'autonomie des êtres vivants vis-à-vis des variations du milieu extérieur

apparaît clairement ? Il lui faut donc trouver le moyen d'expliquer cette autonomie et d'établir ce déterminisme, alors même qu'un travail expérimental qui ne contrôlerait et ne ferait varier que les paramètres du milieu extérieur semble voué à l'échec.

Nous ne détaillerons pas les étapes de la construction du concept. Bernard propose en 1857 l'existence d'un milieu intérieur, correspondant aux liquides organiques : « Cette sorte d'indépendance ... vient de ce que ... les tissus sont en réalité soustraits aux influences extérieures directes et qu'ils sont protégés par un véritable milieu intérieur qui est surtout constitué par les liquides qui circulent dans le corps » (ibidem, p. 135). Ce milieu intérieur est fabriqué par les organes pour les organes. Ceux-ci ne vivent donc pas dans le milieu extérieur, mais dans un milieu intérieur qu'ils contrôlent et règlent : ce qui explique l'autonomie de l'organisme. Méthodologiquement, il apparaît alors que l'expérimentation doit porter non pas sur les paramètres du milieu extérieur, mais directement sur le milieu intérieur : « pour connaître les raisons des phénomènes nutritifs, il faut descendre dans le sang, c'est-à-dire dans le milieu intérieur. »

Il faut noter que le milieu intérieur est considéré par Bertalanffy (1973) comme un concept précurseur de l'étude des systèmes.

Les caractéristiques d'un milieu didactique intérieur pour les apprentissages scientifiques¹⁶

Revenons à ce que nous notions à la fin de la discussion de la partie précédente : le milieu extérieur semble avoir moins d'influence directe sur les apprentissages scientifiques, ceux qui correspondent aux concepts scientifiques de Vygotski, que sur les apprentissages de stratégies ou de techniques. Pourtant quand Margolinas (1993, p. 94) écrit « il n'y a apprentissage que parce que nous recevons des informations extérieures à nous-même », nous ne pouvons qu'être d'accord avec elle ; à condition toutefois que cette affirmation n'implique pas qu'apprentissage et réception d'informations extérieures sont nécessairement synchrones ou reliés par une relation causale simple.

Dit autrement : le milieu extérieur est une condition nécessaire des apprentissages scientifiques, ce qui ne veut pas dire que ceux-ci ne dépendent directement que de celui-là. On peut trouver une analogie

entre cette problématique et celle de Bernard, pour qui le milieu extérieur est une condition de la vie alors que l'être vivant est relativement indépendant de ce milieu extérieur.

En nous laissant guider par cette analogie, s'il existe pour les apprentissages scientifiques un milieu didactique intérieur (MDI), il est en relation avec le milieu didactique extérieur (MDE), tout en ayant son fonctionnement propre et indépendant, du fait qu'il est construit par les élèves pour les élèves. Le double niveau d'organisation proposé par Bernard en physiologie (organisme d'un côté, organes de l'autre), nous conduit à subdiviser le MDI : un MDI de la classe (MDIc) et un MDI de l'élève (MDIé). L'apprentissage vise une évolution du MDIé, par l'intermédiaire du MDIc, les relations entre MDE et MDIé n'étant directes que dans les situations les plus transmissives ne faisant pas de référence au fonctionnement de la classe.

Que comprend ce MDI pour les apprentissages scientifiques ? Nous devons y mettre tout ce qui semble nécessaire d'ajouter au milieu didactique extérieur pour le travail des savoirs scientifiques : les connaissances des élèves, dont les critères de validité, les problèmes déjà rencontrés etc. Le MDIc étant composé des éléments explicitement partagés par la classe, il comprend essentiellement des textes, oraux ou écrits¹⁷. On peut alors considérer que l'intégration d'éléments du MDE (problème, jeu etc.) dans le MDIc correspond à ce qui est nommé dévolution dans la TSD. Cette introduction n'est pas nécessairement limitée à des éléments matériels ou des problèmes, mais peut comporter tout autre élément culturel : textes, documents divers etc.

Nous allons tenter de faire jouer ces propositions pour analyser la séquence sur le mouvement du membre supérieur dans sa totalité.

Interprétation en terme de MDI de la séquence sur le mouvement du membre supérieur

Les trois premières séances

La question posée au départ (expliquer ce qu'il y a dans le « bras » pour qu'il puisse bouger ; voir partie III.) correspond à une introduction dans le MDE d'un problème. Le travail des trois premières

séances est un travail d'intégration au MDIc de ce problème (dévolution) et d'enrichissement de ce MDIc par les modèles construits à partir des connaissances des élèves (MDIé), modèles pris en compte comme autant de solutions possibles à discuter. On peut considérer que des éléments du vécu commun sur le mouvement du membre supérieur intègrent également ce MDIc lorsqu'ils sont verbalisés ou montrés (gestes). Des arguments critiques sur les modèles sont émis par les élèves mais ne prennent pas totalement place dans le MDIc : ils ne font pas encore partie de la culture commune à laquelle toute la classe peut se référer.

La séance 4 : travail sur les caricatures

Les modèles construits lors de la séance 2 et discutés à la séance 3 interagissent avec le MDIc, mais ne sont pas totalement « assimilés » par la classe, dans la mesure où ils sont attribués à des personnes ou à des groupes. La mise en caricatures vise à favoriser cette assimilation en réintroduisant dans le MDE, sous forme simplifiée, des éléments de ces modèles. Si, au cours de la séance 4, les caricatures deviennent des références communes (MDIc), les argumentations produites ne sont pas encore explicitement partagées, donc pas dans le MDIc. L'écrit individuel demandé à la fin de la séance a pour but de faire expliciter, après le débat, des argumentations dans le MDIé.

Séance 5 : travail sur les raisons

Dans cette séance 5, neuf argumentations (elles sont appelées des raisons) provenant des écrits individuels de la fin de la séance précédente (figure 4) sont proposées aux élèves sans faire référence aux caricatures auxquelles elles s'appliquent.

Ça ne fonctionne pas parce que ce serait bloqué.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a rien entre les deux os et parce que le bras serait tout mou.	Ça ne fonctionne pas parce que les deux parties sont fusionnées par un gros truc qui les empêche de se plier.
Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut bouger partout.	Ça ne fonctionne pas parce que les os sont séparés et que les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut plier dans tous les sens.
Ça ne fonctionne pas parce que les os ne sont pas reliés, ne sont pas attachés à quoi que ce soit.	Ça ne fonctionne pas parce que si la peau s'arrache, les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a pas de blocage.

Figure 4 : les raisons à classer

Les élèves doivent, en groupes puis en collectif, classer ces raisons en 3 catégories¹⁸.

À la fin de la séance, un titre est donné par la classe (après un nouveau travail de groupe) aux trois catégories retenues.

Ça ne fonctionne pas parce que		
ça tombe	ça bloque	ça bouge dans tous les sens

Nous pouvons interpréter cette situation comme une introduction explicite dans le MDE d'éléments des MDIé (les raisons), dépersonnalisés. Ces éléments y sont thématiques et font l'objet d'une analyse qui est mise en commun. Le but est d'enrichir le MDIc de deux nouveaux types d'objets, d'un niveau d'abstraction supérieur : aux modèles possibles (caricatures) s'ajoutent des argumentations sur ces modèles et leurs catégories.

Séances 6 et 7 : des raisons aux solutions

Le maître propose à la classe le tableau suivant, en l'expliquant : « nous avons trouvé 3 types de raisons pour lesquelles cela ne fonctionnait pas, il nous faut maintenant chercher, à partir de documents, comment c'est dans le bras pour que cela fonctionne ».

Ça ne fonctionne pas parce que		
ça tombe	ça bloque	ça bouge dans tous les sens
Comment c'est dans le bras pour que		
ça ne tombe pas?	ça ne bloque pas?	ça ne bouge pas dans tous les sens?

Il intervient donc directement pour développer le texte commun (texte du MDIc). Cette intervention extérieure demande donc une nouvelle dévolution dont le travail qui suit est le résultat.

Les élèves travaillent par groupes. Chaque groupe a à sa disposition, pour remplir le tableau, une photo de radio du coude, un squelette de membre supérieur et un schéma du coude. Le travail des groupes est ensuite discuté collectivement pour remplir un tableau commun.

Comment c'est dans le bras pour que		
Ça ne tombe pas	Ça ne bloque pas	Ça ne bouge pas dans tous les sens
Car les 3 os sont attachés grâce aux ligaments	Le cubitus aide à faire glisser l'humérus et le radius	L'humérus a un creux adapté à la pointe du cubitus L'humérus a un autre creux adapté à la pointe du radius

Figure 5 : les solutions retenues collectivement de l'étude des documents

Par ce travail, le MDIc s'enrichit d'un texte (sous forme de tableau) qui, d'une part, garde trace de la problématisation et des raisons et, d'autre part, décrit des solutions. Ce texte est encore imprécis et n'a pas l'autonomie que l'on peut attendre d'un texte du savoir : il ne peut pas être totalement compris par quelqu'un qui n'est pas de la classe (voir, par exemple, la troisième colonne).

Séance 8 : apports de textes scientifiques

Sont introduits dans le MDE trois textes, provenant de documentaires et de manuels, sur le fonctionnement du coude. Les élèves doivent lire ces textes, individuellement puis en groupes et en collectif, en sélectionnant dans ces textes des éléments pouvant renseigner les trois colonnes du tableau des raisons.

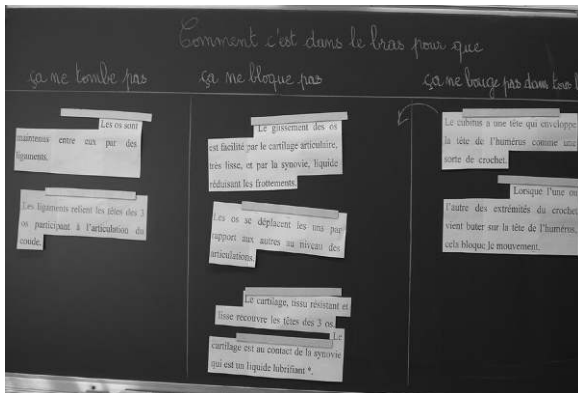


Figure 6 : le classement par raisons de morceaux de textes scientifiques

Ces éléments culturels sont placés dans le MDE dans le but de faire évoluer le texte du savoir qui se trouve déjà dans le MDIc. Le passage du travail individuel au travail de groupes puis au collectif a pour but d'assurer les liens entre éléments du MDE, MDIé et MDIc.

Séance 9 : l'écriture collective du texte du savoir

À partir du texte-tableau de la séance 7 (figure 5) et du travail sur les textes scientifiques, la classe écrit un texte du savoir prenant en compte à la fois les raisons construites, les éléments retenus de documents (photo, squelette, schéma) et des textes scientifiques étudiés. Ce texte du savoir termine le travail dans le MDIc. Il peut être lu en dehors de la classe et mis en relation avec des textes scientifiques exté-

rieurs à la classe. Il communique ainsi, en retour, avec le milieu extérieur non didactique.

Comment c'est dans le bras		
...pour que ça tienne	...pour que ça ne bloque pas	...pour que ça ne bouge pas dans tous les sens
A l'endroit de l'articulation du coude, les têtes des 3 os, l'humérus, le cubitus et le radius, sont bien maintenues grâce aux ligaments.	Le cartilage et la synovie aident à faire glisser les 3 os. Les os se déplacent les uns par rapport aux autres : le cubitus et le radius glissent au niveau de la tête de l'humérus.	L'humérus a une tête adaptée aux deux extrémités du crochet du cubitus. Dès que le crochet du cubitus bute contre la tête de l'humérus, cela bloque le mouvement.

Figure 7 : le texte du savoir construit en collectif

Discussion : milieu didactique intérieur et problématisation

Dans l'analyse que nous venons de présenter, le but n'est pas de faire du MDI un nouveau concept didactique, mais d'explicitier et de discuter les difficultés que nous avons à nous référer à la TSD dans le cadre de l'apprentissage par problématisation.

Le MDIc, comme nous l'avons esquissé, conduit à un certain nombre de remarques.

1) Le MDIc est un milieu fait essentiellement de textes (oraux, écrits, mais aussi tableaux, listes, schémas) qui servent de lieu pour le travail sur le texte des savoirs par la classe et qui sont organisés par les problèmes étudiés. Il est le fonds commun de la communauté discursive scolaire (Bernié, 2002) constituée autour du travail des savoirs scientifiques. Dans ce milieu, la plupart des actions sont des actions sur des textes. Dans un apprentissage par problématisation, le MDIc est l'espace de jeu de cette problématisation. Jeu doit être pris ici dans sa définition la plus large (« activité physique ou mentale purement gratuite... qui n'a d'autre but que le plaisir qu'elle procure », Le Petit Robert) et dans celle de jeu d'un mécanisme, mais sans se référer ni à un système de règles qui définissent a priori le gain ou la perte, ni à un matériel, ni à un ensemble de positions (voir Brousseau, 1998, p82). Dire que le MDIc est l'espace de la problématisation ne veut pas dire que celle-ci ne peut pas se faire dans le MDIé; mais le MDIc permet une exploration plus large et nécessairement verbalisée du monde des possibles. Le régime habituel de cet espace de problématisation est l'argumenta-

Christian Orange

tion critique, où les idées sont défendues pour faire avancer le problème en commun (et non pour dire qui a gagné et qui a perdu).

2) Le MDIc a certainement quelque chose à voir avec la mémoire didactique (Brousseau, 1998, p. 323; Perrin Glorian, 1994, p. 136), dont le maître est le garant.

3) Cela conduit à une discussion de la notion d'adidacticité. Il semble nécessaire de renoncer à une vision trop stricte de la validation au profit de l'évolution des textes de ce MDIc. Quels rôles joue le maître dans cette évolution? Pour le cas étudié, une réponse exhaustive semble prématurée, mais nous pouvons prendre deux exemples. L'introduction en séance 4 de caricatures a de toute évidence (pour les élèves) des raisons didactiques (ils savent que le maître a une intention didactique), mais elle ne leur permet pas de faire appel à ces raisons pour travailler le problème; on reste donc, au sens large, dans une situation adidactique. Mais l'introduction en séance 6 des documents (dont certains sont des schémas élaborés à des fins explicatives) et en séance 8 de textes est, de ce point de vue, beaucoup moins nette: il y a bien de l'ostension dans ces apports du maître. Peut-on dire que cela empêche les élèves et la classe d'avancer de leur propre mouvement? Cette question a-t-elle un sens? L'important est d'analyser si ces apports sont ou non assimilés par le MDIc ou s'ils restent extérieurs. La réponse est à chercher dans les argumentations échangées et les textes écrits produits par la classe: comment l'hétéroglossie est-elle orchestrée (Jaubert, 2000; Jaubert et Rebière, 2001) par les élèves?

4) Si la structuration du milieu telle que la propose la TSD semble, dans un premier temps, permettre de décrire le début de la séquence étudiée avec un emboîtement qui va du milieu objectif à la situation d'apprentissage (voir 3.3), on se heurte vite au problème de la validation et à la question de l'ostension que nous venons d'évoquer. Comment traduire la succession lors de cette séquence: production de modèles explicatifs, critique de ces modèles, classification des argumentations produites, retournement des raisons vers la solution et investigation empirique et documentaire, apports de textes scientifiques et travail des textes de classe? Comment qualifier à chaque fois le milieu si ce n'est comme un MDIc qui évolue par ses emprunts au MDE, au MDIé et par le travail qui s'y fait? A la structuration proposée par la TSD, nous préférons celle qui marque les changements de niveau

de théorisation: des modèles, on passe aux argumentations sur ces modèles; de productions personnelles, on passe à des productions dépersonnalisées, aussi bien pour les modèles que pour les raisons; de la production de raisons, on passe à leur thématization. Ces changements de niveau, organisés par le maître, mais incorporés par le travail des élèves au MDIc, correspondent à la fois à des processus épistémiques et langagiers. Ils font accéder les élèves à des savoirs scientifiques problématisés.

Conclusion

Nous annonçons en introduction que ce qui nous posait *a priori* problème dans la TSD, du point de vue de la problématisation, était la question du milieu et de l'apprentissage par adaptation. Que pouvons-nous en dire maintenant, à la fin de ce qui n'est qu'une première analyse pour ouvrir la discussion entre didacticiens?

Pour ce qui est du milieu, nous avons vu que nous nous heurtons à son rôle dans la validation lors de l'apprentissage de savoirs scientifiques. Non que ce rôle n'existe pas, mais parce qu'il faut mettre dans ce milieu des connaissances des élèves, ce qui le complique fortement et en réduit les possibilités de contrôle didactique. A la structuration verticale (Perrin Glorian, 1999, p. 287) du milieu proposée par la TSD, et qui vise à décrire les rôles de l'élève et de l'enseignant (voir figure 1), il semble nécessaire d'ajouter une structuration horizontale, d'une autre nature que celle que caractérise Perrin Glorian (*ibidem*, p. 286), et qui correspond au triptyque MDE, MDIc, MDIé. Le milieu didactique intérieur de la classe, intermédiaire entre le milieu didactique extérieur et le milieu didactique intérieur de l'élève, permet de mieux penser le travail de problématisation: ce travail se fait par lui, c'est-à-dire à partir des échanges qu'il a avec les deux autres milieux et par les modifications qui s'y opèrent. Notons que le MDE pour les apprentissages scientifiques ne doit pas être confondu avec un milieu matériel. Dans le cas que nous a servi d'illustration, des questions, des textes, des documents divers appartiennent également à ce MDE; ce qui passe du ME vers le MDIc est en partie (en partie seulement) contrôlé didactiquement.

Tout comme, selon Bernard, la médecine expérimentale doit accéder au milieu intérieur et non seulement au milieu extérieur pour comprendre et agir sur

le fonctionnement des êtres vivants, l'action didactique n'a d'efficacité que si elle peut intervenir sur ce MDIc. Ce fonctionnement du MDIc doit de plus être pensé de façon dynamique, dans son évolution au cours de la séquence d'enseignement qui entraîne à la fois des modifications du MDIé (donc des apprentissages) et la production d'un texte de savoirs en relation avec le milieu extérieur non didactique.

Dans un tel schéma, nous proposons de remplacer la question de l'adidacticité par une physiologie de ce MDIc : comment fonctionne-t-il ? Quelles sont ses entrées et ses sorties ? Que produit-il ? Le cas extrême est, dans des enseignements uniquement transmisifs, une physiologie quasi-nulle avec un texte de l'enseignant adressé directement au MDIé de chaque élève.

Les apprentissages scientifiques peuvent alors certainement s'interpréter comme une adaptation au MDIc, lui-même intermédiaire entre milieu didactique extérieur et le MDIé. Il ne faudrait donc pas, du fait que les SVT sont des sciences de la nature, voir dans cette adaptation une simple adaptation à un milieu extérieur naturel. Quand Piaget écrit (1987/1992 p. 177), « *la théorie de l'oxydation est mieux adaptée aux phénomènes de la combustion que ne l'était la doctrine du phlogistique* », il y a une réelle ambiguïté. Entendrait-on par là que les phénomènes de combustion préexisteraient à toute théorie. Le feu est décrit depuis longtemps dans la culture humaine

et sa maîtrise ordinaire ne nécessite pas de théorie de l'oxydation. La combustion existe pour Aristote, Stahl et Lavoisier, mais est-ce le même phénomène ? Rien n'est moins sûr. Dans notre cadre théorique, les phénomènes n'existent que par les problèmes qui tentent d'en rendre raison.

Si nous prenons autant de précautions pour éviter de penser en terme d'adaptation à un milieu naturel ou artificiel essentiellement matériel, c'est que l'accès aux savoirs scientifiques peut également être considéré comme une désadaptation au monde, et ce dans deux sens qui finalement se rejoignent :

- le savoir scientifique est en rupture avec la pensée commune (Bachelard, 1938), celle qui se construit par adaptation au monde qui nous entoure ; prendre en compte le concept d'obstacle épistémologique demande donc une certaine prudence vis-à-vis de cette idée d'adaptation et de ce à quoi il y a adaptation ;

- l'activité scientifique ne vise pas avant tout à éliminer des problèmes en les résolvant, comme dans tout comportement adaptatif ordinaire, mais bien à en construire de nouveaux ; Popper définit ainsi la science comme un « *processus ayant pour point de départ et pour terme la formulation de problèmes toujours plus fondamentaux et dont la fécondité ne cesse de s'accroître, en donnant le jour à d'autres problèmes encore inédits* » (1985, p. 329-330).

NOTES

1. Elle dit reprendre ici une distinction proposée par Brousseau en 1997. Dans cette théorie des « situations à usage didactique », « *la situation est l'environnement de l'élève mis en œuvre et manipulé par l'enseignant* ». Dans des développements postérieurs la situation comprend en plus l'enseignant et le système éducatif dans son entier.
2. Pour des raisons pratiques, une partie de nos références et leur pagination renvoient à Brousseau, 1998 ; mais, lorsqu'un repère chronologique est nécessaire, nous indiquons également l'année de la première publication du texte.
3. Des savoirs sont dits apodictiques s'ils présentent, dans un cadre problématique donné, un caractère de nécessité. Par exemple, dans un cadre où la nutrition a pour fonction de procurer de la matière aux différentes parties du corps et où une action des substances nutritives à distance semble exclue, il y a nécessité d'une distribution de substances provenant directement ou indirectement de l'alimentation dans tout l'organisme.
4. Dans la théorie de Brousseau (Brousseau et Centeno, 1991) « *Le savoir est le produit culturel d'une institution... Les connaissances sont des moyens transmissibles, mais non nécessairement explicites, de contrôler une situation* ».
5. Dans ce jeu, il s'agit pour chaque joueur (ou chaque équipe), à tour de rôle, d'ajouter 1 ou 2 au nombre que vient de dire l'adversaire. On part de zéro, et gagne celui qui dit 20.
6. Il s'agit de la recherche INRP, IUFM des Pays de la Loire « Mises en textes et pratiques des savoirs dans les disciplines scolaire », coordonnée par C. Orange. Le groupe de recherche « SVT » responsable de cette séquence comprend, outre le maître, E. Maleyrot, deux didacticiens des SVT, Denise Ravachol Orange et Christian Orange, et une étudiante en master 2, Nolwenn Causse, elle-même professeur des écoles.
7. Les groupes ayant été préparés à partir des productions individuelles, des absences inopinées ont réduit un des groupes à 2 élèves.
8. Par « fraction » Ka veut vraisemblablement parler de parties.
9. Pour Grize, celui qui parle utilise, pour construire son discours, une représentation du sujet de son discours, mais aussi de ses auditeurs. Ce discours propose des images dont le but est de construire devant l'interlocuteur une présentation d'un micro-univers, une schématisation.
10. Les épistémologues, y compris les non relativistes comme Lakatos, Chalmers et Kuhn, contestent même cette possibilité de réfutation. Voir Chalmers, 1987.
11. Comme il ne suffit pas d'ouvrir un lapin, pour valider un modèle de la nutrition (référence à une discussion avec Guy Brousseau en 2003) ; sinon comment expliquer la longévité du modèle de Galien (du 2^e au 17^e siècle) ?
12. N'en déplaise aux pragmatiques (que nous ne voulons aucunement confondre avec les pragmatistes). N'en concluons pas trop vite que ces savoirs ne servent à rien, mais leur fonction est avant tout critique : ils permettent de travailler sur des assertions.
13. C'est pourtant le mode ordinaire des cours de SVT, grâce au subterfuge de la monstration (Johsua et Dupin, 1989).
14. Nous parlons de saturation du registre empirique lorsque le maître ou les élèves introduisent de nouvelles observations, expériences ou documents relatifs à des observations ou expériences. Lorsque ce sont des documents sur des modèles (documentaires par exemple) qui sont introduits, c'est le registre des modèles qui est saturé ; voir la suite de la séquence, ci-dessous.
15. Pour notre étude du milieu intérieur nous avons lu la plupart des ouvrages de Bernard. Pour faciliter l'accès à sa pensée et ne pas multiplier les références, nous renvoyons uniquement ici au livre de Grmek (1997).

16. Dans toute la suite, « scientifique » (pour les savoirs ou les apprentissages) veut dire : qui concerne les concepts scientifiques au sens de Vygotski, donc les savoirs structurés que l'on apprend à l'école.
17. Texte doit être pris ici au sens large : verbalisation orales ou écrites; mais aussi schémas, tableaux etc.
18. Le choix de fixer le nombre des catégories a été fait pour éviter les catégories ad hoc. Dans le travail collectif, deux « raisons » resteront hors catégories car leur position ne faisait pas accord.

BIBLIOGRAPHIE

- Astolfi J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : P.U.F. (éd. de 1986).
- Barth, B.-M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.
- Bernié J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée? *Revue Française de Pédagogie*, 141, 77-88.
- Bertalanffy, L. von (1973). *Théorie générale des systèmes*. Paris : Dunod (éd. originale 1968).
- Bloch, I. (2002). Différents niveaux de modèles de milieu dans la théorie des situations. In Dorier, J.-L. & al.(Eds), *Actes de la 11^e Ecole d'été de Didactique des mathématiques*. Version sur cédérom. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7 (2), 33-115.
- Brousseau, G. (1998). *La théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. & Centeno, J. (1991). Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. *Recherches en didactiques des mathématiques*. 11 (2/3), 167-210.
- Cassirer, E. (1977). *Substance et fonction, éléments pour une théorie du concept*. Paris : Minuit (Éd. originale 1910).
- Chalmers, A. (1987). *Qu'est-ce que la science?* Paris : La découverte.
- Delbos, G. & Jorion, P. (1990). *La transmission des savoirs*. Paris : Maison des sciences de l'Homme (1984).
- Duhem, P. (1914). *La théorie physique, son objet - sa structure*. Paris : Chevalier & Rivière (fac-similé 1989, Paris : Vrin).
- Fabre, M. (1993). Statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, 26 (4/5).
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : P.U.F.
- Grize J.-B. (1990). *Logique et langage*. Paris : Ophrys.
- Grmek, M. D. (1997). *Le legs de Claude Bernard*. Paris : Fayard.
- Jaubert, M. (2000). *Fonctions et fonctionnement du langage dans la construction des savoirs scientifiques- hétéroglossie et contextes d'apprentissage scolaire*. Thèse de doctorat (non publiée). Université de Bordeaux 2.
- Jaubert, M. & Rebière, M. (2001). Pratiques de reformulation et construction de savoirs. *ASTER*, 33, 81-110.

- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique ; l'enseignement de la mécanique*. Paris : Hachette.
- Margolinas, C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux dans la classe de mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Margolinas, C. (1995). La structuration du milieu et ses apports dans l'analyse *a posteriori* des situations. In Margolinas (eds), *Les débats de didactique des mathématiques, annales 1993-1994*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances In Dorier, J.-L. & al. (Éds), *Actes de la 11^{ème} Ecole d'été de Didactique des mathématiques*. Version sur cédérom. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Martinand, J.-L. (1992). Présentation in *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*. 35, 1, 25-42.
- Orange, C. (2003a). 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. (2003b). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. *Actes des troisièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, octobre 2003.
- Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, 38, 3, 69-93.
- Perrin Glorian, M.-J. (1999). Problèmes d'articulation de cadre théoriques : l'exemple du concept de milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19 (3), 279-322.
- Perrin Glorian, M.-J. (1994). Théorie des situations didactiques : naissance, développement, perspectives. In Artigue, M & al., *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Piaget, J. (1967). *Biologie et connaissances*. Paris : Gallimard (réédition 1992, Delachaux et Niestlé).
- Piaget, J. & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Plantin, C. (2005). *L'argumentation*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?
- Popper, K. (1984). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot (éd. originale 1959).
- Popper, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot (éd. originale, 1963).
- Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier (1972).
- Reboul, O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF
- Salin, M.-H. (2002). Repères sur l'évolution du concept de milieu en théorie des situations. In Dorier, J.-L. & al. (Éds), *Actes de la 11^e École d'été de Didactique des mathématiques*. Version sur cédérom. Grenoble : La Pensée Sauvage.