

PROCESSUS COGNITIF, TESTS DE CONNAISSANCES ET DIFFÉRENCES INDIVIDUELLES

PRONOSTIC ET DIAGNOSTIC

Dans un article paru il y a déjà huit ans, Huteau et Lautrey (1978) se demandaient quel est le rôle des tests d'intelligence dans l'éducation et l'orientation, et secondairement, quel emploi assigner à la psychologie cognitive dans ces deux domaines d'application.

S'agissant du rôle des tests, les auteurs reprennent la distinction classique entre rôle pronostique et rôle diagnostique et il leur semble que, pour ce qui est du premier de ces rôles, les tests actuels sont relativement bien adaptés à cette fonction, c'est-à-dire qu'ils apparaissent généralement comme les meilleurs prédicteurs de la réussite (scolaire). Pour ce qui est du second de ces rôles, le rôle diagnostique, il leur semble au contraire que parmi les tests actuels peu d'entre eux sont susceptibles d'aider à la compréhension des difficultés rencontrées par les élèves et partant à fonder des actions d'éducation ou de rééducation.

EMPIRISME ET THÉORIE

Les raisons de cet état de fait peuvent tenir au mode de définition de la variable (intelligence) mesurée, au mode de construction de certaines épreuves : *"On peut se représenter aujourd'hui le fonctionnement mental comme un processus de traitement de l'information. Les informations sont sélectionnées, puis transformées par l'application de séquences structurées d'opérations, en vue de l'élaboration d'une réponse finalisée. Un facteur sera source de connaissance s'il nous permet de caractériser, dans leur variabilité, une séquence d'opérations ou un de ses éléments. Dans la mesure où les séries d'observations traitées par analyse factorielle n'ont pas été recueillies dans cette optique, il ne faut guère s'attendre à pouvoir interpréter facilement dans ce cadre explicatif les facteurs qui en sont issu"*. (p. 122).

Elles peuvent tenir également au mode de recueil des données, à l'échantillon de tâches proposées aux élèves : *"Les épreuves... se caractérisent d'abord par la rapidité d'application, la simplicité de correction et le faible coût du matériel,..., ce choix, outre l'inconvénient qu'il a de*

reproduire une situation scolaire, le plus souvent à l'école, ce qui renforce encore ce caractère, laisse hors du champ de la description des aspects importants de la vie mentale" (p. 127).

Elles tiennent également au caractère très global de l'évaluation finale : *"L'ambiguïté d'un constat de performance est d'autant plus grande que les processus impliqués dans cette performance sont nombreux. De ce point de vue, les constats les plus ambigus sont ceux qui visent à évaluer une intelligence générale, en terme de Q.I. ou non. Souvent d'ailleurs les définitions proposées sont essentiellement centrées sur le niveau d'efficience, c'est-à-dire sur le résultat de l'activité et non la forme" (p. 128).*

Elles tiennent enfin et plus généralement au fait que la plupart des tests ont été construits sans référence à une théorie des processus cognitifs. Et même dans le cas où des tests ont été construits en référence à une théorie (Longeot, 1969), leur utilisation effective ne paraît guère orientée vers l'analyse des processus : *"À première vue, les tests issus de la théorie de Piaget échappent à un certain nombre de critiques adressées aux tests classiques. Le cadre théorique dont ils sont issus donne une signification psychologique aux observations qu'ils permettent de recueillir et met l'accent sur les caractéristiques des opérations mentales en jeu. Cependant, réinterprétées à travers une formation psychométrique classique, ces épreuves sont souvent appliquées de telle sorte que leurs résultats présentent les mêmes ambiguïtés que ceux des autres tests... La notion de stade, utilisée ainsi, fait rentrer par la fenêtre les inconvénients du Q.I. que l'on croyait avoir chassés par la porte en utilisant une épreuve opératoire " (p. 133).*

ESPOIR

Le constat réalisé par les auteurs est sans pitié mais non sans espoir. L'article suggère des pistes de recherches très intéressantes notamment pour ce qui est de la construction de tests pédagogiques, de tests "sensibles" à l'action éducative : *"Il nous semble que les tests pédagogiques, qui utilisent la méthodologie mise au point pour les tests psychologiques mais construits en vue d'objectifs plus restreints, pourraient contribuer davantage à l'individualisation de l'enseignement " (p. 140). "Si une telle évolution se poursuivait, on verrait alors apparaître une nouvelle catégorie d'épreuves : des tests dans lesquels seraient clairement spécifiées à la fois les connaissances de base nécessaires et les opérations psychologiques à mettre en œuvre. Ces nouveaux tests d'intelligence-éducation se distingueraient sur un point important des tests d'intelligence actuels : leur sensibilité. Ils seraient sensibles à l'action pédagogique, alors que les tests actuels, élaborés dans le cadre de la théorie des aptitudes, sont construits dans le but de minimiser cette sensibilité " (p. 140).*

PISTE DE RECHERCHE

C'est l'une de ces pistes de recherche que nous avons décidé d'explorer et ceci en liaison avec certaines idées émises dans le cadre de la Théorie de l'Intégration de l'Information (Anderson, 1981, 1982, à paraître). Nous allons présenter à partir d'un exemple concret, tiré d'un manuel de physique pour adolescents, une conception de ce que pourrait être un test de connaissances qui viserait à approcher d'un peu plus près le niveau des processus de traitement de l'information, c'est-à-dire une conception d'un test de connaissances dont les résultats pourraient plus ou moins directement servir de guide à l'action pédagogique.

MASSE VOLUMIQUE

Supposons que l'on s'intéresse à l'acquisition, par un élève du Secondaire, de la notion de masse volumique d'un corps. La masse volumique d'un corps exprime le rapport entre la masse de ce corps et son volume, masse et volume étant définis dans un système d'unités cohérentes. Écrivons :

$$\text{Masse volumique} = \text{Masse} : \text{Volume} \quad (1)$$

On pourra dire d'un élève qu'il a compris la notion de masse volumique lorsque celui-ci sera capable d'exploiter la notion dans un grand nombre de circonstances variées et ceci de façon convenable. Comprendre la notion de masse volumique c'est en particulier comprendre les relations qui unissent les trois termes de l'équation n° 1. C'est être capable d'associer à celle-ci les équations n° 2 et 3 suivantes :

$$\text{Volume} = \text{Masse} : \text{Masse volumique} \quad (2)$$

$$\text{Masse} = \text{Volume} \times \text{Masse volumique} \quad (3)$$

On remarquera immédiatement que d'un point de vue psychologique, les trois équations ne sont pas équivalentes. L'équation n° 3 exprime la combinaison multiplicative de deux types d'information. Les équations n° 1 et n° 2 expriment la combinaison par division de deux types d'information. On a de bonnes raisons de penser (Anderson, 1980), que la relation entre Masse, Volume et Masse volumique, telle que celle-ci est exprimée équation (3) sera beaucoup plus facile à comprendre que les relations entre ces trois types d'information telles que celles-ci sont exprimées par les équations (1) et (2). En d'autres termes, amener un élève à se faire une idée de la masse (ou à calculer celle-ci) à partir des informations Volume et Masse volumique sera globalement plus aisé que d'amener ce même élève à se faire une idée du volume à partir de sa masse et de sa Masse volumique ou encore à se faire une idée de la Masse volumique de ce corps à partir de la masse et du volume. On ne pourra réellement dire d'un élève qu'il aura compris la notion de Masse volumique que lorsque celui-ci témoignera d'une bonne maîtrise intuitive de ces trois équations.

MASSE

Examinons tout d'abord le problème posé par la vérification que l'élève possède bien la maîtrise intuitive de l'équation :

$$\text{Masse} = \text{Volume} \times \text{Masse volumique} \quad (3)$$

La maîtrise intuitive de cette équation suppose :

- a) la reconnaissance d'un lien, d'une relation entre Masse et Volume (à Masse volumique constante) ;
- b) la reconnaissance d'une relation entre Masse et Masse volumique (à volume constant) ;
- c) la reconnaissance du caractère positif de ces relations (plus le volume est grand, plus la masse est élevée..., à masse volumique constante) ;
- d) la reconnaissance du caractère multiplicatif de l'opération à appliquer.

La maîtrise intuitive de l'équation peut être défaillante pour plusieurs raisons isolées ou associées. L'élève à qui l'on fournit des indications de volume et de masse volumique et qui doit en inférer la masse d'un objet peut, dans les faits, ne tenir compte que de l'indication de volume (on s'attend spontanément à ce qu'une grosse valise soit lourde). A l'inverse, l'élève peut, dans les faits, ne tenir compte que de la masse volumique (un kilo de plomb est plus lourd qu'un kilo de plumes). L'élève peut combiner les deux informations Volume et Masse volumique mais de manière additive et non multiplicative...

PLAN

Le simple fait de savoir si l'élève a acquis la maîtrise de l'équation (3) suppose une investigation détaillée. Le principe d'investigation qui est proposé s'inspire directement des méthodes de planification expérimentale en usage en psychologie scientifique et dans la plupart des autres sciences. Chercher à savoir si l'élève a acquis la maîtrise intuitive de l'équation n° 3 revient dans cet esprit à mettre en place une expérience de jugement dans laquelle les facteurs Volume et Masse volumique seront les variables indépendantes et le facteur Masse la variable dépendante. Chaque variable indépendante peut avoir par exemple trois niveaux. Les trois niveaux de la variable Masse volumique pourraient être Fer, Bois et Plastique. Les trois niveaux de la variable Volume pourraient être représentés par deux, trois et quatre cubes.

Le croisement des deux variables Masse volumique et Volume conduit à l'obtention de neuf combinaisons (plan orthogonal). Chaque combinaison peut être figurée sur une feuille cartonnée ou présentée sur un écran cathodique de micro-ordinateur. La figure 1 présente la combinaison "Deux cubes" et "Fer" ainsi que les éléments nécessaires à la compréhension de la question posée. Les cubes en Fer sont coloriés en gris, ceux en Bois en marron et ceux en Plastique en bleu.

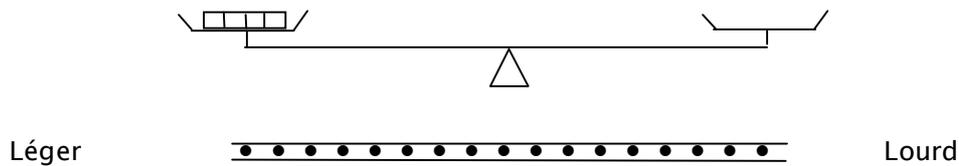


Figure 1 : Évaluations de masse
Exemple de stimulus présenté aux enfants

La variable dépendante Masse est celle à propos de laquelle une réponse, un jugement, est sollicité de l'élève. Le mode de réponse le plus commode pourrait consister pour l'élève à placer une croix quelque part sur une échelle (*rating scale*) léger-lourd (cf. figure 1). De manière à faire en sorte que l'élève puisse utiliser l'échelle sans que se produise un phénomène de plancher ou de plafond dans les réponses, il conviendra de présenter deux (ou plus) combinaisons supplémentaires extrêmes par rapport aux précédentes : "un cube" et "plastique", "cinq cubes" et "fer" par exemple. On s'assure ainsi que les réponses associées aux neuf combinaisons du plan se situeront dans la partie (relativement) centrale de l'échelle, celle où risquent le moins de se manifester les biais de réponses habituels dans ce type de mesure. L'ensemble des neuf (+ 2) combinaisons doit être présenté (une à une) plusieurs fois, la première présentation servant de phase d'entraînement au cours de laquelle l'élève apprend à se servir de l'échelle. L'élève répond chaque fois en plaçant une croix (cf. Mullet, Vidal, 1986).

PATRONS ET PROCESSUS

Examinons maintenant les différents patrons de réponses qu'il est possible d'enregistrer sous l'une ou l'autre des hypothèses relatives à la maîtrise dont témoigne l'élève de l'équation n° 3.

Dans le cas (idéal) où l'élève est sensible aux effets du volume sur la masse, de la masse volumique sur la masse, reconnaît que ces effets sont de sens positif, applique un mode multiplicatif de combinaison des effets, alors le patron des résultats affectera la forme d'un éventail (figure 2a). Cette forme caractérise de façon typique une interaction entre les facteurs de variation et le critère masse (Bacher, 1980). Lorsqu'il constate un tel patron de résultats, soit que le graphique ait été réalisé à la main à partir de moyennes de réponses, soit que celui-ci soit directement tracé par l'ordinateur, le psychologue ou le pédagogue ne peut que se réjouir du fait qu'un des aspects au moins de la notion de masse volumique ait été compris convenablement par l'élève.

Dans le cas où l'élève n'est sensible qu'à un des effets, celui de la masse volumique par exemple, alors le patron de résultats affectera la forme de trois horizontales (figure 2b). Lorsqu'il constate un tel patron de résultats, le psychologue ou le pédagogue sait qu'il convient alors d'attirer l'attention de l'élève sur l'effet du Volume sur la Masse. Dans le cas contraire où l'élève n'est sensible qu'à cet effet et non à celui de la

masse volumique, alors le patron de résultats affectera la forme de trois droites ascendantes pratiquement confondues (figure 2c).

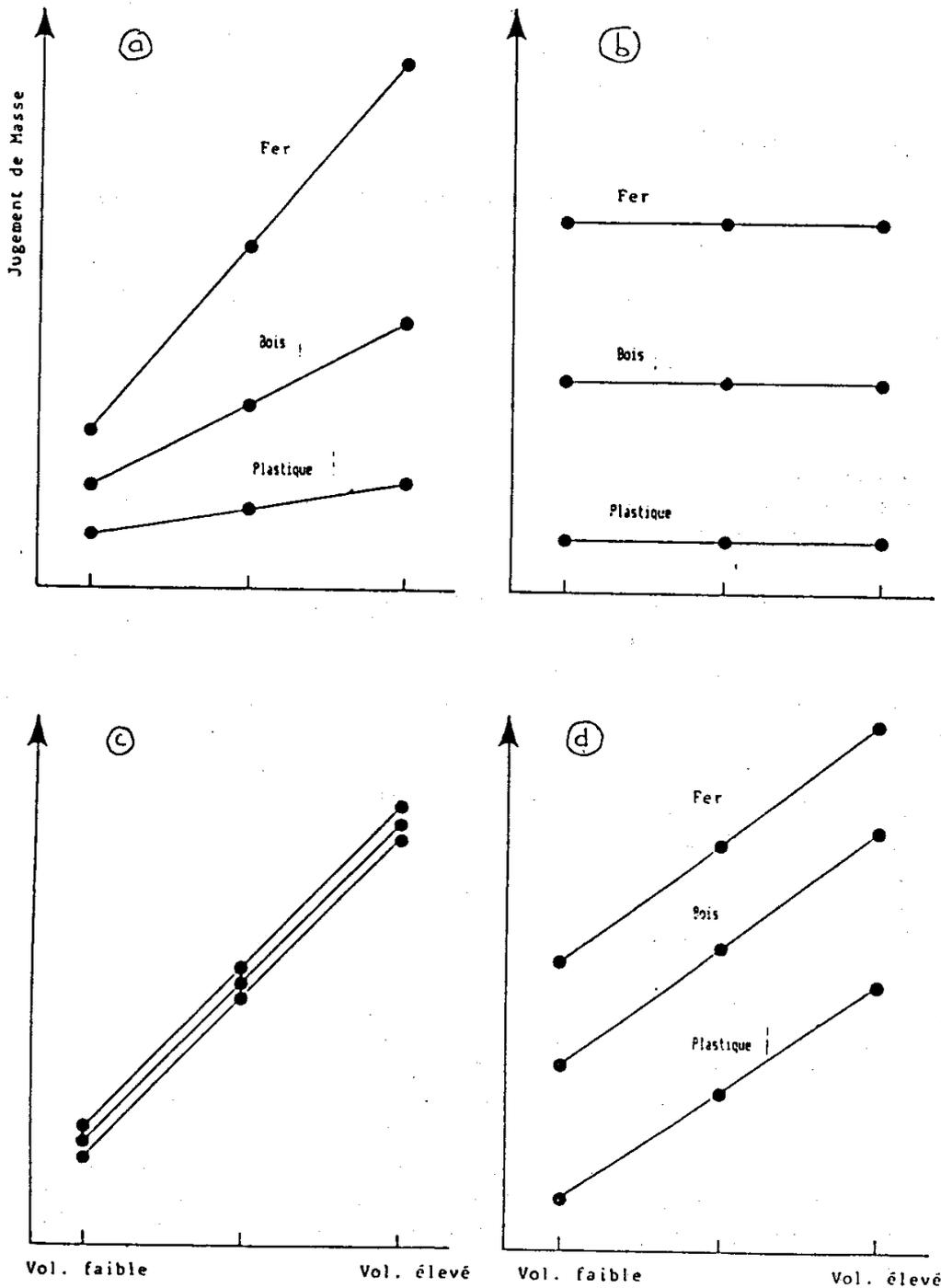


Figure 2 : Quatre patrons d'intégration que l'on peut attendre :
 a) sous l'hypothèse multiplicative
 b) - c) unifactorielle
 d) additive

Dans le cas où l'élève est sensible aux deux effets mais ne réalise qu'une combinaison additive de ces effets, alors le patron de résultats affecte la forme de trois parallèles ascendantes (figure 2d). Lorsqu'il constate un tel patron de résultats, le psychologue ou le pédagogue sait

qu'il convient d'attirer l'attention de l'élève sur le caractère multiplicatif de la combinaison.

De très nombreux patrons de résultats différents peuvent être observés, à chacun ou presque il doit être possible de faire correspondre une interprétation qui débouche sur une action pédagogique bien précise. Une pratique clinique de ce genre d'épreuves serait à développer.

VOLUME

Examinons maintenant le problème posé par la vérification que l'élève possède bien la maîtrise de l'équation :

$$\text{Volume} = \text{Masse} : \text{Masse volumique} \quad (2)$$

La maîtrise de cette équation suppose :

- a) comme pour l'équation précédente, la reconnaissance d'une relation entre Masse et Volume, entre Masse volumique et Volume ;
- b) la reconnaissance du caractère positif de la relation entre Masse et Volume à Masse volumique constante ;
- c) la reconnaissance du caractère négatif de la relation entre Masse volumique et Volume à Masse constante ;
- d) la reconnaissance du caractère "divisif" de l'opération à appliquer (et non seulement soustractif par exemple).

Chercher à savoir si l'élève a acquis la maîtrise de l'équation n° 2 revient, comme précédemment, à mettre en place une expérience de jugement mais dans laquelle cette fois les facteurs Masse et Masse volumique sont les variables indépendantes et la variable Volume, la variable dépendante, celle à propos de laquelle une réponse est sollicitée. Les trois niveaux de la variable Masse volumique peuvent être, comme précédemment : fer, bois, plastique et ceux de la masse : faible, moyenne, élevée. La figure 3 présente un exemple de combinaison proposée et les éléments nécessaires à la compréhension du problème par l'élève. La masse volumique de l'élément dont il doit évaluer le volume pour qu'il ait la même masse que celle donnée sur le plateau de la balance est représentée par un point de couleur : gris pour le fer, marron pour le bois et bleu pour le plastique. L'élève répond sur une échelle de volume.

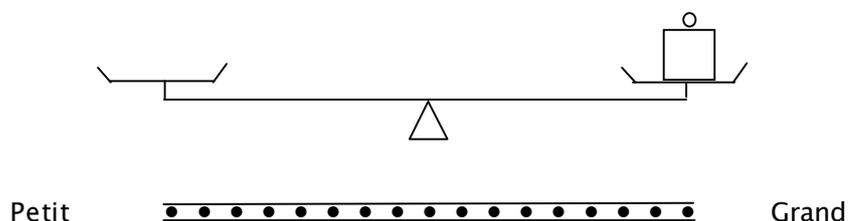


Figure 3 : Évaluation de volume
Exemples de stimulus présenté aux enfants

Dans le cas (idéal) où l'élève maîtrise parfaitement l'équation n° 2, alors un patron de résultats assez semblable à celui de la figure 2a doit être observé (figure 3b) à ceci près que l'ordre des masses volumiques

est inversé. De même que dans le cas précédent tout patron de résultats où les trois droites seraient soit ascendantes et confondues, soit horizontales et parallèles correspond à la non-sensibilité de l'élève à un type de données. Tout patron de résultats où les droites seraient ascendantes et parallèles correspond à la non-responsabilité de l'élève au caractère "divisif" de l'opération de combinaison des informations. Enfin, tout patron de résultats où l'ordre des courbes plastique, bois et fer serait inversé correspondrait à une non-reconnaissance par l'élève du caractère négatif de la relation entre Volume et Masse volumique. Dans chacun des cas, il n'est pas difficile d'imaginer le type d'action pédagogique approprié.

MASSE VOLUMIQUE

Le problème posé par la vérification que l'élève possède bien la maîtrise de l'équation n° 1 étant de même forme que le problème précédent, nous ne développerons pas celui-ci.

ACTION PÉDAGOGIQUE

A l'issue de la passation des trois épreuves, c'est-à-dire une fois que l'élève a réalisé les estimations de Masse, Volume et Masse volumique, le psychologue ou le pédagogue dispose d'une grande quantité d'observations (18 au moins), en relation les unes avec les autres, et de ce fait relativement faciles à interpréter. Le nombre de patrons de résultats différents possibles est important mais il doit être aisé d'y faire correspondre chaque fois une interprétation en terme de processus et partant une action pédagogique correctrice (cf. Favre et Perrenoud, 1985). Si l'élève manifeste une bonne maîtrise de l'équation :

$$\text{Masse} = \text{Volume} \times \text{Masse volumique}$$

mais ne réalise qu'une combinaison imparfaite des informations dans le cadre des deux autres séries d'épreuves, il doit, par exemple, être possible de s'appuyer sur le caractère multiplicatif (c'est-à-dire plus qu'additif) reconnu par l'élève de la combinaison du Volume et de la Masse volumique pour lui permettre de franchir l'étape de la combinaison optimale des informations dans les deux autres épreuves.

CALCUL

Le type d'interrogation psychopédagogique que nous venons de développer ci-dessus à partir d'un exemple diffère à maints égards du type classique d'interrogation. Nous ne faisons tout d'abord aucun appel au calcul arithmétique.

Les réponses de l'élève se font le long d'échelles de Volume de Masse, de Masse volumique (*rating scales*). Le problème n'est pas de savoir si l'élève sait appliquer au bon moment la formule du Volume ou de la Masse volumique mais bien de savoir si l'élève a compris les relations qu'entretiennent les notions de Volume, Masse et Masse volumique,

compris c'est-à-dire "enfermé en soi", "incorporé", "saisi par l'esprit". Il nous apparaît tout à fait possible de vérifier si l'élève a compris telle ou telle notion, maîtrise telle ou telle structure (même mathématique), sans passer par la médiation du calcul arithmétique, possible et même souhaitable. Le rôle de l'algorithme de calcul est de permettre de trouver le résultat juste (au centième près par exemple) ; le déclenchement de cet algorithme-instrument suppose une compréhension de la nature du problème qui dépasse la simple application automatique d'un calcul (Pelnard, 1976). S'il s'avère, par exemple, qu'un élève a compris la notion de Masse volumique, ou un aspect de cette notion (l'équation n° 3 par exemple) et paraît incapable de mener à bien les calculs arithmétiques qui lui sont demandés dans le cadre d'un exercice classique, cela doit signifier qu'alors le problème pédagogique posé par cet échec se circonscrit aux aspects algorithmiques de l'exercice et appelle une action précise à ce niveau plutôt qu'une nouvelle démonstration de ce qu'est la Masse volumique, la Masse, le Volume (ou qu'une punition).

ORGANISATION

Par rapport à l'interrogation de type classique, le type d'interrogation qui a été développé se distingue de par le caractère organisé de l'interrogation. Les neuf questions posées dans chaque série d'épreuves sont organisées selon un plan : ce qui permet, nous l'avons vu, d'approcher le niveau des processus de traitements. De même les trois séries de questions sont organisées selon une combinatoire C_3^2

FORMALISATION ET RÉALISATION

Par rapport à l'interrogation de type classique, l'interrogation proposée n'oblige pas l'élève à formaliser nécessairement. L'élève qui a compris la notion peut ici fonctionner par réalisation (Reuchlin, 1976). Considérant d'une part le volume du corps qu'on lui présente (figure 1c), d'autre part la masse de celui-ci, les deux informations étant présentées de manière relativement concrète, l'élève peut en inférer la masse volumique par application des connaissances qu'il a accumulées lors des multiples manipulations d'objets réalisées, avant, pendant et après la leçon.

Ce qui importe est bien de savoir si l'élève a compris la notion de Masse volumique, non de savoir s'il a compris la leçon. Par rapport à l'acquisition de la notion de Masse volumique, la leçon peut avoir un effet positif, de clarification, de structuration des connaissances acquises antérieurement par manipulation ; elle peut avoir un effet nul ; elle peut aussi avoir un effet négatif. L'application du type d'interrogation proposée avant et après la leçon et la comparaison des résultats peuvent constituer un moyen simple de vérification de l'impact de celle-ci.

ANALYSE

Par rapport à l'interrogation de type classique encore, l'interrogation proposée ici se distingue par son caractère plus analytique. Nous avons vu comment la notion de Masse volumique pouvait être décomposée en trois "aspects" concrétisés par les équations 1, 2 et 3. Nous avons vu également comment chaque aspect pouvait être lui-même décomposé en ce qui peut-être assimilé à des pré-requis (sensibilité de l'élève au caractère positif ou négatif des relations) et ce qui a trait aux règles de combinaison, à l'algèbre cognitive.

On notera que le niveau d'analyse n'est pas d'une finesse extrême. Il s'agit simplement du niveau d'analyse qui permet d'inférer les processus sur lesquels le pédagogue peut avoir prise.

ANALYSE DE VARIANCE

Dans le cas d'une utilisation de ce type d'épreuves par micro-ordinateur, il serait possible de compléter le programme de prise de données et de restitution graphique de celles-ci par un programme d'analyse de variance multiple. Une estimation serait ainsi possible de l'effet de chacun des facteurs de variation, de l'effet de l'interaction (ce qui permettrait de distinguer entre composition additive ou multiplicative), du pourcentage de variance dont rend compte le modèle (ce qui permettrait de se faire une idée du degré de stabilité-variabilité des réponses des élèves, c'est-à-dire, du degré de maîtrise de la situation elle-même).

PIAGET

Par rapport à l'interrogation Piagétienne (méthode critique), le type d'interrogation proposée ici diffère assez fondamentalement et entre autres choses de par le mode de réponse de l'élève. L'interrogation Piagétienne porte assez souvent sur une comparaison : comparer deux boulettes de plastiline, comparer deux ensembles de jetons et dire lequel des deux remplit telle condition. L'interrogation proposée repose sur une évaluation, une estimation : estimer la densité d'un corps, estimer la poussée d'Archimède, estimer la chaleur dégagée, estimer le résultat d'une division... Il y a des raisons de penser que ce mode d'interrogation impose aux sujets une charge mentale moins lourde que celle qu'impose le système de réponses par comparaison. Comparer ou estimer sont deux modes de réponses qui induisent généralement des processus préalables de traitement de l'information différents (Slovic, Lichtenstein, 1983). On a pu montrer par exemple (Wilkening, 1975, 1979, 1980 ; Anderson, Cueno, 1978 ; Lautrey, Mullet, Paques, 1986) que l'hypothèse de centration-décentration avancée par Piaget (1963) reflétait davantage le mode d'interrogation des enfants que leur mode de fonctionnement. Des enfants sont capables d'intégrer deux ou plusieurs informa-

tions bien avant que ne le laissent supposer les travaux piagétiens classiques.

AUTO-CORRECTION

Il faut peut-être attirer l'attention sur l'intérêt que peut présenter pour les élèves, l'auto-correction de ce genre d'épreuves. L'analyse du problème en ses composantes, la constitution des graphes personnels, la comparaison avec le graphe optimal sont probablement autant d'occasions pédagogiques pour l'élève lui-même. On sait que les plans intra-sujets ont pour inconvénient de rendre les sujets sensibles à certains effets auxquels ils n'auraient pas manifesté de sensibilité autrement (dans le cadre d'un plan inter-sujets par exemple). Ce qui est un inconvénient pour l'expérimentateur peut devenir ici un avantage, un moyen, pour le pédagogue.

COGNOGRAMMES

C'est ainsi qu'il conviendrait d'appeler les graphes présentés ci-dessus, de manière à bien mettre en lumière les rapports qu'entretiennent ces graphes avec le fonctionnement de l'élève, avec ses processus mentaux. De même que l'électrocardiogramme où l'électroencéphalogramme ne prétendent pas modéliser parfaitement l'activité du cœur ou l'activité corticale mais apportent sur le fonctionnement de ceux-ci des informations fort utiles, les cognogrammes qu'il est possible de tracer à partir des réponses des élèves ne reflètent qu'un aspect des processus qui ont conduit à ces réponses ; l'information contenue dans ces courbes n'en est pas moins considérable (Hammond, 1971 ; Hoffman et al., 1981 ; Adelman, 1981 ; Deane et al., 1972 ; Gillis et al., 1975 ; Lindell et al., 1974 ; Mumpower et al., 1974 ; Wigton, 1985).

CONSTAT VERSUS ACTION

Notons encore que le type d'interrogation proposée permet de dépasser l'opposition que certains croient voir entre constat (constat de réussite, constat d'échec) et action pédagogique. Selon ceux-ci, les tests seraient essentiellement des instruments de constat, les instruments des pessimistes, de ceux qui croient en la fixité des choses. A la pratique du constat (c'est-à-dire à la pratique des tests), s'opposerait la pratique de l'action pédagogique, l'éducation.

Nous voyons pour notre part, et en ce qui concerne le domaine psychopédagogique, davantage de complémentarité que d'opposition entre la pratique des constats en éducation (la mesure en éducation) et l'acte éducatif proprement dit. L'un et l'autre sont également nécessaires et nécessaires l'un à l'autre. L'acte éducatif doit permettre de transformer un constat d'échec en un constat de réussite et le constat doit permettre d'ajuster sans cesse l'acte pédagogique en vue de renforcer l'impact de celui-ci (cf. aussi Allal, Cardinet, Perrenoud, 1979).

Si l'on envisageait un jour de fonder scientifiquement les programmes scolaires (le programme d'action pédagogique), il y a tout lieu de

penser que c'est bien sur la base de constats d'acquisition (et de non-acquisition) réalisés à différents niveaux d'âge, compte tenu de l'utilisation de telle ou telle méthode, que pourrait être menée à bien cette vaste entreprise (Levasseur, Chassaing, 1984 par exemple).

POSSIBLES

Il faut insister enfin et surtout sur le fait que la voie que nous avons tenté d'explorer n'est qu'une des voies possibles en vue de nous amener à disposer d'épreuves psychopédagogiques répondant aux souhaits émis par Huteau et Lautrey. Une partie des programmes des sciences physiques, des sciences naturelles, des mathématiques peut s'analyser de la manière qui a été développée dans l'exemple. L'analyse des programmes de grammaire, d'orthographe présente des difficultés d'un autre ordre mais qui ne sont pas pour autant insurmontables. C'est, de toute manière, une pluralité de techniques propres à mettre en évidence les processus qui est à envisager, en liaison avec les techniques correctives auxquelles celles-ci seront nécessairement associées.

APPLICATIONS

Afin de montrer la faisabilité du type d'expérimentation proposé ici et de donner au lecteur une idée de la diversité des réponses qui peuvent être observées, on a fait participer aux trois épreuves, 30 élèves d'un CM1 d'une école du centre de Lille. L'âge moyen est de 9 ans 7 mois.

Les expériences ont eu lieu de novembre 1989 à février 1990. Les enfants n'ont été soumis individuellement qu'à une seule épreuve par jour afin d'éviter les effets de fatigue. Les délais entre chaque expérience s'étendent de un à dix jours et sont régis par le calendrier de la semaine et la présence de l'élève. Le matériel se compose de trois carnets pour chaque épreuve. Ils correspondent à trois essais consécutifs et sont constitués chacun de onze feuillets (21 cm x 10 cm) du type de ceux décrits précédemment. Les effets d'ordre sont contrôlés. Avant de commencer, l'expérimentateur se présente et demande le prénom de l'enfant. Il veille avant tout à la compréhension de la tâche.

ÉVALUATIONS DE MASSE

Des analyses graphiques et statistiques individuelles ont été réalisées. Elles révèlent que 18 sujets (60 %) ont tenu compte des deux informations qui leur étaient présentées pour émettre leurs jugements. Le patron multiplicatif normativement correct :

Masse = f (Masse volumique x Volume)

n'est retrouvé que chez une seule fillette. Le graphe des réponses moyennes (figure 4a) met en évidence un éventail divergent à droite.

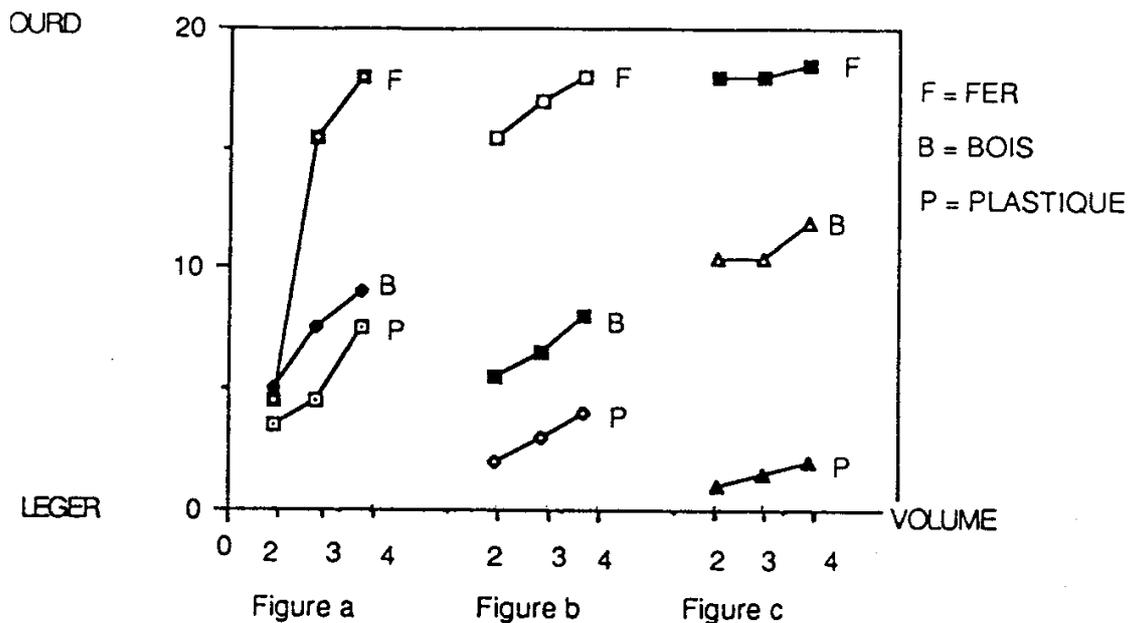


Figure 4 : Exemples de patrons d'intégration observés lors des jugements de masse

Statistiquement, les effets de la masse volumique et du volume ainsi que celui de leur interaction sont significatifs et confirment le modèle. Cette enfant présente une claire conscience du caractère multiplicatif de l'opération d'intégration à appliquer aux deux informations. Intuitivement, elle maîtrise l'équation correcte. Les 17 autres ne témoignent pas du même degré de maîtrise. Chez eux, l'interaction entre le volume et la masse volumique n'est pas significative et au niveau des graphiques individuels, les trois courbes correspondant aux trois modalités de masse volumique sont globalement parallèles. Dans ce cas, le patron d'intégration est de la forme :

$$\text{Masse} = f(\text{Masse volumique} + \text{Volume}).$$

L'exemple de Thibault (figure n° 4b) est une bonne illustration de ce type de modèle additif. Il paraît posséder l'ensemble des pré-requis (reconnaissance des liaisons positives entre la masse et le volume d'une part et, la masse et la masse volumique d'autre part) qui lui permettront par la suite d'accéder à la maîtrise de l'équation correcte. Enfin, il reste 14 élèves (40 %) dont le patron d'intégration est unifactoriel. Ces enfants n'ont tenu compte que d'une seule information, le volume ou la masse volumique pour émettre leur jugement. Ainsi pour Quentin (figure 4c), les trois courbes correspondant aux trois modalités de masse volumique sont pratiquement horizontales et témoignent de l'effet non significatif du volume. Le patron d'intégration est alors :

$$\text{Masse} = f(\text{Masse volumique}).$$

Une démarche pédagogique envisageable chez ces 14 élèves serait donc de leur faire prendre conscience au niveau de la masse du rôle joué par le facteur qu'ils négligent.

ÉVALUATIONS DE VOLUME

Il s'avère que seulement six sujets (20 %) ont tenu compte des deux informations qui leur étaient présentées pour émettre leur jugement de volume. Trois d'entre eux dont Thibault (figure 5a) ont reconnu l'existence d'une liaison positive entre le volume et la masse, et d'une liaison négative entre le volume et la masse volumique. L'interaction entre la masse et la masse volumique n'étant pas significative et les courbes apparaissant globalement parallèles, le patron d'intégration est alors de la forme :

$$\text{Volume} = f(\text{Masse} - \text{Masse volumique}).$$

Par contre pour Karine (figure 5b), plus la masse volumique est élevée, plus le volume augmente. Elle n'a pas conscience du caractère négatif de leur liaison. Il convient donc d'écrire :

$$\text{Volume} = (\text{Masse} + \text{Masse volumique}).$$

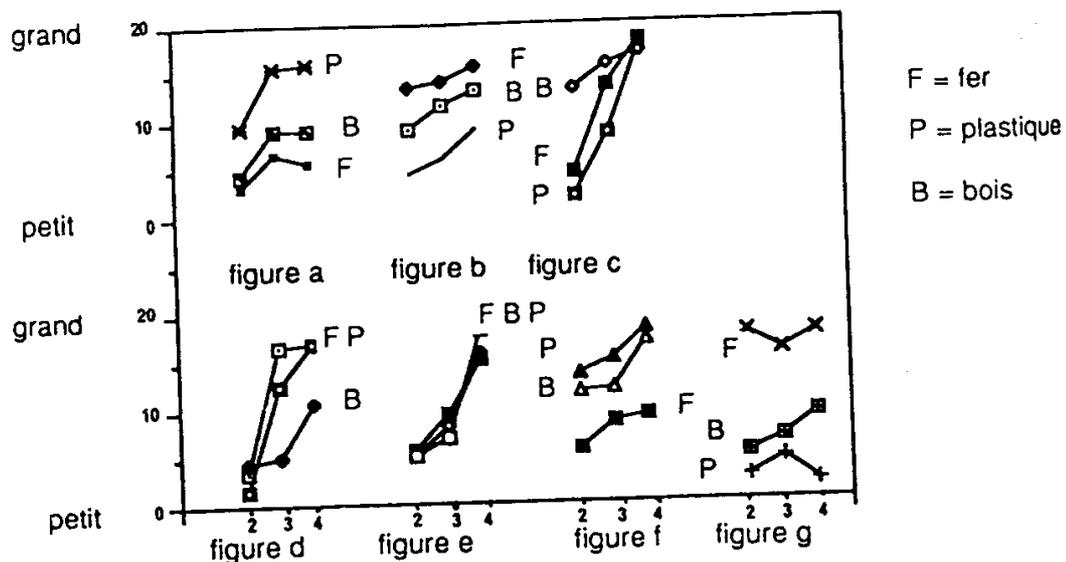


Figure 5 : Exemples de patrons d'intégration observés lors des jugements de volume

Deux autres élèves, Arnaud et Sophie (figures 5c et 5d) n'ont pas su ordonner correctement les trois modalités de masse volumique et placent le fer entre le bois et le plastique. Dans ce cas, il est difficile de se prononcer sur le type de stratégie suivi. Seize patrons d'intégration unifactoriels (53,33 % des sujets) sont également retrouvés. Quatorze enfants dont Olivier (figure 5e) tiennent compte essentiellement de la masse et du caractère positif de sa liaison avec le volume pour émettre leurs jugements. Les trois modalités de masse volumique sont pratiquement confondues et le patron d'intégration est du type :

$$\text{Volume} = f(\text{Masse}).$$

Par contre, chez deux élèves, seul l'effet de la masse volumique est significatif. Le premier (figure 5 F) reconnaît qu'il existe une liaison négative entre la masse volumique et le volume mais le second pense au contraire qu'ils sont liés positivement (figure 5 g). Enfin, il reste huit sujets (26,27 %) dont l'analyse de variance ne révèle aucun effet notable.

Ils n'ont vraisemblablement pas su adopter de stratégies de réponse organisées.

ÉVALUATIONS DE MASSE VOLUMIQUE

Les analyses graphiques et statistiques individuelles montrent aussi que le nombre de sujets prenant en compte deux facteurs est plus faible que pour la masse. Ainsi chez neuf élèves (30 %), les effets de la masse et du volume à la fois sont significatifs. Deux d'entre eux possèdent une claire conscience du caractère divisif de l'opération d'intégration à appliquer aux informations présentées. Par exemple, le graphe moyen des réponses de Simon (figure 6a) est nettement divergent vers la gauche et l'interaction est statistiquement significative. De plus, les estimations de masse volumique diminuent quand le volume augmente. On peut donc dire qu'intuitivement, il maîtrise l'équation correcte :

Masse volumique = f (Masse/Volume).

Par contre pour cinq enfants, l'interaction entre la masse et le volume est insignifiante. Seule Karine pense que plus le volume augmente, plus la masse volumique est élevée (figure 6b). Les autres dont Frédéric (figure 6c) possèdent une bonne connaissance de la relation négative qui lie ces deux éléments. Dans ce cas, il convient d'écrire :

Masse volumique = f (Masse - Volume).

L'interprétation du graphe des réponses moyennes d'Amélie (figure 6d) est plus délicate. Globalement, cette fillette semble aussi avoir conscience de la liaison négative entre la masse volumique et le volume mais rencontre des difficultés quant aux effets des trois modalités de masse. Par exemple, quand le volume est maximum, trois masses donnent une estimation de masse volumique plus élevée que lorsqu'il y en a quatre. Dix-sept patrons d'intégration unifactoriels (56,67 % des sujets) sont également retrouvés. Ils se répartissent de la manière suivante : cinq élèves ne tiennent compte que de la masse pour faire leurs évaluations (statistiquement, seul l'effet de ce facteur est significatif). Cependant, Arnaud croit que la masse volumique est plus faible pour trois masses que pour deux (figure 5e) et Séverine pense que pour trois et quatre masses, il y a une liaison négative entre la masse volumique et le volume mais pas pour deux (figure 6 F). Pour les trois autres sujets, on peut écrire :

Masse volumique = f (Masse).

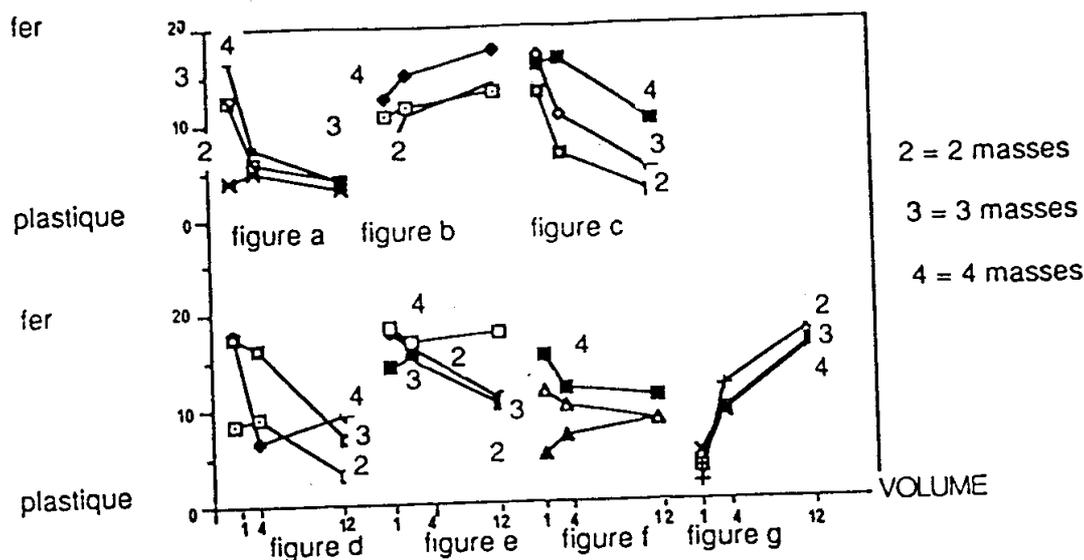


Figure 6 : Exemples de patrons d'intégrations observés lors des jugements de masse volumique

L'interprétation du graphe des réponses moyennes d'Amélie (figure 6d) est plus délicate. Globalement, cette fillette semble aussi avoir conscience de la liaison négative entre la masse volumique et le volume mais rencontre des difficultés quant aux effets des trois modalités de masse. Par exemple, quand le volume est maximum, trois masses donnent une estimation de masse volumique plus élevée que lorsqu'il y en a quatre. Dix-sept patrons d'intégration unifactoriels (56,67 % des sujets) sont également retrouvés. Ils se répartissent de la manière suivante : cinq élèves ne tiennent compte que de la masse pour faire leurs évaluations (statistiquement, seul l'effet de ce facteur est significatif). Cependant, Arnaud croit que la masse volumique est plus faible pour trois masses que pour deux (figure 5e) et Séverine pense que pour trois et quatre masses, il y a une liaison négative entre la masse volumique et le volume mais pas pour deux (figure 6 F). Pour les trois autres sujets, on peut écrire :

Masse volumique = f (Masse).

Il reste donc 12 enfants chez qui seul l'effet du volume est significatif. La plupart connaît le caractère négatif de la liaison entre la masse volumique et le volume. Le patron d'intégration prend alors la forme :

Masse volumique = f (-Volume).

Il n'y a que Li qui croit que la masse volumique est plus élevée quand le volume augmente (figure 6 g). Enfin quatre élèves n'ont pas su adopter de stratégies de réponses organisées et les analyses de variance individuelles ne montrent aucun effet notable.

A la vue de ces résultats, les actions pédagogiques qui pourraient être envisagées sont sensiblement les mêmes que pour le volume. Tout d'abord, il faudrait faire prendre conscience aux enfants "unifactoriels" du rôle joué par le facteur qu'ils négligent. Une autre attitude serait aussi d'aider ceux qui ne le savent pas à voir que le volume et la masse vo-

luminique sont négativement liés ou encore pour Arnaud, Sophie, Amélie et Séverine à voir comment s'ordonnent le fer, le bois, le plastique ou la masse quand il faut faire des évaluations de volume ou de masse volumique. Enfin, chez les enfants qui n'ont pas su développer de stratégies de réponses organisées, il serait d'abord souhaitable de leur faire prendre conscience du rôle joué par un facteur (la masse par exemple), avant d'en aborder un second (la masse volumique ou le volume).

AUTRES APPLICATIONS

De nombreux exemples d'application du paradigme qui vient d'être décrit à l'étude la maîtrise intuitive que manifestent des enfants et des adolescents de notions élémentaires ou complexes de physique ou de mathématiques peuvent être trouvés dans la littérature. Ces études concernent :

- a - la relation entre surface du rectangle, longueur et largeur (Anderson, 1980 ; Anderson et Coneo, 1978 ; Lautrey, Mollet et Paques, 1989 ; Leon, 1982 ; Mollet, Lautrey et Glaser, 1990 ; Wilkening et Searis, 1975 ; Wilkening, 1979, 1980 ;
- b - la relation entre volume d'un liquide, surface de base du récipient et hauteur (Anderson, 1983 ; Anderson et Cuneo, 1978) ;
- c - la relation entre volume d'un cône, rayon de la base, et hauteur (Wilkening, 1980) ;
- d - la relation entre masse volumique, masse et volume (Mullet, 1985 ; Mullet, Vidal, 1986) ;
- e - la distinction entre poids et masse (Mullet, Gervais, 1990) ;
- f - la relation entre masse d'un pendule, hauteur de chute, masse d'une balle frappée par ce pendule et distance d'éjection (Anderson, 1983) ;
- g - la relation entre période d'un pendule, longueur de la ficelle et plusieurs autres facteurs (Mullet, Manfré, 1987) ;
- h - la relation entre poids d'un objet, longueur du fléau de la balance côté objet, longueur du fléau côté opposé et charge capable d'équilibrer le fléau (Wilkening et Anderson, 1982) ;
- i - la relation entre poussée d'Archimède, densité du liquide et volume de l'objet immergé (Mullet, Montcouquiol, 1988) ;
- j - la relation entre cardinal d'un ensemble de points, taille et densité de celui-ci (Anderson, 1980 ; Cuneo, 1982) ;
- k - la relation entre grandeur d'un nombre a^n , base et exposant de celui-ci (Mullet, Cheminat, 1986) ;
- l - la relation entre utilité subjectivement espérée d'un pari, probabilité de gagner et gain (Anderson, 1977 cité par Anderson, 1980 ; Hommers, 1980) ;
- m - la relation entre distance, temps et vitesse de déplacement (Wilkening, 1980, 1981, 1982, 1984) ;
- n - la relation entre temps de roulement le long d'un plan incliné, distance à parcourir et angle d'inclinaison (Anderson, 1983).

Véronique LEONI et Etienne MULLET
Université Charles de Gaulle — Lille 3

*Cette étude a utilisé les moyens de travail du L.A.B.A.C.O.L.I.L..
Nous remercions les Directrices et enseignantes des écoles Mozart, Pasteur, Boufflers de Lille qui ont bien voulu nous accueillir.*

BIBLIOGRAPHIE

- Adelman, L. (1981). The influence of formal, substantive, and contextual task properties on the relative effectiveness of different forms of feedback in multiple-cue-probability-learning tasks, *Organizational Behavior and Human Performance*, 27, 423-442.
- Allal, L., Cardinet, J. & Perrenoud, P. (ed) (1979). *L'évaluation formative dans un enseignement différencié*, Berne : Lang.
- Anderson, N.H. (1980). Information Integration theory in developmental psychology. In F. Wilkening, J. Becker, T. Trabasso, *Information Integration by children*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum.
- Anderson, N.H. (1981). *Foundations of information integration theory*, New York, Academic Press.
- Anderson, N.H. (1982). *Methods of information integration theory*, New York : Academic Press.
- Anderson, N.H. (1983). Intuitive physics : Understanding and Learning of Physical relations. In T.J. Tighe, B.E. Shepp, *Perception, Cognition and Development : Interactional analysis*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum.
- Anderson, N.H. (to appear). *Contributions to information integration theory*.
- Anderson, N.H. & Cuneo, D.O. (1978). The height + width rule in children's judgments of quantity, *Journal of Experimental Psychology : General*, 107, 335-378.
- Cuneo, D. (1982). Children's judgments of numeral quantity : A new view of early quantification, *Cognitive Psychology*, 14, 13-44.
- Dean, D.H., Hammond, K.R. & Summers, D.A. (1972). Acquisition and application of knowledge in complex inference tasks, *Journal of Experimental Psychology*, 92, 20-26.
- Favre, B. & Perrenoud, P. (1985). Organisation du curriculum et différenciation de l'enseignement. In E. Plaisance (Ed.), *L'"échec scolaire" : Nouveaux débats, nouvelles approches sociologiques*, Paris : CNRS.
- Gillis, J.-S., Stewart, T.R. & Gritz, E.R. (1975). New procedures : use of Interactive computer graphics terminals with Psychiatric patients. In K.R. Hammond & C.R.B. Joyce, *Psychoactive drugs and social judgment, theory and research*, New York : Wiley, 217-238.
- Hammond, K.R. (1971). Computer graphics as an aid to learning, *Science*, 172, 903-908.
- Hoffman, P.J., Earle, T.C. & Slowic, P. (1981). Multidimensional functional learning (M.F.L.) and some new conceptions of feedback, *Organizational Behavior and Human Performance*, 27, 75-102.
- Hommers, W. (1980). Information processing in children's choices among bets. In F. Wilkening, J. Becker & T. Trabasso, *Information integration by children*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum.
- Huteau, M. & Lautrey, J. (1978). L'utilisation des tests d'intelligence et de la psychologie cognitive dans l'éducation et l'orientation, *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, 7, 99-175.

- Lautrey, J., Mullet, E. & Paques, P. (1989). Judgments of quantity and conservation of quantity : The area of a rectangle. *Journal of experimental Child psychology*, 47, 193-203.
- Leon, M. (1982). Extent, multiplying, and proportionality rules in children's judgments of area, *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 124-141.
- Leoni, V. (1989). La maîtrise intuitive des notions de masse, volume et masse volumique chez les enfants de cinq ans, Mémoire de DEA, Université Charles de Gaulle, Villeneuve d'Ascq.
- Levasseur, J. & Chassaing, F. (1984). Evaluation de l'enseignement à l'école élémentaire. *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, 13, 5-16.
- Lindell, M.K. & Steward, T.R. (1974). The effects of redundancy in multiple-cue-probability learning, *American Journal of Psychology*, 11, 377-389.
- Longeot, F. (1969). *Psychologie différentielle et théorie opératoire de l'intelligence*, Paris : Dunod.
- Mullet, E. (1985). Processus cognitifs et tests de connaissances, *Psychologie et Psychométrie*, 6, 51-70.
- Mullet, E. & Cheminat, A. (1986). *Exponential growth, information integration and individual differences*, Document du Service de Recherches de l'I.N.E.T.O.P..
- Mullet, E. & Gervais H. (1990). Distinction between the concept of weight and mass in high school students, *International Journal of Science Education*, 12.
- Mullet, E., Lautrey, J., Glaser, P-L. Information Integration in an Area Judgment Task : Effect of Aids on Children's perceptual Judgements, *Journal of Genetic Psychology*, 150 (u), 375-387.
- Mullet, E. & Manfré, D. (1987). *Intégration de l'information et période d'un pendule*, Document du Service de Recherches de l'I.N.E.T.O.P..
- Mullet, E. & Montcouquiol B. (1988). Archimede's effect, information, integration and individual difference. *International Journal of Science Educative*, Vol. 10, 285-301.
- Mullet, E. & Vidal, D. (1986). La maîtrise intuitive des relations entre masse volumique, masse et volume chez des élèves du premier cycle, *European Journal of Psychology of Education*, 1, 47-65.
- Mumpower, J. & Hammond, K.R. (1974). Entangled task dimensions : An impediment to interpersonal learning, *Organizational Behavior and Human Performance*, 11, 377-389.
- Pelnaud, J. (1976). Nature et développement du raisonnement mathématique, *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, 5, 349-364.
- Reuchlin, M. (1976). Formalisation et réalisation dans la pensée naturelle : une hypothèse, *Revue européenne des sciences sociales*, 14, 257-272.
- Slovic, P. & Lichtenstein, S. (1983). Preference reversals : A broader perspective, *American Economic Review*, 73, 596-605.
- Wigton, R.S. (1985). Computerized clinical decision aids, *M.D. Computing*, 2, 37-40.

- Wilkening, F. (1979). Combining of stimulus dimensions in children's and adults' judgements of area : an information integration analysis, *Developmental Psychology*, 15, 25–33.
- Wilkening, F. (1980). Development of dimensional integration in children's perceptual judgment : Experiments with Area, Volume and Velocity. In F. Wilkening, J. Becker & T. Trabasso, *Information integration by children*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum.
- Wilkening, F. (1981). Integration velocity, time and distance information : a developmental study, *Cognitive psychology*, 13, 231–247.
- Wilkening, F. (1983). Children's knowledge about time, distance, and velocity interrelations. In W.J. Friedman (Ed.), *The developmental psychology of time*, New York : Academic Press.
- Wilkening, F. (1984). Children's intuitions about time savings. *Cahiers de Psychologie cognitive*, 4, 379–382.
- Wilkening, F. & Anderson, N.H. (1982). Comparison of two rule-assessment methodologies for studying cognitive development and knowledge structure, *Psychological Bulletin*, 92, 215–237.
- Wilkening, F. & Sarris, V. (1975). Information integration bei Kindern und Erwachsenen. Eine Überprüfung verschiedener psychophysischer Modelle, *Zeitschrift für Psychologie*, 183, 307–318.