

Orbach, I., Milstein, I., Har-Even, D., Apter, A., Tiano, S., & Elizur, A. (1991). A Multi-Attitude Suicide Tendency Scale for adolescents. *Psychological Assessment: A Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 3 (3), 398-404.

Osman, A., Barrios, F. X., Grittmann, L. R., & Osman, J. R. (1993). The Multi-Attitude Suicide Tendency Scale: *Psychometric characteristics in an American sample. Journal of Clinical Psychology*, 49(5), 701-708.

Osman, A., Barrios, F. X., Panak, W. F., Osman, J. R., Hoffman, J., & Hammer, R. (1994). Validation of the Multi-Attitude Suicide Tendency Scale in adolescent samples. *Journal of Clinical Psychology*, 50(6), 847-855.

Pichot, J. P. (1995). MMPI-2 et études métrologiques. In J. D. Guelfi, V. Gaillac, & R. Dardennes (Eds.), *Psychopathologie quantitative* (pp. 77-91). Paris: Masson.

Priest, R. G., Tanner, M., Gandhi, N., & Bhandari, S. (1995). Hostility and the psychiatric patient. *American Journal of Forensic Psychiatry*, 16(4), 21-31.

Reynolds, W. M. (1987). *Suicidal Ideation Questionnaire (SIQ): Preliminary Manual*. Florida: Psychological Assessment Resources.

Shneidman, E. S. (1966). Orientations toward death. *International Journal of Psychiatry*, 2, 167-174.

Smith, K., Conroy, R. W., & Ehler, B. D. (1984). Lethality of Suicide Attempt Rating Scale. *Suicide and Life-Threatening Behavior*, 14(4), 215-243.

Spielberger, C. D., & Sharma, S. (1976). Cross-cultural measurement of anxiety. In C. D. Spielberger & R. Diaz-Guerrero (Eds.), *Cross-cultural anxiety* (pp. 13-25). Washington: Hemisphere.

Tatman, S. M., Greene, A. L., & Karr, L. C. (1993). Use of the Suicide Probability Scale (SPS) with adolescents. *Suicide and Life-Threatening Behavior*, 23(3), 188-203.

Valliant, P. M., Maksymchuk, L. L., & Antonowicz, D. (1995). Attitudes and personality traits of female adult victims of childhood abuse: A comparison of university students and incarcerated women. *Social Behavior and Personality*, 23(2), 205-216.

Notes des auteurs

Les demandes de tirés-à-part doivent être adressées à Réal Labelle, professeur au Département de psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec, Canada, G9A 5H7. Une copie de la version française du questionnaire est disponible auprès des auteur(e)s.

Les composantes de l'intelligence générale du D70

Paul Dicks et Romain Martin (*)

Summary : *In this paper the validity of the D70 as a measure of general intelligence is evaluated. In a first study the D70 is applied with other intelligence tests. Confirmatory factor analysis and multidimensional scaling confirm the centrality of the test. Theoretical analysis leads to the differentiation of two facets as potential source of variation of the difficulty of the items: the format of presentation and the nature of the rules governing series completion. The validity of the theoretical facets is tested in a second study with a micro-computer version of the test. Only the nature of the rules influences consistently the performance and the reaction times of the items. Four principles of item construction are recognized as rules governing the differences between the items: spatial, mixed, numeric and arithmetic. If the global score is disaggregated according to these four construction principles and the sub-scores are submitted to structural analysis, centrality of the spatial or mixed items is lost while the centrality of numeric or arithmetic items is not.*

Key words : *General intelligence, LISREL, multidimensional scaling, computerized test.*

Résumé : *La validité du D70 en tant que test d'intelligence générale est évaluée dans cette recherche. Dans une première étude, on a montré que lorsque le D70 est appliqué avec d'autres tests d'intelligence, l'analyse factorielle confirmatoire, ainsi que le modèle d'échelonnement multidimensionnel le situent bien à la*

(*) GRAPCO, Laboratoire de Psychologie de l'Université Nancy 2.
BP 3397 F 54015 Nancy Cedex.

place qui revient aux tests d'intelligence générale. L'analyse théorique des items du test a dégagé deux facettes comme source de variation potentielle de la difficulté des items: le format de présentation et la nature des règles. Dans une deuxième recherche, où le test a été appliqué sous une version micro-informatique, la validité de ces paramètres est évaluée et on a trouvé que seule la nature des règles influence la performance et les temps de réponse. Quatre principes de construction des items sont reconnus comme source de variation : les items à règles spatiale, mixte, numérique et arithmétique. Lorsqu'on décompose le test en fonction de ces principes de construction et qu'on introduit les composantes dans des analyses structurales, les items à règles numérique ou arithmétique apparaissent comme centraux, mais non les items à règle spatiale ou mixte.

Mots-clés : Intelligence générale, LISREL, échelonnement multidimensionnel, test informatisé.

INTRODUCTION

Le test D70 de Kourovsky et Rennes (Manuel d'application, 1970), construit selon les mêmes principes que le test d.48 de Pichot (Manuel d'application, 1959), est destiné à mesurer l'intelligence générale non verbale. Tout comme les «Progressive Matrices» de Raven, il est issu d'une conception spearmanienne de l'intelligence générale, sollicitant de la part du sujet la mise en évidence de relations d'éducation. Le contenu du test, inspiré de travaux d'Anstey (cité dans le manuel d'application du D70), est composé d'ensembles de dominos entre lesquels existent diverses combinaisons de règles logiques, numériques, spatiales que le sujet doit découvrir pour résoudre le problème. Le test collectif, sous format papier-crayon, avec un temps de passation limité, est applicable à des sujets ayant 12 ans ou plus.

L'objet de cet article est l'étude de la validité du D70 en tant que test d'intelligence générale. Deux raisons semblent importantes pour apporter des précisions sur cette question.

La première est que les recherches empiriques sur le D70 sont rares et les praticiens se contentent généralement de souligner la correspondance conceptuelle entre le D70 et le d.48 pour statuer que le D70 est un test d'intelligence générale.

La seconde est que la validation d'un construit comme l'intelligence générale a évolué depuis les travaux de Spearman. D'abord, les méthodes d'analyses structurales (factorielles ou autres) ont actuellement un caractère général qu'elles n'avaient pas il y a encore une dizaine d'années et la vérification systématique d'hypothèses structurales, où le modèle de Spearman n'est qu'un cas particulier parmi d'autres (Bacher et Dickes, 1995), est actuellement possible. Ensuite, si on conçoit la psychométrie comme un ensemble de théories sur la mesure, la validation doit tenir compte des liaisons entre des définitions théoriques des items et les réponses du sujet aux items (Dickes, et al., 1994).

Dans une première recherche, nous avons procédé à des analyses structurales linéaires et non linéaires en appliquant 9 tests d'intelligence, dont le D70, à un échantillon de 219 étudiants. Les modèles psychométriques linéaires, comme l'analyse factorielle, conduisent à des représentations géométriques dimensionnelles de l'intelligence, alors que les modèles non linéaires, comme l'échelonnement multidimensionnel de Kruskal et Shepard (voir Tournois et Dickes, 1993), arrivent à des représentations géométriques spatiales.

Dans une seconde recherche, une analyse conceptuelle des items du D70 a été réalisée, inspirée de la théorie en facettes de Guttman (voir Borg, 1992). La validité des facettes de différenciation théorique sur la performance et les temps de réaction des sujets, enregistrés au moyen d'une version micro-informatique du test, a été démontrée. Cette analyse nous a amené à reconnaître quatre composantes dans le D70 qui se différencient les unes des autres dans des représentations structurales.

Analyses factorielles et intelligence générale

D'après Gustaffson (1984) les différents modèles factoriels peuvent être classés selon deux aspects. 1) Les modèles qui postulent un facteur général (Burt, 1949; Spearman, 1927; Vernon, 1950) et ceux qui ne l'admettent pas (Thurstone, 1938; Cattell, 1971; Guilford, 1967; Horn et Cattell, 1966); 2) les modèles hiérarchiques (Burt, 1949; Horn et Cattell, 1966; Vernon, 1950) et ceux qui reconnaissent à toutes les dimensions un degré équivalent de généralité (Guilford, 1967; Thurstone, 1938). Toutes ces méthodes ont été développées progressivement, contiennent des présupposés spécifiques et ont certains avantages et désavantages pour mettre en évidence la représentation

d'un facteur d'intelligence générale parmi un ensemble de tests. Ces modèles, dont certains n'ont plus qu'un intérêt historique, ont servi à des exploitations exploratoires. Ceci veut dire que le modèle est appliqué à un ensemble de tests et on espère, dès lors que l'on accepte les présupposés du modèle, que les résultats représentent les corrélations empiriques observées entre les tests. Le modèle confirmatoire LISREL (Linear Structural Relations), mis au point par Jöreskog et Sörbom (1988) permet d'élaborer des hypothèses factorielles et de dépendances entre des variables observées et/ou des facteurs selon des théories et de vérifier l'adéquation des hypothèses aux données. Sa grande flexibilité permet de tester d'une façon systématique des hypothèses structurales factorielles parmi lesquelles l'hypothèse du facteur général n'est qu'un cas particulier. Il a le grand avantage de mettre à l'épreuve les hypothèses des divers modèles exploratoires traditionnels. D'après Jensen et Weng (1994) LISREL permet ainsi de tester l'adéquation de modèles concurrents, comme par exemple ceux de Spearman et de Thurstone, ou encore les modèles hiérarchiques.

Actuellement les modèles factoriels hiérarchiques, combinant à la fois les conceptions en termes de facteur général et d'aptitudes mentales primaires, se sont imposées. Carroll (1993), par des analyses secondes d'une grande variété de données publiées déjà depuis longtemps a montré que le modèle hiérarchique déjà adopté par Vernon (1950) et Cattell (1971) est robuste, surtout si on prend la précaution de faire appel à une même méthode d'extraction et de rotation des facteurs. A la même conclusion arrive Gustaffson (1984), après avoir appliqué le modèle LISREL aux données d'une grande enquête suédoise portant sur 1000 sujets à peu près. Pour lui, le modèle HILI (modèle hiérarchique, basé sur LISREL) constitue un modèle unifié pour la représentation géométrique dimensionnelle des aptitudes intellectuelles. Le facteur général est conçu comme un facteur d'ordre supérieur qui se décompose en facteur général fluide, cristallisé et visualisation. Le facteur général de troisième ordre est identique au facteur fluide de Cattell (1971) et est le mieux représenté par des tests comme les Matrices de Raven.

Echelonement multidimensionnel et intelligence générale

A une conception géométrique dimensionnelle s'oppose une représentation géométrique non dimensionnelle, obtenue par échelonement multidimensionnel (Tournois et Dicks, 1993). Celle-ci, issue de la tradition non métrique de Guttman, tente de positionner les tests d'intelligence dans un espace multidimensionnel orthogonal où l'espace occupé par les tests est significatif et pas nécessairement les dimensions qui supportent les

coordonnées des points. Il s'agit d'analyses non métriques où l'ordre entre les distances des points dans l'espace résultant correspond à l'ordre des similarités observées sur le plan empirique entre les données observées.

Sur certains points, les analyses factorielles et les analyses par échelonement multidimensionnel se ressemblent. Elles partent toutes les deux de données de similarité (la matrice de corrélation) et la mesure résultante est un espace géométrique. La représentation par échelonement multidimensionnel a cependant l'avantage de situer les variables observées dans un espace notoirement plus simple que celui de la représentation factorielle. Souvent elle actualise, contrairement à la représentation factorielle, des processus mentaux activés par le sujet (Juhel, 1989) et convient donc particulièrement bien à la mise à l'épreuve de théories cognitives.

Les tests d'intelligence occupent des places particulières dans les représentations régionales, obtenues par échelonement multidimensionnel. Il s'agit d'une structure typique sous forme de radex (voir figure 1).

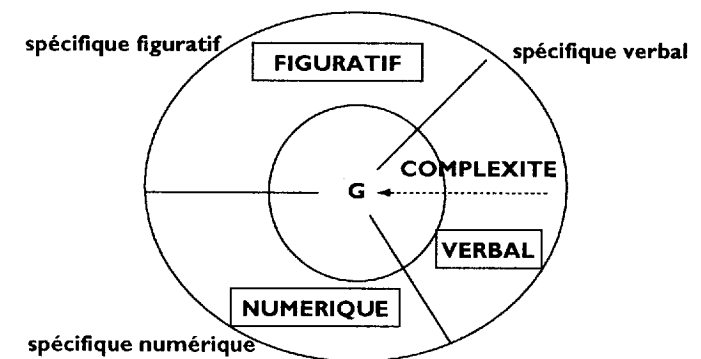


Figure 1
Représentation schématique d'un espace multidimensionnel
en radex des tests d'intelligence

On peut y reconnaître un rôle modulaire : au centre de l'espace à deux dimensions, on trouve les tests de facteur général (comme les Progressive Matrices de Raven) ou encore les tests de raisonnement qui font appel aux processus d'induction, comme les tests d'analogie, de catégorisation et de complètement de séries. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre, les tests deviennent de plus en plus spécifiques. A la périphérie, on trouve des tests de rappel de chiffres, des tests composés d'opérations arithmétiques simples, des tests de barrage, de comparaison de figures. On peut également y reconnaître un rôle polaire. L'espace est généralement partitionné en trois régions bornées par des lignes droites qui partent du centre vers la périphérie.

déjà partie de leurs schèmes de réaction. 2) Ils soulignent l'importance de la capacité de la mémoire de travail. Celle-ci intervient, à des degrés variables, dans toutes les composantes de la tâche d'induction de règles. Ceci permettrait de comprendre le caractère général des tests d'induction de règles. En outre les limitations de la mémoire constituent des limitations à l'accès aux stratégies efficaces pour résoudre le problème.

Quelle que soit l'interprétation que l'on donne au rôle modulaire de la représentation régionale, on peut attendre, si on procède à une analyse par échelonnement multidimensionnel d'un ensemble de tests d'intelligence dont le D70 fait partie, que la structure en radex apparaisse et que la position du D70 soit au centre de la représentation. Du point de vue théorique, le D70 a la prétention d'être un test de facteur général. Il s'agit d'une épreuve d'induction de règles que l'on trouve habituellement au centre du radex de Guttman. Enfin, les auteurs qui ont construit cette épreuve (voir Manuel du test, 1970) ont veillé explicitement à inclure dans les items du D70 une grande diversité de règles. Celles-ci doivent être reconnues par le sujet pour résoudre les items. On peut donc supposer que l'aptitude à négocier la nouveauté constitue une des hypothèses fortes de cette épreuve.

Les facettes théoriques du D70

Le schéma théorique qui a présidé à la création des items n'est pas très explicite chez les auteurs qui ont construit l'épreuve. Il semble (Manuel du test, 1970) qu'ils ont cherché avant tout à inclure dans le test une grande diversité de règles pour résoudre les problèmes et à introduire une grande variabilité dans le format de présentation des stimuli.

D'après la théorie de Sternberg (1985), le D70 est un test d'intelligence fluide et appartient, tout comme les tests d'analogies et de classifications, à la classe des tests de raisonnement inductif. Les composantes du traitement de l'information de ces épreuves impliquent l'encodage de stimuli, l'inférence de règles, la mise en relation de règles, ainsi que l'application, la comparaison, la justification et la réponse.

Aussi, après avoir encodé les stimuli, l'activité du sujet s'exerce principalement à la découverte et au traitement des règles pour trouver une réponse. On peut supposer que la découverte de la règle, ainsi que la vitesse du traitement de l'information dépendent à la fois du format de présentation de l'information et de la nature des règles qu'on doit trouver. Nous avons procédé à une analyse théorique des 22 items impairs du test D70 en fonction de ces deux critères. Seulement la moitié des items du D70 ont été sélectionnés pour alléger le dispositif de collecte d'information qui était fort lourd pour les

sujets. Les résultats de l'analyse théorique sont résumés dans le tableau I en annexe.

Le *format* de présentation des stimuli dans le test D70 est hybride. 15 des 22 items contiennent horizontalement des séries de dominos que le sujet doit parcourir dans le sens de la lecture. Parmi ces 15 items, 4 items contiennent des groupements de dominos. 4 stimuli sont présentés d'une façon circulaire, et pour trois items on présente alternativement des dominos placés horizontalement et verticalement. Nous parlerons de format standard lorsque les dominos sont alignés horizontalement et espacés régulièrement les uns des autres. 11 items sont présentés sous format standard, correspondant au sens de la lecture. Dans les autres cas, on parlera d'un format particulier.

Enfin, les items diffèrent les uns des autres selon la nature des règles sollicitées de la part du sujet. Nous avons différencié quatre types d'items.

- 1) Les items spatiaux. Il s'agit d'items qui peuvent être solutionnés par des stratégies spatiales. On peut trouver une solution lorsqu'on remplace les valeurs numériques des faces par des figures géométriques ou des symboles. Dans ce cas, le sujet a la possibilité de considérer les faces comme des formes et peut s'appuyer sur leur symétrie, répétition, inversion etc. pour trouver la bonne réponse. 8 items sur les 22 remplissent cette condition.
- 2) Les items numériques : Sept items sont considérés comme numériques. La solution est trouvée en appliquant des règles d'incrémentations simples ou complexes. Par exemple : retrancher 1 et additionner 5 pour une face et retrancher 5 et additionner 1 pour l'autre face. L'incrémentations peut se faire pour des faces contiguës ou en alternance.
- 3) Les items mixtes : Quatre items sont à la fois spatiaux et numériques. Dans ce cas, on peut trouver la solution pour une face avec une stratégie spatiale, alors que la solution pour l'autre face du domino doit faire appel au raisonnement numérique (le plus souvent des règles d'incrémentations numériques).
- 4) Les items arithmétiques : Enfin les solutions de deux items ne peuvent être trouvées que si le sujet infère une règle arithmétique simple de type $(a+b=c)$. Une troisième face est égale à l'addition ou à la soustraction de celles qui précèdent ou qui sont contiguës.

Les items numériques ou mixtes se différencient également les uns des autres par le fait que certains items demandent au sujet d'invoquer une règle supplémentaire pour trouver la bonne réponse, à savoir la règle base 7. Le système numérique des dominos ne contient que 7 valeurs s'étendant de 0 à 6 et non les 10 valeurs du système numérique décimal traditionnel auquel il

est habitué. En outre, ces sept valeurs constituent une suite numérique répétitive infinie. Ainsi, la règle base 7 implique de passer de 6 à 0 si on fait l'opération (6+1) et de passer de 0 à 6 si on fait l'opération (0-1).

ANALYSES STRUCTURALES LINÉAIRES ET NON LINÉAIRES

L'étude est effectuée avec un échantillon de 219 étudiants de la deuxième année du Deug de psychologie à l'université Nancy2. L'échantillon est composé majoritairement de filles (85%) et 92% des étudiants ont un âge qui s'étend entre 18 et 23 ans. L'âge moyen est de 20 ans et demi à peu près. Les tests collectifs ont été appliqués en une seule période de deux heures. Pour chaque test utilisé dans cette recherche, nous avons indiqué le nombre d'items (n) et le coefficient de consistance interne (α = coefficient alpha de Cronbach).

1. Le test B.53 de Bonnardel (B53) : Le sujet doit reconnaître des relations entre configurations spatiales (n = 32, α = 0.88).
2. D70 : (n = 22, α = 0.61).
3. Formes papier (PAP) : Il s'agit du «Paper Form Board» de l'Université du Minnesota. Le sujet doit retrouver parmi plusieurs figures géométriques celle qui correspond à un modèle désagrégé (n = 30, α = 0.73).
4. Séries Numériques (NUM) : Des séries de 7 nombres sont présentées au sujet. Il doit trouver la règle qui relie les nombres et compléter la série (n = 14, α = 0.77).
5. Pliage de carrés papier (CAR) : On présente au sujet un carré de papier plié avec des entailles. Dans un carré vide, le sujet doit dessiner l'emplacement et la forme des entailles en supposant que le carré est déplié (n = 15, α = 0.79).
6. Vocabulaire (VOC) : Il s'agit de trouver parmi plusieurs réponses possibles, le mot qui est synonyme d'un modèle (n = 25, α = 0.81).
7. Analogies verbales (ANA) : Le sujet doit résoudre des items du type A:B :: C:D (n = 24, α = 0.57).
8. Vitesse de lecture 1 de l'Association Internationale pour l'Évaluation du Rendement Scolaire (VIT1) : (n = 40, α = 0.91).
9. Vitesse de lecture 2 de l'Association Internationale pour l'Évaluation du Rendement Scolaire (VIT2) : (n = 40, α = 0.92).

Différentes analyses factorielles confirmatoires ont été effectuées avec LISREL. Les modèles de Spearman, de Thurstone et le modèle hiérarchique

strict où chaque test n'est déterminé que par un seul facteur ont été rejetés, les indicateurs d'ajustements globaux (cf. Jöreskog et Sörbom, 1993) étant nettement insatisfaisants. Les indices de modifications (cf. Jöreskog et Sörbom, 1993) nous ont amenés à libéraliser le modèle hiérarchique strict en laissant la possibilité à certains tests d'être des indicateurs de plusieurs facteurs de premier ordre. Nous présentons ici la solution hiérarchique qui finalement a été retenue (figure 3).

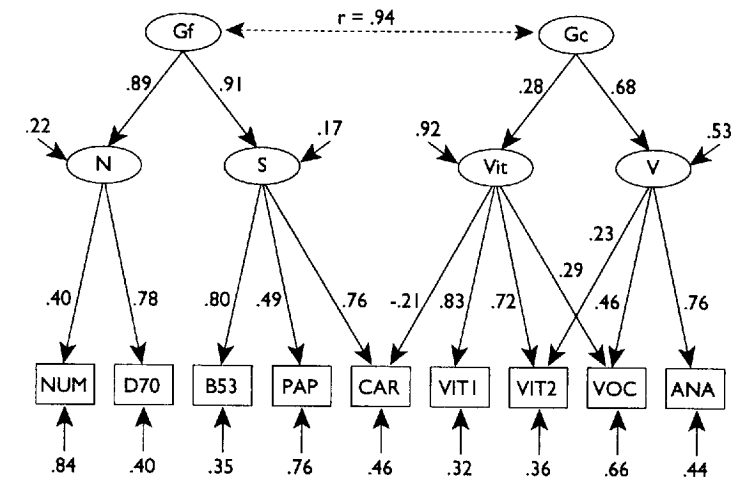


Figure 3
Représentation hiérarchique des tests d'intelligence (coefficients standardisés)

Ce modèle est bien ajusté par la méthode du maximum de vraisemblance ($\chi^2=17.77$ avec $p=0.54$; l'index d'ajustement GFI = 0.98). Le facteur général est un facteur de troisième ordre qui est décomposable en facteurs généraux de deuxième ordre fluide (Gf) et cristallisé (Gc). La corrélation entre Gf et Gc = 0.94. On trouve différents facteurs de premier ordre. Le facteur raisonnement numérique (N) est représenté avant tout par le D70 et le test séries numériques (NUM). Le facteur de raisonnement spatial (S) sature fortement le B53, le test de pliage de papier (CAR) et le test formes papier (PAP). Le facteur Vitesse (Vit) sature avant tout les deux tests de vitesse de lecture et le facteur verbal (V) est représenté principalement par le test d'analogies verbales (ANA). Les corrélations entre les facteurs de premier ordre sont les suivantes : N et S = 0.81; N et Vit = 0.23; N et V = 0.57; S et Vit = 0.24; S et V = 0.59 et Vit et V = 0.19. Le D70 est donc bien un test d'intelligence générale. Il représente le raisonnement inductif numérique et rend compte de l'intelligence fluide.

L'analyse par échelonnement multidimensionnel de la matrice de corrélation (figure 4) des tests d'intelligence se satisfait d'une solution à deux dimensions (stress = 0.09 avec $R^2=0.95$; cf. Tournois et Dickes, 1993). L'espace multidimensionnel reproduit la structure en radex attendue. On observe bien le rôle polaire qui reproduit les contenus figuratif, verbal et numérique. Le rôle modulaire des tests est assuré également dans le sens attendu. Les tests les plus généraux sont au centre de la figure, à savoir le D70 et le B.53. Les deux autres tests de raisonnement occupent une position moins centrale que les tests généraux et les autres épreuves sont positionnées à la périphérie. La représentation multidimensionnelle confirme donc bien le caractère général du D70. Il occupe la même position centrale que le test le Raven dans les solutions multidimensionnelles rapportées dans la littérature.

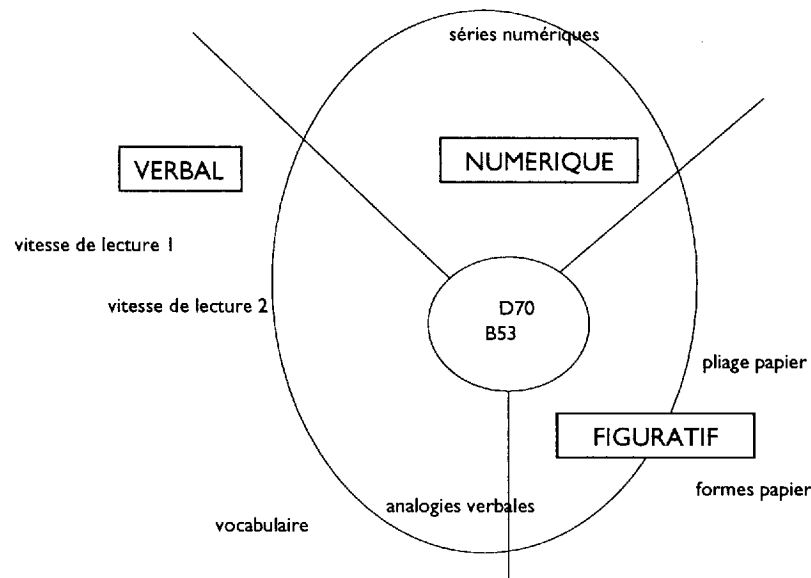


Figure 4
Représentation des deux premiers axes de l'EMD
des tests d'intelligence avec le D70 non désagrégé

LES SOURCES DE VARIATION DES ITEMS

Par une seconde étude, grâce à une version informatisée du test D70, on a procédé à l'examen des sources de variation des items. L'étude est effectuée avec un échantillon de 300 élèves des classes de seconde et de première de Lycées d'Enseignement Professionnel. Les sujets sont âgés entre 16 et 19 ans. L'échantillon est composé majoritairement de sujets de sexe masculin.

La version informatisée du D70 comporte exactement les mêmes exemples et les mêmes items que la version papier-crayon utilisée pour la première étude. Le programme, qui fonctionne sur PC, est auto-explicatif, c'est-à-dire qu'il donne au sujet toutes les consignes nécessaires à la passation. Elles correspondent à celles du manuel d'utilisation du D70 et sont enrichies par des consignes particulières nécessaires à la passation de la version informatisée. Pour inscrire sa réponse dans chacune des deux faces du domino vide, le sujet utilise les touches de 0 à 6 sur le pavé numérique. La touche <ENTREE> permet de passer d'une face à l'autre et un curseur indique en permanence la face à laquelle il faut donner une réponse. Le sujet peut changer de faces autant de fois qu'il le veut. Chaque fois qu'il entre une nouvelle valeur pour la moitié du domino qui est active, cette nouvelle valeur remplace une valeur éventuellement déjà présente. La barre d'espacement permet de passer à l'item suivant.

Les items sont présentés les uns après les autres. Pour les 4 items d'exemple, un message apparaît sur l'écran pour indiquer au sujet si sa réponse est juste ou fausse. Si la réponse est fausse, l'ordinateur indique la bonne réponse et explique la logique de résolution de l'item. Ces explications correspondent aux explications prévues pour la version papier-crayon. Si le sujet a passé tous les items du test et qu'il lui reste encore du temps, l'ordinateur présente la liste des items pour lesquels la réponse donnée par le sujet n'est pas encore complète (une ou deux cases du domino de réponse sont restées vides). Lorsque tous les items ont reçu une réponse complète, le sujet peut accéder à nouveau à tous les items, qui s'affichent à chaque fois avec la réponse que le sujet a donnée pour l'item en question. Le sujet peut donc à ce moment revoir ses réponses et y porter éventuellement des modifications. Le sujet a 12,5 min. pour la résolution des 22 items. Le programme affiche un bref message lorsqu'il ne reste plus que 3 minutes.

Les réponses des sujets sont ensuite analysées en fonction de la performance et du temps de réaction. Pour chaque item, on a ainsi déterminé la difficulté (probabilité de répondre correctement à l'item) et les temps de réaction moyens. On a complété l'analyse en rapportant pour chaque item la corrélation entre le score total et les temps de réaction. Cet indicateur est précieux pour se rendre compte du degré d'automatisation de la tâche sollicitée par l'item. Si cette corrélation est nulle ou négative, le sujet fait appel à des routines de résolution de problèmes facilement accessibles dans sa mémoire de travail alors que si la corrélation est positive, on peut supposer qu'il doit créer ou mobiliser des routines non directement accessibles. Les différents indicateurs empiriques des items sont présentés dans le tableau 1, figurant en annexe.

Le temps de réponse total a été partitionné en temps processuel et en temps réactif. Le temps processuel est celui qui s'étend de la présentation du stimulus jusqu'au premier contact clavier du sujet. Le temps réactif est la différence entre le temps total et le temps processuel. On peut supposer que la plupart des opérations mentales de résolution du problème (encodage, inférence, mise en relation de règles, application, comparaison et justification) ont lieu durant le temps processuel. Le temps réactif contient la réponse du sujet et éventuellement des corrections qu'il apporte à sa réponse.

Les temps de réaction moyens des items sont fortement intercorrélés. La corrélation entre le temps processuel et le temps réactif = 0.67 ($p < 0.01$), entre le temps processuel et le temps total = 0.98 ($p < 0.001$) et entre le temps réactif et le temps total = 0.74 ($p < 0.001$). Le temps processuel (moyenne = 434.13 cycles (1)) est environ 4 fois plus long que le temps réactif (moyenne = 114.74 cycles) et détermine donc largement le temps total (moyenne = 534.34 cycles).

La difficulté de l'item varie principalement avec la nature des règles. L'analyse de la variance simple est très significative ($F(3,21) = 12.67$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.68$). La difficulté moyenne des items spatiaux = 0.78, des items mixtes = 0.62, des items numériques = 0.28 et des items arithmétiques = 0.15. La difficulté de l'item ne varie pas d'une façon significative avec la règle base 7 ($F(1,21) = 4.26$; $p > 0.05$), ni avec le format de présentation ($F(1,21) = 0.02$; $p > 0.89$).

L'analyse de la variance multiple des temps de réaction met en évidence des effets inter-items significatifs pour les règles ($F(3,18) = 6.95$; $p < 0.01$; $\eta^2 = 0.54$), ainsi que des effets intra-items pour les temps ($F(1,18) = 105.3$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.85$) et pour l'interaction temps - règle ($F(3,18) = 6.28$; $p < 0.01$; $\eta^2 = 0.51$). La figure 5 met en évidence le phénomène.

Les temps processuels et réactifs sont plus élevés pour la règle numérique que pour les trois autres règles. Le temps réactif est à peu près identique pour les règles arithmétiques et spatiales. Ceci n'est pas le cas pour les temps processuels.

Les relations entre la règle base 7 et les temps de réaction sont représentées dans la figure 6.

(1) un cycle = 1/18.21 sec.

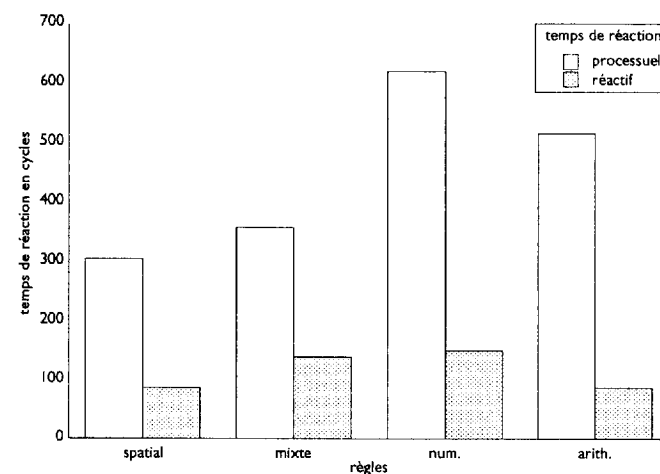


Figure 5
Temps moyen (en cycles) et règles des 22 items du D70

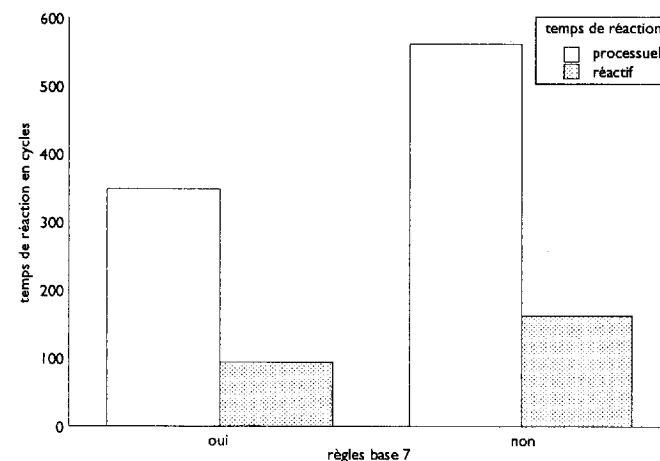


Figure 6
Représentation multidimensionnelle en radex des tests d'intelligence selon Snow, Kyllonen et Marshalek (1984)

Les effets inter-items sont significatifs ($F(1,20) = 9.94$; $p < 0.01$; $\eta^2 = 0.33$) ainsi que les effets intra-items pour les temps ($F(1,20) = 93.47$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.82$).

= 0.84) et pour l'interaction temps - règle base 7 ($F(1,20) = 4.73; p < 0.05; \eta^2 = 0.19$). Les temps processuels sont nettement plus élevés pour les items qui font appel à l'application de la règle base 7 que pour ceux qui ne font pas appel à celle-ci. Il faut cependant insister sur le fait que les effets nature des règles et les effets de la règle base 7 sont imbriqués, car seuls les items numériques et mixtes peuvent faire appel à la règle base 7.

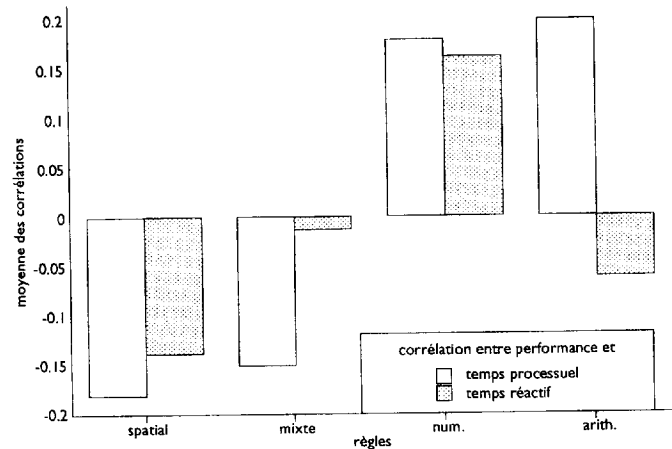


Figure 7
Corrélations moyennes entre les temps processuels et la performance d'une part et les temps réactifs et la performance d'autre part

Le format de présentation n'a pas d'influence sur les temps de réaction. L'analyse de la variance multiple conduit à des valeurs F insignifiantes ($p > 0.98$).

Les relations entre les règles et la corrélation entre la performance au D70 et les temps processuels et réactifs sont très intéressantes.

L'effet inter-items de la règle est très significatif ($F(3,18) = 12.32; p < 0.001; \eta^2 = 0.67$). En revanche, l'effet entre les temps ne l'est pas ($F(1,18) = 1.28; p > 0.05$), alors que l'interaction entre les règles et les temps l'est ($F(3,18) = 10.84; p < 0.001; \eta^2 = 0.64$). Soulignons que la corrélation entre la performance au D70 et les temps de réaction est négative pour les items spatiaux et mixtes, alors qu'elle est positive pour les items numériques et les opérations arithmétiques. Ainsi on peut supposer que les processus qui guident la découverte et l'application de règles spatiales ou mixtes sont fortement automatisés : meilleure est la performance au D70, plus court est le temps. Il n'en est pas de même pour les temps impliqués dans la découverte de règles

numériques et arithmétiques : meilleure est la performance au D70, plus les sujets prennent du temps pour trouver la solution. Les temps réactifs sont encore positivement corrélés au D70 pour les items numériques, mais non pour les opérations arithmétiques qui sont automatisées et où la moyenne des corrélations est négative.

Les corrélations entre les temps et le score total du D70 ne sont pas affectées par le format de présentation des stimuli. Seule la variabilité interindividuelle de la règle base 7 affecte légèrement les corrélations ($F(1,20) = 6.33; p < 0.05; \eta^2 = 0.24$). La corrélation moyenne = -0.13 pour les items qui ne font pas appel à la règle base 7, alors qu'elle est égale à 0.12 pour les items qui font appel à cette règle.

Parmi les paramètres théoriques définissant les items et en interprétant η^2 comme un indicateur exprimant l'intensité du lien entre les variables expérimentales et les variables dépendantes, on peut dire que la nature des règles apparaît comme principale source de variation. La nature des règles détermine 68% de la variance de la difficulté des items, 54% de la variance des temps de réaction et 67% de la variance des corrélations entre le D70 et les temps de réaction. Elle agit aussi d'une façon interactive avec les temps processuels et réactifs ainsi qu'avec les corrélations entre ces temps et le D70 total.

Secondairement, la règle base 7 influence d'une façon moins intense que la nature des règles, les temps de réaction et les corrélations entre les temps et le score total. Comme ce critère est imbriqué dans le critère nature des règles, il ne revêt qu'un rôle secondaire. Dès lors que la part de variance due aux règles est exploitée, toutes les régressions multiples par blocs mettent en évidence que le critère règle base 7 n'est plus significatif.

Le format de présentation n'influence ni la difficulté des items, ni les temps de réaction, ni les corrélations entre temps de réaction et D70 total.

La conclusion à laquelle nous amène cette analyse des items du D70 est que les items numériques et arithmétiques sollicitent des processus mentaux plus complexes que les items spatiaux et mixtes. Si le test D70 est à considérer comme un test de facteur g, c'est avant tout aux items numériques et arithmétiques qu'il le doit et non aux items spatiaux ou mixtes. On peut donc s'attendre à ce que le score formé par les seuls items numériques et arithmétiques garde la qualité de centralité des tests de facteur g dans les espaces multidimensionnels, mais non le score formé par les items spatiaux et mixtes, qui semblent faire appel à des processus mentaux plus spécifiques. Pour mettre à l'épreuve cette hypothèse, nous avons procédé à des analyses structurales linéaires et non linéaires avec les données de l'échantillon de la

première recherche en désagréant le score total du D70 en quatre sous-totaux: DA = total des items à règle arithmétique; DN = total des items à règle numérique; DM= total des items à règles mixtes (spatial et numérique) et DS = total des items à règle spatiale.

ANALYSES STRUCTURALES LINÉAIRES ET NON LINÉAIRES APRES DÉSAGRÉGATION DU D70

L'analyse factorielle confirmatoire des tests d'intelligence de la première recherche, en tenant compte des quatre scores désagrégés du D70, est représentée par la figure 8.

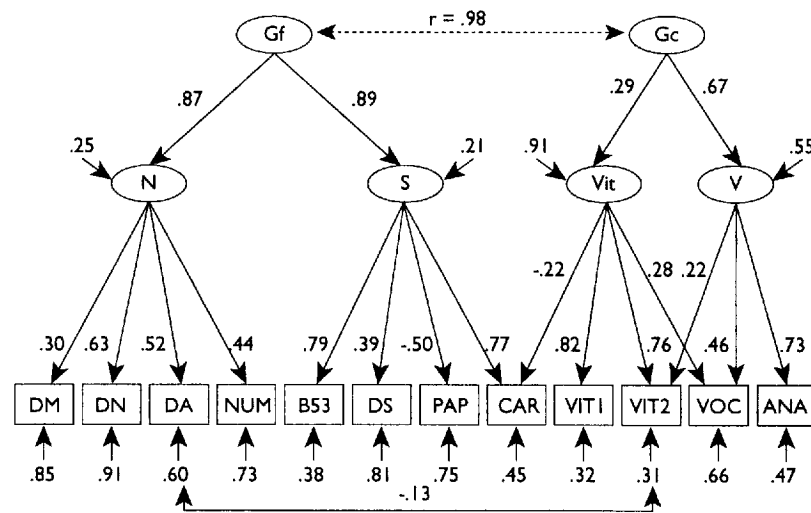


Figure 8
Représentation hiérarchique des tests d'intelligence - D70 désagrégé (coefficients standardisés)

L'adéquation est satisfaisante, le $\chi^2=69.41$ avec $p=0.01$. L'indicateur GFI = 0.95. Le facteur de raisonnement de premier ordre (facteur N) est mieux assuré que dans l'analyse structurale avant désagrégation du D70 (voir figure 3). Les scores DM, DN et DA représentent bien ce facteur avec des saturations respectives de 0.30, 0.63 et 0.52. Le score DS est expliqué par le facteur de raisonnement spatial de premier ordre. Les scores du D70 formés par les items mixtes et par les items spatiaux représentent moins bien le facteur général fluide que les scores formés par les items numériques et arithmétiques. Pour assurer l'adéquation, on a dû tenir compte d'erreurs de

mesure corrélées entre DA et le test VIT2. Ceci pourrait s'expliquer par les limites temporelles imposées à la passation du D70 où la composante vitesse affecte plus les items difficiles, comme le sont ceux de score arithmétique. On constate que si le test du D70 est un test d'intelligence générale, c'est avant tout aux items numériques et arithmétiques qu'il le doit.

L'échelonnement multidimensionnel conduit à une représentation en deux axes (figure 9) dont le stress=0.18 ($R^2=0.80$).

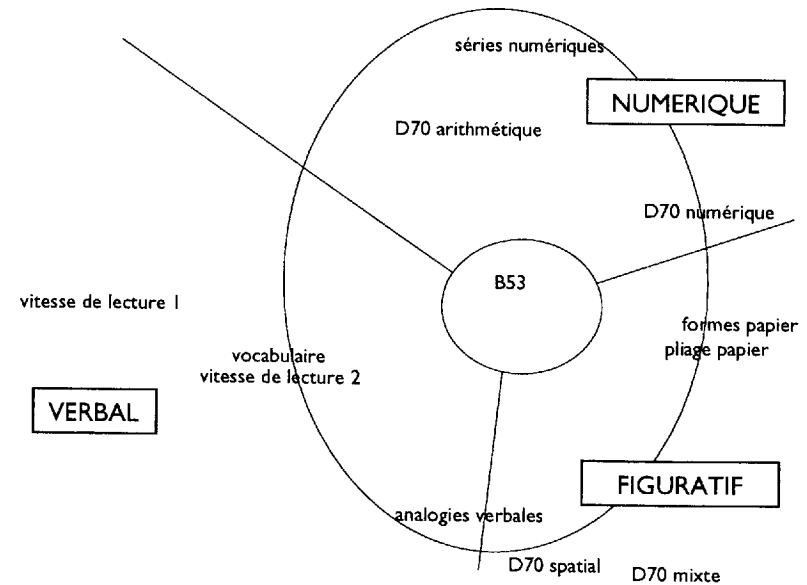


Figure 9
Représentation des deux premiers axes de l'EMD des tests d'intelligence avec le D70 désagrégé

On constate que la structure en radex de Guttman persiste. Le rôle polaire est assumé par les contenus numérique, figuratif et verbal. Le rôle modulaire est également reproduit. Mais les différents scores désagrégés du D70 ne sont pas positionnés dans le centre de la figure, comme le test B.53, mais occupent des positions plus périphériques que le score composite. Les scores D70 numérique et D70 arithmétique sont encore proches du centre et gardent leur centralité, alors que les scores D70 spatial et le D70 mixte sont nettement plus périphériques.

CONCLUSION

Dans cette recherche, le test D70 apparaît bien comme un test d'intelligence générale. Il a le caractère de centralité dans l'espace multidimensionnel, comme le test des Matrices de Raven qui est bien connu comme test d'intelligence générale. L'analyse factorielle confirmatoire a montré son importance comme marqueur du raisonnement numérique, fonction du facteur d'intelligence générale fluide qui est un facteur de deuxième ordre. On peut cependant se demander à quoi est due cette centralité. Deux types d'explications, non contradictoires, peuvent être invoqués.

On peut tout d'abord insister sur le caractère composite du score total. Si on forme un score avec des composantes différentes, le score total est plus complexe que les parties qui le composent. Une telle interprétation est congruente avec les observations de Marshalek et al. (1983) qui soulignent la centralité du QI total du Wechsler ou d'un score composite formé à partir de différents sous-tests de raisonnement.

Mais on peut également adopter une explication analytique. Les quatre groupes d'items qui se différencient selon la nature de la règle que le sujet doit trouver pour résoudre le problème sollicitent de la part du sujet des processus différents. Les plus centraux sont ceux qui dans le cadre de la théorie de Guttman et Levy (1991) sollicitent l'inférence de règles. L'application de règles et les apprentissages spécifiques sont périphériques par rapport à ceux-ci. Nos observations sont congruentes avec une telle interprétation.

La première composante contient les items à règle spatiale. On peut trouver la solution sans connaître des règles numériques. Ces items sont faciles puisque en moyenne 78% des sujets les réussissent, leurs temps processuels et réactifs sont courts et la corrélation entre le temps et le score total est négative. Pour ces items, plus le temps est court, meilleure sera la performance du sujet au test total. Plus rapidement le sujet aura accès aux règles automatisées, meilleure sera sa performance globale au test. Factoriellement, ces items relèvent faiblement du raisonnement spatial et non du raisonnement numérique. Ces items sont à la périphérie de l'espace multidimensionnel dans la région des items spatiaux. Ils forment un sous-test spatial peu complexe et on peut supposer que la part réservée à l'inférence de règles est minime. La corrélation entre ces items et le D70 n'est que de 0.44. Si on voulait améliorer la qualité d'intelligence générale du D70 il serait indiqué de transformer ces items en les rendant plus complexes.

Le second groupe d'items est composé d'items qui font appel en même temps à des règles spatiales et à des règles numériques. Ils sont encore relativement faciles puisque 68% des sujets les réussissent. Mais ils relèvent déjà un peu du raisonnement numérique : la corrélation entre le facteur *raisonnement numérique* et le score composite formé par ces items est égale à 0.30. L'interprétation que l'on peut donner à ces items est ambiguë car dans l'espace multidimensionnel ils sont positionnés à la périphérie, dans la région des tests à contenu figuratif. Il s'agit principalement d'application de règles et non d'inférences de règles, si nous adoptons la théorie de Guttman. Les temps processuels et réactifs sont courts et la corrélation entre les temps et le score total est encore négative. Leur contribution à la mesure de l'intelligence générale demeure malgré tout médiocre. La corrélation entre le sous-test formé par ces items et le score total n'est que de 0.51.

Les items numériques, où le sujet doit trouver les règles qui gouvernent les relations entre les faces des dominos sont difficiles. Seulement 28% des sujets trouvent la bonne solution. Les temps processuels et réactifs sont élevés et les corrélations entre les temps et le score total sont positives. Plus les sujets mettent du temps à trouver des règles, meilleure sera leur intelligence générale. Plus les sujets prennent de temps pour répondre à ces items, meilleure sera également leur intelligence générale. La corrélation entre ces items et le facteur de raisonnement numérique est égale à 0.63. Dans l'espace multidimensionnel, ces items occupent une position bien plus centrale que les items spatiaux et les items mixtes et font partie de la région des tests à contenu numérique. La corrélation entre le sous-total formé par ces items et le D70 total est égale à 0.86. On peut penser que le caractère de centralité de ces items n'est pas lié au contenu de ces items mais au raisonnement qui est sollicité pour les résoudre.

Enfin, les deux items à règle arithmétique peuvent encore être considérés comme de bons indicateurs de l'intelligence générale. Le sous-total formé seulement de deux items est corrélé à raison de 0.56 avec le total du test et contribue donc à assurer la généralité du test. Ce sont les items les plus difficiles, car seulement 15% des sujets les réussissent. La corrélation du temps processuel avec le score total est très élevée et positive. Donc, plus le sujet met de temps à trouver la règle, meilleure sera son intelligence générale. Mais la corrélation entre le temps réactif et le score total est négative, ce qui pourrait indiquer une plus forte automatisation de l'exécution des règles arithmétiques, dès lors qu'elles ont été trouvées. Plus vite il donne sa réponse, meilleure sera sa performance globale au test. On peut supposer que les items arithmétiques sont difficiles et complexes parce que le sujet doit adopter d'autres stratégies pour résoudre la question que celles qu'il doit adopter pour trouver les réponses aux items à règle numérique. Dans l'espace multi-

dimensionnel, ces items sont plus proches du centre que les items à règle spatiale et mixte.

La centralité du test D70 s'explique à la fois parce qu'il s'agit d'un score composite et parce que les items à règle numérique sollicitent des processus mentaux complexes, comme le raisonnement numérique.

Les complications que les auteurs du test ont introduites pour varier la présentation des items apparaissent dans notre analyse comme fort artificielles. Ni la difficulté des items, ni les temps de réaction, ni les corrélations entre le temps et le score total ne sont affectés par le format.

Par cette analyse, on arrive à la conclusion que la qualité d'intelligence générale du D70 est susceptible d'amélioration si on tient compte des règles nécessaires à la résolution des problèmes. Cependant, leur généralité gagnerait à être renforcée par des analyses sur des sujets ayant des âges différents et appartenant à des populations moins sélectionnées que celle des étudiants.

Manuscrit reçu le 20.3.1998

RÉFÉRENCES

- Bacher, F., & Dickes, P. (1995). Evolution des méthodes d'analyse en psychologie différentielle. In Lautrey J. (Ed.) *L'universel et différentiel en psychologie*. Paris : Presses Universitaires de France, 353-384.
- Borg, I. (1992). *Grundlagen und Ergebnisse der Facettentheorie*. Bern : Huber.
- Burt, C. (1949). The structure of the mind : A review of the results of factor analysis. *British Journal of Educational Psychology*, 19, 100-111 ; 176-199.
- Canter, D. (1985). *Facet theory, approaches to social research*. New York : Springer Verlag.
- Carpenter, P.A., Just, M.A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures : A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97, 404-431.
- Carroll, J.B. (1993). *Human Cognitives Abilities. A survey of factor analytic studies*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Cattell, R.B. (1971). *Abilities : Their structure, growth and action*. Boston : Houghton-Mifflin.
- Dickes, P., Tournois, J., Flieller, A., & Kop, J.L. (1994). *La psychométrie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gardner, M.K. & Sternberg, R.J. (1994). Novelty and intelligence. In R.J. Sternberg & R.K. Wagner. *Mind in context : interactionist perspective on human intelligence*. Cambridge : Cambridge University Press, 38-73.
- Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York : McGraw-Hill.

- Gustafsson, J. E. (1984). A unifying model of the structure of intellectual abilities. *Intelligence*, 8, 179-179.
- Guttman, R., Epstein, E.E., Amir, M., & Guttman, L. (1990). A structural theory of spatial abilities. *Applied Psychological Measurement*, 14, 217-236.
- Guttman, R., & Levy, S. (1991). Two structural laws for intelligence tests. *Intelligence*, 15, 79-103.
- Guttman, R., & Shoham, I. (1982). The structure of spatial ability items : a faceted analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 54, 487-493.
- Horn, J.L., & Cattell, R.B. (1966). Refinement of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology*, 57, 253-270.
- Jensen, A.R., & Weng, L.-J. (1994). What is a good g ? *Intelligence*, 18, 231-258.
- Jöreskog, K.G., & Sörbom, D. (1993). *Lisrel 8 : User's reference guide*. Chicago : Scientific Software International, Inc.
- Juhel, J. (1989). Analyse des aptitudes intellectuelles : revue de quelques travaux récents. *Année Psychologique*, 89, 63-86.
- Koop, T. (1985). Replication of Guttman's structure of intelligence. In D. Canter (Ed.), *Facet theory : Approaches to social research*. New York : Springer-Verlag, 237-244.
- Lohman, D.F. (1979). *Spatial Ability : A review and reanalysis of the correlational literature*. Stanford University : Technical Report N° 8. Aptitude Research Project.
- Manuel d'Application (1959). *Test D48*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Manuel d'Application (1970). *Test D70*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Marshalek, B., Lohman, D.F., & Snow, R.E. (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. *Intelligence*, 7, 107-127.
- Snow, R.E., Kyllonen, P.C., & Marshalek, B. (1984). The topography of ability and learning correlations. In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 2, pp. 47-103). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man : Their nature and measurement*. New York : McMillan.
- Sternberg, R.J. (1985). *Beyond IQ*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Thurstone, L.L. (1938). Primary mental abilities. *Psychometric Monographs*, No. 1.
- Tournois, J., & Dickes, P. (1993). *Pratique de l'échelonnement multidimensionnel*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Vernon, P.E. (1950). *The structure of human abilities*. London : Methuen.

Annexes

TABLEAU I

Les caractéristiques théoriques et statistiques (N=219) des items (stan=format standard, p = indice de difficulté; m tp = moyenne des temps processuels; m tr = moyenne des temps réactifs; r tp = corrélation temps processuel et D70 total; r tr = corrélation temps réactif et D70 total; 1 cycle=1/18 21 sec.).

Caractéristiques théoriques					Caractéristiques statistiques				
n° item	n° D70	règle	base 7	format standard	p	m tp (cycles)	m tr (cycles)	rtp	rtr
1	1	spat	non	stan	0.95	163.5	74.5	-0.40	-0.30
2	3	spat	non	stan	0.89	245.3	11.8	-0.32	-0.18
3	5	mixte	oui	stan	0.58	508.2	173.1	-0.16	0 01
4	7	num	oui	stan	0.74	394.5	113.7	-0.15	000
5	9	mixte	non	non	0 78	294.0	128.5	-0 25	-0 03
6	11	spat	non	non	0.80	404.3	133.8	-0.15	-0.08
7	13	spat	non	non	0.73	408 9	103.1	-0.18	-0 13
8	15	spat	non	non	0.51	647.5	106.5	-0.04	-0.02
9	17	spat	non	non	0.76	268.7	86.4	-0.09	-0.15
10	19	spat	non	stan	0.94	175.3	73.5	-0.18	-0.13
11	21	num	oui	stan	0.46	767.2	183.4	0 04	0 02
12	23	spat	non	stan	0.87	185.9	86.0	-0.27	-0.25
13	25	mixt	oui	non	0.74	309.4	110 1	-0.15	-0 05
14	27	mixt	oui	non	0.37	307.6	145.1	-0.04	0.02
15	29	num	oui	non	0.20	852 8	190.9	0.29	0 19
16	31	spat	non	non	0.59	245.4	75.5	-0 03	0 00
17	33	num	oui	stan	0.16	664.1	106.5	0.32	0.13
18	35	num	oui	stan	0.10	675.9	157.5	0 26	0.26
19	37	arith	non	non	0.10	513.0	67 7	0.29	-0 02
20	39	num	oui	stan	0 09	524 5	153.0	0.19	0 27
21	41	num	non	stan	0.20	475 7	134.4	0 27	0 23
22	43	arith	non	non	0 20	519 0	109.4	0.09	-0.10

TABLEAU II

Matrice de corrélation entre les tests d'intelligence (abréviation, voir texte) avec leurs moyennes (M) et écarts-type (s).

	ANA	NUM	VOC	PAP	B53	CAR	VIT1	VIT2	D70	DS	DN	DN	DA
ANA	1.00												
NUM	0.16	1.00											
VOC	0.37	0.05	1.00										
PAP	0.18	0.06	0.14	1.00									
B53	0.38	0.30	0.29	0.39	1.00								
CAR	0.26	0.19	0.18	0.40	0.56	1.00							
VIT1	0.11	0.11	0.31	0.03	0.20	-0.17	1.00						
VIT2	0.26	0.21	0.39	0.12	0.23	0.07	0.65	1.00					
D70	0.32	0.31	0.25	0.30	0.50	0.45	0.12	0.23	1.00				
DS	0.22	0.12	0.14	0.27	0.26	0.29	0.12	0.20	0.44	1.00			
DM	0.23	0.06	0.04	0.09	0.18	0.19	0.01	0.09	0.51	0.22	1.00		
DN	0.18	0.25	0.18	0.22	0.43	0.40	0.03	0.18	0.86	0.13	0.24	1.00	
DA	0.27	0.31	0.27	0.19	0.30	0.20	0.19	0.12	0.56	0.12	0.08	0.30	1.00
M	20.69	7.77	18.12	19.35	19.93	6.67	18.63	26.94	16.80	8.84	3.57	3.74	0.85
s	2.82	2.94	4.20	5.20	5.67	3.87	5.79	6.01	2.51	0.66	0.68	1.66	0.80