

REVUE FR

ANÇ AI

REVUE  
FRANÇAISE  
DE  
PÉDAGOGIE

SE DE PÉ

DAGOGIE

N° 45 - OCTOBRE-NOVEMBRE-DÉCEMBRE 1978

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE

REVUE  
FRANÇAISE  
DE  
PÉDAGOGIE

Comité  
de patronage

- MM. Jean AUBA, *directeur du Centre international d'études pédagogiques de Sèvres.*  
Jean CHATEAU, *professeur honoraire à la Faculté des lettres et sciences humaines de Bordeaux.*  
Pierre CLARAC, *inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, membre de l'Institut.*  
Gilbert CONSTANT, *directeur général de l'Enseignement, des études et de la recherche au ministère de l'Agriculture et du développement rural.*  
Jean-Louis CREMIEUX-BRILHAC, *directeur de la Documentation française.*  
Maurice DEBESSE, *professeur honoraire à la Sorbonne.*  
Jean DEBIESSE, *inspecteur général de l'Instruction publique.*  
Jean DEYGOUT, *directeur des Ecoles au ministère de l'Éducation.*  
Jean IMBERT, *directeur des Enseignements supérieurs au Secrétariat d'Etat aux Universités.*  
Raymond JACQUENOD, *directeur de l'Institut national de recherche pédagogique.*  
Jean LALOY, *directeur général des Relations culturelles, scientifiques et techniques au ministère des Affaires étrangères.*  
Gilbert LEOUTRE, *directeur du Centre national de documentation pédagogique.*  
Robert MALLET, *recteur, chancelier des Universités.*  
Gaston MIALARET, *professeur à la faculté des lettres et sciences humaines de Caen.*  
Jacques PERRILLIAT, *directeur de l'Éducation physique et des sports au secrétariat d'Etat à la Jeunesse et aux sports.*  
Marc RANCUREL, *directeur des Collèges au ministère de l'Éducation.*  
Jean SAUREL, *directeur des Lycées au ministère de l'Éducation.*  
Alfred SAUVY, *professeur au Collège de France.*  
Bertrand SCHWARTZ, *professeur à l'Université de Paris-Dauphine.*  
Jean THOMAS, *inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, président de la Commission de la République française pour l'Unesco.*  
Jean-François DE VULPILLIERES, *directeur de la Jeunesse et des activités socio-éducatives au secrétariat d'Etat à la Jeunesse et aux sports.*

TARIFS ANNUELS D'ABONNEMENT

4 numéros par an

Abonnement d'un an : **France 65 F - Étranger 76 F**

Prix du numéro : **19 F**

Rédaction : INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE  
29, rue d'Ulm 75230 PARIS CEDEX 05

Abonnement : S.E.V.P.E.N. B.P. 365-11 - 75526 PARIS CEDEX 11

Vente au numéro : dans les Centres régionaux  
et les Centres départementaux de documentation pédagogique  
(liste des adresses en p. 3 de couverture)

REVUE  
FRANÇAISE  
DE  
PÉDAGOGIE

# REVUE FRANÇAISE DE PÉDAGOGIE

*“ Toute culture véritable est prospective. Elle n'est point la stérile évocation des choses mortes, mais la découverte d'un élan créateur qui se transmet à travers les générations et qui, à la fois, réchauffe et éclaire. C'est ce feu, d'abord, que l'Éducation doit entretenir. ”*

*Gaston BERGER*

*“ L'Homme moderne  
et son éducation ”*

N° 45 - OCTOBRE - NOVEMBRE - DÉCEMBRE 1978

PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU CENTRE  
NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE

**Comité  
de rédaction**

MM. Guy CAPLAT, *inspecteur général de l'Administration de l'Education nationale, directeur de département à l'Institut national de recherche pédagogique*  
Michel DEBEAUVAIS, *directeur de l'Institut international de planification de l'éducation.*

André DE PERETTI, *directeur de département à l'Institut national de recherche pédagogique.*

Gilles FERRY, *chargé d'enseignement en sciences de l'éducation à la Faculté des lettres et sciences humaines de Nanterre.*

Roger GRANDBOIS, *inspecteur général de l'Instruction publique.*

M<sup>me</sup> Viviane ISAMBERT JAMATI, *professeur à l'U.E.R. de sciences de l'éducation à l'Université de Paris V.*

MM. Jean KUNTZMANN, *professeur honoraire de l'Université scientifique et médicale de Grenoble.*

Joseph LEIF, *inspecteur général de l'Instruction publique.*

Jean-François LE NY, *professeur de psychologie à l'Université de Paris VIII.*

Jacques PERRIAULT, *directeur de département à l'Institut national de recherche pédagogique.*

Docteur Pierre PLAT, *directeur de département à l'Institut national de recherche pédagogique.*

Antoine PROST, *professeur à la Faculté des lettres et sciences humaines d'Orléans-La Source.*

Jacques QUIGNARD, *conseiller de direction à l'Institut national de recherche pédagogique.*

Georges SNYDERS, *professeur de sciences de l'éducation à la Sorbonne.*

Jean VIAL, *professeur de sciences de l'éducation à l'Université de Caen.*

**Rédacteur en Chef**

M. Louis LEGRAND, *directeur de recherche à l'Institut national de recherche pédagogique.*

**Chef de rubrique**

M. Jean HASSENFORDER, *maître de conférences à l'Institut national de recherche pédagogique.*

**Secrétaire de rédaction**

M<sup>lle</sup> Suzanne AUDEBERT, *chargée d'études documentaires à l'Institut national de recherche pédagogique.*



# DIDACTIQUE DES SCIENCES ET PSYCHOLOGIE

Paris, 4-5-6-7 mai 1977

Table Ronde organisée avec le soutien du  
Centre National de la Recherche Scientifique  
et de la Maison des Sciences de l'Homme

---

## N° 45

## SOMMAIRE

---

---

G. Vergnaud	Avant-Propos	p. 5
-------------	--------------	------

---

### THEME I

---

G. Vergnaud F. Halbwachs A. Rouchier	Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève	p. 7
L. Viennot	Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire	p. 16
E. Guesne A. Tiberghien G. Delacote	Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et lumière	p. 25
F. Halbwachs	Structure de la matière enseignée et développement conceptuel	p. 33
J. Heurtaux	A propos de « masse inerte » et « masse de gravité »	p. 37
N. Balacheff	Une utilisation des graphes pour l'étude des raisonnements à partir de travaux écrits	p. 44
	Discussion générale	p. 50

---

### THEME II

---

F. Colmez G. Delacote J.F. Richard	Statut de l'observation et de l'activité expérimentale chez l'élève	p. 55
A. Giordan	Observations-expérimentation : mais comment les élèves apprennent-ils ?	p. 66
H. Latreille M. Chastrette	Libre choix, motivation et comportement : le cas des travaux pratiques de chimie	p. 74
E. Cauzinille A. Weil-Barais	Etude de la pratique du raisonnement expérimental chez des étudiants en sciences humaines	p. 76

J. Bliss J. Ogborn	Les réactions des étudiants aux situations d'apprentissage à l'université	p. 8
J. Mathieu	Analyse des inférences faites par des élèves au cours d'un raisonnement expérimental	p. 9
	Discussion générale	p. 10
<hr/>		
THEME III		
<hr/>		
V. Host	Procédures d'apprentissage spontanées dans la formation scientifique	p. 10
H. Lehalle	Activités d'analyse de données par des élèves du premier cycle	p. 11
E. Fischbein	Schémas virtuels et schémas actifs dans l'apprentissage des sciences	p. 11
J.P. Astolfi	Les représentations des enfants en situation de classe	p. 12
<hr/>		
THEME IV		
<hr/>		
G. Brousseau	L'observation des activités didactiques	p. 13
Equipe IPECA	Recherche d'une méthodologie	p. 14
R. Sirota	Analyse sociologique d'une situation didactique à l'aide d'une nouvelle grille d'observation	p. 14
A. Coulibaly C. Deman	Observation des activités didactiques	p. 14
J. Ogborn	Recherche sur l'enseignement du travail en laboratoire	p. 15
	Discussion générale	p. 16
<hr/>		
THEME V		
<hr/>		
J. Nimier	Mathématique et affectivité	p. 16
J. Colomb M.N. Audigier	Introduction de la soustraction au cycle élémentaire : quelques éléments d'une expérimentation	p. 17
N. Riche	Trame pour rédiger un exercice de physique	p. 18
A. Denis D. Dimier	C.E.S. coopératif « Jules Vallès » de la Ricamarie	p. 20

---

## AVANT-PROPOS

---

*La table ronde « Didactique des Sciences et Psychologie », dont les travaux sont publiés dans ce numéro, s'est tenue à Paris en mai 1977. Elle a probablement constitué la première grande confrontation, à l'échelle nationale, dans ce nouveau champ scientifique qu'est la didactique. En réunissant pour la première fois des spécialistes de mathématiques, de physique, de chimie, de biologie, avec des psychologues et d'autres spécialistes de sciences humaines, elle a montré la nécessité pour la didactique de s'alimenter à la fois à la connaissance approfondie de la matière enseignée et à la connaissance scientifique des conditions d'acquisition et de construction du savoir. Elle a montré également le caractère relatif de certaines barrières entre disciplines et la nécessité de regarder comment se forment, à travers plusieurs disciplines, les concepts opératoires de l'enfant et de l'adolescent.*

*Le lecteur ne doit pas s'attendre à trouver dans ce numéro le bilan d'une science constituée. La didactique est en train de naître. Cela signifie qu'elle consacre nécessairement une part importante à la problématique et à la méthodologie, et que les résultats présentés apparaissent davantage comme des témoignages de la fécondité d'une approche que comme un corps de connaissances organisé. Pourtant, certains de ces résultats étonnent et résistent déjà fort bien à l'épreuve de la critique. C'est là un critère peu contestable de l'existence d'un nouveau domaine scientifique.*

*Il faut écarter tout schéma réductionniste : la didactique n'est réductible ni à la connaissance d'une discipline, ni à la psychologie, ni à la pédagogie, ni à l'histoire, ni à l'épistémologie. Elle suppose tout cela, elle ne s'y réduit pas ; elle a son identité, ses problèmes, ses méthodes. C'est maintenant un point acquis pour les chercheurs qui se sont engagés dans cette voie.*

*Les contributions publiées dans ce volume sont rassemblées sous quatre thèmes principaux, qui avaient été retenus pour la table ronde. Chaque thème est présenté par un rapport introductif, lequel est suivi de plusieurs contributions et d'une discussion générale. Quelques contributions, en fin de volume, demeurent en dehors de ces thèmes. L'ensemble ne forme pas un bilan, mais plutôt un échantillon relativement représentatif des recherches françaises. Les participants étrangers avaient été invités à participer à la discussion critique des travaux : ils se sont remarquablement acquittés de cette tâche. Qu'ils en soient remerciés, ainsi d'ailleurs que les cent vingt participants français, et les secrétaires de la table ronde. Que soient remerciés également le Centre National de la Recherche Scientifique, la Maison des Sciences de l'Homme et la Revue Française de Pédagogie qui ont permis la réunion de cette table ronde et la publication de ses travaux.*

Gérard VERGNAUD.

THEME

## **STRUCTURE DE LA MATIERE ENSEIGNEE, HISTOIRE DES SCIENCES ET DEVELOPPEMENT CONCEPTUEL CHEZ L'ELEVE**

La recherche en didactique soulève de nombreuses questions. Certaines de ces questions concernent moins l'acquisition d'un savoir spécifique que les conditions générales de l'enseignement : la place de l'école et de l'éducation dans la société, la pédagogie, les rapports sociaux.

Bien que ces conditions générales aient des conséquences importantes sur la didactique, elles sont délibérément laissées de côté dans ce rapport, qui ne porte que sur les aspects proprement cognitifs de la transmission des connaissances. L'usage du terme « cognitif » ne doit pas être interprété comme un privilège accordé aux aspects les plus théoriques de la connaissance. Il renvoie à une large gamme d'activités dont les aspects pratiques et théoriques sont, aux yeux des auteurs de ce rapport, des aspects indissociables, aussi cognitifs l'un que l'autre.

### **I. — STRUCTURE DE LA MATIERE ENSEIGNEE ET PSYCHOLOGIE**

La didactique et la recherche en didactique s'appuient évidemment sur la connaissance approfondie :

— de la matière enseignée et de sa structure ;

— du développement psychologique de l'élève et des processus d'appropriation des connaissances.

Cela semble aller de soi puisque la connaissance approfondie de la matière enseignée et de sa structure est indispensable pour déterminer les concepts, les méthodes et les savoir-faire les plus importants, tandis que la psychologie du développement et des processus d'acquisition est indispensable pour déterminer ce qu'il est possible d'enseigner, dans quel ordre, et avec quelles méthodes. Pourtant, il n'est pas rare qu'on sous-estime la nécessité de cette double connaissance. Nombre de didacticiens s'en tiennent à ce qui est à leurs yeux ou aux yeux de la science contemporaine, le plus logique, le plus naturel, le plus fondamental ou le plus élégant, sans se soucier outre mesure du processus lent et laborieux par lequel l'élève s'approprie les connaissances. Inversement, nombre de psychologues et d'éducateurs croient détenir une connaissance suffisante du développement cognitif s'ils disposent d'une caractérisation générale des principaux stades de la pensée ou des processus d'apprentissage. Cela peut conduire les uns et les autres à de graves « erreurs didactiques ».

Prenons quelques exemples assez grossiers :

Les déboires rencontrés ces dernières années dans l'enseignement de la géométrie montrent assez le contresens qu'il y a à présenter cette discipline aux élèves de quatrième et de troisième sous une forme trop exclusivement algébrique et axiomatique.

L'introduction des différentes catégories de nombres, lorsqu'elle est coupée de toute référence aux notions de mesure, d'approximation, de transformation ou de relation, ne permet guère aux enfants de sixième et de cinquième, encore moins à ceux de l'enseignement élémentaire, de s'approprier véritablement les notions et les opérations de l'arithmétique élémentaire.

Enfin le biais, presque systématique en France, qui consiste à considérer qu'on doit connaître d'abord les concepts et les instruments mathématiques pour les appliquer ensuite aux différents contenus de la physique, méconnaît totalement le processus de la formation des concepts chez l'écolier. En effet, il arrive souvent que l'étude de ce processus, ou bien ne permette pas de séparer les aspects mathématiques et les aspects physiques, ou bien montre au contraire que c'est le concept physique qui donne du sens au concept mathématique : sans mesure par exemple, il n'y aurait pas de nombre. Ce qui ne signifie évidemment pas que la notion de nombre se réduise à celle de mesure ou aux autres notions physiques qui ont des rapports avec le nombre.

De son côté, la psychologie méconnaît parfois la nécessité de ne pas séparer l'étude du développement de la pensée de celle de l'acquisition des connaissances et des contenus particuliers. Trop souvent elle se borne,

soit dans la théorie des épreuves d'intelligence générale, soit dans celle de la psychogenèse, à caractériser en termes généraux et inévitablement formels les principales opérations de la pensée dont sont capables les enfants de tel ou tel stade. Ou bien certains éducateurs et psychologues, en mettant exclusivement l'accent sur des conditions psychologiques d'ordre général (spontanéité de l'élève, travail en groupe, rapports maître-élève, institution scolaire, etc.) oublient la dialectique qui existe entre contenus et méthodes, les méthodes étant relatives aux contenus et le choix des contenus étant de son côté partie intégrante des méthodes pédagogiques. Même lorsqu'ils ne tombent pas dans certains excès du spontanéisme et du non-directivisme, nombreux sont les éducateurs et les spécialistes de l'enseignement qui méconnaissent totalement le besoin d'une psychopédagogie liée aux contenus, donc d'une didactique.

Or la didactique exige une connaissance beaucoup plus fine et précise que celle qu'on trouve dans les ouvrages actuels de psychologie, c'est la connaissance du processus et des conditions d'appropriation par les élèves de chaque domaine particulier du savoir. Et dans cette recherche, une problématique originale doit être élaborée, qui emprunte à la fois à la psychologie cognitive et à la structure de la matière enseignée, sans se réduire ni à l'une, ni à l'autre.

## II. — HISTOIRE DES SCIENCES ET DEVELOPPEMENT CONCEPTUEL

Il est tentant et légitime de recourir à l'histoire des sciences et à l'épistémologie historique. Des parallélismes frappant existent.

Laurence Viennot montre par exemple dans sa thèse que le même modèle :

$Fc = \alpha (V)$  le capital de force est proportionnel à la vitesse

rend compte non seulement de certaines erreurs massives des étudiants actuels mais aussi des raisonnements de nombreux savants pendant toute la période prénewtonienne.

On connaît également le grossier parallélisme qui existe entre certaines extensions de la notion de nombre au cours de l'histoire et l'acquisition par les élèves des notions de nombre naturel et de nombre relatif, de nombre rationnel et de nombre réel.

Enfin pour citer un exemple en biologie, qui n'est guère de la compétence des auteurs de ce rapport, on sait que la pensée vitaliste et la pensée mécaniste, qui ont imprégné la biologie pendant des siècles, permettent aussi de rendre compte des représentations que se font les enfants et les élèves des processus biologiques.

Mais ces parallélismes ne doivent pas être généralisés et ils doivent être accueillis avec précaution. Il

arrive par exemple que les acquisitions cognitives de l'enfant s'interprètent plus aisément en considérant un ordre inverse de l'ordre historique, ainsi que Jean Piaget et Bärbel Inhelder l'ont montré en étudiant la représentation de l'espace chez l'enfant (référence 5) : les savoirs pratiques d'ordre topologique précèdent les savoirs d'ordre projectif qui eux-mêmes précèdent les savoirs d'ordre euclidien. Et surtout les références historiques, si elles sont suggestives, ne sauraient permettre de faire l'économie d'une recherche propre à la didactique.

On peut sans doute essayer de définir des obstacles didactiques en s'inspirant de ce qu'on sait des obstacles épistémologiques historiques. Mais si l'occasion des difficultés est éventuellement commune, la manifestation de l'obstacle peut être différente et la façon dont il est surmonté est également différente. L'école ne reproduit pas l'histoire. En effet, le contexte historique de la pensée de tel ou tel homme de science du passé n'est pas celui de l'école ou de l'université de 1977, la pression idéologique et l'autorité ne sont pas de même nature et ne vont pas dans le même sens, les étudiants ou les élèves ne sont pas les « grands hommes » de leur époque.

Il serait également illusoire de considérer qu'une présentation historique du savoir pourrait lever tous les obstacles didactiques. Elle peut être utilisée dans certains cas, mais elle peut aussi contribuer à faire surgir des obstacles qui n'existent pas avec une autre présentation.

C'est pourquoi une problématique spécifique est absolument nécessaire au didacticien et au psychologue qui s'intéressent à l'enseignement. Ils ne peuvent pas s'interroger sur le développement des différentes capacités cognitives de l'élève sans être armés d'une solide connaissance de la discipline ou des disciplines concernées ainsi que de leur histoire. Ils ne peuvent pas non plus s'interroger sur les processus didactiques sans une solide formation en psychologie. Cette double formation est nécessaire ; elle n'est pas suffisante. Elle appelle en outre l'élaboration d'une problématique et d'une méthodologie particulière à l'enseignement et à l'appropriation de chaque contenu de connaissances.

Par exemple, les différents concepts, les différentes techniques, les différentes procédures de solution de problème de l'arithmétique élémentaire renvoient à plusieurs sortes d'interrogations et d'expériences qui sont liées directement au contenu de l'arithmétique élémentaire. Ces interrogations et expériences ne sont directement transposables ni pour le dessin technique, ni pour l'étude de la lumière, ni pour l'anatomie, ni même pour la géométrie.

Pourtant, il est légitime de rechercher ce qui est commun à l'appropriation des différents contenus de

connaissance. C'est d'ailleurs à cette recherche qu'est consacrée la majeure partie de ce rapport. Mais les auteurs de ce rapport ne sauraient trop souligner la prudence avec laquelle il faut accueillir leurs propositions. Celles-ci seraient mieux fondées si elles pouvaient s'appuyer sur une longue tradition d'expériences bien faites sur une variété de contenus. En l'absence d'un passé ou d'un présent assez prestigieux de la recherche en didactique, c'est d'une orientation générale largement conjecturale qu'il faut débattre.

### III. — REPRESENTATION ET MODE DE RAISONNEMENT : DES CONCEPTS-CLEFS DIFFICILES A ANALYSER

Les expressions de « représentation » et de « mode de raisonnement » ou d'autres analogues sont couramment utilisées pour désigner la façon dont un élève comprend et traite une notion ou une classe de situations. Les deux expressions sont parfois utilisées indistinctement l'une pour l'autre ; parfois, elles sont au contraire assez bien distinguées, le mode de raisonnement renvoyant plutôt aux procédures mentales de l'élève en situation de solution de problème, celui de représentation renvoyant pour sa part davantage à l'ensemble structuré de concepts et de préconcepts sur lequel s'appuie le raisonnement.

Quoi qu'il en soit, ces deux expressions renvoient à des ensembles de faits variés qu'il est difficile de répertorier et d'analyser. On peut distinguer d'abord deux grandes catégories de faits de conduites qui intéressent le didacticien comme le psychologue.

— Les actions matérielles du sujet en situation, ou les réponses brutes aux questions d'un problème (y compris les procédures utilisées).

— Le discours verbal tenu par le sujet pour justifier ou expliquer sa conduite.

Sans doute cette distinction serait-elle moins cruciale si les explications verbales et les actions en situation coïncidaient toujours les unes avec les autres. Mais les écarts sont trop nombreux pour qu'on accepte comme allant de soi l'équivalence des deux catégories de conduites. En fait ce sont les actions et les réponses en situation qui, du point de vue du psychologue, sont le critère le plus décisif du niveau de pensée de l'élève même si son discours est un élément également riche d'information. C'est pourquoi l'analyse des « représentations » ou des « modes de raisonnement » des élèves passe nécessairement par l'expérimentation sur un ensemble de situations-problèmes systématiquement agencé (plan d'expériences), dans laquelle on relève scrupuleusement les différents types de réponses et de comportements produits par les élèves, et à partir de laquelle on cherche à mettre en évidence des systèmes cohérents de conduite.

Nous donnons ci-dessous trois exemples qui concernent des moments très différents du développement cognitif.

**Les conduites « non-transitives » des enfants :** de nombreuses expériences, inaugurées par Jean Piaget, portant sur la sériation d'objets de longueur différente, de poids différent, etc., ou sur le choix d'objets de « valeur » différente, ou encore sur la composition de relations d'ordre spatiales, temporelles ou mécaniques, ont montré que la propriété de transitivité des relations d'ordre strict n'est pas utilisée par les enfants avant un certain âge. Cet âge varie selon le contenu de la relation ou le domaine conceptuel auquel cette relation se réfère, ainsi que selon les modalités expérimentales, le contexte socio-culturel etc. ; mais il se situe en moyenne aux environs de 7 ou 8 ans, du moins si l'on se réfère aux procédures utilisées par les enfants ou aux choix qu'ils font en situation. Si l'on se réfère par contre aux formulations et aux justifications verbales des enfants, il faut considérer des âges nettement plus avancés.

**L'acquisition des structures additives élémentaires** (problèmes solubles par des additions et soustractions). L'addition et la soustraction ne sont pas pour l'enfant des opérations indépendantes des relations qu'il doit traiter dans les problèmes qu'il rencontre. On peut distinguer plusieurs sortes de relations, selon qu'elles mettent en jeu la composition de deux mesures, la transformation (en plus ou en moins) d'une mesure initiale en une mesure finale, la relation entre deux mesures, la composition de deux transformations ou de deux relations etc. On peut alors caractériser plusieurs classes de problèmes pour chaque type de relation, et plusieurs sous-classes de problèmes selon les valeurs prises par les variables, selon les contenus conceptuels (descripteurs) auxquels elles renvoient etc. Des expériences systématiques montrent qu'il existe une structure d'ordre partiel dans la maîtrise par l'enfant des différentes classes et sous-classes de problèmes. Elles montrent notamment que l'inversion d'une transformation additive pose des problèmes durables, ainsi que la composition et surtout la décomposition des transformations additives. Au-delà des simples constats d'échec ou de réussite, on peut dégager des procédures relativement stables qui permettent de caractériser le niveau atteint par l'élève. L'appropriation des structures additives élémentaires s'étale sur une longue période qui concerne tout l'enseignement élémentaire et une partie du premier cycle du second degré (référence 6).

**Les relations entre force, énergie et mouvement chez des étudiants de l'enseignement supérieur scientifique ou de terminale.**

Laurence Viennot a soumis à des populations variées d'étudiants, des questionnaires de formes différentes portant sur la dynamique élémentaire.

Certains questionnaires illustrent une même question par des situations physiques différentes.

Par exemple, elle a voulu savoir si la donnée du **mouvement** d'un mobile perturbe, chez l'étudiant, l'évaluation de forces qui ne dépendent, en fait, que de la **position** de ce mobile. Elle a présenté des mobiles identiques, situés au même point d'un même champ de forces, mais animés de mouvements différents, et elle a demandé si « les forces agissant sur chacun des mobiles en ce point et à cet instant étaient identiques entre elles ? »

Cette question a été posée en trois versions qui mettent en jeu divers champs de forces (pesanteur et/ou élasticité d'un ressort) et divers mouvements (uniformément accéléré, rectiligne ou parabolique, harmonique rectiligne, circulaire uniforme) (référence 1a).

D'autres questionnaires illustrent des questions différentes :

- Peut-on remplacer une vitesse initiale par une force ?
- Dégager le schéma de forces d'un pendule vertical pour diverses positions et vitesses de la masse mobile ?
- Que devient un glaçon que l'on abandonne sur une tablette dans un avion qui accélère ? (référence 1a) etc.

Ces questionnaires diffèrent par de nombreux aspects : présentation plus ou moins formelle, question plus ou moins simple à comprendre, difficultés mathématiques, aspects linguistiques... On peut être tenté de voir à chaque fois l'origine principale des résultats dans tel ou tel de ces aspects.

Mais les résultats ne prennent leur cohérence que si l'on admet qu'il existe une organisation « spontanée » des notions dynamiques, antérieure ou parallèle à l'enseignement. Le terme de « Force », en particulier, recouvre en fait plusieurs notions pour les étudiants. Les propriétés et les conditions d'intervention de ces notions sont différentes et ont pu être précisées. Par exemple lorsqu'un mouvement, directement accessible à l'intuition, n'est pas colinéaire à la Force d'interaction réelle, et de même sens qu'elle, les étudiants mettent souvent en jeu une autre « Force » liée à la vitesse par une relation de quasi-proportionnalité —  $F_c = \alpha (V)$ .

Ce phénomène s'insère dans un ensemble de faits qui traduisent une approche causale, parfois presque animiste, des questions dynamiques, dans laquelle les grandeurs physiques telles que la force, ou la vitesse, sont souvent considérées comme des propriétés intrinsèques des objets matériels.

On a pu vérifier, en examinant les résultats d'épreuves classiques, que les conclusions de ces premières expériences restent valables lorsque l'étudiant se trouve

dans un contexte scolaire usuel (référence 1d). On retrouve alors dans les réponses, les traces des mêmes raisonnements spontanés, mieux dissimulés, mais encore parfaitement discernables.

Une démarche tout à fait analogue a été suivie dans une autre série d'expériences portant sur les changements de référentiels (2).

#### IV. — INVARIANTS OPERATOIRES, REGLES D'ACTION ET CALCULS RELATIONNELS

Bien que l'étude de la pensée des élèves ne permette pas toujours de dépasser le niveau d'une simple caractérisation globale des différents types de représentations ou de raisonnements, il est légitime d'essayer d'analyser la représentation à l'aide de concepts distincts qui permettraient de mieux situer les rapports de connaissance entre le sujet et la réalité matérielle, le rôle de son activité symbolique et de son activité matérielle, le mode de constitution des concepts de différents niveaux, et le critère de l'appropriation cognitive.

Trois concepts semblent pouvoir être distingués même s'ils sont interdépendants et si la terminologie utilisée ici peut éventuellement être remplacée par une autre. Ce sont les concepts d'invariant opératoire, de règle d'action, de calcul relationnel.

— Un invariant opératoire est un concept, un pré-concept ou éventuellement un pseudo-concept. L'expression d'« invariant opératoire » permet d'une part de mettre en évidence le fait que se constitue en objet logique stable (invariant) pour le sujet une classe de phénomènes soumis auparavant à variation, d'autre part que le critère de l'acquisition d'un invariant est l'action (opératoire) ou les réponses du sujet en situation.

— Une règle d'action est une règle qui permet d'engendrer des actions en fonction des valeurs prises par certaines variables de situation. Ces variables peuvent évoluer dans le temps, ou d'une situation à une autre ; une règle (ou une conjonction de règles) n'en est pas moins utilisée pour toute une classe de situations.

— Un calcul relationnel est une déduction (ou plus généralement une inférence), faite par le sujet en situation, en fonction des invariants opératoires dont il dispose dans le champ de situations considéré. Il peut être décrit, en général, par une composition ou une transformation de relations et de propriétés.

Invariants, règles d'action et calculs relationnels peuvent être adéquats ou inadéquats. Ils n'en jouent pas moins le même rôle fondamental, qui est de refléter la réalité et d'organiser l'activité du sujet, cette activité étant elle-même la source de la représentation cognitive.

Nous verrons plus loin que cette analyse de la représentation se double de la distinction fondamentale



entre signifiant et signifié qui est de la plus grande importance pour l'acquisition des connaissances scientifiques. En effet, invariants, règles d'action et calculs relationnels se situent au plan du signifié, mais ce signifié fait l'objet, dans la communication et dans la pensée, d'une explicitation symbolique partielle : schémas, dessin, algèbre, langage naturel.

Plusieurs systèmes de signifiants coexistent ainsi, avec leur syntaxe et leur sémantique propres. Ils ne sont pas le signifié. Ils ne renvoient pas directement à la réalité matérielle mais au signifié. Ils renvoient aussi les uns aux autres (algèbre, représentation géométrique, schémas par exemple).

### Invariant opératoire sur un ensemble :

Un invariant est toujours relatif à un ensemble d'objets, mais ces objets peuvent être de nature diverse : ensemble d'objets matériels, ensemble de transformations, ensemble de propriétés, ensemble de relations, ensemble de classes, etc. On utilise souvent le terme de conservation pour les invariants quantitatifs : conservation des quantités discrètes (cardinal) et des quantités continues (longueur, poids, volume, masse, chaleur, énergie...). Mais on peut aussi formuler en termes de conservation l'invariance :

— d'une qualité sur un ensemble d'objets (caractéristique d'une classe) ou sur un ensemble de transformations (permanence de l'objet dans le déplacement derrière écran, identité d'un être vivant en développement, conservation d'une forme sous certaines transformations géométriques...);

— d'une relation binaire sur un ensemble de couples (fils de, à gauche de, plus grand que...) ou sur un ensemble de transformations (conservation de la relation d'incidence dans les transformations affines);

— d'une relation ternaire ou quaternaire sur un ensemble de triplets ou de quadruplets (addition, proportionnalité), ou sur un ensemble de transformations ( $F = m \gamma$ ).

Le terme de « conservation » a ceci d'ambigu qu'il risque de véhiculer l'idée que, dès avant l'acquisition d'une nouvelle conservation, le concept en jeu existerait déjà puisque le seul problème serait celui de sa conservation : ainsi le concept de cardinal existerait avant la conservation des quantités discrètes. Or, on peut soutenir au contraire que l'acquisition de la conservation marque justement la formation du concept. Si l'épistémologie, l'histoire des sciences et la psychologie génétique s'accordent à reconnaître la place cruciale de la notion d'invariant, c'est parce que la construction ou l'appropriation d'un nouvel invariant s'identifie dans une large mesure avec la formation d'un nouveau concept, le nouvel invariant, une fois posé ou reçu avec évidence, devenant d'ailleurs un nouvel objet susceptible d'entrer lui-

même en relation avec d'autres objets. Entre la permanence de l'objet, conservation qualitative d'un objet singulier (constitutive du concept d'objet), et  $F = m \gamma$ , invariant relationnel entre invariants d'un niveau conceptuel élevé (relation constitutive du concept de force), le développement cognitif de l'enfant, de l'écolier, puis de l'étudiant est jalonné par l'acquisition de nombreux invariants. Ce développement obéit nécessairement à un principe d'accroissement de la complexité ; mais la vision qu'on peut avoir de cet accroissement de complexité ne doit être enfermée :

— ni dans un schéma d'ordre total : il s'agit plutôt d'un ordre partiel ;

— ni dans une conception étroitement développementale dans laquelle les apports scolaires et sociaux ne joueraient pratiquement pas de rôle ;

— ni dans une conception purement formelle (types logiques) de la complexité. En effet, les contenus jouent un grand rôle et il serait vain, par exemple, de penser que la notion de fonction linéaire du continu dans le continu suffirait à faire comprendre à l'enfant les différentes relations physiques qui sont représentables par une telle fonction. Plus généralement encore, il serait vain de penser que certaines caractéristiques générales du stade des opérations formelles suffiraient à comprendre les processus d'acquisition des connaissances entre 12 et 15 ans, et à expliquer les décalages et les simultanéités.

Pour le didacticien, le développement de la pensée décrit par Piaget apparaît davantage comme un jalonnement de conditions nécessaires que comme une suite de critères nécessaires et suffisants. L'appropriation par l'élève (parfois la construction par l'élève lui-même) d'un invariant opératoire constitue toujours une acquisition cognitive majeure, que cette acquisition se fasse par formation d'un invariant totalement nouveau, par extension d'un invariant à de nouvelles classes de situations et fusion en une seule classe de sous-classes initialement séparées, ou par restriction du champ de validité d'un invariant au sous-ensemble adéquat.

Dans une expérience sur des enfants et des étudiants, Laurence Viennot a montré par exemple qu'on ne saurait parler d'une conservation du poids acquise une fois pour toutes, sans préciser quel ensemble de transformations on envisage. Souvent, on ne considère que la conservation du poids sur l'ensemble des changements de forme ou de position de l'objet, considéré chaque fois à l'état d'immobilité, ou sur l'ensemble des partitions de l'objet. La conservation du poids d'un objet sur l'ensemble des changements de vitesse de cet objet est une toute autre affaire, admise en général beaucoup plus tard ou même jamais : « Il y a toujours des kilos de plus quand ça tombe », dit, lors d'une expérience de Piaget (référence 3) un enfant du stade intermédiaire qui

se reprend ensuite. Mais un autre, du stade terminal cette fois, dit encore, à propos de chocs entre billes : « Le poids de celle-ci se retrouve dans celle-ci. » Et ce sont des étudiants universitaires qui déclarent, à propos de balles identiques : « Le poids s'exerce sur chacune des balles, mais différemment selon les balles. » « J'ai simplement un problème pour  $v_2$  dont la vitesse est alors nulle au même instant ou les autres ont une vitesse existante : dans ce cas, l'attraction (de la terre) est nulle, seul son poids s'exerce. » (Référence 1 d.) Comme exemple de restriction du champ de validité d'un invariant, on peut citer le cas de la relation de proportionnalité qui est souvent appliquée par les élèves sans discrimination à tous les cas de covariation représentables par une fonction croissante. On trouve d'ailleurs des exemples d'une telle généralisation dans l'histoire des sciences (quantité de mouvement proportionnelle à la vitesse chez Descartes).

Une discussion plus approfondie pourrait s'engager lors de la Table Ronde sur la notion de constante, qui est une notion distincte de la notion d'invariant opératoire, ainsi que sur la distinction souvent faite en physique, entre invariant sur un système en transformation par rapport à un référentiel, et invariant sur un ensemble de transformations du référentiel (ou du type de description faite).

### Règles d'action

Une règle d'action est toujours relative à une classe de situations. Elle est d'une certaine façon un invariant sur cette classe ; elle concerne le versant pratique de la représentation, celui qui peut être mis le plus directement en rapport avec le comportement observable des élèves, elle ne concerne pas le versant théorique. Elle ne se définit pas de la même façon que des concepts ou des préconcepts ; elle ne donne pas lieu au même type de discours ; on n'explique pas ce qu'il faut faire comme on explique les propriétés des objets ; en logique, on n'écrit pas un algorithme comme on écrit un système formel.

Dans certaines tâches, il est aisé de mettre distinctement en évidence la notion de règle d'action ; ce sont les cas où l'élève a l'occasion d'appliquer plusieurs fois la même règle. Dans d'autres cas, on ne peut guère la distinguer de la notion relativement indifférenciée de « mode de raisonnement » qui recouvre en fait aussi bien la notion de calcul relationnel que celle de règle d'action.

Prenons un exemple : dans une tâche de sériation d'objets de poids différents, on peut distinguer différentes règles d'action :

1 — comparer  $p_i$  et  $p_j$  et les mettre dans des régions différentes et bien repérées de l'espace.

2 — comparer un objet nouveau  $p_n$  au plus lourd (ou au plus léger) de la série déjà constituée, puis au suivant.

3 — comparer  $p_n$  à l'un quelconque des termes de la série.

4 — si  $p_n > p_i$ , comparer  $p_n$  à  $p_j$  lorsque  $p_i > p_l$ .

5 — si  $p_n > p_i$ , ne pas comparer  $p_n$  à  $p_j$  lorsque  $p_j < p_l$ , etc.

Comme on le sait, ces règles ne sont pas toutes également utilisées par les enfants, selon leur niveau de développement. Toutes sont cependant des règles d'action. Certaines sont directement liées à un calcul relationnel utilisant la propriété de transitivité (règles 2 et 5 par exemple), puisque la capacité à composer transitivement des relations d'ordre

$$\left. \begin{array}{l} p_n > p_i \\ p_i > p_j \end{array} \right\} \Rightarrow p_n > p_j$$

permet effectivement d'économiser certaines comparaisons (règle 5) et même de déterminer une procédure systématique optimale (règle 2). Par contre, certaines autres règles (les règles 1 et 3 par exemple) ne sont pas caractéristiques d'un calcul relationnel particulier. Il est donc légitime dans une tâche de sériation de distinguer règle d'action et calcul relationnel transitif.

Prenons un autre exemple, à un tout autre niveau, celui du calcul des racines d'une équation du second degré.

1 — calculer le discriminant  $b^2 - 4ac$ .

2 — si  $b^2 - 4ac < 0$ , il n'y a pas de racines réelles.

3 — si  $b^2 - 4ac \geq 0$ , calculer les deux racines, éventuellement confondues, de la manière qu'on sait...

Cet algorithme est une règle d'action qui permet de produire la réponse demandée. Il est fondé sur un ensemble de théorèmes qui sont autant d'invariants relationnels, et sur une démonstration qui est un calcul relationnel. Ce calcul relationnel est d'ailleurs le plus souvent absent de la représentation au moment de l'utilisation automatique de la règle. Il n'en a pas moins joué un rôle décisif dans l'élaboration de la règle ou son appropriation par l'élève, et peut être reconstitué en cas de besoin.

Par contre, dans d'autres tâches, cette distinction est difficile ou artificielle. Ainsi, lorsqu'on demande à un élève de trouver combien d'argent Paul avait dans son porte-monnaie avant de sortir faire une course, sachant qu'il a dépensé 8 F et qu'il lui reste 6 F, on ne peut guère distinguer entre règle d'action et calcul relationnel. Les différentes procédures (règles) qu'on observe :

— ajouter les deux nombres,

— retrancher le plus petit du plus grand,

— faire une hypothèse sur ce que Paul avait au départ, enlever 8 et corriger par tâtonnements l'hypothèse initiale,

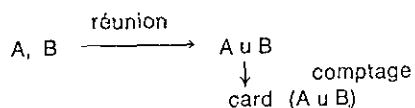
— ne rien faire, etc.,

sont en effet en correspondance biunivoque avec les calculs relationnels (ou inférences) dont le sujet est capable ou incapable.

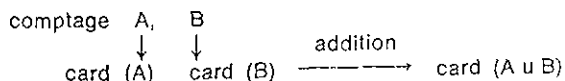
### Calculs relationnels

Pourtant, il est de la plus grande importance de bien dégager la notion de calcul relationnel, car c'est au fond cette notion qui, d'une part, permet de relier les invariants opératoires de différentes sortes et les règles d'action, et d'autre part permet de comprendre que l'homomorphisme entre représentation et réalité, qui assure l'efficacité de l'action, est un homomorphisme « dynamique » dans lequel l'activité mentale du sujet (le calcul relationnel) « reflète » à sa manière les propriétés de la réalité en transformation. Nous avons donné plus haut l'exemple du calcul par transitivité, mais un autre exemple significatif est celui de l'apprentissage de la numération et de l'opération d'addition : en effet, dans l'apprentissage du code de la numération de position et de l'opération d'addition qui lui est associée, l'enfant procède par une double activité sur les objets matériels et les ensembles (qu'il regroupe et réunit d'une certaine façon), et sur les symboles numériques.

Supposons qu'un enfant, qui a des billes dans sa poche et des billes dans sa chambre, souhaite connaître le nombre total de billes qu'il possède. Il dispose pour ce faire de deux moyens distincts. Le premier moyen consiste à réunir les deux collections et à compter ensuite la nouvelle collection ainsi formée.



Le second moyen consiste à compter d'abord la collection A, puis la collection B, et à faire ensuite l'addition des deux nombres.



mais l'opération d'addition sur les symboles numériques qu'il opère alors, par exemple

$$\begin{array}{r}
 43 \\
 + 78 \\
 \hline
 121
 \end{array}$$

s'appuie sur deux homomorphismes sans lesquels l'addition n'aurait pas de sens.

$$1 \text{ card} (A \cup B) = \text{card} (A) + \text{card} (B)$$

$$2 \text{ écriture } (\text{card} A) + \text{écriture} (\text{card} B) = \text{écriture} [\text{card} (A) + \text{card} (B)]$$

**U** représente l'union disjointe.

**+** représente la somme.

**+** représente l'algorithme de l'addition en numération de position.

Le premier homomorphisme ne concerne que le signifié (concepts d'ensemble, d'union disjointe, de cardinal, de somme). Le second concerne à la fois le signifié (groupements supportant le système décimal, cardinal, somme) et le signifiant (symboles numériques, numération, règle de l'addition).

L'addition, au moment où elle est acquise, doit s'interpréter comme un calcul relationnel qui constitue une acquisition cognitive majeure (aussi majeure que la conservation des quantités discrètes). Elle appelle une analyse diversifiée des capacités mises en œuvre par l'enfant (invariant, calcul relationnel, règle d'action, signifiant, signifié). Une fois qu'elle est acquise, elle peut s'interpréter comme un théorème en acte (donc évident au plan opératoire) qui est en fait un homomorphisme composé des deux homomorphismes ci-dessus.

$$\text{écriture} [\text{card} (A \cup B)] = \text{écriture} [\text{card} (A)] + \text{écriture} [\text{card} (B)]$$

Ceux qui ont enseigné la numération et l'addition au cours préparatoire et au CE1 savent que ce théorème en acte, jamais formulé évidemment, est approprié par l'enfant après un lent et laborieux travail en parallèle sur diverses sortes de matériels et d'écritures. Un invariant relationnel aussi complexe que celui de l'addition n'est pas approprié en un jour. Cela nous conduit directement à la dernière partie de ce rapport.

## V. — REPRESENTATION ET ACTIVITE

Rien ne serait plus faux que d'envisager les concepts que nous venons de distinguer comme des moments séparés du travail de la pensée. Ils sont plutôt un moyen pour le psychologue et le didacticien de progresser dans l'analyse des faits de conduite, des échecs et des réussites auxquels ils sont confrontés.

Rien ne serait plus faux que de considérer le développement cognitif comme une suite de faits statiques (l'acquisition des différents invariants par exemple) ou de regarder l'action comme une conséquence de la pensée, alors qu'elle en est aussi la source et le fondement.

La thèse importante sur ce point consiste à affirmer que l'appropriation des connaissances s'appuie fondamentalement sur l'activité de l'enfant, et notamment sur son activité de transformation des situations. Pourtant,

on peut montrer, comme Piaget l'a fait de façon éclatante, que les constats expérimentaux n'ont pas un caractère décisif. En effet, ils ne sont ni une condition suffisante (conservations refusées malgré les constats), ni une condition nécessaire (conservations en l'absence de tout constat possible). C'est donc à un niveau plus profond que l'expérience joue un rôle, dans un rapport de la théorie et de la pratique, des représentations cognitives et des procédures qui ne se réduit pas à la notion de constat empirique.

Par exemple, devant une bille lâchée en haut d'un toboggan, un enfant pourra produire un jugement a priori surprenant comme celui-ci (relevé dans une expérience de Piaget) : « Où elle roule le plus vite, la bille ? Réponse : en haut.

Cette réponse peut être considérée comme le témoignage d'un mode d'analyse causal de la situation, qui associe vitesse, force et cause en un complexe explicatif indifférencié, lié ici à la hauteur de départ de la bille (référence 1d).

La « constatation expérimentale » qui consiste à reconnaître que la bille va plus vite en bas qu'en haut suppose donc au moins que l'enfant ne laisse pas un tel type d'explication perturber les informations visuelles que lui fournit l'expérience.

La notion d'activité ne se ramène pas à celle d'activité manipulatoire ou d'activité matérielle. L'activité cognitive consiste aussi, dans une large mesure, dans l'exploration du champ de connaissances, dans le rapprochement analogique ou contradictoire de connaissances différentes, et dans l'effort pour rendre plus universel, plus cohérent et plus économique le système cognitif ainsi exploré. Dans un document récent, la Commission de réflexion permanente sur l'enseignement des mathématiques insiste beaucoup sur le « travail intersectoriel des concepts », et sur le fait que dans l'histoire des mathématiques comme dans le travail des élèves, le fonctionnement efficace est un critère aussi important (voire plus important) que le critère de l'axiomatisation. Un concept opératoire ne peut pas se laisser enfermer dans une définition, il comporte en fait « toutes ses formes de fonctionnement, scientifiques et idéologiques », et le travail dialectique des concepts entre eux doit être considéré aussi bien comme un enrichissement au niveau de leur fonctionnement opératoire, que comme une intégration dans une théorie axiomatisée commune.

De même, les diverses représentations mathématiques ou pré-mathématiques qu'on peut utiliser avec les enfants (le terme « représentations » étant pris ici au sens de « signifiants ») jouent un rôle au moins aussi grand par leur interaction que par leur pertinence propre.

L'activité du sujet, ce n'est donc pas l'activité manipulatoire, c'est aussi l'activité théorique. Pour dépasser

certaines représentations stabilisées insuffisantes, le sujet doit non seulement faire des constats nouveaux, mais avoir aussi des exigences de cohérence plus grande, tant il est vrai que sa lecture de l'expérience dépend de ces exigences.

La vieille opposition concret-abstrait n'a guère de sens puisqu'un invariant bien approprié, si abstrait soit-il au départ, possède toutes les vertus d'un objet concret. Le concret et l'abstrait ne sont que relatifs l'un à l'autre et dépendent du niveau de connaissances de l'élève.

## CONCLUSION

La conclusion de ce rapport sera brève.

Outre le constat concernant l'immensité des recherches à entreprendre et à accomplir pour dépasser le stade des conjectures ou des orientations qui est nécessairement celui de ce rapport, on peut souligner que la didactique doit nécessairement reposer sur une bonne connaissance de la discipline enseignée, de la psychologie cognitive et de l'histoire de la discipline, et que la problématique et la méthodologie qu'elle doit élaborer en propre peuvent permettre de poser en retour d'importantes questions à la psychologie, à l'épistémologie de la discipline, et à la discipline elle-même.

Une seconde remarque est que, si mesuré qu'on soit dans le bilan des acquis scientifiques de la didactique, ce bilan n'est pas si faible qu'on doive laisser la formation des maîtres dans l'état où elle est actuellement, alors que la valorisation des résultats de la recherche en didactique débouche nécessairement sur cette formation.

Enfin, la dernière conclusion concerne l'élève lui-même. Dans cette dialectique entre l'expérience active, les constats et la représentation, l'écolier n'est pas seul. Il a des camarades, des maîtres, une famille, une école et une certaine place dans la société. Les obstacles qu'il rencontre dans l'appropriation active du savoir ne sont pas des obstacles pour lui seul, ils ne sont pas de son seul fait, et il n'est pas seul pour les surmonter, mais le processus d'appropriation repose fondamentalement sur son activité propre.

Gérard VERGNAUD,  
maître de recherche au C.N.R.S., psychologue.

Francis HALBWACHS,  
professeur à l'Université d'Aix-Marseille, physicien.

André ROUCHIER,  
maître-assistant à l'Université d'Orléans, mathématicien.

## Références

- 1 — Viennot, (L)
  - a) 1976, Intuition et Formalisme en dynamique élémentaire, B.U.P., n° 587.
  - b) 1976, ...Le Pendule Simple, *Bulletin de la S.F.P., Encart Pédagogique*, p. 77.
  - c) 1976, Newton et les Etudiants, *La Recherche* n° 72, p. 980.
  - d) 1977, Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, thèse Université Paris VII.
- 2 a — Malgrange, (J.L.), Saltiel, (E.), Viennot, (L.), 1975, La composition de mouvements de translation à deux dimensions, Université Paris VII, rapport interne.
- 2 b — Maury, (L.), Saltiel, (E.), Viennot, (L.), 1977, La Notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de référentiels. *Revue Française de Pédagogie*, n° 40, pp. 15-29, 1977.
- 3 — Piaget, (J.), 1973, La formation de la notion de force, PUF Paris.
- 4 — Piaget, (J.), 1972, La transmission des mouvements, PUF, Paris.
- 5 — Piaget, (J.) et Inhelder, (B.), 1972, La représentation de l'espace chez l'enfant, PUF, Paris.
- 6 — Vergnaud, (G.) et Durand, (C.), 1976, Structures additives et complexité psychogénétique. *La Revue Française de Pédagogie*, 1976, n° 36, pp. 28-43.
- 7 — Commission de réflexion permanente sur l'enseignement des mathématiques : De l'enseignement des mathématiques : quelques réflexions d'ordre scientifique et épistémologique, 1977.

## LE RAISONNEMENT SPONTANE EN DYNAMIQUE ELEMENTAIRE

Cet exposé se situe dans le cadre limité d'une matière : la physique. On rencontrera sans doute, en chemin, des éléments transposables à d'autres domaines de la connaissance, mais dans un premier temps, on se souciera davantage de préciser quelques points plutôt que de les insérer dans une théorie globale.

L'idée de départ est que la façon dont chacun raisonne, en particulier en physique, n'est pas seulement l'effet de l'enseignement reçu. Il y a une matière « spontanée »\* de raisonner qui n'est pas quelconque et qui ne traduit pas seulement une absence ou une déformation de connaissances scolaires. Et il se pourrait bien, d'ailleurs l'idée n'est pas nouvelle, que certains échecs que l'on enregistre dans l'enseignement s'expliquent en partie par des conflits non explicités entre la matière enseignée et certains modes de raisonnement spontanés. Le parti pris que nous avons adopté dans notre équipe\*\* est d'éliminer autant que possible, sur quelques points, les raisonnements spontanés les plus fréquents. Ceci laisse

\* Ce terme signifie simplement qu'il ne s'agit pas d'acquis scolaires.

\*\* J.L. Malgrange, E. Saltiel, L. Viennot.

provisoirement de côté de multiples aspects, notamment de type proprement pédagogique : structure de la matière, stratégie pédagogique, place de l'enseignant dans le processus d'apprentissage, etc. C'est un travail qui part d'une pratique pédagogique, dont le but est de contribuer à terme, à une amélioration de l'enseignement, mais dont l'objet immédiat est plutôt une « étude de terrain » : on s'intéresse à l'étudiant lui-même, ou à l'élève, pour en comprendre les raisonnements propres.

Nous avons travaillé essentiellement en mécanique sur deux thèmes : les changements de référentiels (1, 2 et celui dont je parlerai ici : les relations entre force, énergie et mouvement. Ce champ d'investigations est indiqué à plusieurs titres :

— Les relations entre force, énergie et mouvement sont à la base de la physique et déterminent sans doute pour une large part le comportement ultérieur des étudiants.

— Elles font, en outre, l'objet d'un modèle simple du point de vue formel ; la dynamique newtonienne établit une relation linéaire :  $\vec{F} = m\vec{a}$ , entre le vecteur force exercée sur une masse ponctuelle, et une caractéristique du mouvement, le vecteur accélération, qui est un taux horaire de variation du vecteur vitesse.

— Enfin il est manifeste dès à présent que ce modèle formel ne coïncide que très partiellement avec l'approche intuitive généralement répandue, selon laquelle un mouvement suppose une force agissant dans le même sens et l'immobilité, même passagère, suppose l'absence de force. C'est entre force et vitesse, plutôt qu'entre force et accélération que, spontanément, on établirait une relation linéaire.

Je voudrais montrer, rapidement, à quel point ce type de tendance spontanée survit à l'enseignement, et à analyser un peu plus finement les rouages. Certes, il n'est pas question d'observer ce qui se passe réellement dans la pensée d'un étudiant, ni même de savoir de quoi on parle exactement en disant cela. Mais on peut faire apparaître des ensembles question-réponse à la fois fréquents et difficilement imputables à l'enseignement seul. Le problème est ensuite de dépasser le stade d'un simple catalogue. Il faut donc faire une hypothèse sur la façon dont les étudiants ont raisonné pour aller de la question à la réponse, du type « tout se passe comme si ».

Mais chaque « question-réponse » peut donner lieu à une foule d'hypothèses : « le texte est irréaliste », « les élèves n'ont pas compris la question », « telle erreur est induite par l'enseignement... », par le langage courant... » « la difficulté est d'ordre mathématique », « ils ont confondu ceci et cela », etc. On peut se demander ce qui autorise à choisir et à décider que telle interprétation vaut mieux que telle autre.

En fait les hypothèses que j'avance ne se justifient que dans la mesure où elles constituent un modèle compact du raisonnement spontané sur le domaine exploré, c'est-à-dire qu'il faut relativement peu d'hypothèses pour rendre compte d'expériences qui se différencient par bien des aspects : la question posée, le système physique particulier qui l'illustre, la forme plus ou moins habituelle, réaliste, de l'énoncé, les conditions de l'expérience, etc. Ces hypothèses sont relativement simples, et elles restent stables non seulement sur l'ensemble des expériences, mais aussi sur celui des populations interrogées qui ont été diversifiées autant que possible.

Ces hypothèses, qui donnent leur cohérence aux interprétations proposées, sont issues d'une phase d'expérience courante de l'enseignement et de tâtonnements successifs en enquêtes préliminaires. Elles ont guidé la construction de questionnaires, dont je présenterai rapidement quelques exemples, qui sont destinés à faire apparaître nettement tel ou tel phénomène, et, à ce titre, ont pu être qualifiés de « piège ». Il s'ensuit un modèle schématique des raisonnements spontanés, qui associe certains comportements observables des étudiants à certains types de questions. Il ne s'agit évidemment que d'une organisation probable des notions dynamiques spontanées, qui ne décrit que des tendances moyennes autour desquelles interviennent toutes sortes de fluctuations dont je ne rends pas compte. Je présenterai ce modèle puis l'une des expériences faites ensuite pour en tester les prédictions.

Mais, jusque-là, il ne s'agit que d'expériences construites par moi : les étudiants ne sont pas sur leur terrain habituel. Il fallait bien vérifier que les conclusions de ces expériences restaient valables dans un contexte scolaire usuel, sous peine de laisser des doutes quant à leur intérêt, au moins d'un point de vue d'enseignant. C'est l'objet de la dernière expérience dont je parlerai.

Je ne pourrai que faire allusion rapidement, ça et là, au fait que ces raisonnements spontanés se manifestent aussi dans le développement historique des idées, chez les enfants et un peu partout dans l'environnement culturel actuel, et qu'en fin de compte tout le monde raisonne ou a raisonné plus ou moins de cette manière (cf. réf. 7).

## 1. — EBAUCHE D'UN MODELE DES NOTIONS DYNAMIQUES

### 1. Force d'interaction et capital de force

La forme que prennent généralement ces enquêtes est celle d'un questionnaire papier-crayon, prévu pour vingt à trente minutes.

Les étudiants sont invités à une collaboration ano-

nyme et décontractée : on les prie de noter leurs réflexions in extenso, d'explicitier ce qu'ils ne comprennent pas dans le texte, de laisser apparentes leurs corrections successives, de ne pas s'inquiéter si la question semble trop simple, de ne pas redouter les évidences.

Divers groupes ont été interrogés, depuis la dernière classe de l'enseignement secondaire jusqu'à la troisième année universitaire, en passant par des classes de préparation aux grandes écoles. Des étudiants littéraires ont été également interrogés. Des essais ont pu être faits en Angleterre et en Belgique\* : les résultats sont, on le verra, d'une surprenante homogénéité, d'un niveau à l'autre, d'un type de formation à l'autre, d'un pays à l'autre.

Le principe de ces enquêtes est de focaliser autant que possible la question sur une sollicitation bien précise dont on soupçonne les effets, en éliminant au maximum d'autres difficultés, mathématiques notamment.

Voici, à titre d'exemples, deux textes de questions qui proposent, sous des habillages différents, le même problème : plusieurs systèmes simples sont photographiés au même instant et se révèlent sur cet instantané, strictement identiques d'un point de vue statique. Mais les mouvements des systèmes sont figurés schématiquement (trajectoires et vitesses) et sont, eux, différents d'un système à l'autre.

Dans un cas il s'agit de balles d'un jongleur, saisies au vol sur une photo, toutes à la même altitude (fig. 1 a), dans l'autre, trois masses oscillent chacune au bout d'un ressort vertical suspendu au plafond, et se trouvent également toutes à la même altitude à l'instant du cliché (fig. 1 b).

Dans chaque questionnaire, on demande : les forces qui s'exercent sur chacune des balles (ou bien des masses) à l'instant du cliché sont-elles identiques ? (on néglige la résistance de l'air).

Dans un cas comme dans l'autre, la réponse est oui. Les seules forces en cause, le poids et la force de rappel des ressorts, ne dépendent que des positions des éléments du système, et non de leur mouvement. On rappelle même explicitement l'expression de la force de rappel des ressorts en fonction de leur allongement (celui-ci est identique pour les trois ressorts). D'un point de vue formel, cette question est si évidente qu'on ose à peine la poser. Les résultats ? Ils montrent bien (tableau 1 a et b) que l'évidence disparaît lorsque des mouvements différents entre eux se superposent au fait statique et mobilisent l'attention. Il faut noter de plus que ces mouvements ne sont pas quelconques : la plupart s'effectuent en sens contraire des forces d'interaction.

\* Résultats aimablement communiqués par le professeur J. Deltour (Gembloux).

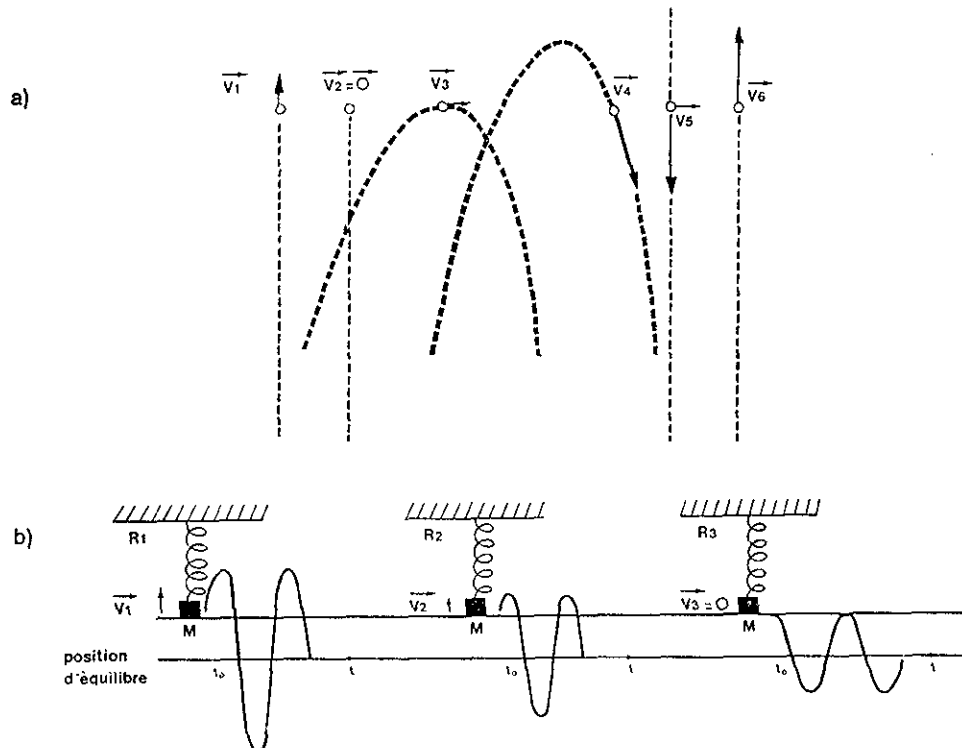


Figure 1. — Deux séries de systèmes identiques ne différant entre eux que par leur mouvement.

Tableau 1  
Réponses aux questions des fig. 1 a et b

Nombre d'élèves		Année d'enseignement	Les forces sont...		
			=	≠	? ou pas de réponse
29	Question fig. 1 a	dernière (secondaire)	39 %	55 %	6 %
36		première (université)	58 %	42 %	
226		première (univ. Belgique)	44 %	54 %	2 %
20	Question fig. 1 b	première (université)	70 %	30 %	
49		troisième (université)	37 %	55 %	8 %
95		deuxième (université)	48 %	40 %	12 %
14		dernière secondaire G.-B.	64 %	36 %	
14		première (univ. G.-B.)	57 %	43 %	
226		première (univ. Belgique)	37 %	49 %	14 %



Ces expériences, et quelques autres, conduisent à admettre qu'il existe, pour bien des étudiants, une relation pseudo-linéaire entre Force et Vitesse, du type  $\vec{F} = \alpha (\vec{V})$  telle que :

— Si  $\vec{V} = 0$  alors  $\vec{F} = 0$ , même si l'accélération  $\vec{\gamma}$  est non nulle. Notamment dans les cas des questions que l'on vient de citer, on lit dans plus de 20 % des cas des réponses du genre «  $M_3$  est en équilibre », «  $V_3 = 0$  donc  $F_3 = 0$  », «  $M_3$  est au repos,  $F_3 = 0$  », alors que la position dite « d'équilibre » figure explicitement sur le dessin, nettement plus bas que la masse  $M_3$  (fig. 1 b).

— Si  $\vec{V} \neq 0$  alors  $\vec{F} \neq 0$  (même si  $\vec{\gamma} = 0$ ), de même direction et sens que  $\vec{V}$ . C'est ainsi qu'une masse qui passe avec une vitesse non nulle à sa position d'équilibre subit une force non nulle, selon certains, même en troisième année d'Université, ou bien encore qu'une balle lancée horizontalement est soumise à une force horizontale bien après qu'on l'ait lâchée.

— Si les vitesses sont différentes, les forces le sont aussi (même si les accélérations sont égales). Les résultats que l'on vient de citer et d'autres encore, sont éloquents sur ce point, et se complètent très souvent de commentaires qui ne laissent aucun doute : « Les mouvements ne sont pas de même nature, les forces sont différentes ». « Les vitesses sont différentes, donc les forces aussi ».

Mais d'autres constatations obligent à raffiner ce modèle. Il arrive que les étudiants associent fort bien la force à l'accélération et non à la vitesse. Si l'on donne l'équation d'un mouvement, c'est bien l'accélération que les étudiants calculent pour trouver la force. Et confrontés à la question suivante : « si les forces exercées sur deux masses identiques sont égales, les mouvements des masses sont-ils nécessairement identiques ? », 82 % des étudiants ont répondu correctement : Non, cela dépend des vitesses initiales (1<sup>re</sup> année d'Université : 136 étudiants).

Pour rendre compte des réactions d'ensemble observées dans toute cette série d'expériences, il faut donc admettre que selon les cas, les étudiants mettent en jeu des notions de « force » qui ont, en fait, des propriétés différentes, même si elles répondent toujours à un même impératif : expliquer le mouvement. Ces notions peuvent être ainsi caractérisées :

— La force d'interaction, notée  $F_{\text{ex}}$ , fonction de point déterminant une variation de vitesse  $F_{\text{ex}} = m\vec{\gamma}$ . L'intervention de cette notion dans les raisonnements des étudiants traduit une approche « statique » ou « locale » de

la situation proposée, en ce sens que ce sont les positions des éléments du système qui sont d'abord considérées. Elle répond à la formulation « force exercée sur... » (la masse). Elle suffit pour interpréter le mouvement lorsqu'il est dans le même sens qu'elle, et pour le construire lorsqu'il n'est pas donné. C'est elle qui intervient lorsqu'un problème ne comporte aucune contrainte intuitive relative au mouvement.

— Une autre notion répond à la formulation même d'un étudiant : **capital de force**, notée  $F_c$ . C'est cette notion qui intervient dans les premières situations dont

j'ai parlé, et fonctionne selon la relation  $\vec{F}_c = \alpha (\vec{V})$  : très liée au mouvement lui-même, elle intervient lorsque ce mouvement s'impose comme donnée de départ et d'autant plus qu'il semble incompatible avec la force d'interaction (parce que de sens contraire). Elle tient alors lieu de cause au mouvement. C'est toute une phase du mouvement qui est ainsi justifiée dans une analyse peu localisée : « si une balle continue à monter après qu'on l'ait lancée, c'est qu'elle a de la force vers le haut, sans ça elle descendrait ! ». L'idée de capitalisation permet ce glissement dans le temps grâce auquel la cause (le geste du lanceur) peut rejoindre l'effet (le mouvement) à condition bien sûr de s'être intégrée dans le mobile, et c'est pourquoi les élèves disent alors « la force de la masse » ; bien que les étudiants parlent de force, on a souvent l'impression qu'il s'agit d'énergie\*. Cette impression est parfois confirmée par des commentaires explicites : « La force doit être égale à l'énergie cinétique de la masse  $M_2$  ». Cette notion mixte, mi-vectorielle, mi-scalaire, rejoint l'« élan » du langage courant, et l'« impétus » des théories pré-galiléennes.

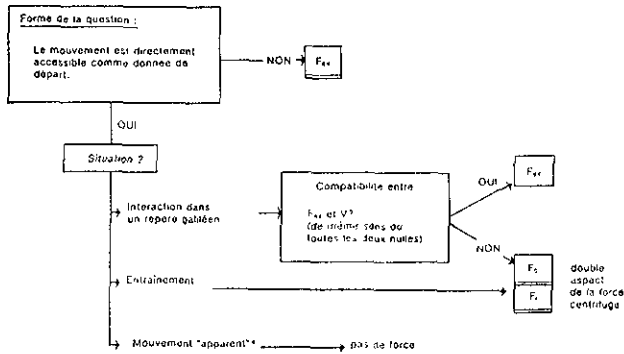
Ces deux types de forces, leurs propriétés et leurs conditions d'intervention dans les raisonnements des étudiants, résumées en Tableaux 2 et 3, constituent le noyau d'un modèle interprétatif qui permet d'associer à un type de question un comportement probable des étudiants.

Ils constituent évidemment deux pôles extrêmes d'interprétation, entre lesquels un étudiant donné oscillera de façon plus ou moins aléatoire, mais cet embryon de modèle est susceptible de bien représenter des tendances d'ensemble.

\* Il n'est pas possible de s'étendre ici sur l'énergie. Signalons simplement qu'elle apparaît parfois comme une notion conforme au modèle enseigné (c'est le cas notamment lors d'une question du test q2b portant sur l'énergie potentielle, cf. réf. 5,7), et d'autres fois, lorsque c'est, en fait, le capital de force qui est en cause, inextricablement mélangée avec la Force dans un complexe explicatif indifférencié. Il reste beaucoup à faire pour analyser plus finement la nature des raisonnements spontanés concernant l'énergie, sous forme Mécanique ou autre.

**Tableau 2**  
Caractéristiques des différentes notions « de force » en usage chez les étudiants

	Abrév.	Formulation « étudiant »	Grandeur physique	Localisation	Modèle utilisé
Force d'interaction	$F_{ex}$	Force exercée sur la masse	...orientée (vectorielle ?)	Fonction de point	$\vec{F}_{ex} = m\vec{\gamma}$ $\vec{\gamma}$ : accélération du mobile
Capital de force	$F_c$	Force de la masse	mixte : vecteur-scalaire confusions Force-Energie	lié à l'ensemble du mouvement : délocalisation spatio-temporelle	$\vec{F}_c = \alpha (\vec{V})$
Force d'inertie	$F_I$	Force, Réaction d'inertie de la masse	...orientée (vectorielle ?)	Réaction instantanée ; localisation temporelle	$\vec{F}_I = -m\vec{\gamma}_B$ $\vec{\gamma}_B$ : accélération d'entraînement



**Tableau 3**

Noyau d'un modèle de fonctionnement du raisonnement spontané : Conditions d'intervention des notions de force décrites en Tableau 2.

## 2. La force centrifuge

Les tableaux 2 et 3 mentionnent un autre type de force, les forces d'inertie, notées  $F_I$ . Ces forces sont celles qui « asseyent » le voyageur du métro plus vite que prévu, au démarrage du train, ou « projettent » le passager d'une voiture contre la portière, lors d'un virage. Elles sont inventées pour rendre compte de phénomènes observés à l'intérieur de repères accélérés, mais en fait n'existent pas dans le formalisme galiléen. Je me limiterai, pour ne pas alourdir l'exposé, au cas de force centrifuge.

\* Non développé dans le texte, ce cas peut s'illustrer par un exemple simple : lorsqu'un arbre passe à toute allure devant la fenêtre d'un train en marche, aucun voyageur ne cherche quelle force l'a poussé.

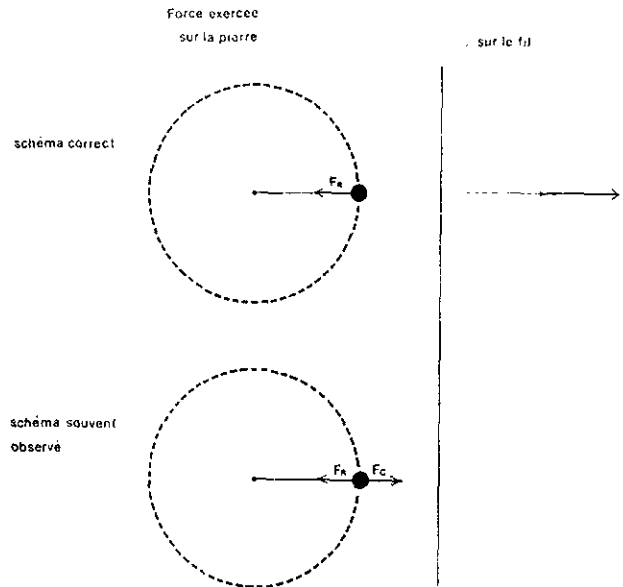


Figure 2. — Schémas de forces pour une pierre qui tourne au bout d'une ficelle.

Cette force d'inertie se manifeste dans un véhicule qui prend un virage. Or on constate qu'elle figure dans les raisonnements de tout un chacun alors même que tout se passe dans un repère parfaitement galiléen, où rien ne justifie, en principe, l'introduction d'un tel artifice de calcul.

Ainsi, pour faire tourner une balle au bout d'une ficelle, ou un satellite autour de la terre, il faut que l'objet qui tourne soit soumis à une force résultante dirigée vers le centre, la tension de la ficelle, ou l'attraction gravitationnelle. Mais si l'on demande un schéma de forces (3, 5, 7), on obtient très fréquemment deux forces opposées et d'intensité égale, qui s'annulent donc : la force réelle, vers le centre, et la force centrifuge (fig. 2). Cette dernière est illégitime, mais elle est introduite pour que, le long du rayon, l'implication intuitive  $\vec{V} = 0 \implies \vec{F} = 0$  soit vérifiée.

Ces schémas vont avec des phrases du genre : « le long du rayon, il y a équilibre », où l'on retrouve cette confusion entre deux traductions du mot « équilibre » : vitesse nulle, ou bien force nulle. C'est-à-dire que la force centrifuge ainsi employée rejoint la notion de force de type  $F_c$ , capital de Force, liée à l'ensemble du mouvement circulaire, plutôt qu'à une accélération instantanée. C'est un acquis du mouvement grâce auquel l'objet peut rester « en équilibre sur le rayon ».

Cette conception semble assez anodine, mais il faut bien voir qu'elle élimine complètement la question du référentiel, ce que confirme largement une expérience non décrite ici (questionnaire G, réf. 5, 7). De plus, elle subordonne la force centrifuge à d'autres contraintes : il faut pouvoir constater un mouvement global bien stationnaire pour qu'elle apparaisse, et elle n'est vraiment nécessaire dans le raisonnement spontané, que si aucune force ne remplit ce rôle équilibrant (cf. l'étude du pendule, réf. 4).

### 3. Raisonnement « local » ou global »

Aussi sommaire que soit cet embryon de modèle, encore simplifié pour les besoins de l'exposé, il fait déjà apparaître quelques faits essentiels : le raisonnement spontané met en jeu des notions qui peuvent se présenter dans le discours de l'étudiant, sous un même terme, Force par exemple, ou bien Energie, et qui n'en ont pas moins des propriétés différentes. Ces notions interviennent chacune dans des circonstances que l'on peut grossièrement repérer et classer, et qui se regroupent selon des critères bien différents de ceux du formalisme enseigné. On distingue notamment, dans cette organisation des notions spontanées, deux types d'approche :

- l'une, statique, qui prend en compte les **positions** des éléments du système, ou son **état**, et fait une analyse **locale** du mouvement (d'où, en particulier, mise en jeu de la Force d'interaction,  $F_{ex}$ ),
- l'autre, qui considère le **mouvement**, ou l'**évolution** du système, dans une analyse beaucoup plus globale et délocalisée (d'où, en particulier, mise en jeu du capital de Force,  $F_c$ ).

## II. — RAISONNEMENTS SPONTANÉS LORS DE PROBLÈMES PLUS COMPLEXES ET/OU PLUS SCOLAIRES

A ce point de l'exposé, les idées essentielles y sont. Ce qu'il faut maintenant, c'est montrer le degré de généralité du modèle interprétatif proposé plus haut, c'est-à-dire préciser les situations dont il rend compte.

Ce modèle repose sur des expériences multiples, mais, toutes du même type en ceci : on a soupçonné un phénomène et on l'a vérifié par une expérience très focalisée et disons-le, très artificielle. Les questions y sont à la fois très simples (du point de vue du formalisme enseigné !) et très étrangères à la pratique scolaire habituelle. Je vais rapidement résumer deux expériences, entre autres, qui échappent à des titres divers à cette limitation. Du même coup, les interprétations possibles sur chaque expérience sont de plus en plus nombreuses et complexes. Encore une fois, celle que je donne ne se justifie que dans la mesure où elle s'inscrit dans un système cohérent.

### — Questionnaire du pendule

Encore « fabriqué » à des fins expérimentales, ce questionnaire a cependant une forme plus scolaire, et concerne un problème plus complexe : on demande des schémas de forces portant sur un pendule vertical, le vecteur vitesse étant spécifié graphiquement par une flèche.

La figure 3 donne quelques exemples de réponses, où l'on observe des forces incorrectes, vers le haut s'il faut expliquer que le pendule remonte, ou bien tangentielle, dans le sens du mouvement, au sommet d'une trajectoire circulaire. Ce type de comportement est d'autant plus fréquent selon les questions, que les forces d'interaction réelles sont, elles, moins volontiers mentionnées (cf. réf. 4).

La force centrifuge intervient relativement peu dans ces questions\* où les données cinématiques sont fragmentaires, le mouvement non stationnaire, et où la composante normale du poids peut\*\*, à elle seule, « équilibrer » la tension du fil (cf. plus haut § 12). Sur les divers cas proposés, seul celui représenté en figure 3 b ne présente pas ces caractéristiques : c'est bien pour cette question que l'on enregistre le plus de « forces centrifuges », quand ce n'est pas une force baptisée « tension », bien que dirigée vers l'extérieur (!) là encore pour des nécessités d'« équilibre ».

\* La force centripète, indispensable, elle, dans le formalisme enseigné, pour justifier un mouvement circulaire, n'apparaît pas davantage !

\*\* « Possibilité » toute intuitive : ce schéma n'est correct que si la vitesse tangentielle est nulle.

données cinématiques	a	b
Schémas corrects		
Schémas souvent obtenus		

Figure 3. — Quelques schémas de force obtenus pour des pendules verticaux.

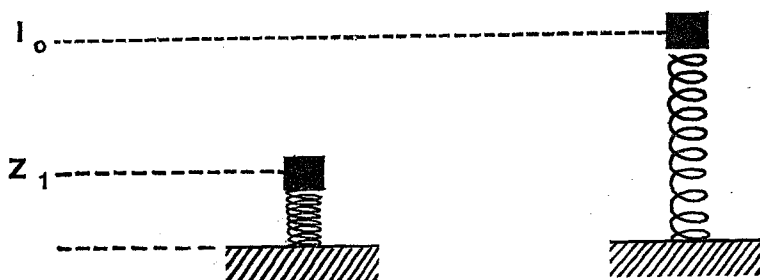


Figure 4. — Décollage d'une masse non fixée au ressort.

On aura reconnu, dans ce qui précède, les rouges essentiels du modèle proposé plus haut : intervention du capital de force lorsque les forces d'interaction ne semblent pas compatibles avec le mouvement, rôle essentiellement « équilibrant » d'une force centrifuge qui n'implique pas le moindre changement de repère.

### — Un concours de P.C.E.M.\*

Cette dernière analyse s'est faite à partir d'un matériel purement scolaire : des copies de concours sur un exercice comprenant, entre autres, la question suivante :

Une masse repose sur un ressort sans y être fixée. Jusqu'à quelle altitude doit-on abaisser la masse, en comprimant le ressort, pour qu'à la détente celle-ci décolle ? (fig. 4). La réponse s'obtient à partir d'une égalité entre énergies potentielles calculées l'une à la compression maximum (altitude  $Z_1$ ), l'autre au moment où le ressort atteint une longueur libre (altitude  $l_0$ ). Cette égalité a donc une forme du genre  $E_p(Z_1) = E_p(l_0)$ .

Or on observe que plus de la moitié des 416 réponses dépouillées fournissent une **Inégalité**, où un terme relatif au ressort, traduisant une force ou une énergie « vers le haut », l'emporte sur un autre terme relatif à la masse. Ce schéma est le signe d'une nécessité intuitive : pour que la masse décolle, malgré la pesanteur, il faut qu'une autre force pousse vers le haut. Or selon l'endroit où on établit ce bilan, celui-ci constitue une condition exacte mais insuffisante, ou alors irréalisable. Mais prétend-on le localiser ? : on s'aperçoit que les inégalités du type  $F_1(Z) > F_2(Z)$  ne spécifient pas, pour la moitié d'entre elles, l'argument  $Z$ , et, dans les autres cas, lui donnent une même valeur des deux côtés de l'inégalité, mais qui varie d'un étudiant à l'autre. Mal ou diversement localisés, donc, ces bilans font apparaître de plus des mélanges entre Force et Energie, du type  $F_1(Z) > E_p(Z)$ , que l'on n'observe absolument pas dans une autre question du même problème, et qui traduisent l'intervention d'un « Capital de Force ».

Là encore apparaissent les caractéristiques d'un raisonnement causal, global, où l'on discerne, en outre, une interprétation presque animiste : deux objets, masse ou ressort, **possédant** chacun une force et (souvent de façon équivalente) une énergie s'opposent en un conflit arbitré par l'évolution du système (qui amène, en particulier, à écrire des **Inégalités** entre Action et Réaction ; pauvre Newton !).

On mesure aussi, à propos de cet exercice combien le fait d'**attribuer** la Force ou l'Energie aux objets eux-mêmes facilite le type de raisonnement spontané décrit

\* Concours d'entrée dans le premier cycle d'études médicales à la fin de la première année universitaire.

plus haut, par le biais de déplacements des points d'applications des forces : force exercée par A sur B (formulation correcte)  $\rightarrow$  force **de** A  $\rightarrow$  force **sur** A. Ce type de glissement fonctionne aussi pour transformer une force centrifuge réelle, la réaction de la pierre **sur le fil** qui la fait tourner — en une autre illégitime — la force centrifuge « qui tire la pierre vers l'extérieur ».

### CONCLUSION

Ces quelques exemples suffisent sans doute déjà à montrer la généralité de ces tendances spontanées du raisonnement. Celles-ci se révèlent, à travers une étude plus complète (7), extrêmement déterminantes, au point de se manifester aussi dans des articles de vulgarisation ou même des ouvrages d'enseignement. Les enseignants eux-mêmes lorsqu'ils répondent un peu vite, font des erreurs du même type.

Une telle ténacité provient sans doute en grande partie de la relative cohérence interne de ce système explicatif. Cohérence, notons-le bien, **acquise**, à la suite d'une certaine évolution, aussi bien historiquement que génétiquement : le modèle décrit ici rappelle davantage la théorie de l'Impetus que celle d'Aristote, et ne s'appliquerait pas à un enfant de 4 ans.

On peut se demander pourquoi le raisonnement spontané s'est ainsi pratiquement stabilisé sous une forme préclassique et pourquoi il y a si peu de différence, de ce point de vue, entre un enfant au seuil de l'adolescence et un adulte.

Un élément important, parmi d'autres, est sans doute cette idée, largement soulignée par Piaget : l'expérimentation n'a pas nécessairement, à elle seule, un caractère décisif. La « réalité physique » peut être simplement refusée, les exemples abondent notamment chez les enfants. Mais elle peut aussi être acceptée sans être pour autant éclairante : des siècles de pratique courante de la Mécanique n'ont pas fait surgir simplement, c'est le moins qu'on puisse dire, les lois fondamentales qui la régissent, et ce n'est pas seulement, comme on s'obstine trop souvent à le croire, de la cause des frottements. Les occasions n'ont pas manqué à ces enfants, ces étudiants, d'observer des mouvements accélérés : il semble que cela n'ait guère ébranlé leur système explicatif intuitif.

Pour dépasser ces raisonnements spontanés qui suffisent si bien dans la vie courante, il faut donc bien une intervention de l'enseignement. Mais ceci peut très bien — les résultats précédents le montrent assez — n'aboutir qu'à juxtaposer des connaissances scolaires au système intuitif, sans autre remise en cause. Le formalisme enseigné ne prend en fait sa pleine efficacité que lorsque l'on

a bien mesuré la distance qui le sépare des raisonnements spontanés.

Il faut donc mettre les étudiants à même d'explicitier ces raisonnements et de situer ceux-ci, dans toutes leurs conséquences, par rapport à ce qu'on enseigne. Cette prise de conscience et cette confrontation sont deux démarches personnelles où l'étudiant prend un rôle actif dans le processus d'abstraction, et qui, une fois mises en œuvre, lui font prendre la mesure de ce qu'est un modèle formel. Le peu que l'on a pu observer à la suite de ces enquêtes permet déjà d'évaluer la satisfaction réelle qui s'ensuit.

L'enseignant ne peut stimuler ses étudiants dans cette voie qu'à deux conditions :

— avoir lui-même une connaissance sûre de la démarche spontanée déclenchée par telle ou telle situation physique,

— disposer d'outils simples, aisément transportables, pour en avertir les étudiants.

L'une et l'autre de ces directions de recherche doivent être poursuivies et élargies à d'autres domaines de la Physique, dans un double souci d'approfondissement des connaissances fondamentales et de maniabilité des résultats.

Laurence VIENNOT,  
Maître assistante,  
Université Paris VII.

#### Références

1. Maigrange, (J.L.), Saltiel, (E.), Viennot, (L.) (1975). La compréhension des compositions de mouvements de translation à deux dimensions par les étudiants de premier cycle universitaire, Université Paris VII, rapport interne.
2. Maury, (L.), Saltiel, (E.), Viennot, (L.) (1977). Etude de la notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de repère, *Revue Française de Pédagogie*, n° 40, pp. 15-29, 1977.
3. Migne, (J.) (1970). Etude de représentations de notions physiques : la chute des corps. Document R3 de l'Institut National pour la Formation des Adultes. Nancy.
4. Viennot, (L.) (1976). Mouvement et Force chez les étudiants de premier cycle universitaire. Le Pendule Simple. *Bulletin de la Société Française de Physique*, Encart Pédagogique, pp. 77-84.
5. Viennot, (L.) (1976). Intuition et Formalisme en dynamique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, N° 587.
6. Viennot, (L.) (1976). Newton et les Etudiants. *La Recherche*, n° 72, p. 980-3.
7. Viennot, (L.) (1977), Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, Thèse, Université Paris VII.

# METHODES ET RESULTATS CONCERNANT L'ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ELEVES DANS DIFFERENTS DOMAINES DE LA PHYSIQUE

## Deux exemples : les notions de chaleur et lumière

### I. — METHODES

#### 1 - Introduction

Le travail présenté ici s'inscrit dans le cadre plus général d'une recherche sur l'enseignement de la physique. Un des problèmes de base est celui des conditions de l'apprentissage tant sur le plan conceptuel que méthodologique. Nous entendons par là tous les éléments déterminant l'apprentissage de l'enfant : son niveau de développement général et notamment sa structure cognitive initiale, son interaction avec le maître et avec les autres enfants, le contenu de l'enseignement, les conditions matérielles, etc...

Nos connaissances actuelles dans ce domaine sont faibles. Quand on se demande par exemple à quelles conditions et sous quelle forme tel enfant ou adolescent a pu construire la notion de lumière, de chaleur, etc., peu d'éléments permettent de répondre. Les résultats d'une telle étude permettraient :

- de proposer un éventail d'objectifs notionnels et méthodologiques à mettre en œuvre suivant les enfants et leur environnement,
- de préciser dans certains cas des conditions favorables ou défavorables à l'apprentissage.

Dans cette perspective, avant d'analyser l'ensemble des conditions d'apprentissage, il nous a semblé qu'une première étape consistait à connaître l'état initial de l'enfant. Pour cela, nous avons entrepris une analyse fine (mais non statistique) des conceptions des enfants avant tout enseignement. Cette première étape nous a fourni d'une part des informations et d'autre part un outil pour les étapes ultérieures.

- Les informations portent sur les idées des enfants, leurs intérêts, le langage qu'ils utilisent à propos de certains phénomènes explicables à l'aide de la notion étudiée. Elles donnent des éléments pour définir un champ d'objectifs conceptuels ou méthodologiques pertinent sans toutefois permettre de définir complètement ces objectifs, puisqu'elles ne concernent que l'état initial des enfants et ne permettent pas de préjuger de « l'état final » qu'il sera effectivement possible d'atteindre.
- L'outil formé permet d'analyser de manière fine les représentations d'un enfant à propos de la notion considérée, à un moment donné. Il sera donc un **outil d'évaluation** très utile pour les étapes ultérieures.

Actuellement, notre recherche en est au stade de la première étape. Pour cette communication, nous nous limiterons à la présentation des résultats dans les domaines les plus avancés : lumière (11 et 14 ans) et chaleur (11 ans)\*. Pour chacun d'eux, nous nous sommes proposé d'étudier chez les enfants d'un niveau scolaire donné l'un ou l'autre des points suivants :

- Leurs niveaux d'interprétation et leurs manières d'anticiper des phénomènes de physique.
- Les relations entre le langage qu'ils utilisent et les notions qu'il recouvre.
- Les expériences personnelles, y compris dans le domaine affectif, auxquelles ils font référence.

Dans la suite, nous présenterons les méthodes (paragraphe suivant) et les résultats de cette recherche (parties II. et III.).

---

\* Les études entreprises par ailleurs, par les divers membres du laboratoire, concernent les circuits électriques (6 à 12 ans), les propriétés des matériaux (11 ans), la représentation de l'espace habité (11 ans).

## 2 - Méthodes

### — *Technique des entretiens*

Il nous a paru qu'un moyen privilégié pour atteindre les buts que nous nous étions assignés, était l'entretien individuel. L'entretien est un moyen de « mobiliser » l'enfant sur un domaine donné et d'obtenir une réponse à cette mobilisation. Nous considérons que cette réponse est significative du mode de pensée de l'enfant par rapport au domaine de physique considéré. Les moyens de « mobilisation » que nous avons utilisés au cours de nos entretiens sont essentiellement de deux types :

- Une question tenant en une phrase avec un ou deux mots clefs introduisant la notion étudiée, par exemple : « Qu'est-ce que la chaleur pour toi ? »
- Une situation expérimentale à partir de laquelle on demande soit une interprétation, soit une prévision.

Ces deux moyens de mobilisation correspondent aux deux types d'entretiens individuels que nous avons pratiqués, l'entretien non directif et l'entretien directif.

1) Au cours de l'entretien non directif (END) l'interviewer pose une question et n'introduit par la suite aucun mot nouveau.

Deux principales raisons nous ont poussés à introduire ce type d'entretien :

- L'entretien non directif nous paraît un moyen de moins induire l'enfant et de recueillir plus d'informations sur son expérience personnelle dans le domaine considéré.
- L'entretien non directif permet d'étudier en particulier les expressions employées et leur relation avec la notion, c'est-à-dire certains aspects du langage de l'enfant.

2) Dans l'entretien directif de type clinique, l'interviewer pose des questions selon un protocole standard, à propos de phénomènes se manifestant dans des situations expérimentales présentées à l'enfant. Il sollicite par ces questions des descriptions et des explications qui révèlent un certain niveau d'utilisation par l'élève, de la notion étudiée. Le dialogue est poursuivi en fonction des réponses de l'enfant.

On peut considérer qu'on utilise au cours de ces entretiens :

- des moyens de mobilisation normés, c'est-à-dire exactement prévus par le protocole ;
- des moyens de mobilisation variables, c'est-à-dire différant d'un entretien à l'autre ; par exemple la disposition de la salle, le lieu de l'entretien (école ou autre), l'attitude corporelle de l'interviewer et, surtout

dans l'entretien directif, les questions posées par l'interviewer non prévues dans le protocole. Dans ce dernier cas, l'interviewer peut apporter un élément nouveau : par exemple, s'il propose la même question pour une situation expérimentale différente de celle envisagée par l'enfant. Cette mobilisation variable serait à éliminer si l'on envisageait une analyse statistique des entretiens. Par contre, quand on réalise une analyse approfondie de chaque entretien, elle permet, dans certains cas, de mieux interpréter les réponses des enfants et en particulier les points de blocage. Si cette mobilisation variable induit des réactions nouvelles, on ne peut juger de l'importance et de la signification de ces réactions que par rapport à l'ensemble de l'entretien.

### — *Construction des protocoles*

Pour construire les protocoles des entretiens, nous avons tenu compte des deux points suivants :

1 - Le domaine de physique concerné (nous avons analysé les notions mises en jeu et leur organisation).

2 - Le niveau de développement de ces notions chez les enfants, que nous avons cerné de manière très empirique soit en travaillant avec un groupe de six enfants, soit en utilisant des expériences d'enseignement déjà entreprises.

### — *Techniques de dépouillement*

Pour l'ensemble des entretiens, nous avons analysé la signification des mots utilisés par rapport à la globalité du texte.

Pour l'entretien non directif, nous avons utilisé un dépouillement par catégories d'énoncés concernant la notion. Après avoir choisi différentes catégories (par exemple pour la lumière : lumière et ses effets, propriétés de la lumière autres que ses effets etc.), nous regroupons les phrases correspondantes pour chacune d'elles.

Pour l'entretien directif, nous avons analysé les réponses par rapport aux notions de physique en jeu.

## II. — NOTION DE CHALEUR CHEZ LES ENFANTS DE 11 ANS ( $\pm 1$ AN)

Nous présentons ici les premiers résultats d'une recherche sur la conception de la chaleur que manifestent des enfants de la dernière année du cycle élémentaire (CM2) : 10-12 ans. Ce premier exemple nous permettra de préciser la nature des informations obtenues par la méthode qui vient d'être décrite. Nous examinerons successivement l'apport de l'entretien non directif (END) et l'apport de l'entretien directif (ED). Nous avons dépouillé une vingtaine d'entretiens de chaque type.



## 1 - L'entretien non directif

Au cours de l'END, nous mobilisons l'enfant à partir de la question : « Qu'est-ce que la chaleur pour toi ? »

L'analyse des réponses montre les différentes situations ou phénomènes évoqués par les enfants à partir du mot chaleur. Nous en donnons les principaux points :

### a) La vie

Marie-Christine (10 ans 10 mois) :

(La chaleur) c'est la vie... si c'était que du froid rien ne pousserait. Sans chaleur on ne pourrait rien faire ce serait tout gelé, l'électricité ça marcherait pas, etc...

Cependant, cette évocation est moins systématique et moins forte que dans le cas de l'END à propos de la lumière [3].

### b) Un état

La grande majorité des enfants relie le mot chaleur à quelque chose de chaud ou au fait d'avoir chaud.

Véronique (11 ans 2 mois) :

La chaleur c'est quand on a chaud. La chaleur c'est quelque chose de chaud.

La chaleur renvoie dans ce cas à un état.

### c) Chaleur - Transformation

Certains enfants mettent en relation la chaleur et les transformations de la matière : changement d'état solide-liquide, liquide-vapeur, cuisson des aliments. Dans ce cas, ils reconnaissent à la chaleur un certain « pouvoir ».

Par exemple :

Dominique (12 ans 9) :

(La chaleur c'est quelque chose de) très puissant... ça fait bouillir l'eau... ça fait fondre un peu de tout, du plomb, de l'or, du fer...

Christine (10 ans 5) :

La chaleur, ça fait fondre, ça donne une couleur... des coups de soleil sur les hommes.

### d) Chaleur - Source

Le mot chaleur renvoie la majorité des enfants aux sources en particulier au soleil mais aussi à l'électricité et au feu. On rencontre deux types d'évocation des sources :

— chez la majorité des enfants la chaleur est différenciée de la source :

Lionel (11 ans 3) :

« Il y a le feu qui produit la chaleur. »

— chez quelques autres la différenciation est moins nette :

Jean-François (11 ans 2) :

« La chaleur est une flamme qui donne chaud. »

### e) Chaleur - Fluide

Un autre aspect de la chaleur qui est moins souvent cité que les précédents mais qu'il nous semble important de noter est le lien chaleur-fluide et plus spécialement chaleur-vapeur :

Valérie (11 ans 2) :

Quand on respire et quand on est devant une vitre c'est de la chaleur qui sort.

Christine (10 ans 3) :

(La chaleur) c'est un vent chaud... c'est un gaz qui monte dans l'air.

Lionel (10 ans 8) :

Quand on fait la soupe on met de l'eau, alors le feu la fait bouillir, puis quand c'est chaud on regarde dessus ça provoque de la chaleur.

... La chaleur... c'est une air chaude.

Pierre (10 ans 4) :

La chaleur ce sont des vapeurs... c'est de la vapeur qui monte.

L'entretien non directif fait ainsi apparaître les différents domaines associés spontanément par l'enfant au mot chaleur et la manière d'en parler. L'entretien directif nous permet de préciser quelques-uns des points soulevés, en particulier celui du déplacement de la chaleur : comment dans ce cas la chaleur est-elle conçue ?

## 2 - L'entretien directif

Au cours de l'entretien directif, l'enfant est mobilisé par des situations mettant en jeu des modifications perceptibles des objets, échelonnées dans l'espace et dans le temps : ces dernières correspondent à un déplacement de la chaleur par conduction ou par convection.

### a) Cas de la conduction

L'analyse des entretiens montre trois types de réponses :

1) Les enfants qui constatent ou quelquefois même prévoient que l'objet deviendra chaud et ne donnent aucune explication en termes de chaleur. On rejoint dans ce cas le lien chaleur-état que nous avons montré au cours de l'analyse de l'END.

Dans les deux autres types de réponse, les enfants interprètent le phénomène en considérant la chaleur pour elle-même. On distingue :

2) Les enfants qui considèrent la chaleur liée à une substance créant une continuité matérielle entre la source et l'objet récepteur. La chaleur ainsi substantialisée se répartit dans l'espace à partir de la source et va directement chauffer en chaque point l'objet considéré : celui-ci n'est pas dans ce cas le lieu privilégié du transfert de chaleur. Par exemple, à propos d'une barre métallique chauffée à une extrémité sur laquelle on a posé des morceaux de cire :

Lionel (10 ans 8) :

(Le morceau de cire) va certainement fondre parce que l'air sort du feu, parce qu'il y a le feu et il y a l'air très très chaud qui part comme une fleur, comme une fleur qui avec ses feuilles s'étale.

3) Les enfants qui attribuent à la chaleur la propriété de se déplacer, ce déplacement étant localisé au niveau du support ; la chaleur peut être indépendante du support.

Frédéric (11 ans 6) :

Parce que ça vient comme ça la chaleur, ça brûle d'abord le bout de la barre et puis ça avance c'est comme l'eau qui avance.

Christine (10 ans 3) :

La chaleur qui rentre dans le fer se glisse, enfin glisse, pénètre dans la barre et fait fondre.

Ainsi, le déplacement de la chaleur par conduction au sens du physicien, c'est-à-dire sans déplacement de matière, n'est pas reconnu par la majorité des enfants ; même dans le troisième type de réponse la chaleur peut être considérée comme une substance.

#### b) Cas de la convection

Ce qui est perçu dans ce type de situations expérimentales est de nature à renforcer le second type de réponse rencontré dans le cas précédent. Et, en effet, le phénomène de convection est interprété par les enfants de façon encore plus nette que pour la conduction par une « substantialisation de la chaleur ».

Par exemple, à la question :

l : Comment le radiateur chauffe-t-il toute la pièce ?

Frédéric (11 ans 6) :

La chaleur s'en va du radiateur, c'est comme de la fumée par exemple qui s'en va et que ça envahit toute la maison.

De plus, à propos d'une expérience consistant à mettre une guirlande en papier au-dessus de différentes sources, on voit apparaître un nouvel aspect du lien chaleur-source : pour certains enfants, la chaleur peut avoir des propriétés différentes suivant la source qui la produit :

Joël (10 ans) :

— (Au-dessus du camping-gaz la guirlande bouge) parce que le feu... y aura des machins qui sortiront du feu, qui la fera bouger.

Interviewer :

Quels machins ?

Joël :

La vapeur, je crois.

...

— (Au-dessus du radiateur, elle bougera pas.) Parce que le radiateur est fermé, c'est fermé et puis y a rien qui sort.

Il apparaît ainsi que la représentation que les enfants se font de la chaleur peut varier avec la nature de la situation concrète envisagée. Ce type de résultat ne pouvait nous être donné que par une méthode qui mobilise l'enfant de diverses manières. L'ensemble de l'entretien directif et de l'entretien non directif d'un enfant nous permet de connaître de façon approfondie la représentation de la notion étudiée (ici la chaleur) et son champ d'application.

Cette même méthode s'est avérée également efficace dans le cas de la notion de lumière, qui présente des aspects semblables au cas de la chaleur : c'est un mot du langage courant, il est associé à divers aspects du vécu de l'enfant, il correspond à un domaine de la physique mettant en jeu des phénomènes de transmission dont le médiateur échappe à la perception directe. Les prochaines pages seront consacrées à ce second exemple dont l'analyse est plus avancée.

### III. — LE CONCEPT DE LUMIÈRE VERS 11 ANS ET 14 ANS

Les entretiens non directifs et les entretiens directifs, centrés sur la notion de lumière, ont été effectués à la fois au CM2 (11 ans environ) et en classe de 4<sup>e</sup> (14 ans environ). Nous nous limiterons ici à l'exposé d'une partie des résultats de cette étude, en répondant à la question suivante : le mot lumière recouvre-t-il pour les enfants une entité existant dans l'espace en dehors de sa source et des effets qu'elle produit, avec des propriétés qui lui sont propres ? Cette question est la question première, lorsqu'on s'interroge sur la conception que les enfants ont de la lumière ; nous le verrons dans la suite. En nous centrant sur ce seul point, nous montrerons quel type d'analyse du discours des enfants nous a permis de répondre. Les autres résultats ont fait [1] [3]. ou feront, l'objet d'autres publications. Ils concernent le domaine affectif et, pour la classe de 4<sup>e</sup> seulement, l'interprétation de la vision des objets ainsi que certaines

propriétés spécifiques de la lumière (trajet rectiligne, puissance, renvoi par les objets...).

Dans les prochains paragraphes (1 à 4), nous examinerons les éléments des entretiens qui permettent de déterminer si un enfant reconnaît ou non la lumière comme une entité ayant une existence propre dans l'espace et nous indiquerons comment se situe globalement chacune des populations du CM2 et de 4<sup>e</sup> par rapport à cette notion. Le paragraphe suivant (5) précisera quelle représentation les enfants se font de cette entité, lorsqu'ils lui reconnaissent une existence en dehors de sa source et des effets qu'elle produit et montrera que cette reconnaissance n'est qu'une première étape vers la construction d'une notion de lumière satisfaisant le physicien.

### 1 - Lumière, entité reconnue dans l'espace ? Problématique.

Pour le physicien, la lumière se propage dans l'espace en partant d'une source et interagit avec les objets qu'elle rencontre sur son trajet en provoquant divers effets sensibles (contraste entre zones différemment éclairées, échauffement...); elle possède un certain nombre de propriétés, dont celle de se propager en ligne droite et celle d'obéir à des lois de conservation. Le langage courant ne véhicule pas ce modèle; il confond la lumière avec sa source ou avec ses effets: on se met « près de la lumière » pour bien voir, on « allume la lumière », ... Ce n'est sans doute pas par hasard; on peut penser que le langage traduit la conception commune. Toutefois, l'analyse d'un entretien doit distinguer ce qui est du domaine des habitudes de langage, de ce qui traduit la façon dont le sujet conçoit personnellement la lumière. Un sujet peut en effet changer son registre de langage selon la situation: le physicien n'utilise le langage de la physique que lorsque ce langage est nécessaire, par exemple pour expliquer un phénomène; dans la vie courante, il utilise le code commun qui suffit aux actions quotidiennes.

C'est pourquoi, une phrase telle que :

« Là, le bloc est en dessous de la lumière, en dessous de l'ampoule » (Patricia, 11 ans, CM2).

qui emploie le mot lumière comme synonyme de source (ampoule), n'a de signification que par rapport à l'ensemble du discours de l'enfant. Il convient de savoir si l'ensemble de ce discours reste constamment au niveau de l'identification lumière-source ou lumière-effet, ou si l'enfant utilise, à propos de certains phénomènes, un modèle de la lumière plus puissant dont on déterminera le champ d'application.

### 2 - L'apport des situations expérimentales : cas des ombres - cas du miroir.

Proposer à l'enfant des phénomènes qu'il lui faut expliquer ou prévoir (entretien directif) est un moyen privilégié de lui faire expliciter sa conception. Les explications données par les enfants à propos des ombres ou du miroir sont aussi significatives de la notion de lumière qu'ils sont à même d'utiliser. Examinons-les.

Au CM2, les enfants ne proposent guère de mécanisme pour la formation des ombres, bien qu'ils perçoivent la « lumière » (lumière-sourçø) comme responsable du phénomène. L'ombre y est simplement reconnue comme une reproduction de la forme de l'objet :

« ça (l'ombre) c'est le reflet de la pâte à modeler. (Et ça) c'est le reflet du bâton (10 ans 9, CM2).

Par contre, les sujets interrogés en 4<sup>e</sup> conçoivent majoritairement l'objet comme un obstacle au passage de la lumière, qu'ils situent alors dans l'espace :

« La lumière... part. Et puis elle rencontre un objet. Elle l'éclaire, mais derrière elle peut pas le traverser... donc c'est du noir; puis ça fait l'ombre » (14 ans 10, 4<sup>e</sup>).

Plus de la moitié des entretiens directs effectués en 4<sup>e</sup> explicitent ce mécanisme. Mais on trouve encore à cet âge des explications en terme de « reflet ».

« Une ombre c'est le reflet d'une personne ou d'une chose, sans qu'on voie la personne vraiment. La lumière éclaire la personne, derrière la personne reflète son ombre » (14 ans 4, 4<sup>e</sup>).

« L'objet ou même la personne, ce qui est derrière c'est pas éclairé par le soleil vu qu'il est devant; alors ça fait que ce qui n'est pas éclairé, ça se reproduit par terre ou bien même sur le mur » (13 ans 2, 4<sup>e</sup>).

Le cas du miroir fait également apparaître deux niveaux d'interprétation liés à la reconnaissance ou à la non reconnaissance de la lumière dans l'espace. Au CM2, la plupart des enfants n'ont pas l'idée d'un renvoi de lumière par le miroir :

Interviewer :

« Est-ce qu'il y a de la lumière sur le miroir ? »

Lionel (11 ans 2, CM2) :

« Oui. »

Interviewer :

« Qu'est-ce qu'elle devient ? »

Lionel :

« En réalité y en a pas, c'est la lumière de la lampe qui reflète dedans.

(En réalité) Y a pas de lumière et quand on met le miroir devant, la lampe reflète dedans le miroir. On dirait qu'y a une autre lampe derrière. »

L'enfant évoque simplement l'image de la source (lumière-source) dans le miroir.

Par contre, en 4°, la majorité des enfants exprime l'idée du renvoi, par le miroir, de la « lumière-entité-dans-l'espace » :

« (La lumière) elle rebondit » (12 ans 11 et 15 ans 4, 4°).

« Elle fait ricochet sur la glace » (14 ans, 4°).

### 3 - Les Indicateurs de reconnaissance de l'entité « lumière ».

C'est par des termes dynamiques (partir, rencontrer, traverser, rebondir...) qu'est évoquée la lumière dans les citations qui, parmi les précédentes, font appel à une entité « lumière » située dans l'espace. Les entretiens des élèves de 4° (ED et END) contiennent souvent, dans une diversité de situations, de tels termes qui suggèrent une idée de mouvement de la lumière dans l'espace.

« Dans le couloir, y a pas de lumière. Parce qu'elle ne peut pas **pénétrer**. Elle peut pas **franchir** un mur » (13 ans 1, 4°).

On peut les considérer comme des indicateurs de la reconnaissance de la lumière dans l'espace.

Nous avons relevé deux autres types d'indicateurs de cette reconnaissance :

#### — la localisation de la lumière « partout dans l'espace ».

« Il y a de la lumière dans l'espace » (13 ans 2, 4°).

« Il y a de la lumière dans toute la salle » (14 ans 4, 4°) par opposition aux enfants qui situent la lumière

« au plafond, dans le lustre » (10 ans 9, CM2).

#### — la notion de temps de propagation.

« Si le soleil s'éteignait... on aurait encore de la lumière pour longtemps. Parce que le soleil aurait déjà envoyé des rayons, et les rayons ils s'éteigneraient pas, y a que le noyau du soleil. Alors pendant les... peut-être 4 mois, je ne sais pas combien de temps met un rayon pour venir jusqu'à la Terre... ça va vite mais faut quand même du temps, ça peut pas venir comme ça » (13 ans 2, 4°).

Remarquons que seuls quelques élèves font ainsi explicitement appel à la durée de propagation et c'est presque toujours exclusivement dans le cas des grandes distances. L'enfant qui tenait le discours précédent à propos du soleil, poursuit en précisant :

« (Non, pour la lampe) C'est pas pareil. C'est pas la lumière qu'y faut du temps, là, c'est l'électricité qui va venir à la lampe... alors dès que l'électricité arrive, la lampe réagit et elle se met à s'éclairer. »

On pourrait sans doute établir une hiérarchie entre ces indicateurs qui ne sont pas équivalents. Mais, en situant la lumière dans l'espace, tous dépassent le niveau d'une simple reconnaissance des sources et des effets de la lumière sans appel à un intermédiaire. Ce niveau élémentaire est souvent celui du langage courant ; on le retrouve dans les extraits d'entretiens suivants :

« (La lumière) c'est une **ampoule** qui s'éclaire, puis ça fait du jour... On peut la faire marcher avec une pile, la **lumière**, en la reliant avec un fil de fer cu un objet en métal... (La lumière) C'est quelque chose qui s'éclaire. Ça peut être le soleil, la lumière » 10 ans 9, CM2).

Interviewer :

« Dans ce coin-là de la pièce où y a-t-il de la lumière ? »

Lionel (11 ans 2, CM2) :

« Là (sur le sol). Parce que le soleil il tape dessus et on voit que c'est plus clair qu'à l'ombre. »

« La lumière, c'est une **éclaircie** qui joue suivant le temps, il fait plus clair un jour qu'un autre » (13 ans 7, 4°).

Le mot lumière désigne dans le premier extrait une source, dans le second un effet et dans le troisième un état. La lumière n'y apparaît pas en tant que telle. Le discours de certains enfants reste constamment situé à ce niveau ; ils n'ont pas d'outil pour interpréter les phénomènes et se bornent ainsi à constater, par exemple, que l'ombre est une reproduction (reflet) de l'objet.

Lorsque certains des indicateurs recensés plus haut apparaissent dans le discours de l'enfant, cela n'implique pas que la totalité de ce discours fasse appel à la notion de « lumière - entité de l'espace » ; l'enfant peut passer d'un niveau de conception à l'autre selon les situations. Parfois même, l'enfant bascule d'un niveau à l'autre au sein de l'explication d'un même phénomène. Ainsi Lionel (13 ans 7, 4°) explique d'abord la formation d'une ombre sur la table en employant des termes dynamiques qui suggèrent l'idée d'un mouvement de la lumière dans l'espace :

« En enlevant la feuille, la lumière revient sur la table ; si on la remet, la lumière ne pourra pas passer à travers la feuille et la table est forcément dans l'ombre. »

Et il ajoute, immédiatement à la suite de cette explication, une interprétation de type « lumière-effet », « lumière-état » :

« (La lumière) elle est cachée sous l'ombre. Elle devient l'ombre de la feuille. »

Déterminer où en est un enfant par rapport à la notion de lumière, c'est donc faire un bilan du champ d'utilisation par l'enfant de la notion de « lumière - entité - dans l'espace ».

#### 4 - Bilan au CM2 et en 4°

Lorsqu'on fait ce bilan, la population de 4° s'avère très diverse ; les niveaux extrêmes s'y trouvent représentés. Toutefois, si l'on compare l'ensemble des entretiens du CM2 avec ceux de 4°, les élèves de 4° emploient davantage de termes dynamiques à propos d'une plus grande diversité de situations ; ils font parfois explicitement appel à la notion de temps de propagation de la lumière sur les longues distances, alors que ce n'est qu'exceptionnellement le cas dans les entretiens réalisés au CM2. Ces résultats correspondent aux indications données par les situations expérimentales évoquées précédemment. Nous avons vu que la majorité des élèves de 4° est capable d'expliquer la formation des ombres et à l'idée du renvoi de la lumière par un miroir, contrairement aux enfants du CM2. Il y a ainsi, globalement, une nette évolution entre le CM2 et la classe de 4°, évolution qui va d'une identification de la lumière à sa source ou ses effets vers une reconnaissance de la lumière comme entité en mouvement dans l'espace, différenciée de sa source et de ses effets.

#### 5 - Représentation et limites de la notion de « lumière - entité de l'espace »

Les enfants se font-ils une représentation de la nature de cette entité ?

Lorsqu'ils utilisent un modèle ou une analogie, les enfants assimilent la lumière à de la matière.

Il s'agit d'un modèle lorsque Jean-Marie (13 ans, 4°) nous dit, à propos de la lumière envoyée par une lampe sur un miroir : « La lumière... c'est solide... alors elle devrait repartir... » ; lorsque c'est un morceau de coton hydrophile qui est éclairé par la lampe, il précise que la lumière n'en repartira pas « parce que ce n'est pas ferme ». Dans le cas de l'interaction de la lumière et d'un miroir, un tel modèle « matériel » peut aider l'enfant à interpréter le phénomène en jeu, mais dans d'autres cas c'est une cause de blocage, comme ici à propos de la loupe :

« Les rayons à mon avis, ils passent pas à travers. C'est la lumière qui passe à travers. C'est-à-dire que ça passe pas à travers, mais ça..., comment dire, ça... (Interviewer : ... les rayons, c'est pas pareil que la lumière...) Mais si, mais... les rayons et la lumière c'est pareil. Ça passe pas carrément à travers, y a

pas des petits trous pour que ça puisse passer » (13 ans 8, 4°).

D'autres enfants utilisent une analogie avec l'eau pour expliquer la propagation de la lumière, mais ce n'est qu'une analogie :

« Juste derrière le carton y a pas de lumière, mais à côté y a de la lumière parce que la lumière on croirait peut-être qu'elle se cogne et qu'elle va venir par là... C'est comme si c'était de l'eau, l'eau elle viendrait là, et pis elle irait sur les bords passer de l'autre côté » (11 ans 2, CM2).

Précisons encore la notion de « lumière-entité de l'espace », en indiquant ses limites. Il n'y a pas nécessairement conservation de cette entité : elle peut se perdre, disparaître ou au contraire se renforcer. Ainsi, pour certains, la lumière s'altère avec la distance :

... « à un moment elle s'arrête parce que c'est trop loin... A un moment elle peut plus... on la voit plus... Je crois qu'elle ne peut plus traverser l'air ; elle a perdu sa... sa densité » (13 ans, 4°).

Et l'une des réponses données pour expliquer qu'on peut enflammer une feuille de papier à l'aide d'une loupe, est que la loupe « grossit » la lumière :

« Les rayons passent à travers la loupe... et brûlent le papier... Les lumières... les rayons vont grossir, comme la loupe est épaisse... il va y en avoir plus de l'autre côté » (13 ans 3, 4°).

Si un enfant respecte la conservation de la lumière dans l'interprétation d'un phénomène donné, cela n'implique pas que cette notion de conservation soit acquise pour n'importe quelle situation. Ainsi pour Hervé (14 ans 10, 4°) la loupe ne fait que **concentrer** la lumière sur un petit point, sans en modifier la quantité totale ; mais lorsqu'il s'agit de la lumière envoyée par une lampe sur une feuille de papier, Hervé pense que la lumière disparaît une fois arrivée sur la feuille.

Différencier la lumière de sa source et de ses effets en lui reconnaissant une existence dans l'espace constitue donc un progrès de la majorité des élèves de 4° par rapport à ceux du CM2. Mais cela n'implique pas une notion de la lumière satisfaisant complètement le physicien. Ce n'est qu'une première étape dans la construction d'une telle notion.

#### CONCLUSION

Nous venons de montrer pour deux cas : chaleur et lumière, le type de résultats obtenus par une recherche sur les conceptions qu'ont les enfants sur certains domaines de la physique avant l'enseignement correspondant.

Il apparaît que la majorité des enfants de 10-12 ans ne reconnaît pas la lumière comme une entité ayant des propriétés propres, mais l'identifie soit à sa source soit à ses effets, alors que la plupart des enfants plus âgés (14 ans environ) la localise dans l'espace et lui attribue des propriétés (mouvement dans l'espace, trajet rectiligne...).

Par contre, la majorité des enfants de 10-12 ans reconnaît au moins dans certains cas, la chaleur comme une entité qui a la propriété de se déplacer et le plus souvent l'associe ou l'identifie à un fluide. Cette conception de la chaleur est ainsi du type de celle rencontrée chez des enfants plus âgés (14 ans environ) dans le cas de la lumière.

Il apparaît donc un décalage chez un même enfant entre sa conception de la lumière et celle de la chaleur même si chez certains il peut y avoir coexistence de deux niveaux de conception d'une même notion. Il s'agit d'un décalage moyen observé sur l'ensemble du discours de l'enfant.

Dans l'introduction, nous avons situé cette recherche dans le cadre plus vaste d'une étude sur les conditions

d'un apprentissage conceptuel et méthodologique pour divers domaines de la physique. Une première étape a pu ainsi être franchie dans la mesure où nous avons obtenu une analyse des conceptions initiales des enfants sur le domaine étudié et où nous avons mis au point un outil. Grâce à cet outil qui permet de connaître d'une manière fine les conceptions des enfants à un moment donné, on peut faire une évaluation de l'apprentissage.

Les étapes ultérieures de cette recherche auront pour but de recueillir des éléments d'information sur le rôle de certains des facteurs intervenant dans la construction d'une notion comme celle de lumière ou de chaleur.

Edith GUESNE,  
Andrée TIBERGHIEU,  
Goery DELACOTE,  
Laboratoire interuniversitaire  
de recherche sur l'enseignement  
des sciences physiques  
et de la technologie,  
Université Paris VII.

#### Bibliographie

1. Guesne (E.), Lumière et vision des objets. Third Seminar on the teaching of Physics in Schools (1976), Taylor and Francis (à paraître).
2. Tiberghien (A.), Delacote (G.), Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, n° 34 (1976).
3. Tiberghien (A.), Delacote (G.), Ghiglione (R.), Matalon (B.), Conception de la lumière chez les enfants de 10-12 ans. *Revue Française de Pédagogie* (à paraître).
4. Tiberghien (A.), Delacote (G.), Conception de la chaleur chez les enfants de 10 à 12 ans. Third Seminar on the teaching of Physics in Schools (1976). Taylor and Francis (à paraître).

## STRUCTURE DE LA MATIERE ENSEIGNEE ET DEVELOPPEMENT CONCEPTUEL

Je voudrais apporter quelques compléments au rapport, qui a été présenté ce matin par Vergnaud, et à la préparation duquel j'ai participé ; je voudrais apporter ces compléments en tant que physicien. Vergnaud a dit à juste titre ce matin que les notions générales qu'on peut donner à propos de la didactique deviennent plus riches quand on prend un domaine plus particulier, et plus le domaine est particulier, plus on peut dire de choses. Et quand on parle en physicien on s'aperçoit qu'il y a beaucoup plus de choses à dire que lorsqu'on parle de didactique générale.

Qu'est-ce qu'on a cherché à développer dans la partie centrale de ce rapport ? Nous avons voulu étudier les systèmes de conceptualisation, c'est-à-dire essayer de voir comment naissent les concepts aptes à servir de supports à une élaboration mathématique. Un concept est ainsi une idée qu'on peut faire entrer dans un système de relations mathématiques de façon à former une théorie qui soit proprement une théorie scientifique. Il est donc absolument fondamental de comprendre dans quel système de pensée se forment les concepts, qu'on veuille les utiliser comme instruments dans la recherche scientifique, qu'on veuille apprécier leur valeur épisté-

mologique et philosophique, et surtout qu'on veuille en faire l'enseignement.

A cet égard j'ai à parler de deux notions, l'une qui a déjà été abordé par Vergnaud, et l'autre qui n'a pas été abordée, et qui interviennent de façon fondamentale dans la formation des systèmes de concepts en physique.

Premièrement, les « invariants opératoires ». Les invariants opératoires fonctionnent sur des objets ou sur des relations, mais le point fondamental, la chose à dire initialement quand on parle des invariants opératoires, c'est qu'on pose d'abord un système de transformations de cet objet ou de ces relations. Un système de transformations qui sont, et c'est là une caractéristique essentielle, des **transformations pensées**. Des transformations qu'on ne fait pas avec les mains, mais qu'on fait dans la tête. D'autre part, quand un système de transformations, introduit à l'occasion d'un invariant opératoire, est complètement élaboré, alors on constate que si quelque chose est « invarié » par deux transformations, cette même chose est aussi invariée nécessairement par leurs inverses, et qu'elle est invariée par leur produit de composition. Autrement dit quand un système de transformations caractérisé par une certaine invariance est complètement élaboré, ce système constitue ce que les mathématiciens appellent un **groupe**. Et ceci est un fait de très grande importance pour le traitement précis, et en fait mathématique, de cet invariant opératoire.

Alors répétons : des transformations pensées, et des transformations constituant un groupe, contenant l'inverse et la composition, ce sont les deux caractéristiques de ce que Piaget appelle des **opérations**. Et c'est pour cela qu'on parle d'invariant opératoire, il faut le souligner. On a donc affaire à des transformations au choix des physiciens, qui sont des transformations à abstraire, et qui sont à chercher dans les relations entre le système étudié et un **référentiel**. Qu'est-ce qu'on appelle un référentiel ? C'est une notion beaucoup plus générale que ce que les physiciens désignent d'habitude par ce mot. Par exemple est un référentiel une base dans un système de numération. Un changement de base, le changement de la base 2 à la base 5 par exemple, est typiquement un changement de référentiel, une transformation des référentiels utilisés pour représenter les mêmes nombres de différentes façons, une transformation qui fait l'objet d'invariants opératoires. Un système d'unités, en physique, est aussi un référentiel. Quand on change de système d'unités, toutes les mesures des grandeurs qu'on considère vont changer, mais toutes les relations physiques entre eux, les relations qui ne sont pas des coïncidences numériques, toutes les relations réelles, restent vraies quel que soit le système d'unités choisi. De telles relations sont des invariants opératoires « relationnels ». Des référentiels beaucoup plus importants dans les relations physiques sont les

repères en géométrie, et les repères en mécanique. On peut changer de repère et alors il y a des relations qui restent invariantes, et il y a des quantités qui restent invariantes. Par exemple quand on fait un changement de base orthogonale en géométrie, les longueurs de tous les vecteurs restent constantes, les longueurs sont des invariants opératoires sous tous les changements de repères orthogonaux en repères orthogonaux.

Je voudrais maintenant introduire une distinction qui me paraît importante, et propre, je crois, à la physique, dans ces systèmes de transformations. Ce sont les transformations dites **passives** et les transformations dites **actives**. J'ai dit que les transformations opéraient dans les relations entre le système et le référentiel. Mais il y a deux façons d'opérer ces transformations. La première, qui constitue les transformations **passives**, consiste dans le changement du référentiel en maintenant le système fixe. Les conséquences de l'invariance sous une telle transformation sont extrêmement importantes parce que, dans une équation physique ce sont elles qui fixent la **variance** — comme on dit — des grandeurs qui entrent, qui ont « le droit » d'entrer, dans cette équation. Dans les équations de la physique, si on considère l'invariance par rapport au groupe des déplacements de l'espace à trois dimensions, alors les seules grandeurs dont on a le droit de se servir, elles ont une composante (scalaires), elles ont trois composantes (vecteurs), elles ont neuf, vingt, sept, etc. composantes (tenseurs plus compliqués). Mais une grandeur à cinq composantes ou à 15 composantes, n'aurait aucun sens dans la physique, dès lors que la physique est posée comme invariante par rapport au groupe des déplacements de l'espace. Ce n'est pas seulement vrai des grandeurs, c'est aussi vrai des opérateurs qui interviennent dans les équations de la physique. Ainsi les opérateurs différentiels connus, opérateur *gradient*, *divergence*, *rotationnel*, *laplacien*, (et c'est tout, en fait il n'y en a pas d'autre) sont les seuls qui puissent entrer dans les équations de la physique soumises à l'invariance par rapport au groupe des déplacements de l'espace à trois dimensions. La Relativité Restreinte, je le dis pour mémoire, a introduit un autre groupe d'invariance, qui est le groupe de Lorentz-Poincaré, et tout aussitôt a changé : les scalaires ont gardé une composante, mais les vecteurs en ont quatre ; les tenseurs en ont seize ou une puissance de quatre. L'image de la physique a été totalement bouleversée par ce changement parce que ce ne sont plus du tout les mêmes grandeurs qui peuvent intervenir.

Voilà pour les transformations passives, et vous aurez compris que l'invariance sous ces transformations passives a une importance considérable dans la construction du système de la physique.

Voyons maintenant les transformations **actives**, qui

consistent à changer le système par rapport au référentiel. On peut montrer que ce n'est pas la même chose. Par exemple l'invariance par rapport aux rotations du référentiel invarient les lois de la Mécanique, et nous avons vu que cela impose son expression vectorielle, au moyen de vecteurs à trois composantes. Par contre si nous opérons une rotation du système par rapport au référentiel, alors en général les équations de la Mécanique ne sont pas invariantes, elles ne sont invariantes que si le champ de force qui agit sur le système est de symétrie sphérique, et dans ce cas-là, comme nous le verrons dans un instant, on en tire une conséquence extrêmement importante, qui est la conservation du moment cinétique, et ceci n'a rien à voir avec les conséquences de la transformation passive correspondante.

Bon, alors je ne vous dis rien sur ce que Vergnaud a déjà dit à propos du rôle des invariants opératoires. Ils sont d'une importance fondamentale parce que c'est eux qui introduisent et définissent, aussi bien psychologiquement qu'épistémologiquement, les concepts de la physique, comme par exemple le concept de nombre, de mesure, de vecteur, qui sont introduits et pensés à travers la découverte des invariants opératoires dont je viens de citer quelques-uns.

Maintenant je voudrais parler d'une deuxième notion qui n'a pas été abordée dans le rapport, et qui est probablement spéciale à la physique, c'est la notion de **constante**. Il faut absolument distinguer invariant et constante, et il faut se rendre compte que les constantes sont aussi importantes que les invariants dans la construction et la constitution des concepts. On se trouve dans le cas d'un système en évolution dans le temps. Ce n'est pas un système dont, par la pensée, on change les relations avec le référentiel, c'est un système qui varie tout seul, qui évolue dans le temps. Et quand le système évolue dans le temps, certaines grandeurs (qui peuvent être des scalaires, des vecteurs, etc.) ne changent pas, demeurent constantes, pendant que toutes les autres changent. Il y a une combinaison de constance et de changement qui décrit l'évolution du système dans le temps. La découverte des constantes, dans les différents domaines de la physique, a été dans l'histoire des sciences absolument fondamentale dans la formation des concepts, on peut en citer de nombreux exemples.

Je citerai seulement la découverte de la constance de la **quantité de chaleur**, parce que, d'un point de vue psychologique il est extrêmement intéressant de voir à travers quel processus s'est établie et est devenue évidente la constance de cette quantité de chaleur. Quand on met dans une enceinte isolée plusieurs corps à des températures différentes, nous savons que ces corps évoluent jusqu'à ce que leurs températures deviennent égales, et cette température commune est déterminée par



le fait que les corps vont échanger de la chaleur, de telle sorte qu'il y ait conservation de la quantité de chaleur : la quantité de chaleur cédée par un corps est reçue par les autres sans gain ni perte. Il n'est pas facile de donner une théorie rigoureuse de ce phénomène, car pour vérifier, ou même pour exprimer la loi de conservation, il faudrait au préalable **définir** par un procédé de mesure la quantité de chaleur elle-même, et on voit tout de suite que les procédés de mesure employés (par exemple plonger un corps chaud dans un calorimètre contenant de l'eau froide) **présupposent** que les échanges se font sans que rien soit gagné ni perdu. Or nous voyons cette loi de conservation apparaître dans l'histoire, avant tout dans la série de conférences de Joseph Black à Glasgow (conférences faites à partir de 1760, publiées seulement en 1802 à titre posthume) et ceci dans le cadre **d'une théorie substantialisant la chaleur**. Black considère que la chaleur est une substance, une espèce de fluide, et que **c'est pour ça qu'elle se conserve**. La chaleur n'a pas été directement pensée comme une quantité constante. Elle a d'abord été considérée comme une substance matérielle appelée le calorique, puis cette substance matérielle a donné lieu à la loi de la conservation de la chaleur, après quoi on a abandonné la substance. Cela n'a pas été tout seul, je vous cite comme anecdote l'histoire de Rumford, qui était un ingénieur militaire dans une ville d'Allemagne, qui a passé dix ans exactement — et quels dix ans ! de 1787 à 1797, au moment où les couronnes et les têtes des rois volaient en l'air dans toute l'Europe ! — il a donc employé dix ans pour arriver à démontrer que la chaleur ne pesait rien. Et ce n'était pas peu de chose, il a monté des expériences admirables. Il prétend — et je crois qu'on peut le croire — qu'il est arrivé à une précision d'un millionième, qu'on pense à ce que cela pouvait représenter à l'époque ! Et il en a conclu, après ces dix ans de travail : non, le calorique n'a pas de poids, ce qui prouvait à ses yeux qu'il n'était pas tellement substantiel !

Ce que je veux dire à propos de cette conservation de la chaleur et de sa substantialisation comme l'un des exposés de ce matin l'a déjà souligné, c'est que les enfants jeunes arrivent eux aussi, et très facilement, à affirmer la conservation de la quantité de chaleur, et ceci en la considérant, très généralement comme une substance, une matière qui coule. Et par conséquent nous avons là un chemin de compréhension didactique — j'ai fait une recherche là-dessus, et j'en ai exposé les résultats à une séance d'une sous-commission de la Commission Lagarrigue, en face d'un inspecteur général qui m'a sauté à la crête et qui m'a crié : Monsieur Halbwachs, vous ressuscitez le calorique ! O honte ! Mais oui justement, je ressuscitais le calorique, parce que l'expérience montre que les enfants ont cette idée d'une substance, elle peut leur être très utile, elle peut leur

servir de support pour l'idée de la conservation — idée que sans cela on est obligé de poser comme un principe ou un postulat, car nous ne devons pas oublier que cette conservation, c'est elle qui **constitue** la notion de quantité de chaleur, aussi bien au plan épistémologique qu'au plan psychologique, puisque la mesure même de la quantité de chaleur, la définition de la calorie, la comparaison de chaleurs massiques, etc., tout repose sur **une affirmation a priori de la conservation**. Conservation qu'il est impossible, bien sûr de vérifier par l'expérience puisqu'on ne sait pas encore mesurer les quantités de chaleur. Donc cette substantialisation est une intuition très forte qui mène l'enfant de façon effective à se former la notion de chaleur et à sa quantification.

Bien sûr dans l'histoire, une fois qu'on s'est débarrassé de l'indestructibilité du calorique — à travers les expériences ultérieures du même Rumford sur la création indéfinie de chaleur par frottement — alors on est arrivé à une notion plus générale — et cet épisode n'a été qu'un moment d'une longue histoire, de portée fondamentale pour la physique, et cela a donné la notion d'énergie.

Je passe sur les autres constantes dont on pourrait parler, mais maintenant que vous avez l'esprit alerté sur ce problème, je pense que vous en trouveriez beaucoup, parce que c'est très fréquent. Je vous signale cependant que, jusque dans l'enseignement supérieur, on peut constater une difficulté didactique pour les étudiants, de manier une constante et d'en faire quelque chose : il leur paraît difficile de croire que la détermination des constantes d'un mouvement par exemple, puisse déterminer en même temps le mouvement, ceci suivant cet adage : les choses changent de telle façon qu'un certain nombre de choses ne changent pas, et ces constantes déterminent entièrement la façon dont les variables peuvent changer. C'est là quelque chose de paradoxal, et qu'en général, d'après mon expérience, les étudiants acceptent mal. Ils aiment mieux avoir des causes qui produisent des effets, et quand on leur dit : ces choses ne bougent pas, voyez comment le reste peut bouger, cela leur paraît contradictoire.

Je veux maintenant pour terminer, après vous avoir dit combien c'est important de distinguer les invariants des constantes, vous dire brièvement quelle est en physique la relation exacte qui existe entre les uns et les autres. Parce que c'est un théorème qui a été démontré au début du siècle par Emmy Noether, qui introduit un facteur de rationalité et de nécessité très stricte dans l'ensemble de la physique théorique. Le théorème s'applique aux systèmes qui ont deux propriétés.

Premièrement, leur évolution est déterminée par un principe d'**intégrale stationnaire**. Vous avez entendu parler du principe de moindre action en mécanique, du

principe de Fermat en optique, il existe d'autres principes de ce genre. Et ce principe règne sur la statique théorique, sur la dynamique théorique, sur l'électrostatique, sur l'électromagnétisme, sur la thermodynamique, sur une très vaste partie de la physique.

Deuxième propriété : la théorie doit être **invariante** — (**invariant opératoire**) par un **groupe continu**. Qu'est-ce que c'est qu'un groupe continu ? C'est un groupe tel que tout le groupe peut être engendré en répétant et en composant de toutes les manières un nombre limité de transformations infinitésimales qu'on appelle les « générateurs » du groupe et qui jouent un peu le rôle des « dimensions » d'un espace. Comme exemple on peut dire que le groupe des rotations peut être engendré par trois rotations infinitésimales autour de trois axes orthogonaux. Quand on les répète et les compose de toutes les façon possibles, on aboutit à réaliser toutes les rotations possibles.

Une démonstration pas très difficile peut arriver à montrer à partir de ces deux hypothèses : un principe d'intégrale stationnaire et un groupe d'invariance continu, le théorème fondamental suivant : à chaque générateur du groupe d'invariance va correspondre une constante de l'évolution. Tel est le rapport entre invariance et constantes.

Cela, c'est une grande formule abstraite et générale. Je peux vous donner un exemple. En mécanique, dans un système isolé, il y a invariance par rapport aux translations du système, par rapport aux rotations du système, et par rapport à la translation du temps. Ça fait un groupe à trois générateurs, un autre groupe à trois générateurs et un groupe à un générateur. Cela fait en tout sept générateurs. Alors nous pouvons traduire ceci en constantes du mouvement ; les trois générateurs du groupe des translations engendrent les trois composantes — constantes — de la quantité de mouvement totale, qui est ainsi un vecteur constant au cours du mouvement ; les trois générateurs du groupe des rotations engendrent de même les composantes d'un autre vecteur constant, le moment cinétique total ; enfin le générateur des translations dans le temps correspondra à la constante fondamentale qu'est l'énergie. Vous voyez que ces constantes fondamentales résultent directement du fait que la mécanique peut s'exprimer sous forme d'un principe d'intégrale minimum, et d'autre part que la mécanique d'un système isolé est invariante par rapport aux translations, aux rotations, et aux glissements dans le temps.

Francis HALBWACHS,  
Université de Provence  
(Marseille)

## A PROPOS DE « MASSE INERTE » ET « MASSE DE GRAVITE »

Cette réflexion s'est développée dans le cadre de mon travail à l'I.R.E.S.P. de Grenoble. Elle s'est nourrie des nombreuses discussions que j'ai pu avoir avec les professeurs du second degré qui expérimentaient les nouveaux programmes de physique élaborés par la Commission Lagarrigue : en particulier l'introduction du concept de masse en classe de seconde et la recherche d'une progression pour l'enseignement de la mécanique. La lecture d'un article de Frège intitulé *Sens et dénotation* m'a beaucoup aidé. J'en citerai quelques lignes pour commencer :

« ... il est naturel d'associer à un signe (nom, groupe de mots, caractères), outre ce qu'il désigne et qu'on pourrait appeler sa dénotation, ce que je voudrais appeler le sens du signe ».

« ... le lien régulier entre le signe, son sens et sa dénotation est tel qu'au signe correspond un sens déterminé et au sens une dénotation déterminée tandis qu'une seule dénotation (un seul objet) est susceptible de plus d'un signe ».

### I. — SENS ET DENOTATION

Il arrive souvent qu'une trop grande familiarité avec une pratique rende la réflexion sur cette pratique un peu difficile : la question du sens paraît incongrue et la notion d'évidence, jamais évoquée explicitement, commande pourtant la logique du discours.

C'est pourquoi je préfère commencer cette réflexion sur l'enseignement du concept de masse par quelques mots sur le concept du cheval.

Il y a plusieurs façons d'apprendre à quelqu'un ce qu'est un cheval.

La première consiste à trouver un cheval et à lui associer le signe linguistique correspondant qu'on prononcera distinctement ou qu'on écrira : « cheval ». Pour que cet enseignement soit profitable à l'enseigné, et en particulier pour qu'il puisse lui-même utiliser et transmettre cette connaissance sans ambiguïté, un certain nombre de précautions doivent être prises. Il faut expliquer comment on opère pour se trouver en présence d'un cheval et non d'un zèbre ou d'une vache. A la limite on peut construire une maison dont on diffuse largement l'adresse et à l'intérieur de laquelle on entretient à grands frais un cheval qu'on appelle : « cheval-étaion ».

Cet ensemble assez complexe constitue ce que le physicien appelle une définition opératoire. Le rapport ainsi créé entre le mot cheval et la réalité correspondante s'appelle désignation ou dénotation. La réalité cheval est la référence du mot cheval.

Une autre façon d'enseigner ce qu'est un cheval et de dire : « on appelle cheval un mammifère de l'ordre des ongulés, famille des équidés, caractérisé par l'allongement des membres et la possession d'un seul doigt à chaque patte, le deuxième et le quatrième doigt étant réduits à de courts styliets osseux ». (Petit Larousse).

C'est ce que fait le physicien lorsqu'il dit : « on appelle quantité de mouvement le produit de la masse par la vitesse ». On parle alors de définition conceptuelle. Le rapport qui lie le mot cheval au concept est appelé signification et le sens du mot (ou du concept) est le rapport qu'il entretient avec les autres mots (ou concepts) de la langue. Les linguistes trouveraient sans doute ce qui précède un peu schématique mais cela suffira pour notre réflexion sur l'enseignement du concept de masse.

### II. — UN PEU D'HISTOIRE

Il faut attendre la fin du XVII<sup>e</sup> siècle pour voir se dégager la notion de masse.

Descartes l'ignorait : pour lui la seule chose qui caractérise un corps c'est ce qu'il appelle sa grandeur ou « son extension ». En fait sa géométrie. Il est pourtant

passé fort près lorsqu'il écrit : « plus un corps contient de matière, plus il a d'inertie naturelle ». C'est finalement en rapport avec la notion de force (force de repos, force de mouvement) que s'est dégagée la notion de masse.

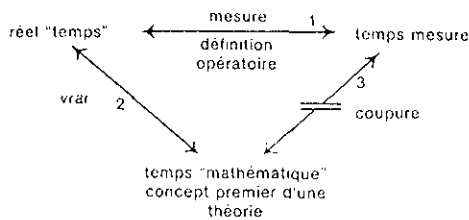
Dans son « Traité de la percussion ou choc des corps » en 1673, Mariotte souligne que ce n'est pas le poids, mais la quantité de matière d'un corps qui intervient dans la quantité de mouvement, et par suite dans le choc.

Newton, en 1686 pose pour la première fois les questions rencontrées par le physicien dans l'utilisation du modèle mathématique. Il demande qu'on distingue clairement l'absolu du relatif, le vrai de l'apparent, le mathématique du vulgaire. A propos du temps dans « Principia » il déclare :

« ...ainsi il faut bien distinguer le temps de ses mesures sensibles... Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur s'écoule uniformément de lui-même et du fait de sa propre nature... ».

Ce qui est dit ici du temps n'a rien d'une définition ni opératoire, ni conceptuelle. Pour Newton, le temps est un concept premier. Toute théorie comporte un certain nombre de concepts primitifs, non définis, à partir desquels d'autres concepts sont construits. L'ensemble des définitions et relations (lois) entre les concepts constitue la théorie comme représentation du réel et c'est la valeur de représentation de la théorie (sa pertinence) qui justifie a posteriori l'introduction de concepts premiers.

Pour mieux comprendre le point de vue de Newton, utilisons le schéma triangulaire ci-dessous. Ce qu'il revendique, outre la nécessité d'effectuer une coupure dans la relation 3, c'est d'affecter à la relation 2 la valeur de vérité de la représentation physique. Ce qui est vrai pour Newton c'est le rapport entre la réalité et le concept mathématique « temps » utilisé dans la construction théorique appelée la « mécanique ».



La parenté entre la relation 1 et ce que Gottlob Frège appelle la dénotation est assez évidente.

Ce que dit Newton, c'est que la relation 2 est la vraie relation de dénotation.

La relation de sens est ce qui à l'intérieur de la théorie relie le concept temps à tous les autres concepts de la mécanique.

La masse apparaît chez Newton sous le vocable « quantité de matière » et simultanément à la force dans la donnée de la relation :

$$\vec{F} = \frac{\Delta m \vec{V}}{\Delta t} = m \vec{\gamma} \quad (1)$$

Il ne semble pas que l'œuvre de Newton présente d'ambiguïté sur ce point : le concept de force dérive du concept de masse. Dans les récentes polémiques autour de travaux de la Commission Lagarrigue, il ne fait guère de doute que Newton aurait été un partisan de la « définition dynamique de la force ». Tout le XVIII<sup>e</sup> siècle a pourtant été marqué par ce débat entre « l'école de masse » et « l'école de la force ».

En 1736, Euler dérive la notion de masse de celle de force qui est empruntée à la statique.

En 1743, d'Alembert (« Traité de mécanique ») revient à la tradition newtonnienne : la force est une notion dérivée.

En 1788, Lagrange (« Mécanique analytique ») refuse de prendre parti entre Euler et d'Alembert. On peut dire que Lagrange travaille sur un modèle préexistant dont il pousse la formalisation sans s'intéresser à ce qui dans le modèle est un concept primitif et ce qui est concept dérivé.

Un siècle plus tard (1883) Ernst Mach pense avoir résolu la question en définissant les masses à partir des accélérations que deux corps se communiquent



Par définition  $m_1$  et  $m_2$  sont tels que :

$$m_1 \vec{\gamma}_1 = m_2 \vec{\gamma}_2$$

Une telle définition condense le troisième principe de Newton et la loi d'attraction.

Avant de revenir à l'élaboration du modèle de la mécanique classique par Newton, je voudrais citer une remarque du physicien Richard Feynman :

« ...Quelle est la signification des lois physiques de Newton, que nous avons écrites sous la forme  $\vec{F} = m\vec{\gamma}$  ?

« ... Nous pouvons intuitivement saisir la signification de la masse, et nous pouvons définir l'accélération si nous connaissons le sens des notions de position et de temps.

Nous ne discuterons pas ces notions et nous nous intéresserons au nouveau concept de force. La réponse est également simple : "si un corps accélère, une force agit donc sur lui". C'est ce que la loi de Newton dit... mais on ne peut considérer cela comme le contenu de la physique... La définition newtonienne énoncée ci-avant semble cependant être une définition très précise de la force, une définition qui plaît au mathématicien ; néanmoins, elle est complètement inutile, car rien ne peut être prédit à partir d'une définition. On peut passer sa journée assis dans un fauteuil et définir des mots à volonté, mais trouver ce qui se passe lorsque deux balles se poussent l'une l'autre, ou lorsqu'un poids est suspendu à un ressort est un tout autre problème car la manière dont les corps se comportent est quelque chose de tout à fait extérieur à tout choix de définition."

On pourrait caricaturer l'attitude de Feynman ainsi : ce qui intéresse le physicien c'est la signification physique (la dénotation). Tout ce qui est définition conceptuelle reste au niveau du sens (travail de mathématicien ou de logicien). Newton est un grand physicien, donc la relation  $\vec{F} = m\vec{\gamma}$  doit avoir une signification physique. La suite de l'article tente en effet de donner un contenu physique à cette relation.

Examinons la suite de la démarche de Newton telle qu'elle apparaît dans son œuvre. Kepler avait établi avec beaucoup de minutie les données cinématiques des mouvements des planètes du système solaire. L'accélération était une grandeur cinématique, Newton introduit la troisième loi de Kepler dans sa relation de définition de la force. Le résultat de cette opération donne une relation entre force, masses, distance, relation connue comme loi d'attraction universelle. C'est en fait la première loi de force

$$\vec{F} = k \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2} \vec{u} \quad (2)$$

De par la façon dont a été construite cette formule, le coefficient  $m$  qui y figure est évidemment le même que celui qui figure dans la relation  $\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$ . Mais les deux relations n'ont pas du tout le même statut épistémologique. Pour le logicien qu'était Newton la relation fondamentale de la dynamique avait de par son caractère axiomatique une rigueur que l'origine empirique de la seconde lui interdisait. En effet, les lois de Kepler se présentaient comme une synthèse des observations astronomiques réalisées jusqu'alors.

L'étude du contenu physique de la relation (2) est possible précisément parce que la relation (1) a été posée. C'est parce que la relation (1) donne à  $\vec{F}$  son

sens, que dans la relation (2)  $\vec{F}$  a une dénotation, une signification physique. C'est parce qu'on peut écrire :

$$m \cdot \vec{\gamma} = k \cdot \frac{mm'}{d^2} \vec{u}$$

et simplifier par  $m$  que l'on a une bonne représentation du fait que, dans le vide, tous les corps tombent de la même façon. C'est pour la même raison qu'on peut, comme l'a fait Newton « expliquer » le mouvement de la lune en disant, qu'au lieu d'aller tout droit, elle tombe à chaque instant vers la terre exactement comme la célèbre pomme.

On peut vouloir aller plus loin dans le sens de la rigueur du formalisme. On peut en particulier se demander s'il n'est pas possible de se passer du recours aux lois de Kepler. Peut-on conceptualiser directement le phénomène de l'attraction universelle ? Des considérations géométriques ou simplement logiques permettent de proposer une formule où figurent les coefficients de proportionnalité  $k$ , le vecteur  $\vec{u}$ , le terme en  $\frac{1}{d^2}$  et deux

coefficients caractéristiques des corps en présence  $m$  et  $m'$ . Lors d'une telle démarche l'identité des coefficients  $m$  dans les formules (1) et (2) ne va plus de soi. Il faut soit la poser et dire « dans la formule (2) les coefficients  $m$  représentent la quantité de matière qu'on a par ailleurs identifiée à un coefficient d'inertie », soit ne pas la poser et dire « la relation (2) définit un coefficient qu'on appelle masse de gravité ». Contrairement à ce que dit quelque part Einstein, Newton a eu conscience de ce problème. Il a réalisé de petits pendules sphériques creux à l'intérieur desquels il introduisait la même masse (de gravité) de corps aussi différents que le plomb, le mercure, le soufre et le bié. L'identité des périodes observées lui permit de conclure à l'identité des masses (inertes) introduites dans les sphères. A partir de là, il semble qu'il ait décidé de confondre délibérément coefficient d'inertie et coefficient de gravité dans le même concept.

### III. — SITUATION ACTUELLE

Après lui de nombreux physiciens n'ont pas fait ce choix ou n'ont pas cru pouvoir le faire sans de très soigneuses justifications expérimentales. Masse inerte et masse de gravité ayant fait l'objet de définitions distinctes tout ce que l'expérience peut espérer prouver, c'est la proportionnalité des mesures de ces deux grandeurs. Naturellement toutes les mesures ont confirmé cette proportionnalité, avec de plus en plus de chiffres significatifs. Mais sur cette voie, où s'arrêter ? L'objet de cette réflexion n'est pas de décrire ces expériences et leurs résultats, mais de se demander pourquoi elles ont été entreprises.

Pour mieux comprendre la nature du problème, opérons à nouveau un décalage. La force étant définie par ailleurs, on peut introduire la notion de charge électrique à partir de la loi de Coulomb : description d'une expérience, formulation de la loi comme exprimant et généralisant les résultats, puis adoption de la formule comme relation de définition de la charge électrique :

$$F = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{qq'}{d^2} \vec{u} \text{ qu'on peut écrire } \vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (3)$$

Le coefficient  $q$  est forcément le même dans ces deux formules. Par construction pour ainsi dire. Par contre lorsqu'on étudie le mouvement d'un corps électrisé dans un champ d'induction  $\vec{B}$  on est amené à écrire qu'il est soumis à une force :  $\vec{F} = q \cdot \vec{V} \wedge \vec{B}$ .

On pourrait se demander si ce coefficient  $q$  qui caractérise une charge électrique en mouvement est bien le même que celui qui caractérise une charge au repos,

c'est-à-dire celui qui figure dans  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ . Personne ne s'est posé ce genre de question et nous trouvons cela normal. Alors pourquoi trouvons-nous normal que la question ait été posée à propos de la masse ? D'autant plus que dans l'un et l'autre cas il est quelquefois répondu : oui mais la théorie de la relativité a montré qu'il s'agissait bien du même coefficient. Effectivement, si lors de la construction de notre modèle nous avons séparé les deux coefficients, la relativité nous montre qu'on doit les réunir et les confondre en un seul. Plus précisément,

pour la charge, elle dit que la force étant  $\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{V} \wedge \vec{B}$  ce qui dans un repère s'interprète en termes de champ électrique, s'interprétera dans un autre repère en termes d'induction magnétique, ce qui implique bien l'identité des  $q$  dans les deux termes de la somme. Pour la masse, Einstein décrit ce qui se passe à l'intérieur d'un astronef uniformément accéléré en terme de champ de pesanteur et pose que cette description est, en droit, équivalente à celle que ferait un observateur extérieur en termes de repère accéléré. Ce qui implique que le  $m$

qui figure dans  $m \cdot \vec{\gamma}$  est le même que celui qui figure dans  $m \cdot \vec{g}$ .

Mais tout ceci ne nous dit pas pourquoi les physiciens se sont posés à propos de la masse une question que leurs rapports à la nature ne leur posait pas et pourquoi ils ne se sont pas posés la question équivalente à propos de la charge.

On pourrait essayer de comprendre ce qui permet à Einstein de dire que sa façon de voir les choses

constitue un progrès par rapport à celle de Newton. Après tout l'un et l'autre disent la même chose : il n'y a qu'une sorte de masse. Reprenons la démarche de Newton :

- Principe  $\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$
- Injection de résultats empiriques dans la relation précédente ce qui aboutit à une loi empirique :  $\vec{F} = k \cdot \frac{mm'}{d^2} \vec{u}$
- Transformation de cette loi empirique en principe, ce qui pose la question de l'identité de  $m$  avec le  $m$  du premier principe
- Décision de confondre les deux masses pour des raisons d'expérience.

En face quelle est la démarche d'Einstein ? Il prend les deux formules de Newton comme des principes (donc en dehors de toute considération de résultats expérimentaux). Il effectue un raisonnement de type « expérience imaginaire » et en conclut que la distinction aboutit dans ce cas à une contradiction logique. C'est-à-dire qu'il décide de confondre les deux masses pour des raisons de logique interne au modèle.

Mais ce qu'il faut souligner, c'est que le caractère interprétatif du modèle est posé comme caractéristique essentielle du modèle : ce n'est pas une construction abstraite. Le modèle est tenu de rendre compte de la situation expérimentale, c'est-à-dire d'une situation où un observateur est en rapport avec une réalité objective. Le modèle ne fait abstraction ni de la réalité objective, ce qui serait très démodé, ni de l'existence de sujets construisant une représentation du monde et s'en servant pour communiquer entre eux, ce qui serait par contre très à la mode. Chacun sait que de nos jours la grande tare que peut présenter une théorie physique est d'impliquer l'existence de physiciens.

#### IV. — UN ARTEFACT

Arrivé à ce point on peut se demander si ce problème des deux masses n'a pas été exagérément grossi ou s'il n'est pas dépassé.

Nos contacts avec de nombreux professeurs de physique dans le cadre de l'I.R.E.S.P. de Grenoble montre qu'il n'en est rien et j'ai pu constater lors de discussions avec des collègues de l'Université, que l'idée de considérer le problème des deux masses comme un artefact rencontrait une forte résistance. Le prestige d'Einstein n'est sans doute pas étranger à cet état de fait.

Quelle est la nature de cet artefact ? Les physiciens ont tendance à considérer que ce genre d'avatar les guette moins que leurs collègues naturalistes ou psychologues. L'artefact étant considéré comme une réalité produite par les techniques utilisées pour l'observation de la nature, le physicien réduit généralement les causes possibles d'artefact aux techniques expérimentales utilisées, ce qui n'est pas le cas ici.

La proposition que j'avance est celle-ci : la distinction entre deux masses est un artefact lié au mode de construction du modèle (ou à son mode d'exposition). Pour ce qui intéresse la didactique : à son mode de transmission.

Le modèle de la mécanique classique est un ensemble de concepts articulés. Le sens d'un concept n'est pas réductible à sa définition : c'est l'ensemble des relations qu'il entretient avec la totalité des autres concepts. Ainsi le sens du mot « force » s'enrichit lorsqu'on introduit les concepts de travail et d'impulsion par rapport à ce qu'il est dans la seule relation  $F = m \cdot \gamma$ . De même un concept primitif n'est pas dépourvu de sens.

La difficulté réside dans le fait que le modèle constitué est une totalité synchronique. De nos jours, l'enseignant physicien rencontre la mécanique classique comme un objet théorique éprouvé à l'intérieur duquel le caractère diachronique qui a présidé à l'élaboration des concepts a disparu. Il n'y a plus de place pour la notion d'antériorité d'un concept par rapport à un autre, dans l'épreuve du modèle par rapport à la référence réelle, dans l'expérimentation de l'outil théorique. Par contre, tout discours didactique qui expose le modèle est un processus temporel : on « dira » la force après ou avant la masse mais pas en même temps.

Certes, on ne peut pas échapper à la logique du discours mais on omet généralement de pointer le caractère synchronique du modèle. Bien au contraire on jette l'anathème sur « les définitions qui se mordent la queue ». Cela provient, je crois de la difficulté qu'il y a à admettre que tout exposé discursif implique au départ l'utilisation de concepts

- soit non définis et posés comme tels,
- soit empruntés à une autre théorie, ou à un modèle préalable qu'on veut perfectionner (à une représentation « vulgaire » par exemple),
- soit désignés par une procédure opératoire, c'est-à-dire « montrés du doigt ».

Je ne pense pas qu'aucune de ces possibilités soit à exclure pour des raisons d'ordre épistémologique. Mais je crois que notre enseignement ne pourrait que profiter

d'une élucidation de nos conduites à ce niveau, élucidation pour nous-mêmes, mais aussi pour nos élèves. Dire à nos élèves ce que nous sommes en train de faire : en ce moment je fais référence à ..., en ce moment je pose une définition, en ce moment je fais fonctionner le modèle selon ses règles propres (sa grammaire), ...

Cela obligerait sans doute à renoncer à l'idée séduisante que, ce qui est dans le discours du physicien, c'est le réel. Dans un discours rien d'autre ne peut figurer qu'une représentation du réel. Pourquoi éprouvons-nous le besoin de dénier ce caractère de représentation ?

## V. --- LA MECANIQUE EN CLASSE DE SECONDE

Lors de notre travail à l'I.R.E.S.P. avec les professeurs chargés d'expérimenter les nouveaux programmes, de nombreuses discussions ont tourné autour de ces points, en particulier lors de la recherche d'une « progression ». Dans quel ordre exposer aux élèves les éléments de mécanique en classe de seconde ?

Voici la pratique la plus courante qui semble avoir été adoptée après concertation :

- le temps n'est pas défini ;
- l'espace n'est pas défini. Le déplacement est représenté par un vecteur (libre, ajoute le physicien !). C'est un concept emprunté au modèle mathématique dit structure algébrique d'espace vectoriel à trois dimensions. C'est donc dans la mécanique un concept premier, largement illustré (montré du doigt) ;
- vitesse et accélération sont définies à partir des précédents et largement illustrées. La vitesse n'est ni moyenne, ni instantanée. Le concept est

$$V = \frac{\vec{D}}{t}$$
 et sa référence physique est examinée sur des graphiques de table à coussin d'air ou tout autre néoncinégraphie ;

- la masse est introduite à partir de l'étude de chocs ou à partir de la recherche du centre d'inertie de deux mobiles accolés. Donc :

$$\text{soit par } m_1 \cdot \vec{\Delta V}_1 + m_2 \cdot \vec{\Delta V}_2 = 0$$

$$\text{soit par } m_1 \cdot \vec{GG}_1 + m_2 \cdot \vec{GG}_2 = 0$$

Elle n'est pas définie. Son introduction est suggérée par l'expérience : il est possible de définir un processus opératoire donnant, à un facteur multiplicatif près, un certain coefficient caractéristique du solide considéré. Le moment où on

décide de l'introduire comme troisième concept primitif dans la construction du modèle n'est pas toujours pointé clairement ;

- la force était définie à partir de la notion d'interaction

$$\text{par : } \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} ;$$

- la loi de Newton présentée comme premier exemple d'une loi de force permettait d'interpréter la pesanteur et de définir la constante de gravitation. Le kilo de sucre mangé par un cosmonaute sur la lune permettait de bien ancrer l'idée que toutes ces masses dénotent bien la même réalité que la notion courante de quantité de matière.

On sait que depuis des interdits sont tombés : la « définition dynamique » de la force serait une hérésie, parce que « non-physique ».

## VI. — QU'EST-CE QUI EST « PHYSIQUE » ET QU'EST-CE QUI NE L'EST PAS ?

J'ai peut-être donné l'impression que pour moi, la relation fondamentale de la dynamique  $\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$  était une définition, forcément, et la loi de l'attraction une « loi physique ». En réalité, je pense que toute relation formalisée qui a été suggérée par l'expérience ou l'observation peut être érigée en principe ou en définition. Si toutes les définitions sont du type « opératoire », toutes les relations entre concepts sont des lois physiques. A la limite on peut concevoir une définition opératoire de la vitesse et monter des manipulations montrant que  $\vec{V}$  est bien le rapport du déplacement sur le temps. Aura-t-on pour autant vérifié une « loi physique » ?

Si je confère à  $\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$  un statut de définition, je peux présenter  $\vec{F} = k \cdot \frac{mm'}{d^2} \vec{u}$  comme une loi physique.

Mais je peux aussi faire l'inverse. Si j'érige les deux relations en principe et m'en sers pour définir l'une des quantités qui y figurent, alors je suis amené, un jour ou l'autre, à introduire l'identité de la masse inerte et de la masse pesante comme une loi physique.

Dans le numéro 400 du B.U.P. un article intitulé « Force, Masse, Inertie » résume assez bien une opinion qui me paraît encore très répandue de nos jours. Après avoir rappelé les expériences de Galilée, Newton, Bessel et Eotvos montrant la proportionnalité de la masse inerte et de la masse de gravitation, l'auteur déplore que le

choix d'unités impliquant un coefficient de proportionnalité égal à un, ait eu pour résultat l'identification des deux sortes de masse :

« ...cette simplification du formalisme a eu de graves conséquences du point de vue de l'exactitude physique. Elle a conduit souvent, notamment dans l'enseignement secondaire, à effacer sous leur égalité numérique la différence qualitative entre la masse gravitationnelle et l'inertie, et par conséquent à effacer la relation entre ces grandeurs, bien qu'il s'agisse d'une loi physique de grande importance. Rappelons que cette loi forme la clé de voûte de la théorie einsteinienne de la gravitation. »

Nous avons vu qu'il n'en était rien, mais c'est effectivement une croyance très répandue chez les physiciens.

A mon avis ce qui est « physique » dans la démarche du physicien c'est qu'il exige une adéquation globale du modèle au réel. Ce n'est pas tel moment de l'élaboration plutôt que tel autre. Le moment du sens, de la définition, n'est pas moins physique que celui de l'épreuve à la référence, que celui de l'expérimentation. Ceci est particulièrement évident pour le temps. L'existence de la grandeur physique « temps » est attestée par la réussite de la mécanique classique plus que par les définitions opératoires de la grandeur temps dont Aristote signalait déjà qu'elles permettaient seulement de définir le temps par le mouvement et le mouvement par le temps. Pourtant dans la mécanique classique, le temps est un concept primitif, donc non défini et qui intervient essentiellement

par le biais des opérateurs de dérivation  $\frac{d}{dt}$ .

## VII. — EN CONCLUSION

La question que j'aurais voulu poser à travers cette réflexion sur le concept de masse est celle-ci : le discours scientifique, parce qu'il se veut objectif, doit-il se présenter comme un discours anonyme, un discours qui parle tout seul, un discours sans sujet ?

Si pour le scientifique la contrainte du réel a valeur d'absolu, il n'en reste pas moins que dans l'investigation et la représentation de ce réel, il opère constamment des choix.

L'histoire des sciences montre que si tous ces choix ne sont pas également heureux, il y a souvent plusieurs choix possibles à un moment donné. Il en va de même dans le développement de la connaissance chez l'enfant.

La didactique ne peut faire l'économie de la dimension intersubjective. Comment l'enseigné pourrait-il s'approprier le discours scientifique si celui qui le tient,



l'enseignant, prétendait ne pas s'impliquer dans ce qu'il dit ? Qui dit choix, dit alternative. Je pense que l'examen des différents termes de l'alternative et l'exposé des raisons pour lesquelles celui qui parle adopte tel modèle plutôt que tel autre ne peut que faciliter l'acquisition des connaissances. Cela veut dire qu'on ne tait pas le moment de la liberté et qu'on abandonne le discours totalitaire qui veut qu'il n'y ait qu'une vérité préexistant de toute éternité et que le maître en soit le dépositaire indiscuté. On ne peut pas, sous prétexte d'objectivité, prétendre n'avoir pas de responsabilité dans le discours qu'on tient tout au long d'une carrière.

Jacques HEURTAUX,  
Université scientifique  
et médicale de Grenoble.

#### Références

- Koyre (A.). — Etudes newtoniennes (Gallimard). — Etudes d'histoire de la pensée scientifique (Gallimard). — La révolution astronomique (Hermann). — Etudes galiléennes (Hermann).
- Einstein (A.). — Quatre conférences sur la théorie de la relativité (Gauthiers-Villars).
- Einstein (A.) et Infeld (L.). — L'évolution des idées en physique (Payot).
- Russel (B.). — Signification et vérité (Flammarion).
- Gamow (G.). — La gravitation (Payot).
- Taton (R.). — Histoire générale des sciences (P.U.F.).
- Frège (G.). — Ecrits logiques et philosophiques (Seuil).

## UNE UTILISATION DES GRAPHES POUR L'ETUDE DES RAISONNEMENTS A PARTIR DE TRAVAUX ECRITS

Nous nous proposons de développer des moyens pour l'étude des structures du raisonnement de l'élève en mathématique. Nous nous intéressons plus particulièrement aux élèves du second cycle du second degré et aux étudiants de l'Université. L'apprentissage des mathématiques, à ces niveaux consiste pour une bonne part à développer chez l'élève la pensée formelle. Nous pensons que, dans ce cadre, l'étude du raisonnement doit être faite à partir de sa formulation dans un langage, exprimé oralement ou par écrit. Il peut s'agir de copies dans lesquelles ces élèves expliquent leurs raisonnements, ou de brouillons sur lesquels sont effectuées des recherches.

Les problèmes proposés sont ceux que l'élève est susceptible de rencontrer dans le cadre de la classe de mathématiques et nous nous limitons aux cas où il est demandé de parvenir à une conclusion à partir d'une famille d'énoncés donnée.

L'objet de cette intervention est d'exposer le cadre méthodologique de notre observation.

Notre méthode a pour origine une constatation assez élémentaire et qui a déjà eu des retombées pédagogiques importantes dans certains pays : dans la rédaction du

raisonnement, les énoncés se présentent dans un ordre linéaire qui est celui de la succession des phrases, cela rend mal compte de la structure véritable de la démonstration, en effet l'antécédent d'un énoncé n'est pas nécessairement celui qui le précède dans le texte. La structure la plus adaptée à la description d'une démonstration est la structure de graphe orienté : c'est-à-dire un ensemble fini de points (les sommets), deux sommets pouvant être reliés entre eux par un trait fléché (arc). Cette représentation est utilisée, par exemple en Pologne, comme outil pédagogique et nous pensons qu'il est possible d'aller beaucoup plus loin. En effet les graphes sont un objet d'étude pour la mathématique et l'informatique, et la meilleure utilisation de leurs propriétés doit permettre de construire des outils pour une étude des raisonnements qu'ils peuvent représenter.

Un graphe est défini d'une part par la donnée de ses sommets, d'autre part par la donnée des liaisons. Deux graphes peuvent avoir des ensembles de sommets égaux et être différents par les liaisons. Aussi nous avons développé deux plans d'étude :

1. — Le champ de démonstration, nous appelons ainsi l'ensemble des énoncés mis en œuvre dans une démonstration ou des démonstrations d'un même problème.

2. — Le graphe de démonstration.

Nous pouvons traduire les données et la conclusion d'un problème du type de ceux que nous retenons ici, dans le langage des prédicats et établir, dans le cadre de la logique, des démonstrations que nous appelons démonstrations de référence. Le champ de résolution qui leur est associé est appelé champ de référence et le graphe est appelé graphe de référence (ou R-graphe).

Nous étudions la démarche de raisonnement des élèves par rapport aux démonstrations de référence en comparant les graphes et les champs respectifs. Ceci est préférable à une analyse des travaux d'élèves à la lumière des seules démonstrations que l'observateur peut envisager, outre qu'une telle démarche est trop liée à l'introspection, elle conduit à envisager un éventail de possibilité plus étroit que celui que l'on peut mettre en évidence par l'utilisation systématique et combinatoire des règles de déduction logique (démonstration automatique).

Nous illustrons dans la suite cette approche de l'étude de raisonnements avec une observation faite à l'Université de Grenoble sur 37 élèves de première année (DEUG A) et 38 élèves de troisième année (licence d'enseignement). Le problème posé est le suivant :

Soit  $G$  un ensemble non vide sur lequel on définit une loi de composition interne notée multiplicativement, qui a les propriétés suivantes :

— C'est une loi associative.

— Quels que soient  $a \in G$  et  $b \in G$  il existe  $x \in G$  tel que  $ax = b$  et il existe  $x' \in G$  tel que  $x'a = b$ .

Démontrer que  $G$  possède pour cette loi un élément neutre à droite.

La forme de cet énoncé est celle que les étudiants ont l'habitude de rencontrer, et ils ont disposé d'une demi-heure pour proposer une solution. Ce problème est bien de la classe décrite plus haut, sous une forme plus formalisée il s'agit d'obtenir l'énoncé  $\exists e \forall x xe = x$  à partir de la famille des énoncés  $\forall a \forall b \forall c (ab)c = a(bc)$ ,  $\forall a \forall b \exists x ax = b$ ,  $\forall a \forall b \exists x = xa = b$ , où  $a, b, c, x, e$  sont des éléments d'un ensemble non vide  $G$ .

Une première lecture des copies n'ayant fait apparaître aucune démonstration par l'absurde, nous n'avons considéré aucune démonstration de référence de ce type. Nous avons mis en évidence un ensemble de 16 démonstrations de référence, mettant en œuvre 24 énoncés qui constituent le champ de référence.

## I. — LE CHAMP DE DEMONSTRATION

Nous menons l'étude du champ de démonstration sur trois plans :

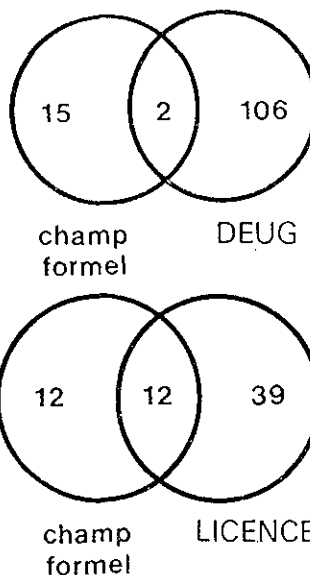
- 1 - La situation relative du champ de démonstration et du champ de référence comme ensembles.
- 2 - Pour chaque individu, les liens entre les énoncés qu'il manipule et le champ de référence.
- 3 - La composition du champ de démonstration.

Nous allons examiner ces trois plans en prenant comme illustration les travaux des élèves du Deug et de la Licence.

1 — Le champ de référence et le champ de démonstration d'un échantillon donné sont deux ensembles. Ils peuvent donc être disjoints, non disjoints, il peut aussi exister entre eux des relations d'inclusion. Lorsque l'intersection de ces deux ensembles est non vide on peut encore en apprécier l'importance en comptant le nombre de ses éléments. Les interprétations que l'on pourra faire sont essentiellement fonction de la constitution du champ de référence.

Exemple :

Dans le cas de notre exemple, par construction même du champ de référence, on attend que les champs de démonstration y soient inclus. Les deux diagrammes ci-contre montrent la situation pour les deux échantillons.

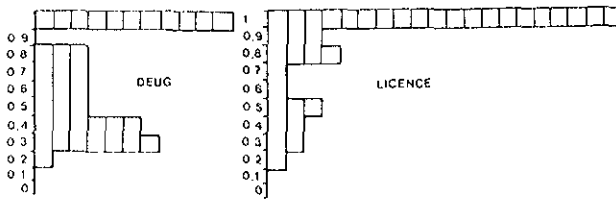


Le champ de démonstration de l'échantillon Deug A est notablement plus vaste que celui de l'échantillon Licence et en tout cas que le champ de référence. Ceci est un premier indice pour penser que pour ce problème, soit les élèves du Deug ont cherché un peu dans toutes les directions, soit ils ont poursuivi des calculs assez longs. Cependant le champ de démonstration Licence quoique plus petit reste très distinct du champ de référence puisque seulement 23 % de ses éléments sont dans l'intersection.

2 — Nous appellerons indice de correction d'une démonstration, le rapport du nombre d'énoncés qu'on y relève et qui appartiennent au champ de référence, au nombre total d'énoncés qu'elle met en œuvre. L'étude que nous avons faite ci-dessus donne une image globale au niveau d'un champ de démonstration, des rapports avec le champ de référence. Le but de l'indice de correction est de mesurer ce rapport pour chaque démonstration. Deux indices de correction de même valeur n'ont pas la même signification suivant le nombre d'énoncés mis en œuvre dans les démonstrations auxquelles ils se rapportent. Si on appelle  $I_1$  cet indice et  $N$  le nombre d'énoncés mis en œuvre dans une démonstration, nous étudierons pour chaque échantillon le nuage des points  $(N, I_1)$ .

Exemple :

Les diagrammes ci-dessous montrent comment évolue l'indice de correction pour les démonstrations de nos deux échantillons.

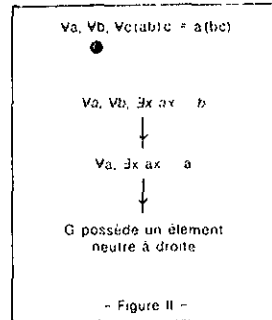
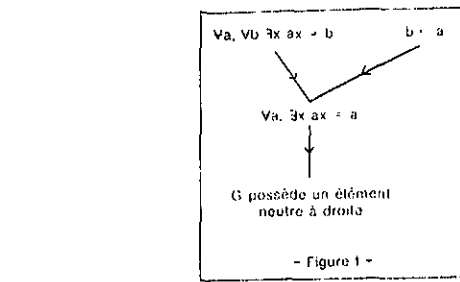
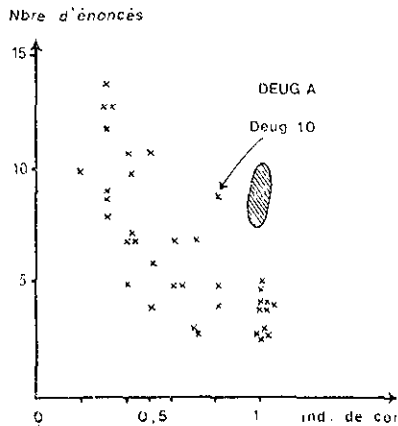


Ces deux diagrammes mettent en évidence des pics importants pour la valeur 1.

Pour le Deug, ceci est assez étonnant étant donné ce que nous avons mis en évidence au paragraphe précédent. En fait les démonstrations qui correspondent à cet indice mettent en œuvre peu d'énoncés, 3 ou 4, et mis à part l'une d'entre elles qui n'est que l'énumération des données, ce sont des démonstrations du type de celles illustrées par les figures I et II. De même pour 12 des démonstrations de Licence qui ont pour indice 1. Nous observons en passant de l'échantillon Deug à l'échantillon Licence un net déplacement vers 1 : l'indice moyen passe de 0,63 à 0,81.

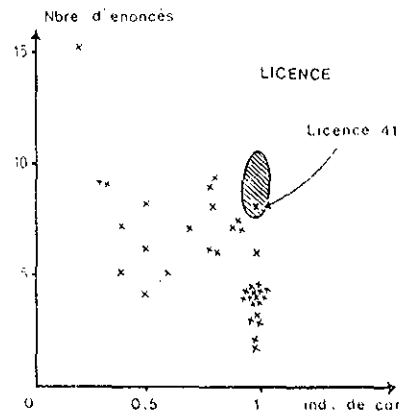
Il était attendu des élèves qu'ils fournissent une des démonstrations de référence. Ceci nous conduit à mettre en évidence sur le graphe des couples  $(N, I_1)$  une zone cible correspondant à ces démonstrations. Leur indice est 1, elles mettent en œuvre de 8 à 10 énoncés. Ceci correspond aux zones hachurées sur les dessins ci-après.

Le nuage associé au Deug est beaucoup plus vaste que celui associé à la Licence. Pour le Deug, plus le nombre d'énoncés augmente dans une démonstration, plus  $I_1$  diminue, et on s'éloigne de la zone cible. Pour la Licence, ceci est moins général. Le nombre d'énoncés par copies dépasse rarement ce que l'on attendait (dizaine d'énoncés) et le nuage tend à se resserrer autour du point  $(4, 1)$  s'accroît. Ce point correspond essentiellement à des démonstrations du type de celle de la figure I.



3 — Dans le champ de démonstration, on distinguera plusieurs types d'énoncés :

- (1) Les données, ce sont des énoncés fournis par l'énoncé ou son analyse.
- (2) Les connaissances, ce sont des énoncés que l'élève puise dans ses connaissances ou des documents.
- (3) Les hypothèses, ce sont des énoncés que l'élève affirme être vrais sans qu'ils soient issus d'une déduction, de l'énoncé, des connaissances.
- (4) Les productions, ce sont les énoncés produits au cours de la résolution.



Les analyses décrites en (1) et (2) donnent une information sur le champ de démonstration relativement au champ formel. L'étude de la composition du champ de démonstration suivant les différents types d'énoncés donne une image du comportement des élèves ; présence ou absence de certains types, types dominants, évolution de l'importance des différents types.

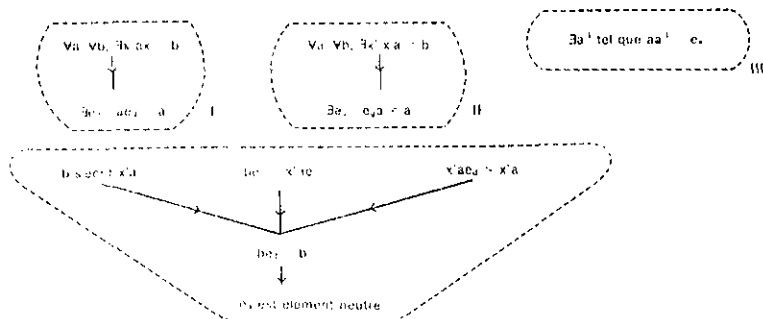
Exemple :

On trouve dans 19 % des copies de l'échantillon Deug des énoncés du type 2, de même dans 5 % des copies de l'échantillon Licence. En fait cela représente très peu d'énoncés au niveau des champs de démonstration, moins de 2 % pour chacun des échantillons. Les énoncés du type 4 sont nettement dominants. On confirme ainsi deux tendances déjà notées chez les élèves du Deug, d'une part chercher des modèles ou des arguments dans leurs connaissances qui leur permettent de parvenir à la solution, ou se laisser porter par les calculs (copies mettant en jeu un grand nombre d'énoncés et dont l'indice de correction est faible). Nous donnons ci-dessous deux exemples illustrant ces tendances :

« On a  $a \cdot x = b \Rightarrow a = bx^{-1}$  où  $x^{-1}$  est l'inverse de  $x$ . On multiplie chaque membre par  $x$  alors  $ax = bx^{-1} \cdot x$ ,  $(xx^{-1}) = 1$  parce que la loi est multiplicative.  $ax = b$  (1) donc 1 est l'élément neutre à droite. »

— Deug A 32 —

« Nous pouvons supposer  $a = b$ , nous avons alors  $ax = a$ ,  $ax = a \Leftrightarrow bax = ba \Leftrightarrow baxx = bax$  or  $ax = a$  donc  $baxx = ba$ , nous avons  $bax = ba$  et  $ba(xx) = ba$  donc  $xx = x$  donc  $x = xx$  est élément neutre à droite



Ce graphe ne présente pas de circuit, mais par contre quatre morceaux ou composantes connexes que nous avons entourés d'un pointillé sur le dessin. Les composantes II, III correspondent à des voies que l'élève

et  $bax^n = ba$ , l'élément neutre à droite est tel que pour tout  $N \in N$   $x^n = x$ . »

— Deug A 18 —

## II. — LES GRAPHES DE DEMONSTRATION

Certaines particularités des démonstrations proposées par les élèves, certaines particularités des rédactions, se traduisent par des propriétés particulières des graphes qui les représentent. Le fait qu'un élève pour établir un résultat R utilise ce résultat dans sa démonstration se traduit dans le graphe par un circuit. Des justifications omises dans la rédaction peuvent conduire à un graphe non connexe, c'est-à-dire qui n'est pas d'un seul tenant.

Sur le graphe on reconnaît les énoncés des trois premiers types ; ce sont des sommets sources, c'est-à-dire auxquels n'arrive aucune flèche.

Lorsque le problème posé consiste à établir un énoncé, que nous appelons solution, à partir d'une famille d'énoncés donnée, nous avons montré qu'à la démonstration au sens de la logique naturelle est associée une hiérarchie connexe à un seul puits.

Hiérarchie : graphe orienté sans circuit.

Connexe : graphe d'un seul tenant.

Puits : sommet d'un graphe orienté dont ne part aucune flèche.

Ceci est-il encore vrai pour les démonstrations proposées par les élèves ?

Voici l'exemple d'un graphe associé à la démonstration faite par un élève de Licence (Licence 1).

a abandonnées. Les composantes I, IV ont pour origine l'omission par l'élève de certaines justifications.

Voici les résultats que nous avons obtenus pour les deux échantillons.

Graphes présentant des circuits :

Deug A : 13,5 %      Licence : 0 %

Graphes non connexes :

Deug A : 35,1 %      Licence : 42 %

Hiérarchies connexes à un seul puits :

Deug A : 40,5 %      Licence : 57,8 %

Il y a une disparition complète des graphes avec circuits en passant du Deug à la Licence, par contre nous relevons une certaine stabilité de la proportion de graphes non connexes. Cette non connectivité est due dans la plupart des cas à des absences de justification et non à la subsistance au niveau de la rédaction de différentes directions de recherche.

Outre l'étude de la structure des démonstrations, les graphes nous permettent une comparaison entre ces démonstrations et des démonstrations références. Nous appellerons R-Graphe le graphe d'une démonstration référence. Etant donné le graphe G associé à la démonstration d'un élève, et R un R-Graphe on obtient un nouveau graphe S de la façon suivante :

— Les sommets de S sont les sommets de R représentant d'énoncés à la fois dans la démonstration de l'élève et dans la démonstration référence.

— Deux sommets de S sont reliés si les sommets de même nom dans R sont reliés et ils le sont dans le même sens.

Il découle de la comparaison entre ces graphes que si S et G sont identiques, cela signifie que la démonstration est identique dans sa forme à une partie de la démonstration de référence; un cas particulièrement intéressant est celui où en plus S et R sont identiques.

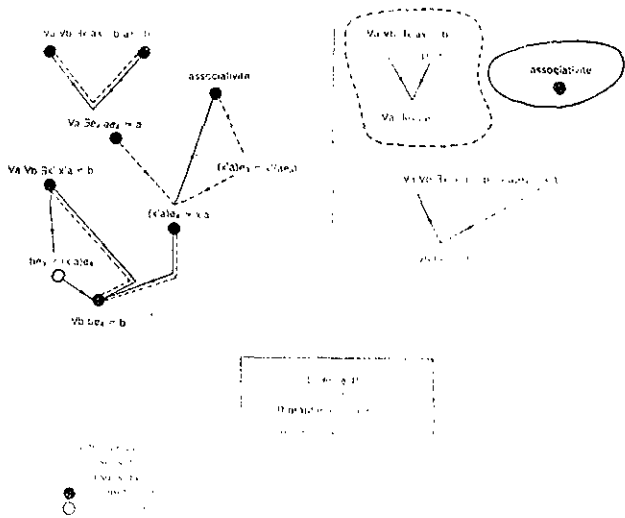
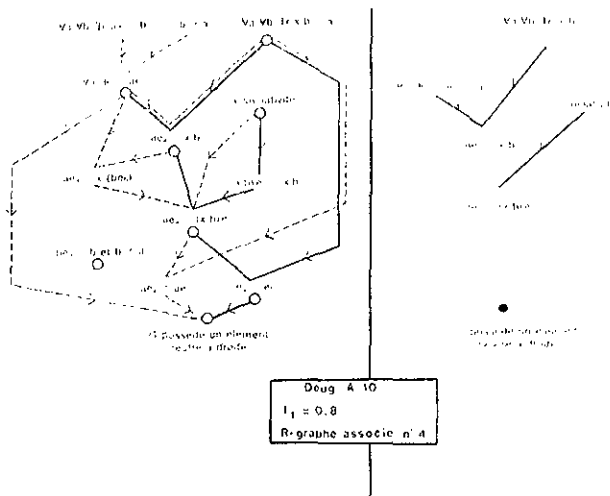
Le fait que S et G aient les mêmes sommets ne signifie pas que ces deux graphes soient identiques, les liaisons peuvent être différentes. En particulier l'examen de la connectivité de S est un indice sur le comportement de l'élève; si G est connexe et S ne l'est pas, cela correspond en général au court-circuit d'un certain nombre d'étapes de la démonstration.

Le choix du R-graphe à associer au graphe G de la démonstration d'un élève est fait de la façon suivante : parmi les R-graphes qui permettent d'associer à G un graphe S le plus grand possible (par le nombre des sommets), nous retenons les plus petits (par le nombre des sommets). Nous retenons enfin celui pour lequel S est le plus près possible de G au sens des relations.

Exemple :

Nous donnons ci-dessous deux exemples, l'un pris dans l'échantillon Deug et l'autre dans l'échantillon Li-

cence. Pour chacun on trouve sur un même dessin le R-graphe associé et G, sur le dessin voisin on trouve S.



Pour le premier exemple  $I_1 = 0,8$ , on ne peut donc pas s'attendre à ce que S et G soient identiques. La comparaison du graphe R et du graphe G montre que l'élève n'était pas « loin » d'une démonstration correcte, il en a été écarté par la confusion entre la loi qui est

définie dans l'énoncé et la multiplication des réels (par exemple) dont il utilise la propriété de régularité par rapport à l'égalité. Cette confusion due à l'expression « notée multiplicativement » est à l'origine de nombreuses difficultés chez ces élèves. C'est une des raisons pour lesquels le champ de démonstration pour l'échantillon Deug est si différent du champ de référence.

Pour le second exemple  $I_1 = 1$ , il y a une différence de démarche importante entre la démonstration de référence et celle de l'élève. L'énoncé  $be_a = (x'a) e_a$  n'est pas issu d'une inférence logique, mais est construite à partir de l'hypothèse  $\forall a \forall b \exists x' x'a = b$ , en faisant opérer à droite  $e_a$  pour les deux membres de l'égalité. Dans le graphe S les composantes connexes I et II viennent respectivement d'une déduction omise et d'un court-circuit d'un chemin dans R. Cette dernière se rencontre souvent, les élèves signalent éventuellement l'utilisation de l'associativité mais ne détaillent pas le calcul.

### III. — CONCLUSION

Nous pensons que cette approche de l'étude des raisonnements permet une meilleure approche de la démarche des élèves et de ses liens avec la logique mathématique. L'utilisation des graphes met en évidence des caractères mesurables dont nous avons donné quelques exemples. L'évolution de ces caractères au travers de classes d'âges, ou de niveaux d'étude, indique des modifications des modes de raisonnement ou des compétences. L'étude faite dans l'enseignement supérieur laisse penser que des recherches analogues dans le deuxième cycle du second degré, où se fait essentiellement l'apprentissage du raisonnement, doit permettre de cerner les difficultés rencontrées par les élèves et la façon dont ils évoluent.

Nicolas BALACHEFF,  
USMG - IMAG.  
Grenoble - mai 1977.

## DISCUSSION GENERALE

André Kahane pose la question de la transposition dans la vie sociale et affective de l'enfant de la notion d'invariant ainsi que celle de rupture d'invariant (divorce, déménagement, remplacement du maître...). Cela a-t-il été étudié ? De même les règles d'action de la vie quotidienne méritent d'être étudiées et mises en rapport avec celles de la vie scolaire. Elles sont très différentes selon la situation sociale des enfants et même selon le lieu où ils habitent.

Guy Brousseau estime que l'étude devrait être développée sur les conditions dans lesquelles s'établissent invariants et calculs relationnels car le didacticien peut agir sur ces conditions prises comme « variables informationnelles ». Il ne suffit pas de savoir comment est articulée l'action, il faut aussi connaître dans quelles conditions elle apparaît comme meilleure qu'une autre. L'exposé d'aujourd'hui ne semble pas franchir le champ du fonctionnement des connaissances et demeure en dehors du champ de la didactique.

Gérard Vergnaud est d'accord que ces variables informationnelles sont importantes et doivent être étudiées. La variable « développementale » n'en est pas

moins décisive en ce sens qu'elle fait apparaître des joies de développement nécessaires dans l'appropriation des connaissances. Le rapport essaie de dégager une problématique utile au psychologue et au didacticien. Il ne définit pas la didactique.

Bärbel Inhelder se demande s'il n'y a pas de divergence, malgré son accord profond avec l'essentiel du rapport, sur la notion d'appropriation. Pourquoi la substituer à celle de construction, surtout pour les mathématiques.

Gérard Vergnaud répond que selon lui, l'enfant peut procéder à la fois par construction et appropriation pour toutes les connaissances, y compris mathématiques. *Le monde qui entoure l'enfant et l'écolier est un monde de connaissances formées, véhiculées par de nombreux moyens.* Le problème de l'appropriation se pose inévitablement.

Claudie Deman estime qu'il y a une certaine ambiguïté sur ce que représente « le sujet en situation ». En situation expérimentale ? en situation scolaire ? en situation sociale avec des adultes ? Le rapport s'intéresse au sujet épistémique, non pas à l'élève. Vous oubliez le mécanisme des interactions entre enfants avec les confrontations, les exigences de cohérence qu'elles induisent.

Gérard Vergnaud est d'accord sur la question des interactions mais estime qu'il ne faut pas opposer les points de vue : du point de vue cognitif, les catégories de réponses des enfants en situation de solution de problème, que cette situation soit individuelle ou collective, sont les mêmes, ce qui ne signifie pas que les problèmes didactiques en situation de classe se réduisent à celui des capacités cognitives du sujet.

Paolo Guidoni se demande si la notion d'« obstacle épistémologique » ne recouvre pas trop de choses en confondant l'obstacle historique et l'obstacle au développement de la connaissance chez l'individu. Si vous vous référez à la position de Bachelard, alors il faut retenir que les obstacles (dynamisme, substantialisme...) sont aussi des points d'appui pour le développement de la connaissance. La substantialisation de la conservation chez Aristote, c'est à la fois un obstacle et un pas important.

Gérard Vergnaud exprime son accord et se refuse à identifier obstacle didactique et obstacle épistémologique au sens de l'histoire des sciences. L'élève qui apprend ne reproduit pas purement et simplement l'histoire, mais il y a des rapprochements intéressants. En outre, il faut distinguer obstacle didactique et simple difficulté, et n'utiliser la première expression que pour des difficultés conceptuelles profondes, d'un niveau comparable à celles recouvertes par la notion d'obstacle historique. Il faut éviter l'inflation de la terminologie.



Odette Bassis explique alors quel sens le Groupe Français d'Éducation Nouvelle donne au terme de construction du savoir, la construction relevant aussi bien de la vie dans l'école que de la vie hors de l'école. Il faut que les enseignants sachent créer les conditions pour que l'élève agisse et construise les invariants d'un domaine donné. La notion de conduite opératoire n'est pas claire pour tous, en particulier pour les enseignants. La double interaction avec l'objet et avec les autres enfants est nécessaire. Les échanges sont d'ailleurs des échanges avec les conduites opératoires des autres. D'autre part la notion d'homomorphisme pose de sérieux problèmes. L'homomorphisme est tout entier à l'intérieur de l'ordre symbolique puisque la seule façon de parler du réel, c'est la représentation. Alors parler de l'homomorphisme réel-représentation ? Sans doute le savoir est-il une ramification du réel dans l'ordre symbolique, mais réduire cette ramification à un homomorphisme pose des problèmes.

Francis Halbwachs répond qu'on peut parler d'homomorphisme quand le sujet transforme l'objet, quand avec ses mains, ses outils, il en change l'état et les caractéristiques. En effet, les actions du sujet se composent, dessinent une structure qui peut être mise en relation avec celle de la représentation. C'est le rapport entre pratique et théorie.

Charles Roumieu souligne et approuve la prudence du rapport sur le parallélisme avec l'histoire des sciences. Il n'en reste pas moins qu'actuellement, l'enseignement des mathématiques ignore trop la construction historique, comme la construction génétique d'ailleurs. Pour l'exemple de la géométrie donné dans le rapport, Roumieu se déclare en désaccord : si l'on ne faisait pas partir d'Euclide le début de la géométrie, si l'on connaissait la préhistoire de la géométrie, alors l'euclidien ne viendrait-il pas après le projectif et le topologique, dans la préhistoire comme dans le développement de l'enfant ?

André Rouchier reprend l'interrogation de Brousseau : existe-t-il un champ scientifique de la didactique ? S'agit-il d'une science de la prescription, ou de la description ? La psychologie n'apporte pas réponse à tout. Qui sont les producteurs dans ce champ ? Qui sont les utilisateurs ? A quel carrefour se trouve la didactique, qui emprunte à l'histoire et à l'épistémologie ? Le rapport situe bien certaines questions envoyées à la psychologie par la didactique, elle ne situe pas toutes les questions, notamment pas les questions envoyées vers l'histoire comme celles posées par Brousseau à propos de l'enseignement des rationnels et des décimaux.

Goéry Delacote soulève le problème du langage. En principe, la physique est définie en termes opératoires, et de façon relativement précise par rapport à des actions et à des mesures. Mais ce qui n'est pas ambigu pour

le maître est souvent ambigu pour l'élève. Le sens des mots est glissant. Le maître et l'élève ne font pas référence au même ensemble d'expériences. Cela est très important pour la didactique. Le sens des mots n'est pas univoque, cela est une richesse du langage mais aussi un handicap.

Gérard Vergnaud estime que ce qui vient d'être dit par G. Delacote justifie pleinement la distinction signifié/signifiant. En outre ce qui est vrai des mots du langage naturel est vrai de tous les systèmes symboliques (schémas, algèbres, etc.). L'ambiguïté est partout. Il faut toujours y veiller et on est souvent obligé de travailler avec.

Dumond estime que derrière un terme, les individus peuvent mettre autant de significations qu'ils ont d'expériences différentes dans la tête, ce qui signifie qu'il n'y a pas de réalité. En physique, les phénomènes dépendent des moyens d'observation et donc de la technologie utilisée. Dumont estime encore que la notion d'appropriation renvoie à une sorte de stockage et d'empiilage dans une mémoire, de telle sorte que ce qui ressort, c'est ce qui a été empilé par-dessus. En fait les enfants se livrent à un énorme travail d'intégration, dont les adultes ne sont plus capables. L'activité de l'enfant, dans sa recherche de cohérence implique des prévisions et la recherche de nouvelles informations. Elle n'est pas bien représentée par la notion d'automate. En outre, l'affectivité et le désir de l'enfant jouent évidemment un grand rôle.

Paolo Guidoni donne l'exemple des machines sans frottement qui introduisent dans l'expérience scolaire une situation tout à fait différente de celle à laquelle les physiciens de l'époque de Galilée ont été confrontés, ainsi que de l'expérience quotidienne de l'enfant. C'est vrai que le raisonnement spontané a raison de considérer que la force dépend de la vitesse (et réciproquement) puisque les mouvements auxquels on a alors affaire sont des mouvements en vitesse limite et la force résistante dépend bien de la vitesse. Un autre exemple de difficulté est celui rencontré par Galilée dans la division de l'espace par le temps. Il lui faut des dizaines de pages pour expliquer qu'il s'agit d'une opération raisonnable, ce qui montre qu'il avait lui-même du mal à donner du sens à cette opération. Si l'histoire éclaire la didactique, c'est qu'on y rencontre l'interaction et la contradiction entre expérience quotidienne et représentation formalisée.

Laurence Viennot n'est pas tout à fait d'accord sur ce que dit P. Guidoni sur la vitesse-limite. Quand on lance une balle vers le bas, les phénomènes de frottement importent autant que lorsqu'on la lance vers le haut. Or l'interaction force-vitesse ne se manifeste que lorsqu'on la lance vers le haut parce que là, il y a un problème d'explication ; quand elle descend toute seule, les étudiants disent que le mouvement est accéléré. Mais cette

remarque n'est pas vraiment contradictoire avec ce que dit P. Guidoni.

Goéry Delacote reprend cet exemple de la vitesse-limite : la force agit sur quelque chose et en même temps le mouvement a de la force. Mme Leboutet a bien montré le rôle du verbe « avoir » dans les explications verbales de l'enfant. C'est cette relation ambiguë entre force et mouvement-force qui explique les contradictions. L'enfant qui regarde une voiture rouler peut s'intéresser autant au fait qu'elle continue à rouler (mouvement-force) qu'au fait qu'elle s'arrête (force de frottement). La question qu'on se pose dépend du modèle qu'on a dans la tête.

Francis Halbwachs est d'accord que la vitesse-limite est bien le phénomène de référence d'Aristote, mais avec une bille qui roule, l'enfant a aussi une image très simple du mouvement sans frottement.

André Kahane estime que l'appareil scolaire a quelque responsabilité dans tout cela ; n'a-t-on pas « entraîné » jusque il y a 10 ans l'expression de « force vive » ou encore celle de « force d'inertie ». Le langage de la physique ne vaut pas grand-chose.

François Léonard reprend la question de l'appropriation et rapporte les résultats d'une expérience qu'il a faite en obligeant les sujets à ne pas sortir de la salle avant d'avoir résolu le problème. Ce qui apparaît alors, c'est que les raisonnements « spontanés » correspondent à une étape de la résolution de problème. Devant tout problème nouveau, on a besoin d'une étape d'appropriation du contenu. S'agit-il de la constitution d'invariants locaux ? Le sujet commence en manipulant les données de façon erronée, puis prend progressivement en compte les éléments pertinents. Si le sujet réussit et qu'on donne un nouveau problème, analogue mais avec un contenu différent, le sujet repasse par les mêmes étapes.

Romain Jacoud estime que la collision entre le système de l'élève (cohérent à son niveau) et celui du professeur peut entraîner une incompréhension totale. On remarque ainsi que les élèves préfèrent une explication donnée par un autre élève à celle du professeur, même si celle de l'élève est pleine d'erreurs. Elle est en effet plus proche de son propre système.

Jacques Nimier estime que les notions de réalité et de symbolique n'épuisent pas le problème et qu'il faut aussi introduire la notion d'imaginaire qui peut seule rendre compte des glissements de sens entre signifiants.

Bärbel Inhelder demande si certaines hypothèses de travail qui se sont avérées utiles pour le psychologue pouvaient l'être également pour la didactique. C'est notamment le cas de la distinction entre les deux types d'abstraction, pseudo-empirique et réfléchissante. Si Piaget parle de l'abstraction réfléchissante, c'est que selon lui la construction de connaissances nouvelles se fait à partir

de la coordination des actions les plus générales du sujet : par exemple, le cardinal est indépendant de l'ordre dans lequel on compte les éléments, c'est donc une coordination des activités d'ordonner et non une expérience provenant directement des objets, qui ne servent alors que de simples supports à l'activité. En physique par contre, il faut abstraire (par une abstraction pseudo-empirique) les propriétés des objets eux-mêmes, et en même temps, d'ailleurs, les insérer dans un cadre logico-mathématique. La géométrie se trouverait quelque part entre l'abstraction réfléchissante et l'abstraction pseudo-empirique.

C'est pour nous une façon de pensée familière que de considérer que les activités du jeune enfant doivent porter sur une variété de matériels puisque l'abstraction mathématique porte sur la coordination des actions. J'aimerais savoir si cela est fécond pour la didactique ainsi que la distinction entre les deux formes d'abstraction.

Bärbel Inhelder revient également sur le problème de la méthode historico-critique et de la méthode génétique, et met en garde contre les éventuelles naïvetés qu'on pourrait dire. Elle cite aussi certaines recherches de Rolando Garcia sur Buridan, Oresme ou Aristote pour poser la question d'un éventuel parallélisme entre histoire et genèse dans les modes de construction et notamment dans le passage d'une construction à une autre en période de crise. Il y a des crises dans l'histoire de la pensée scientifique comme il y a des crises dans la pensée de l'enfant.

Si l'on distingue, comme G. Vergnaud l'a fait, entre la construction des opérations et la thématization des opérations, on peut éventuellement trouver des inversions comme c'est le cas de la géométrie : la thématization peut se faire dans un ordre inverse de l'action. Rolando Garcia a montré que la thématization va de l'intra-figural à l'interfigural et au transfigural dans l'histoire de la pensée géométrique. On trouve des choses analogues dans la pensée de l'enfant. Mais il faut être prudent sur la transposition possible dans l'enseignement. Il faut aussi permettre aux jeunes de construire progressivement les invariants et de participer ainsi à une forme de découverte.

J'ai été ravi également d'entendre la communication de Laurence Viennot sur la pensée des étudiants et sur l'analyse des « erreurs ». Il ne faut pas traiter l'erreur par l'élimination mais par l'interprétation, la confrontation et la contradiction.

Enfin, un dernier mot sur notre dada actuel à Genève, que est celui des stratégies. On a beaucoup étudié les structures mais il faut aussi regarder les stratégies des enfants, ce qui permet alors de passer du sujet épistémique au sujet psychologique. Les voies pour résoudre un problème peuvent être multiples. Il faut permettre à

l'enfant de s'engager dans ces différentes voies et lui laisser la possibilité de découvrir.

Paolo Guidoni cite l'exemple d'une expérience d'enseignement des sciences et propose la schématisation suivante : on commence par mettre en évidence ce qu'on pourrait appeler une « logique des faits » : dans le flottement par exemple, les objets ne se comportent pas de la même façon selon leurs caractéristiques de poids, de volume, de forme. Cette observation systématique correspond aux intérêts exprimés par les enfants et les amène à la compréhension de la notion de poids spécifique (cette opération absurde qui consiste à diviser le poids par le volume) qui seule permet d'ordonner les substances à l'égard du flottement.

Mais il y a aussi une « logique propre au langage », notamment avec l'explication mathématique. On appelle facilement d'un même mot des choses différentes et une même chose peut être désignée par des mots différents. La connaissance est en quelque sorte une interaction entre ces deux logiques, ce qui ne signifie pas qu'elles soient bien articulées entre elles.

Claude Gaulin insiste pour sa part sur le grand nombre de données (sociales, psychologiques, techniques, pédagogiques...) dont le didacticien doit tenir compte. La plupart des didacticiens en Amérique du Nord se sont formés sur le tas. La connaissance approfondie du système éducatif et du contexte culturel du pays est décisive. Il ne faut pas restreindre les choses au seul problème de la recherche.

Efraïm Fischbein propose de distinguer comme sources d'erreurs celles qui sont introduites par l'enseignement lui-même et celles qui viennent de l'intuition très résistante acquise dans l'expérience quotidienne : par exemple le poids est vu comme une propriété de l'objet, non comme le résultat d'une force. Cela entraîne des erreurs systématiques dans les expériences avec des poulies.

Pierre Vermersch regrette que le rapport introductif ne soit pas plus précis sur la question de la stabilité. Il est important de cerner le champ dans lequel les élèves sont capables de rester en équilibre car c'est cela même qui détermine la façon dont on va susciter les observables et dont on pourra apprécier les compétences sous-jacentes. Le rapport introductif n'aborde ni le processus d'intériorisation, ni la cohérence du champ de stabilité. D'autre part, l'aspect diachronique du processus d'équilibration reste implicite. Il est dommage de ne pas l'avoir abordé de front.

Jean-François Richard estime que la notion — très vague — d'accessibilité d'une notion peut être précisée

par le problème de la recherche et du stockage de l'information en mémoire. La façon dont une notion a été acquise conditionne sans doute fortement la façon dont elle va être utilisée : l'intérêt qu'il y a à connecter l'enseignement sur des représentations spontanées est de ce fait évident, à la fois pour permettre l'accès à l'outil potentiel que représente une notion, et aussi pour permettre d'analyser en retour certaines performances (parfois affligeantes) des élèves.

Alain Denis est choqué par plusieurs dichotomies proposées. La dialectique de l'équilibration reste pour le moment l'explication théorique la plus satisfaisante. Le problème est de dégager les conditions d'émergence d'un concept, des invariants par exemple. C'est sur ces conditions que l'enseignement peut jouer. L'enseignant intervient alors comme médiateur et cette recherche-là n'est pas abordée.

Vinh Bang pose la question de la transposabilité de la psychologie génétique à la recherche en didactique, qui n'est elle-même pas encore la didactique. Il faut considérer non seulement les niveaux de développement de l'enfant, mais aussi les niveaux d'apprentissage. Il n'y a pas une didactique indépendante de ces deux sortes de niveaux.

Quelle est la répartition des fonctions respectives de la psychologie et de la pédagogie pour l'analyse des notions à enseigner ? Il n'y a pas qu'une genèse verticale, il y a aussi une contamination horizontale entre notions parallèles. Comme la didactique est découpée temporellement, ce n'est pas simple d'harmoniser tout cela.

Dernière remarque : le psychologue est soumis à une demande terrible, à la fois sur les aspects cognitifs, affectifs, relationnels, etc. Il n'est pas armé, actuellement, pour répondre à une demande concernant la totalité de la personne.

Laurence Viennot estime que le raisonnement spontané n'a pas que des côtés négatifs. Il existe des coïncidences bénéfiques avec le modèle enseigné. On peut utiliser à des fins pédagogiques ces coïncidences tout en faisant mesurer à l'élève la distance entre le raisonnement spontané et le raisonnement enseigné. La théorie de l'équilibration est adaptée pour décrire ces mutations (ruptures et compensation des ruptures). Il faut souvent provoquer une rupture pour permettre une rééquilibration. L'étudiant devrait être incité à faire lui-même l'inventaire de son raisonnement spontané et à le confronter lui-même avec le modèle formel.

Résumé de la discussion rédigé  
par Gérard VERGNAUD

THEME

# STATUT DE L'OBSERVATION ET DE L'ACTIVITE EXPERIMENTALE CHEZ L'ELEVE

## INTRODUCTION

Notre propos dans ce rapport est moins d'examiner quelle devrait être a priori la place d'une démarche expérimentale dans les processus d'apprentissage des différentes disciplines scientifiques que :

— de procéder à une réflexion à partir des activités expérimentales qui sont réalisées actuellement ; quelle part leur est réservée selon les cas, quels sont les objectifs visés ?

— de dégager quelques orientations pour l'enseignement et la recherche didactique à partir des informations apportées par l'histoire des sciences, les recherches psychologiques et les expérimentations didactiques.

On sera amené à se poser les questions suivantes :

Comment les activités expérimentales sont-elles utilisées dans l'enseignement : quelle est leur fonction dans les différentes disciplines et aux différents niveaux d'enseignement, quelle part leur est réservée et quels sont leurs objectifs déclarés ?

Quelle est l'attitude des maîtres à l'égard de ces activités expérimentales, quelle fonction leur attribuent-ils dans la pratique de leur enseignement ?

Quelle est l'attitude des élèves face à la démarche expérimentale ?

En particulier quel est le statut dans l'enseignement de la preuve expérimentale tant du point de vue des maîtres que de celui des élèves ?

Pour tenter une analyse plus précise de ces questions nous analyserons dans une troisième partie les difficultés rencontrées par les élèves dans les différentes composantes de la démarche expérimentale ainsi que les capacités cognitives mises en œuvre dans l'activité expérimentale.

## I. — ACTIVITES EXPERIMENTALES ET OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

### 1 — Essai de définition des activités expérimentales :

Précisons d'abord ce que nous entendons par activités expérimentales.

On distinguera l'activité expérimentale de l'activité manipulative. L'activité expérimentale peut mettre en jeu une activité manipulative mais pas nécessairement. Des manipulations qui aboutissent à une procédure satisfaisante pour résoudre le problème par une suite de tâtonnements orientés vers la solution, mais non inspirés par le souci explicite de vérifier des hypothèses, ne constitue pas une activité expérimentale au sens précis où nous l'entendons. L'activité expérimentale proprement dite commence lorsque les élèves essaient, à partir de ce qu'ils ont fait, de formuler leurs procédures (à l'aide d'un schéma, d'une description verbale ou de tout autre façon), de les comparer et de vérifier par une épreuve empirique quelles formulations sont valides. L'activité expérimentale est en ce sens une partie de l'activité de recherche : celle qui consiste à élaborer une formulation (ou modèle) prise comme hypothèse, à la soumettre à vérification en la confrontant à une réalité qui n'est pas mise en question et à se prononcer sur la validité de cette hypothèse à la lumière des résultats de cette confrontation.

L'activité expérimentale fait référence à une réalité empirique, parfois donnée par observation immédiate mais résultant le plus souvent d'une opération (observation provoquée). Parler de réalité empirique ne signifie pas que l'activité expérimentale soit limitée aux sciences dites expérimentales. Quand un enfant se demande comment il faut jouer dans un jeu (tel que la course à 20 par exemple\*) pour gagner à coup sûr, formule une

\* Chaque joueur joue alternativement. Il a le droit d'ajouter 1 ou 2 au nombre écrit par l'adversaire. Celui qui pose 20 a gagné.

procédure et lorsqu'il vérifie si en l'appliquant il gagne effectivement à coup sûr, il s'agit bien d'une activité expérimentale : dans la preuve intervient une constatation et le raisonnement n'est pas purement déductif.

Mais la constatation n'est qu'un aspect de la démarche. Une expérimentation ne prend souvent son sens qu'en relation avec les résultats d'autres expérimentations. Il apparaît alors une certaine cohérence globale qui donne à chaque expérimentation isolée sa pleine signification :

Canguilhem (La connaissance de la Vie — Vrin 1975, p. 23) montre clairement comment la fameuse expérience de Harvey (ligature de la veine du bras) parvient à donner un sens cohérent à toutes les observations et expériences antérieures. « On voit comment la découverte de la circulation du sang c'est d'abord et peut être essentiellement, la substitution d'un concept fait pour cohérer des observations précises faites sur l'organisme en divers points et à différents moments à un autre concept celui d'irrigation, directement importé en biologie du domaine de la technique humaine. La réalité du concept biologique de circulation présuppose l'abandon de la commodité du concept technique d'irrigation. »

Cette cohérence globale au sein de laquelle s'intègrent en la renforçant les résultats de l'observation ou de l'expérimentation, peut elle-même être erronée. Même dans ce cas on parlera encore d'activités expérimentales.

Ainsi H. Metzger (La genèse de la Science des Cristaux, Blanchard p. 143) montre comment l'introduction d'un nouveau moyen d'observation, le microscope pousse les savants du moment (Leuwenhoek) vers une théorie corpusculaire qui explique les propriétés des corps, en faisant appel uniquement à la forme des corpuscules élémentaires dont ils sont constitués. « L'usage du microscope en montrant aux savants étonnés la discontinuité essentielle de la matière contribua aussi à faire admettre la spécificité essentielle de chaque corps cristallisé,... tous les corps que nous connaissons sont supposés être formés par d'innombrables particules se rapprochant ou s'éloignant suivant certaines lois fixes ; la forme de ces particules est caractéristique de chaque substance et nous avons tout intérêt à la connaître puisqu'elle pourra nous expliquer les raisons des propriétés les plus diverses. Le sucre par exemple, examiné avec le microscope paraît un composé de molécules angulaires dont les pointes sont émoussées, le peu d'impression qu'elles font sur les papilles nerveuses de la langue excite cette sensation de douceur que nous lui attribuons... » Cette induction est justifiée par des expériences répétées. De même « le sel examiné au microscope présente des parties globuleuses, carrées, pyramides quadrangulaires et parallépipèdes dont les angles raides et pointus lui donnent un goût très piquant... »

Le sens du goût donne des indications en parfaite harmonie avec les théories corpusculaires ; bien que disscutes, les molécules conservent encore leur forme caractéristique qui impressionne notre langue.

On peut trouver là des analogies avec les résultats parfois cohérents et pourtant erronés de l'apprentissage scientifique des élèves.

Concluons ce paragraphe en rappelant la définition du raisonnement expérimental proposée par Oleron (Le raisonnement — Que sais-je ? p. 84) « Le raisonnement expérimental vise à assurer l'intelligibilité par la coordination entre les constats, les concepts et les symboles. Mais il est aussi recherche et administration de la preuve. »

## 2 — Objectifs assignés aux activités expérimentales :

Essayons maintenant de répondre au moins partiellement à la question concernant les objectifs des activités expérimentales.

### *Objectifs en physique*

On trouvera une première réponse dans l'énoncé des objectifs de la composante expérimentale du cours Américain « Project Physics » qui introduit la physique dans une perspective historique appliquée, méthodologique, globalement humaine, et est destiné aux adolescents Nord-Américains (15-16 ans) en fin de high-school. Il a été mis au point après un effort de réflexion approfondie sur ce que pouvaient être les finalités d'un tel enseignement.

Les objectifs assignés au travail expérimental que ce soit sous forme de démonstration par le professeur, d'expériences menées par le maître et dépouillées par les élèves ou d'expériences d'élèves sont les suivants :

- 1 — S'habituer à certains phénomènes traités dans le cours. Ainsi, avant même de les comprendre, les élèves doivent rencontrer des situations d'accélération uniforme, de réfraction d'ondes, de spectres, etc.

- 2 — Fournir l'une des diverses approches en vue de la compréhension d'un important concept de physique. Certains élèves semblent mieux apprendre par un travail expérimental, d'autres le font mieux par la lecture, l'observation de films, la discussion, ou même le cours du professeur !

- 3 — Se rendre compte de la nature des activités expérimentales au sein de la recherche et du rôle du travail en laboratoire dans le développement des connaissances scientifiques.

- 4 — Apprendre quelque chose sur le monde physique autrement que par le biais d'informations écrites ou orales, en un mot « découvrir » quelque chose.

5 — Faire quelque chose d'agréable. C'est un des avantages des cours de science de faire intervenir les élèves d'une manière active et non livresque. A condition d'être aidé et encouragé, le plus timide des élèves peut presque toujours apprendre à travailler avec efficacité au laboratoire et y prendre plaisir.

### *Objectifs en mathématiques*

Un deuxième élément de réponse est donné par les instructions officielles complémentaires de janvier 1957 sur l'enseignement des mathématiques en France\*. Un long paragraphe y est intitulé « Observation et expérimentation : s'agit-il vraiment d'aligner les mathématiques sur les autres disciplines scientifiques ? ».

Dans une formulation peu explicite, il est vrai, sont exprimés les objectifs ci-dessous pour l'observation et l'expérimentation (cette dernière est définie comme : « Une observation de phénomènes volontairement provoquée dans des conditions déterminées d'avance »).

1 — Faire saisir à l'élève les liens étroits entre les mathématiques et le monde sensible.

2 — Lui faire comprendre la distinction entre la réalité et le modèle mathématique.

3 — Faire que les êtres mathématiques étudiés aient une signification pour l'élève.

4 — Faire sentir la nécessité d'interroger les choses par l'expérimentation.

5 — Apprendre à interpréter les résultats en précisant les conditions de leur validité.

6 — Suggérer des extensions possibles des résultats, et des méthodes pour les montrer (conjectures et tâtonnement heuristiques).

7 — Exercer l'habileté manuelle des élèves (en géométrie essentiellement).

Il est remarquable que ce texte officiel, grandement méconnu des enseignants de mathématiques, fasse encore aujourd'hui figure de vœu pieux. Bien qu'elles s'y réfèrent, les instructions de 1971 présentent une réduction considérable des objectifs et proposent, entre autres, une approche expérimentale de la géométrie rendue caricaturale par l'absence de démarche dialectique, ne retenant comme objectif que la justification et la signification de théories déductives.

Au niveau de la recherche, on trouve des tentatives pour mettre en œuvre une attitude expérimentale chez les élèves dans l'apprentissage des mathématiques répondant à certains objectifs ; citons par exemple le livre du Pro-

blème (IREM de Strasbourg et CEDIC) qui propose une classification des exercices mathématiques en fonction de leurs objectifs et **Processus de mathématisation** de G. Brousseau (Mathématiques à l'école élémentaire — Brochure de l'APMEP, 1972) qui propose une méthode de mise en œuvre pédagogique de l'activité expérimentale des élèves utilisée dans de nombreuses recherches à l'école élémentaire.

### **3 — Rôles des activités expérimentales dans l'enseignement :**

Il est rare de voir mettre en cause la nécessité d'une approche expérimentale dans un enseignement d'une science elle-même dite expérimentale.

Il est tout aussi rare de voir en pratique un apprentissage des mathématiques fondé sur une approche expérimentale, l'idée d'une telle démarche est même scandaleuse aux yeux de beaucoup d'enseignants. Il y a là une sorte de dogme qui empêche même souvent de se poser des questions apparemment moins radicales : à quoi sert la composante expérimentale d'une science dans l'apprentissage de cette science ? L'apprentissage des mathématiques peut-il être autre que déductif ? Malgré ces oppositions de principe, on trouve le plus souvent en France des enseignements de mathématiques et de physique caractérisés par la même impossibilité pour l'élève de pratiquer une véritable démarche expérimentale. On rencontre rarement des questions sur :

— La nature des activités expérimentales.

— Les différentes composantes de ces activités : ce qui les motive et ce qui les rend possibles.

— La fonction de chaque composante et son sens par rapport à l'ensemble des activités.

— La variation possible du rôle de ces activités expérimentales selon la nature des disciplines enseignées.

— L'évolution de ce rôle selon l'âge et le développement général des élèves ou étudiants concernés.

On voit ainsi apparaître toute une série de questions cruciales pour l'apprentissage scientifique ou mathématique et qui devraient faire l'objet de recherches diverses et de débats entre enseignants.

## **II. — ATTITUDE DES MAITRES ET DES ELEVES FACE AUX ACTIVITES EXPERIMENTALES**

### **1 — Attitude des maitres :**

On a proposé à des professeurs de chimie (austriens) des textes décrivant une séance d'enseignement de chimie et en même temps une liste d'objectifs liés à l'enseignement de la chimie. (The structure of science

\* Elles sont toujours en vigueur et ont été rééditées dans la brochure SEVPEN N° 59 de 1972.

Education P.L. Gardner, Longman 1975 p. 61 « Objectives for Laboratory work » par N.W. Henry.) Pour chaque leçon, le maître attribuait à chacun des objectifs de la liste une note de 0 à 3, selon que l'objectif considéré était en relation ou non avec la leçon. Cette opération (menée environ 300 fois sur cinq textes de leçons, avec une soixantaine de maîtres) a permis une analyse des groupes d'objectifs : en effet certains objectifs sont très souvent cités en même temps. Une analyse factorielle fit apparaître neuf regroupements significatifs.

Ces neuf groupes d'objectifs peuvent être décrits en essayant de préciser ce que chaque objectif d'un groupe particulier a de commun avec tous les autres objectifs de ce groupe. Voilà le résultat de cette analyse pour chacun des neuf groupes :

Premier groupe d'objectifs : il est caractérisé par : tout ce qui est relié aux aspects théoriques de la discipline.

Deuxième groupe : précision et incertitude expérimentale.

Troisième groupe : l'expérimentateur compétent et ayant le sens de la sécurité et du travail en laboratoire.

Quatrième groupe : la chimie à l'extérieur de l'école — des implications plus larges.

Cinquième groupe : l'apprentissage dans les livres et sa mémorisation.

Sixième groupe : relations humaines et développement personnel.

Septième groupe : composition et écriture d'un bon rapport.

Huitième groupe : confiance dans la capacité d'aborder et de résoudre un problème et d'exprimer des opinions.

Neuvième groupe : techniques expérimentales incluant l'usage d'appareils.

Il convenait ensuite de chercher parmi ces regroupements d'objectifs ceux qui caractérisaient le plus une situation d'apprentissage expérimental avec activité expérimentale des élèves par opposition à une situation d'apprentissage sans activité expérimentale menée par les élèves. Une technique d'analyse par fonction discriminante fut appliquée aux groupes d'objectifs associés (ou non) à chacune des deux leçons ne se différenciant pas par le contenu mais par l'existence ou non d'une activité expérimentale : une leçon « laboratoire » où l'élève manipule, une leçon sur le même sujet mais théorique : une présentation filmée par exemple. Certains groupes d'objectifs sont attribués plutôt à une des leçons, d'autres groupes plutôt à l'autre. Certains groupes au contraire sont attribués aux deux. C'est le troisième groupe qui

semble le plus souvent lié avec les leçons avec activités expérimentales (l'expérimentateur compétent). Les autres groupes qui caractérisent également plutôt les leçons expérimentales sont les groupes 3, 6, 8, 9.

On peut dire par ailleurs qu'il y a bon accord entre ces groupes d'objectifs caractéristiques des leçons avec activités expérimentales et les opinions directement exprimées par les maîtres sur les objectifs du travail expérimental par les élèves.

Cette étude montre que d'après les professeurs interrogés les objectifs que l'on peut atteindre au mieux par l'activité expérimentale de l'élève sont :

a — les savoir-faire expérimentaux y compris la manipulation d'appareils et de matériel de travaux pratiques ;

b — la débrouillardise en laboratoire, l'autonomie et la confiance en soi dans la manière de traiter les problèmes et d'exprimer des opinions ;

c — les capacités de « recherches de solution » (problem solving) (en particulier la capacité d'organiser une méthode expérimentale de recherche), y compris l'émission et la vérification d'hypothèses ;

d — le sens de la précision et de l'incertitude expérimentale.

L'auteur de la recherche conclut en proposant quelques finalités pour une activité de laboratoire.

1 — Développer une confiance fondée à l'égard de la connaissance scientifique acquise.

2 — Parvenir à atteindre le plus efficacement possible certains objectifs (ceux cités plus haut).

3 — S'adresser à des élèves plus motivés.

4 — Satisfaire les préférences manifestées par les élèves ou étudiants (alternance d'activités de laboratoire avec d'autres activités d'apprentissage).

## 2 — Attitude des élèves :

La communication de Giordan nous apportera des informations sur le comportement d'élèves de 6<sup>e</sup> face à un apprentissage biologique lié à l'observation et à l'élevage d'animaux divers (domestiques ou non).

Mais les travaux de Charlemagne (Lirespt, Université de Paris VII) sur une tentative d'étude des mouvements avec des élèves de 4<sup>e</sup>-3<sup>e</sup> montrent que le recours à l'expérience par les élèves n'est nullement une démarche évidente et spontanée. L'expérimentation pédagogique était menée avec un petit groupe d'élèves (4 à 6) volontaires et deux animateurs. Les moyens d'observation étaient limités au magnétophone et au rapport immédiat des deux animateurs. Les questions de départ posées aux élèves étaient :



1 — Qu'est-ce que le mouvement pour vous ? Comment pourrait-on définir et caractériser le mouvement ?

2 — Chercher quelques exemples de mouvements qui vous paraissent particulièrement frappants ou intéressants à étudier.

3 — Comment pourrait-on classer ces mouvements dans le but de les décrire et de chercher à en mieux comprendre le mécanisme et éventuellement la cause ?

Que peut-on dire de la démarche des élèves pour répondre à ces questions ? Si l'on essaie de situer les réponses des enfants dans l'évolution de la pensée humaine, il faut tout d'abord remarquer que même si la démarche des élèves se situe dans un contexte de connaissances et de représentations très différent de celui qui régnait à l'époque d'Aristote, ceux-ci ont spontanément un comportement de type Aristotélien. Ils ont un certain nombre d'idées préconçues (sur le mouvement) considérées par eux comme des évidences qu'ils organisent avec une certaine logique, mais sans éprouver le besoin de les confronter à l'expérience. En cas de désaccord soit entre eux, soit avec l'animateur ils sont troublés ; ils n'arrivent pas à défendre leur conception mais celle-ci reste pourtant présente dans leur esprit.

Ils veulent étudier ou expliquer la totalité du réel et se centrer sur des phénomènes compliqués. Isoler un cas simple, faire appel à l'expérience est une attitude qui leur est étrangère, même s'ils finissent, une fois guidés, par les considérer comme un progrès méthodologique.

Cependant pour eux l'expérience (sur la chute libre par exemple) est essentiellement destinée à convaincre le voisin de l'exactitude de leur conception, au mieux à vérifier leur conception. « Faisons l'expérience et on sera sûr » disent-ils fréquemment. Mais quand l'expérience contredit à l'évidence ce qu'ils pensaient (par exemple sur le rôle du poids dans la chute des corps) ils disent qu'elle est mauvaise, qu'on a expérimenté sur des hauteurs de chute trop faibles. Bref, alors qu'initialement ils pensaient qu'un objet deux fois plus lourd tomberait deux fois plus vite, ils cherchent finalement pour se justifier à découvrir une différence d'un centième de seconde pour une hauteur de chute de deux mètres.

Ils n'éprouvent pas le besoin de répéter l'expérience : la mesure effectuée est pour eux absolue. Si devant l'insistance des animateurs, ils répètent l'expérience, ils sont troublés dès lors que le résultat diffère légèrement. Cette attitude peut même les conduire à affirmer quelque chose de faux. Un écart de quelques centièmes de seconde dans le « bon sens » par une chute de deux corps de masses très différentes leur fera dire « vous voyez bien qu'un objet plus lourd tombe plus vite ». Si répétant l'expérience, ils trouvent quelques centièmes de seconde d'écart dans l'autre sens, ils rejeteront cette mesure

comme mauvaise et continueront d'affirmer leur première idée.

On peut dire a priori que la comparaison entre les résultats d'une expérience et ce que suggérait l'hypothèse qui a présidé à sa mise en œuvre peut conduire s'il y a désaccord (et même parfois s'il y a accord car il pourrait être fortuit) à la remise en cause possible de deux aspects différents : d'une part l'expérimentateur et son expérimentation (qualité du protocole, des instruments, de leur maniement, de la validité des résultats) d'autre part les idées (concepts ou principes) qui ont conduit à l'hypothèse.

On voit qu'ici les élèves font jouer à l'expérience le rôle d'un argument et non d'un facteur de remise en cause des aspects que l'on vient de mentionner. Plus précisément l'élève doutera — s'il lui arrive de douter, c'est-à-dire qu'il cherche à sortir de la contradiction — de la validité de facteurs qui ne le mettent pas personnellement et directement en cause : il doutera de l'appareil, de l'instrument par exemple, il doutera du protocole dans la mesure où il peut le déformer sans en modifier la signification profonde mais il ne procédera pas à une réorganisation de sa pensée.

C'est là qu'on peut voir l'élève osciller d'un excès de confiance en soi (il tient à ses idées), à une absence de confiance dans sa capacité à résoudre le problème si la contradiction subsiste.

Si la tâche proposée à des élèves est non de réfléchir à une notion mais d'expérimenter avec un matériel donné il apparaît d'une façon relativement claire que dans ce cas le recours à l'expérience n'est qu'un moment particulier d'une démarche plus générale.

A des jeunes élèves américains (12-13 ans) à qui on proposait d'étudier forces et mouvements à l'aide d'un certain nombre d'objets (petits chariots, objets se déplaçant par frottement, etc.) on posait la question : que faut-il pour réaliser une expérience ? Les réponses retiennent en général trois aspects (The representation of conceptual Frameworks in young adolescent science students. Ph. D. Thesis University of Illinois 1973 par R.P. Driver).

Il faut :

- une question (d'aucun dirait une hypothèse) ;
- du matériel pour pouvoir y répondre ;
- et une forte envie de se poser la question et d'y répondre.

Il y a là une conscience relativement claire que le recours à l'expérience n'est qu'un moment particulier d'une démarche plus générale et ils sentent donc que l'expérience ne prend son sens qu'à l'intérieur de la démarche plus générale, qu'une expérimentation n'a de

sens que si elle est réalisable (matériellement et instrumentalement parlant). Une expérimentation est donc toujours préparée sur le plan matériel et instrumental mais aussi sur le plan des questions et des notions, concepts ou théorie qui fondent ces questions. Elle implique pour être menée une attitude favorable et une perception de l'intérêt global de l'activité. Comme on vient de le voir, les élèves eux-mêmes en sont conscients.

Cette attitude face à l'expérimentation est le résultat d'un équilibre : elle est à mi-chemin entre un excès de confiance en soi (rigidité des préconceptions) et un manque de confiance en soi (sentiment de l'incapacité à résoudre un problème ou à sortir d'une contradiction par soi-même).

C'est cet équilibre d'attitude que recommande Polya face à l'expérience (Mathematics and plausible reasoning — Princeton, 1954).

— Etre prêt à modifier une opinion personnelle (courage intellectuel).

— Modifier une opinion quand il y a une raison impérative de le faire (honnêteté intellectuelle).

— Ne pas modifier une opinion à la légère c'est-à-dire sans avoir de bonnes raisons pour cela (prudence).

En bref dit-il : « Ne croyez pas n'importe quoi, doutez seulement de ce qui vaut la peine d'être mis en doute ! »

### 3 — Contraintes pédagogiques

Mais une initiation mal préparée à la démarche expérimentale risque d'avoir des effets inverses de ceux escomptés. On veut apprendre aux élèves qu'il y a des questions sur lesquelles on peut trancher en faisant appel à l'expérience. Il faut d'abord qu'ils comprennent qu'il faut abandonner les opinions incompatibles avec l'expérience. On ne change pas facilement d'opinion, on met plus facilement en cause la réalité que l'opinion qu'on en a, c'est une observation qui a été faite mille fois en particulier chez l'enfant (voir le bel ouvrage de Piaget et collaborateurs sur la contradiction). Ceci a des raisons très profondes. D'une part ce comportement est parfaitement raisonnable dans nombre de situations : dans le cas des illusions de perceptions, par exemple, on a raison de ne pas croire ce qu'on voit. D'autre part, les représentations erronées peuvent se trouver renforcées empiriquement ou par cohérence avec d'autres représentations. Etant donné ces obstacles, il faut bien choisir la situation pour que l'enfant ait des chances de comprendre que c'est sa représentation qu'il faut mettre en cause. Si la situation choisie est telle qu'elle suscite un très grand nombre d'hypothèses, la vérification expérimentale sera impossible du fait de la complexité du plan expérimental nécessaire : les expériences seront irréalisables faute

de temps et les résultats dépasseront de toute façon les capacités de traitement de l'enfant. Ce dernier risque finalement d'en conclure qu'il y a tellement de choses qui peuvent jouer qu'on ne peut pas savoir et d'assimiler la situation à une situation aléatoire où certains événements sont plus probables que d'autres si on peut faire des pronostics, mais où il est impossible de réduire son ignorance. N'y aurait-il pas intérêt à utiliser toutes les possibilités d'activités expérimentales offertes par les apprentissages mathématiques, qui peuvent contribuer fortement à faire prendre conscience à l'enfant que lorsqu'on se trouve en présence de contradictions il y a des cas où ce n'est pas le résultat qu'il faut mettre en cause mais l'opinion qu'on en a ?

## III. — ATTITUDE DE L'ELEVE FACE AUX DIFFERENTES ETAPES DE LA DEMARCHE EXPERIMENTALE

### 1 — Analyse de cette attitude

Pour les besoins de l'exposé, nous distinguerons dans la démarche expérimentale un certain nombre de composantes. L'ordre suivi est seulement un ordre d'exposition et ne prétend nullement refléter la façon dont ces différentes composantes sont organisées dans la pratique scientifique ou pédagogique. La démarche expérimentale se caractérise en effet par des allers et retours incessants de l'une à l'autre de ces composantes : le traitement des données conduit à reprendre la description des conditions expérimentales pour voir s'il n'y a pas un facteur non contrôlé qui n'a pas varié, à formuler de nouvelles hypothèses et à construire de nouvelles expériences. La part relative de ces différentes composantes varie énormément suivant les disciplines et les champs d'étude. Il ne saurait être question ici d'entrer dans le détail de ces dialectiques complexes. Quelque discutable que soit le découpage adopté, il se justifie par le fait que ces différentes composantes posent des problèmes distincts du point de vue pédagogique.

#### La description

C'est une activité qui déborde largement la formation scientifique. Son objet est très divers : événements, objets naturels, dispositifs techniques. Elle consiste à transmettre une information à fin de communication : elle doit permettre à l'autre de reconnaître, de se représenter, de reproduire.

L'observation à caractère scientifique présente des caractéristiques supplémentaires. Son objet est de permettre des prédictions et de dégager des relations d'association ou de dépendance entre des observables. Il est le même au fond que celui de l'expérimentation, mais les hypothèses restent souvent implicites. L'obser-

vation suppose en fait des représentations préalables issues soit d'observations antérieures, soit de conceptions à priori. Ce sont ces représentations qui déterminent ce qui sera considéré comme pertinent et entrera dans la description et ce qu'on néglige comme non pertinent. L'absence d'hypothèses explicites ne met pas dans une bonne situation du point de vue pédagogique pour faire comprendre à l'élève la nécessité d'opérer des choix concernant ce qui sera noté et donc d'utiliser des critères de choix. La situation est plus favorable quand on dispose d'hypothèses explicites, mais on se trouve renvoyé alors à une autre catégorie de problèmes, traités plus loin, la vérification des hypothèses.

Ce qui présente beaucoup moins de difficultés, c'est d'apprendre (ou de faire découvrir) à l'élève comment organiser des observations (dont le bien-fondé n'est pas discuté) pour permettre d'avoir une connaissance globale et rapide et de faire plus facilement des comparaisons. La construction de tableaux, de graphiques répond à cet objectif et peut être entreprise assez précocement. Ceci a été fait non seulement dans le cadre des disciplines d'éveil mais également des mathématiques.

Un problème se pose du point de vue pédagogique : comment motiver ces représentations, certes commodes, mais dont la signification n'est pas nécessairement évidente pour l'enfant ? On citera un travail de l'unité de recherches mathématiques élémentaires de l'INRP qui touche à ce problème. L'objectif visé est de faire construire progressivement par les élèves l'instrument de représentation qu'ils utiliseront pour coder les informations. La difficulté est que les représentations produites spontanément, lorsqu'elles sont originales, sont en général difficiles à expliciter et donc peu communicables. Le parti qui a été pris est d'introduire un certain nombre de contraintes de façon à ce que les exigences matérielles de réalisation de la tâche orientent les tâtonnements vers la production de l'instrument de représentation adapté. Par exemple, pour la construction de la table de vérité, les élèves de CP avaient à représenter des commandes de jouets pour les élèves de la classe. Dans un premier temps, les élèves représentent chacun leurs propres choix sur leur feuille en utilisant un procédé quelconque : marquage, liens, couleur, etc. Dans un second temps, le maître demande de représenter toutes les commandes sur une même feuille. Ceci impose qu'on se mette d'accord sur les signes à utiliser et qu'on organise sur la feuille les signes représentant les jouets et ceux représentant les élèves. Ces derniers peuvent ainsi découvrir progressivement qu'il est plus économique de n'utiliser qu'un signe par jouet et qu'un signe par élève, qu'il est plus commode de mettre les élèves et les objets d'un côté et de l'autre de la feuille, que c'est plus lisible si on remplace les liens entre les élèves et les objets par un signe en face de l'élève et de l'objet choisi

et enfin que pour éviter les erreurs de lecture, il vaut mieux tracer des lignes et des colonnes. Des procédés analogues peuvent être utilisés pour n'importe quel type de représentation, puisque ce qui motive le choix d'une représentation plutôt que d'une autre, c'est sa commodité et sa lisibilité.

### *La formulation d'hypothèses*

Les enseignants considèrent cette étape comme essentielle mais sa mise en œuvre présente de grandes difficultés.

On peut distinguer deux types de situations relativement à l'origine de l'hypothèse et au caractère plus ou moins ouvert de la situation de recherche.

Dans le premier cas, le champ du possible est limité seulement par le caractère plausible des hypothèses que l'on peut formuler, celle-ci tenant aux connaissances acquises auparavant sur le phénomène ou aux idées qu'on peut s'en faire à partir d'observations occasionnelles. Par exemple, on se demande ce qu'il faut pour qu'une graine germe, qu'une plante pousse, que l'eau bout.

Les élèves émettent facilement des hypothèses portant sur ce qu'on peut appeler les traits saillants associés au phénomène, par exemple le soleil, l'eau, la chaleur. Les traits peu saillants, tel ceux relatifs à l'atmosphère sont, par contre, rarement évoqués (voir les recherches de Madame Dupont à ce sujet).

Pourquoi certains traits sont-ils plus saillants que d'autres ? Certainement parce qu'ils sont plus aisément perceptibles au niveau sensoriel et que par suite de l'expérience, ils ont été associés au phénomène en question. Un caractère qui, dans le milieu naturel est relativement constant (c'est le cas de l'air par exemple) et sur lequel on a donc peu de chances d'observer des variations, a toutes chances d'être moins saillant et d'être peu évoqué comme hypothèse possible. C'est pour les mêmes raisons que lorsqu'on fait une description, on omet de mentionner ce qui reste constant pendant le déroulement de l'événement.

C'est une difficulté pédagogique non négligeable de faire apparaître des hypothèses portant sur des caractères peu saillants. Peut-être n'y a-t-il pas d'autres moyens que de provoquer expérimentalement la disparition du phénomène en supprimant une condition nécessaire ce qui relève du second type de situations.

Dans les situations de ce nouveau type, le champ des possibles est limité non seulement par le caractère plausible a priori des hypothèses, mais par des observations qui apparaissent contradictoires : l'effet est différent dans deux conditions qui sont semblables sur les facteurs qu'on fait varier. On est donc amené à chercher autre chose qui serait responsable de ces différences et la

recherche est limitée à ce qui peut varier effectivement d'une condition à l'autre.

Nous ne connaissons pas de résultats concernant le comportement d'élèves dans ce genre de situations. A défaut de données expérimentales, des observations de classe seraient très utiles sur ce problème.

#### *Conception et réalisation d'un dispositif expérimental permettant de tester une hypothèse*

**Le premier cas**, le plus élémentaire, est celui où l'on fait varier un seul facteur, celui sur lequel on s'interroge, en maintenant tous les autres constants.

Dans leur ouvrage « De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent », Inhelder et Piaget ont étudié comment l'enfant sépare progressivement les facteurs dans des situations telles que les oscillations du pendule ou le plan incliné. Au niveau des opérations concrètes, l'enfant sait mettre en relation les longueurs, les masses et les fréquences, mais il ne dissocie pas les facteurs : il se préoccupe seulement des valeurs à donner au facteur qu'il teste, mais non des valeurs qu'ont les autres facteurs. Ce n'est qu'au niveau des opérations formelles que la dissociation intervient : dans une première étape, cette dissociation est possible mais nullement systématique : c'est une transition vers le niveau terminal où la dissociation est faite spontanément et de façon systématique.

Deux cas sont à distinguer. Dans le premier cas, le facteur est du type présence-absence, c'est un élément que l'on peut ajouter ou enlever à la situation : la dissociation se fait alors après suppression ou introduction du facteur. Dans le second cas, le facteur est constitué par les différentes valeurs que peut prendre une caractéristique ou un attribut de la situation, par exemple la longueur du fil de suspension, la masse du balancier dans le cas du pendule. On supprime l'effet d'un facteur non plus par exclusion, mais en la neutralisant, c'est-à-dire en lui donnant la même valeur pour toutes les conditions expérimentales. La dissociation par exclusion s'observe dès le stade des opérations concrètes alors que la dissociation par neutralisation semble caractéristique du stade formel.

Les deux découvertes essentielles de l'enfant passant du stade des opérations concrètes au stade formel sont, d'après Piaget, les suivantes :

— Il faut agir sur un facteur non seulement pour étudier son effet mais aussi pour étudier l'effet d'un autre facteur.

— On peut éliminer l'effet d'un facteur non seulement par exclusion mais également par neutralisation.

Piaget et Inhelder ont privilégié l'étude du comportement de dissociation des facteurs pour analyser l'évolution

du raisonnement expérimental. Une autre hypothèse de travail est que l'enfant ne cherche à construire que les conditions expérimentales pour lesquelles il est capable de tirer une conclusion et que sa capacité d'opérer ou non telle ou telle forme de dissociation dépend seulement de ses capacités de traitement de l'information. De ce point de vue, l'étude du développement du raisonnement expérimental peut être faite de façon plus directe par l'étude des références que peut faire l'enfant à partir de situations qu'il n'a pas construites lui-même mais que l'expérimentateur a construites pour lui. Ceci nous renvoie au problème du traitement des données qui sera analysé plus loin.

**Le second cas** est nettement plus complexe : la neutralisation des effets d'un facteur en vue de l'étude d'un autre facteur est obtenue non par élimination des effets du facteur mais par contrebalancement de ses effets. Ceci correspond aux plans expérimentaux où l'on fait varier simultanément plusieurs facteurs : toutes les combinaisons entre les valeurs des facteurs sont étudiées : on a des plans dits factoriels.

Cette démarche semble assez étrangère à la pensée naturelle, ce qui explique sans doute le fait que ce type de plan expérimental soit apparu assez tardivement dans l'histoire de la méthodologie expérimentale. On rencontre en fait beaucoup de difficultés, même au niveau de l'enseignement supérieur, à faire comprendre la logique de ce raisonnement. Celle-ci peut se résumer ainsi : si le plan satisfait à la condition d'orthogonalité des facteurs\*, alors on peut décomposer les variations observées sur l'ensemble des conditions expérimentales en un ensemble de composantes, dont les unes correspondent aux facteurs élémentaires du plan et les autres aux interactions entre ces facteurs. La méthode consiste à déterminer pour chaque source de variation la part de variation dont elle est responsable. La notion importante et difficile est celle d'interaction. Deux facteurs sont dits en interaction si leurs effets ne sont pas additifs ou plus intuitivement si les différences introduites par les variations d'un des facteurs ne sont pas les mêmes suivant les valeurs prises par l'autre facteur.

Des recherches approfondies sont nécessaires pour comprendre les raisons de la difficulté de ce genre de notions.

#### *Traitement des données*

Comment l'élève reconnaît-il qu'une hypothèse est compatible ou non avec les observations et quelles conclusions tire-t-il sur cette hypothèse ?

\* Deux facteurs A et B sont dits orthogonaux si pour tout  $a = A$  et pour tout  $b = B$ , on a  $p(a \text{ et } b) = p(a) \times p(b)$ .

Ces questions ont été abordées dans une série de recherches effectuées à l'Université de Paris VIII et qui permettent de proposer quelques éléments de réponse.

L'hypothèse de travail est que le comportement de test d'une hypothèse est du même type, qu'il s'agisse d'une situation de raisonnement expérimental, par exemple la découverte du critère d'une partition. Le matériel est composé d'objets qui peuvent être décrits à partir d'un certain nombre d'attributs binaires (comme la forme, la couleur, la taille, etc). A chaque essai, on montre au sujet un couple d'objets différant selon un ou plusieurs attributs et on lui donne comme information « ces deux objets vont dans la même classe » ou bien « ces deux objets ne vont pas dans la même classe ». Un problème est constitué d'une suite d'essais apportant toute l'information logiquement nécessaire. Le sujet doit à la fin indiquer quel est à son avis le critère de partition choisi par l'expérimentateur. Une telle situation est de type déterministe : il suffit qu'une hypothèse soit infirmée une seule fois pour qu'elle puisse être définitivement exclue.

Dans une situation de raisonnement expérimental, une expérience négative ne suffit pas à exclure définitivement l'hypothèse qu'un facteur a un effet. Cela tient à ce que, dans ce cas, il y a toujours une part d'incertitude qui n'existe pas dans les situations d'identification. Cette incertitude tient d'une part aux conditions de contrôle (on n'est pas totalement assuré que toutes choses soient bien égales par ailleurs). Pour ces raisons, dans la pratique scientifique, une expérience négative est interprétée comme diminuant le caractère plausible de l'hypothèse et on attend d'autres résultats pour formuler une conclusion plus définitive.

En fait, dans une situation de raisonnement expérimental, la conclusion est déterministe mais conditionnelle : s'il n'y a pas d'erreur de mesure et si les choses sont bien égales par ailleurs, alors on peut affirmer... Pour cette raison, on peut considérer que pour être en mesure de tester une hypothèse expérimentale, l'enfant doit être capable dans une situation d'identification, de reconnaître si une hypothèse est compatible ou non et, si elle ne l'est pas, de l'éliminer des éventualités à envisager. Pour ces raisons, il est apparu intéressant de faire une étude approfondie de l'évolution du comportement de l'enfant dans les situations d'identification. Nous résumerons brièvement quelques résultats qui paraissent pertinents.

Il y a un décalage important (de l'ordre de deux ans) entre le moment où l'enfant est capable de reconnaître dans quels cas une hypothèse est compatible ou non avec les informations reçues et le moment où il est capable de conclure à l'élimination définitive de l'hypothèse lorsque celle-ci est reconnue comme non compa-

tible. Les élèves de sixième sont capables de reconnaître qu'une hypothèse est compatible ou non dans une situation d'identification du critère d'une partition avec à peu près le même succès que les élèves de quatrième et les adultes : 50 % ne font pas d'erreurs de traitement, et 30 % font quelques erreurs. Par contre, ils se différencient nettement des élèves de quatrième et des adultes, car ils reprennent souvent une hypothèse qu'ils avaient préalablement écartée comme non compatible : trois quart des élèves de sixième manifestent ce comportement contre une moitié chez les élèves de quatrième, et un quart chez les adultes. Ce comportement, qui ne semble pas imputable à une défaillance de mémoire (oubli qu'une hypothèse a été écartée) traduirait plutôt l'incapacité d'éliminer vraiment une hypothèse à partir du moment où celle-ci a été infirmée. Tout se passe comme si l'hypothèse apparaissait comme plus ou moins plausible selon qu'elle est compatible ou non. Ainsi une hypothèse infirmée, qui de ce fait est devenue moins plausible, peut le redevenir si elle se trouve compatible avec les observations ultérieures.

On peut se demander si la capacité d'éliminer une hypothèse reconnue comme infirmée ne constitue pas une condition nécessaire à la pratique du raisonnement expérimental. Or, on a souvent remarqué que les jeunes élèves (de sixième par exemple) peuvent sembler convaincus sur le moment par une vérification expérimentale qu'un facteur n'a pas d'effet, mais que cette conviction est pour beaucoup d'entre eux fragile et l'effet de la vérification très provisoire, ces élèves revenant à leurs idées premières. On peut avancer l'idée que les élèves chez qui la conviction est fragile seraient précisément les élèves qui sont capables de reconnaître quand une hypothèse est infirmée ou non (ce qui leur permet d'être convaincus sur le moment) mais ne sont pas capables d'éliminer l'hypothèse infirmée : quand cette dernière se trouve ultérieurement compatible avec les observations, elle devient de nouveau recevable. Il reste à expérimenter pour déterminer ce que vaut cette idée. Des recherches de ce genre nous semblent pouvoir apporter des informations utiles pour savoir à partir de quel moment il est profitable d'introduire une initiation expérimentale.

Un deuxième résultat est que certaines situations sont nettement plus faciles que d'autres. Quand on montre à un enfant de huit ans un objet appartenant à la classe, il est capable de reconnaître qu'un caractère présent dans l'objet peut être la propriété définissant la classe (coprésence) mais non un caractère absent. Quand on lui montre un objet n'appartenant pas à la classe, il peut en général reconnaître qu'un caractère absent de l'objet peut être la propriété définissant la classe (coabsence) mais non un caractère présent dans l'objet. C'est seulement vers dix ans qu'il peut conclure correctement sur

les attributs susceptibles d'avoir été choisis comme critère de partition. Dans les deux cas suivants, il conclura que tel attribut a été effectivement choisi comme critère : premier cas, l'attribut est constant d'un objet à l'autre et on lui dit que tous les objets concernés sont dans la même classe, deuxième cas : il voit que l'attribut varie d'un objet à l'autre et on lui dit que les objets concernés ne sont pas dans la même classe. C'est ce qu'on appelle la covariation. Dans tous les autres cas, il conclura que l'attribut en question n'a pas été retenu comme critère.

Ce résultat est à rapprocher du fait, noté précédemment qu'il est plus facile de tester l'effet d'un facteur de type présence-absence que d'un facteur du type attribut. La raison en est, à notre avis, que dans le premier cas, le sujet utilise une matrice de décision de type coprésence-coabsence, tandis que dans le second, il doit avoir recours à une matrice de décision de type covariation, dont l'acquisition est plus tardive.

On observe par ailleurs des différences en fonction du type d'information : la réussite est plus précoce dans le cas où l'objet appartient à la classe que dans celui où il n'appartient pas à la classe. De même, si les objets appartiennent à la même classe, la tâche est plus facile que s'ils n'appartiennent pas à la même classe.

On a trouvé un résultat analogue quand, le sujet ayant découvert la règle, on lui demandait de trouver un couple de pendules montrant que c'est la longueur qui compte et non pas la masse, la forme du balancier etc. : les sujets choisissent de préférence des couples où seule la longueur est constante. Ils ont le même comportement dans la situation de découverte d'un critère de partition quand, après avoir découvert la solution, ils sont invités à choisir un couple d'objets excluant toutes les autres solutions possibles. Il se trouve que c'est le cas où il est le plus facile de conclure : cela correspond en effet à l'information « même classe » (voir communication de M. Mathieu).

Plusieurs résultats laissent penser que ce qui est difficile dans le raisonnement expérimental, ce n'est pas la construction du plan expérimental mais l'acquisition des capacités de traitement de l'information. Utilisant une situation de découverte d'une règle de classification où le sujet choisit lui-même les objets dont il veut savoir s'ils appartiennent ou non à la classe, M. Lecoutre a montré que pratiquement tous les sujets qui possédaient les capacités de traitement de l'information adéquates étaient capables de découvrir la stratégie optimale de recherche de l'information. Par contre, ceux qui ne sont pas capables d'éliminer définitivement une hypothèse n'arrivent pas, même dans les conditions les plus favorables, à adopter cette stratégie.

## 2 — Exemple de démarche expérimentale en mathématiques : Agrandissement de puzzle (enfants de 10 ans) :

On considère souvent que les sciences expérimentales regroupent essentiellement la physique, la chimie, la biologie, pourtant voyons ici un exemple de démarche expérimentale en mathématiques avec l'agrandissement d'un puzzle proposé à des enfants de 10 ans.

Il s'agit donc d'agrandir un puzzle rectangulaire dont les pièces sont des formes géométriques simples : trapèzes rectangles, triangles rectangles, pentagones en forme de maison (réunion d'un rectangle et d'un triangle). Les conditions de l'agrandissement sont précisées ainsi : tel côté de telle pièce dont la mesure est  $a$  dans le puzzle initial doit avoir pour mesure  $b$  dans le puzzle construit. La classe est divisée en groupes, chaque groupe dispose d'un exemplaire du puzzle ; la consigne  $b$  est différente d'un groupe à l'autre.

### Schéma du déroulement de la classe

(1) Présentation du matériel, les enfants réalisent le puzzle ; on fait un dessin au tableau qui va servir à donner la consigne.

(2) Dans chaque groupe, chaque enfant seul dessine et découpe sa pièce en interprétant intuitivement la consigne ; il dispose de la pièce correspondante du puzzle initial.

(3) Le groupe essaie d'assembler le puzzle agrandi et constate son échec ; les reproches mutuels que se font les enfants les obligent à décrire leur manière de faire, à expliciter ce qui leur semble important (généralement le respect des angles), à formuler des hypothèses pour la construction (beaucoup d'élèves proposent d'ajouter  $b - a$  systématiquement à chaque longueur) et à décider quelles sont les pièces à recommencer.

(4) Les enfants construisent de nouvelles pièces en s'aidant et se contrôlant mutuellement cette fois, ceci les conduit à imaginer des procédés de dessin (comme l'utilisation des pièces initiales comme gabarit pour les angles) et éventuellement à modifier leurs hypothèses initiales ou à tricher (ne pas les appliquer) pour que ça aille mieux.

(5) La recherche par groupe est entrecoupée de discussions collectives permettant d'éliminer certaines hypothèses, de proposer des manipulations de contrôle (agrandissement de figures indépendantes du puzzle) et d'aboutir à l'idée que toutes les longueurs doivent être modifiées dans le même rapport ( $y = k \cdot x$ ).

(6) Pour vérifier cette hypothèse et rechercher le facteur, certains élèves reportent sur un graphique les couples  $(x, y)$  obtenus.

(7) En mettant à profit tout ce qui précède les enfants vérifient et corrigent leur travail de construction.

(8) Les enfants sont invités à faire fonctionner le modèle explicité dans diverses situations de façon à mettre en évidence la linéarité (réalisation mathématique).

#### Commentaires

Une analyse détaillée montrerait que les différentes composantes distinguées plus haut s'imbriquent d'une manière dialectique aux différents moments de la classe ; on voit bien qu'on retrouve principalement :

- la description en (1) et (3) ;
- la formulation d'hypothèses en (3), (4) et (5) ;
- la conception et la réalisation d'un dispositif en (2), (3), (4), (5) et (6) ;
- le traitement des données en (4), (5), (7) et (8).

A cette analyse épistémologique peut se superposer une analyse didactique du processus de mathématisation. On trouve alors principalement :

- dialectique de l'action en (2) et (6) ;
- dialectique de la formulation en (3), (4) et (5) ;
- dialectique de la validation en (4), (5) et (8).

#### CONCLUSION

Compte tenu des objectifs qu'on essaie d'atteindre au cours de la démarche expérimentale et des capacités qu'elle suppose chez les enfants, on peut, de ce rapport, dégager un certain nombre de questions :

1) Y-a-t-il un âge limite au-dessous duquel il est vain d'envisager une démarche expérimentale ou tout au moins une certaine forme ou certains aspects de la démarche expérimentale ? Plus généralement quelles sont les for-

mes de démarche expérimentale qui conviennent selon les âges et les niveaux de développement des élèves ?

2) Quelles sont les disciplines où cette démarche expérimentale est réalisable et selon quelles modalités ? Convient-il de faire une approche par discipline ou intégrée ?

3) Quelle autonomie laisser aux élèves ou aux étudiants pour la préparation et la réalisation d'expériences et de plans d'expérience ? Dans la mesure où l'évolution récente des activités de laboratoire s'est traduite par plus d'autonomie des étudiants en particulier au niveau universitaire (Nouvelles tendances dans l'enseignement de la biologie — Volume IV, de la physique, Volume III Unesco 1976) quelle évaluation a-t-on de l'impact de ce développement ?

4) Y-a-t-il lieu d'envisager des enseignements de méthodologie expérimentale dans les disciplines scientifiques ou d'heuristique en mathématique, intégrés ou séparés ? (en particulier au niveau universitaire).

5) Comment aborder le problème didactique fondamental de la réduction du champ des variables possibles ; Comment le maître peut-il intervenir pour conduire les élèves à extraire de tous les facteurs possibles ceux qui se dégagent spontanément et ceux qu'il sait être les plus pertinents et mettre en évidence les facteurs dont l'action est masquée par d'autres. Autrement dit, comment peut-il guider les élèves dans leur recherche et la maîtrise de leur information ?

François COLMEZ,  
maître assistant de mathématiques  
à l'Université Paris VII.

Georgy DELACOTE,  
professeur de physique  
à l'Université Paris VII.

Jean-François RICHARD,  
maître de conférences de psychologie  
à l'Université Paris VIII.

**OBSERVATIONS -  
EXPERIMENTATION :  
MAIS COMMENT LES ELEVES  
APPRENNENT-ILS ?**

Dans cette communication nous apporterons un certain nombre d'informations sur le comportement de l'élève du 1<sup>er</sup> cycle des collèges face à un apprentissage biologique et à l'élevage d'animaux divers (il est précisé dans le texte de présentation « domestique ou non » : le fond du problème est là !)... mais surtout nous aimerions montrer qu'une éducation scientifique expérimentale est possible à partir d'une approche des êtres vivants et de l'environnement naturel.

Nous centrerons nos propos sur un essai pour une meilleure connaissance de l'élève en situation de classe (1) face à une pratique scientifique.

En effet, il se trouve que l'on sait fort peu de chose sur la manière dont l'élève apprend face au maître qui suit son propre cheminement. On sait également fort peu de chose sur la manière dont l'élève — confronté non plus à un exercice scolaire, mais à un problème de la vie quotidienne — arrive à appréhender ce problème et

éventuellement à découvrir, parmi les notions qu'il maîtrise, celles qui lui permettront de mieux le formuler ou d'intervenir sur son cheminement.

Une étude plus prolongée des processus d'apprentissage, des représentations et des obstacles que l'élève rencontre ne permettrait-elle pas au maître de mieux l'aider à poursuivre son cheminement ? De plus, l'analyse des représentations permet de jeter un pont entre le domaine cognitif et la conduite sociale des individus. Elles sont liées aux acquis scolaires antérieurs, mais aussi aux apprentissages de « l'école parallèle », des médias. Les représentations situent donc le rapport de l'élève au savoir et à sa pratique sociale.

Mais, avant d'aborder ce point, nous aimerions situer ce travail dans le contexte institutionnel actuel. Car si l'on veut innover : cela ne pourra se faire par juxtaposition d'études pointillistes, sans que le problème ne soit resitué dans le contexte scolaire. Notre problème n'est pas de faire un discours « intellectuel » se limitant à une autosatisfaction de l'esprit. Notre problème est un problème d'action, de praticien essayant de faire évoluer les choses à partir d'une situation inconfortable.

Pour essayer de remédier à ces difficultés, ne faut-il pas partir des questions que se posent les professeurs dans leur classe et procéder, à l'aide des disciplines fondamentales, à l'analyse de leur origine, en particulier pour ce qui concerne les trois paramètres principaux qui composent la relation pédagogique ? C'est-à-dire :

- l'élève ;
- la science ;
- l'institution avec son projet éducatif dans lequel se situe cette relation.

En effet, l'élément important du processus éducatif n'est pas la science qu'il s'agit « de faire passer ». L'élément important c'est que l'élève dans sa relations avec la science pour permettre à l'enfant, à l'adolescent de **s'approprier en les construisant les outils** (savoir-faire, méthode, concepts) peut-être utiles pour maîtriser son milieu de vie.

**I. — QUELLES SONT LES QUESTIONS QUE SE POSENT  
UN PROFESSEUR DANS SA CLASSE ? (2)**

Comment se fait-il que l'esprit expérimental soit si balbutiant et si peu répandu dans notre société ?

Comment se fait-il que cet enseignement soit en pure perte pour la plupart des élèves qui y ont été soumis ?

(1) Giordan (André). — Pour une autre pédagogie des sciences expérimentales. Centurion.

(2) Quelle éducation scientifique pour quelle société. Collectif. PUF.



Comment prétendre former à la pensée scientifique par des méthodes dogmatiques, linéaires, répétitives ou imitatives, où l'élève est un simple exécutant ou un simple spectateur, pour ne pas dire un simple croyant ?

Comment prétendre former à la pensée scientifique quand nous, enseignant des sciences, nous nous sommes contentés de répéter durant notre formation sans nous poser la moindre question ?

Depuis longtemps, le problème de l'enseignement scientifique est posé, mais il est grand temps de répéter qu'il ne joue pas le rôle qu'il devrait jouer et qui est le sien.

Les critiques que l'on peut faire à l'enseignement actuel sont schématiquement de trois ordres :

1. Nous enseignons seulement par référence à un sacrosaint programme révélé.
2. Un certain nombre d'erreurs pédagogiques résulte d'une analyse épistémologique incomplète. Nos pédagogies reposent sur une image de la démarche scientifique très positiviste.

Nous présentons des faits à « l'état brut » et nous partons de ces quelques constatations issues de l'observation dite « immédiate » pour échafauder tout un édifice théorique. Puis nous parsemons nos propos de quelques expériences pour illustrer un long raisonnement déductif qui va directement à la théorie.

3. Notre enseignement ignore à qui il s'adresse, c'est-à-dire à l'élève.

Il y a un décalage total entre ce que dit le professeur et ce que comprend l'élève. L'exemple que je cite est simpliste, mais significatif.

Un élève me pose un jour la question : « A quoi sert un globule rouge ? ». Je lui réponds : « Ce sont des cellules qui transportent de l'oxygène. » L'élève reprend alors, tout content, pour montrer qu'il a compris : « Alors les globules rouges, c'est des sortes de bulles d'air ? »

Nous développons nos idées d'une manière qui nous semble logique, en nous appuyant sur des notions qui nous paraissent évidentes, mais en oubliant que c'est le fruit d'un long cheminement, d'un réseau d'abstractions, qu'elles ne sont compréhensibles que dans le cadre d'une théorie donnée que les élèves ne connaissent pas, dans l'exemple ci-dessus, la théorie cellulaire ; l'élève lui, s'est construit un modèle à partir de son cadre de pensée.

Dans les centres de formation, on continue de faire croire à l'enseignant qu'il n'y a qu'à montrer à l'élève pour qu'il voit, qu'il n'y a qu'à accumuler des faits pour qu'il comprenne, qu'il n'y a qu'à répéter pour lui faire apprendre. En fait, l'acquisition d'une démarche scien-

tifique expérimentale n'obéit pas à de simples lois d'apprentissage associatif, de mémorisation. Encore moins à un conditionnement.

En fait, connaître, c'est d'abord « opérer », comme le dit Piaget. C'est construire activement une structure qui correspond à une motivation, c'est mettre en jeu des systèmes de relations, d'opérations qui s'appuient sur ce que maîtrise l'enfant, sur son système de référence. Et cela implique pour les jeunes élèves qui ne savent pas encore raisonner sur des supports opératifs abstraits, un maximum d'activité réelle de construction, de mise en relation des supports concrets.

Et cela implique également qu'au lieu de continuer à remplir l'enfant de connaissances, il serait préférable de le débarrasser des idées fausses qui l'encombrent. Autrement on aboutit à un placage. Autrement, malgré tout l'effort qu'ont fait de nombreux professeurs, en continuant à faire enseigner l'anecdotique, le fait superficiel, aseptisé, il ne reste de la science, pour les 97 % de futurs non scientifiques, que des mots et un mythe. Un mythe d'efficacité absolue, teintée d'inaccessibilité, de merveilleux.

C'est d'ailleurs ce qu'a montré une enquête réalisée en terminale, et là on peut poser la question de ce qu'il en est pour ceux qui ont quitté l'école avant. Je reprendrai de cette enquête seulement ce que me disait un élève que j'interrogeais : « La science, c'est sérieux car je n'ai jamais rien compris, à part quelques formules. Mais j'y crois ! »

Or, les conséquences de ce mythe de scientificité (3) sont importantes dans la société actuelle. Pour deux raisons :

- Il favorise le développement de l'irrationnel.
- Il permet la confiscation du savoir et donc du pouvoir.

En effet, pour le premier point, cette image de merveilleux colle mal à la réalité. Et quand on n'est pas préparé à analyser les limites — et la science a aussi ses propres limites qu'elle essaie de dépasser — quand on n'est pas préparé et qu'elles surgissent forcément, on se réfugie dans l'irrationnel. Et cela d'autant mieux que l'enseignement scientifique actuel est trop peu souvent un enseignement où on essaie de convaincre, de développer l'esprit critique. C'est un enseignement où on fait trop souvent croire.

On enseigne, par exemple, la théorie de l'évolution comme le catéchisme.

---

(3) Giordan (A.). — Pour une autre pédagogie des sciences expérimentales. Centurion (chapitres 1 et 2).

Et, d'autre part, à cause du mythe : science égale sérieux, mais aussi : science égale trop compliqué, donc affaire de spécialistes, on assiste à une confiscation du savoir.

D'ailleurs, la « rationalité » de la technocratie repose là-dessus. On prend des décisions politiques, économiques, en s'appuyant sur l'autorité de la science. Malheureusement, trop souvent, on ne fait que récupérer un peu de vocabulaire qui « fait sérieux » comme l'on fait en publicité pour vendre des lessives aux « enzymes ».

Bien sûr, dans le peu de temps que j'ai pour m'exprimer là-dessus, cela est schématique. Mais je crois que ce sont ces quelques points qu'il faudrait discuter entre scientifiques.

En attendant, quelles hypothèses pédagogiques pour sortir de ces insuffisances ?

## II. — HYPOTHESES PEDAGOGIQUES

Dans le contexte préhistorique actuel où se situe la recherche pédagogique et avec les faibles moyens qui sont mis à notre disposition, il ne semble pas rentable de nous lancer dans des recherches théoriques qui peuvent faire illusion grâce à l'arsenal mathématique, qui mettent l'enfant sous cellophane, c'est-à-dire qui ne se préoccupent pas de ce qu'est l'enfant en situation de classe, ni de son devenir. Il est préférable de partir des problèmes tels qu'ils se posent, dans la pratique de la classe, d'essayer d'inventer des pédagogies possibles qui répondent au besoin de l'enfant et aux objectifs de l'éducation scientifique (hypothèses de recherche) et d'essayer d'objectiver ces innovations à l'aide d'instruments d'évaluation souples pour tenter d'affiner ces pédagogies.

Tout cela, bien sûr, ne peut se faire de façon empirique. Cela nécessite l'existence d'équipes de recherche interdisciplinaires comportant à la fois des praticiens et des théoriciens. Une solution est peut-être à cette charnière. Il faut ajouter que cela ne devrait pas déboucher sur une nouvelle vérité pédagogique, mais sur une nouvelle formation, **une formation des maîtres dans un esprit de recherche.**

Nos hypothèses pourraient se résumer par cette équation : **Libération + Structuration (4)**

En effet, il ne semble pas que la science puisse se donner ; il faut se l'approprier. Et cela implique un changement du rapport de l'élève au savoir. Il faut que l'élève, de consommateur, devienne acteur. Cela implique un effort actif de construction à partir d'une pratique du monde

telle qu'elle est pour l'enfant. C'est que nous appelons une **pratique pré-scientifique**. Car, pour les élèves qui débutent l'initiation scientifique, tout se résume à des opérations concrètes qui prennent racine sur les problèmes issus de l'environnement, qui conduisent progressivement, par les opérations d'exploration, d'analyse, d'invention, de comparaison, de structuration, aux démarches et aux concepts scientifiques.

Dans ce contexte, le rôle du maître est plus que jamais indispensable. Son rôle, cependant, est différent de la pédagogie classique, car il se situe sur et avec la démarche de l'élève. Et il sera différent en fonction du stade de développement de l'enfant, et des obstacles que celui-ci rencontre. Et il me semble qu'au lieu d'imposer a priori la structure de connaissance la plus valable, et que traduit souvent une manière conventionnelle de penser, il est plus utile, dans un premier temps, qu'il élargisse le champ étroit de l'expérience de l'enfant.

Pour cela, il peut créer en classe un milieu riche, avec des élevages, des cultures, des documents, du matériel technique, un milieu où l'élève peut observer librement, tâtonner, éventuellement expérimenter, se documenter, travailler en groupe.

Maintenant, comment peut-il changer les représentations fausses des élèves ? D'abord, peut-être, en amenant les élèves à prendre du recul par rapport à leurs représentations. En leur demandant de les exprimer, de les confronter à celles de leurs petits camarades, de faire de petites recherches à leur portée pour les justifier, pour les confronter à la réalité.

Dans un 2<sup>e</sup> temps, le maître pourra aider l'élève à déstructurer sa représentation, en lui démontant ces évidences. Le maître peut alors aussi parfois permettre la poursuite de la structuration en proposant les informations nécessaires ou en mettant l'enfant en relation avec d'autres champs de pensée.

Schématiquement, cette pédagogie possible où alternent différentes phases se situerait au point de convergence d'une pratique de l'enfant et des concepts scientifiques actuels médiatisés par le maître.

Cependant, à ce stade, il ne suffit pas non plus de dire les choses. Le maître devra multiplier les types d'arguments dans un langage compréhensible en utilisant le même système de référence, et en connaissant les obstacles à la pensée de l'enfant et de l'adolescent.

## III. — ATTITUDES ET DEMARCHES EXPERIMENTALES DE 9 A 14 ANS

Nous nous limiterons, ici, à quelques généralités concernant l'observation et l'expérimentation au sens le plus strict, en négligeant d'autres moments également

(4) ibidem (chapitre 2).

importants dans la méthodologie scientifique, tels la maîtrise de l'information et la conceptualisation. Nous ne développerons pas ici les méthodes d'observation utilisées. Disons seulement que ce ne sont pas des situations tests. C'est à propos des problèmes soulevés et traités par les groupes d'élèves par regroupement d'informations diverses (obs. directe ou armée, études de productions entretiens) (5) :

- que nous avons essayé de dégager des indicateurs caractéristiques de leur développement ;
- que nous avons essayé d'analyser les obstacles rencontrés, toujours en référence avec la situation pédagogique et le type d'intervention du maître.

Comment se situent les élèves en début de 6° ?

Les élèves perçoivent seulement le côté apparent des choses : leur aspect isolé, anecdotique. Ils ne commencent pas par analyser, ils enregistrent au hasard ce qui les frappe le plus. Parce qu'ils voient, ils se figurent qu'ils savent, au plus tentent-ils une analogie, qu'ils ne cherchent pas à justifier : ils donnent un mot si possible « savant » qui leur donnent l'impression de savoir. Au mieux, ils recherchent dans les situations antérieures un schéma en établissant des liaisons externes entre les objets. Ils ne raisonnent pas sur le possible : ils croient à leur première représentation.

Il semble que la pédagogie habituelle du primaire ait amené l'élève à se construire un système d'explication affirmatif. L'élève tend à accepter le monde tel qu'il est : il s'est découragé car on n'a pas répondu à ses questions, ni on ne l'a aidé à les résoudre. On lui propose trop souvent des notions dont il n'a que faire, car elles ne le concernent pas, car il ne peut les comprendre. Cela lui a enlevé l'envie de chercher. Par exemple, l'expérimentation même empirique lui semble inaccessible, surtout chez les élèves qui en ont vu faire ou qui en ont fait, mais guidés par le professeur.

Ce manque d'attitude pré-scientifique semble dû à deux types de blocages :

1. au niveau de l'étouffement de la capacité d'investigation des élèves ;
2. au niveau cognitif.

Ce deuxième point, nous y reviendrons par la suite, est d'ordre relationnel. Il est lié au problème d'égoïsme et relève de l'ensemble des attitudes pré-critiques et par conséquent pré-objectives de la connaissance.

Mais le problème en début de 6° est un problème

de déblocage tel que nous nous l'évoquions dans notre hypothèse : LIBERATION.

Au bout de six semaines, les élèves ont pris conscience de l'importance de triturer la nature pour trouver une solution. Ils font des observations qui s'affinent au fur et à mesure. Ils commencent à tâtonner de plus en plus systématiquement. La représentation de l'expérience a changé pour eux, elle a été démystifiée : elle devient à leur portée.

L'exemple ci-après schématise cette évolution :

Un groupe de trois élèves fait des cultures. Cela les a amenés à se poser un certain nombre de questions et à essayer de les résoudre.

Voilà le compte rendu (à la classe) de leur activité effectuée (6).

- P — On a fait pousser dans les pots des moitiés de lentilles et des lentilles entières.
- J — Dans le même pot. C'était mélangé les petites et les grandes.
- P — Ce que je sais, c'est que les moitiés de lentilles, il y a moins de tiges qui ont poussé. Ce que je sais c'est que celles qui ont poussé, ont poussé deux fois plus vite.
- M — Est-ce qu'elles ont poussé plus vite ou germé plus vite ?
- S — Elles ont germé plus vite. C'est pas qu'elles ont poussé plus vite, c'est qu'elles ont germé plus vite parce que poussé, ce doit être la façon forte. Peut-être les autres ont les aides peut-être à se défaire de leur peau.
- P — C'est possible, mais on affirme rien.
- J — On n'a pas pu regarder au binoculaire.
- M — Tu as dit, il me semble, en les coupant ça favorise la germination, en les coupant ça fait craquer la peau. Si vraiment tu voulais vérifier.
- S — Recommencer en mettant moins de lentilles, je crois qu'on a fait une erreur. On en a mis quelques-unes on ne sait pas. On ne peut pas affirmer. Il faudrait mettre dans deux bacs la moitié de chaque.
- P — Comme on n'a pas coupé exactement au milieu, il y en avait une petite partie qui restait dans son coin sans rien faire et une assez grosse partie qui était dégagée de sa peau,

(5) Coulibaly-Deman. — Observation de situations didactiques en sciences (voir par ailleurs).

(6) Giordan (A.). — Thèse (Université Paris V - Paris VII), chap. 4. M = Maître ; P, I, S = Elèves.

et qui était bien coupée, qui faisait je pense sortir le germe plus facilement.

M — Donc en coupant la peau vous pensez que cela a facilité la germination ?

J — Oui.

B — Un petit peu.

M — Qu'est-ce que vous pourriez faire pour vérifier que c'est la peau craquée qui a facilité la germination ?

B — Une course.

M — Comment ?

B — On met de chaque côté des lentilles coupées, de l'autre côté des lentilles entières, et on regarde de chaque côté tous les jours celles qui germent le plus vite.

On pourrait à la fin de cette expérience voir celles qui poussent le plus vite. Et si une pousse plus vite que l'autre. Il faudrait mettre au départ un décalage pour voir celle qui pousse le plus vite.

Une semaine après :

M — Comment as-tu fait ?

P — J'ai pris 3 pots dans 1 on a mis des lentilles coupées, mais le gros bout.

Dans le 2° on a mis les autres morceaux. Les petits. Dans le 3° on a mis les lentilles entières. ... sur le coton...

J — On a vérifié ce qu'on disait, quand elles sont coupées, il y en a moins qui poussent, mais plus vite.

P — Ouah ! mais il y a des petits bouts qui ont poussé aussi.

... en conclusion :

J — En coupant on a facilité la germination, car on a craqué la peau et on les a aidées.

R — C'est vrai ce que tu dis, mais pas entièrement parce que ce n'est pas complet ce que tu as fait, pourquoi tu as coupé les lentilles, du moins ce qu'il y a dedans, tu pouvais qu'enlever la peau.

P — Ouais, c'est pas facile, alors que de couper...

Discussion...

J — On a vérifié on va refaire ce truc.

Q — Moi je ne suis pas d'accord, je veux bien que c'est craqué, c'est plus facile, mais moi j'ai idée que c'est l'eau qui rentre plus vite dedans, alors !

M — J'ai entendu si je ne me trompe pas deux constatations R dit qu'en coupant tu as fait la même chose qu'en enlevant la peau, et Q dit que ce n'est pas le germe qui est moins gêné, mais que c'est peut-être l'eau qui rentre plus vite.

J — Ouais, on va refaire et on va vérifier, et puis on réfléchit, on va voir qui va plus vite, dans un pot on met des lentilles sans la peau, et des lentilles coupées.

S — Et dans un autre on va faire des petits trous avec une épingle.

M — Pour quoi faire ?

S — Pour laisser la peau, mais pour faire entrer l'eau plus vite. J'ai vu...

... la peau mouillée devient molle.

C — D'accord, mais ça n'expliquera pas pourquoi il y a des bouts qui poussent et des petits bouts qui poussent et des gros bouts qui poussent pas ?

M — Comment peut-on l'expliquer ?...

S — C'est le germe ?

De là leur est enfin venue l'idée de repérer « comme était fait un germe » et où il était situé avant la germination.

Le maître intervient non pas pour donner la réponse, mais pour amener à douter, à se justifier.

Dans un premier temps, une attitude scientifique doit donc être une **attitude de recul**. Elle permet à l'élève une prise de conscience des phénomènes par mise en relation ou par mise en ordination des faits et des paramètres brouillés, puis une analyse « purificatrice » de ces faits et surtout de la manière de les appréhender.

Dans ce contexte éducatif, comment naît ce besoin de vérification ou plutôt de tentative de falsification (au sens poppérien) :

— de la confrontation avec les phénomènes ;

— de la confrontation avec les autres élèves ?

Dans les exemples analysés (7), on constate :

— une prise de conscience des opérations en tant que telles. En début de 6°, les opérations portent directement sur les objets et sont en partie solidaires de ces objets. Progressivement, les opérations vont porter sur des opérations abstraites. Ce passage suppose une construction progressive où l'objet est analysé et abstrait ;

— l'apparition du raisonnement sur le possible. L'enfant qui n'admettait et ne croyait qu'à un seul point de vue :

(7) *ib.* chapitre 4.

le sien, perd peu à peu ses certitudes, au contact des autres. Le problème se situe au niveau de la possibilité de donner plusieurs explications possibles à un phénomène, car l'élève n'admet pas la contradiction.

Or le processus formateur réside dans le dépassement progressif des contradictions qui le conduisent ainsi à douter de ces croyances. Celles-ci deviennent des suppositions qu'il s'agit d'établir à l'épreuve des faits.

Un certain nombre d'obstacles encore l'empêchent d'aller plus loin. Citons par exemple : il ne recommence pas une expérience. Quand l'expérience contredit ce qu'il pense, c'est qu'elle est mauvaise : il s'en désintéresse. L'élève fait jouer à l'exp. un rôle d'argumentation et non de contestation d'une idée. La remise en cause des opinions n'est que très progressive. Cela n'a rien d'étonnant : c'est un problème de blocage affectif, c'est aussi un long détour épistémologique : celui qui consiste à expliciter un modèle pris comme supposition, à le confronter à la réalité et à se prononcer sur sa réalité en se référant aux résultats de la confrontation.

L'exemple suivant marque cette progression : un groupe d'élèves présente leurs travaux :

« Le lendemain tous les têtards étaient morts, nous avons voulu savoir, tout le monde n'était pas d'accord. Nous allons dire toutes les choses qui nous semblent valables, qui peuvent avoir été. La semaine prochaine on aura d'autres têtards. L'élève G a dit que chez sa grand-mère, derrière la maison, il y en a plein. On aura des têtards et on fera une expérience et on dira si on peut savoir pourquoi.

Voilà nos idées :

1. Manque de plantes aquatiques
  2. Manque de plancton
  3. Ils ont été secoués
  4. Climat trop chaud dans le bocal
  5. Un mort peut-il en tuer d'autres ?
  6. Par manque d'air ? Car ils ont bouché le flacon.
- « Ils ont pu mourir pour une de ces raisons... »

Discussion en grand groupe.

- P — « Le manque de plante c'est pareil que le que le manque d'air parce que les plantes fabriquent de l'oxygène, c'est ensemble. »
- Mn — « Le 5 on peut l'éliminer car le problème est de savoir pourquoi le 1<sup>er</sup> est mort. »
- Me — « Ils ont pu mourir pour plusieurs raisons. Le premier est mort parce que vous l'avez blessé et il a infecté les autres. »

Pi — « Moi j'ai d'autres raisons : c'est le manque d'espace trente dans ce petit bocal, je leur avais dit. J'ai une expérience, une autre, dans le bocal de Pi, ils ont été secoués, mais il y y en avait que 10, et ils vivent. C'est pas d'être secoués, c'est l'espace, j'élimine le 3. »

Mu — « Ne les avez-vous pas laissés trop longtemps hors de l'eau ? Ne sont-ils pas diminués ? Moi je pense à ça. »

Pa (du groupe faisant l'exposé)

« Bon d'accord, vous, vous notez toutes les idées sur une feuille et on va les éliminer, en faisant des expériences. Si vous avez des idées d'expériences, vous les notez, ça évitera de nous critiquer. »

M — « Est-ce que vous pourriez nous dire comment vous allez faire pour ces expériences ?

Mi (du groupe faisant l'exposé)

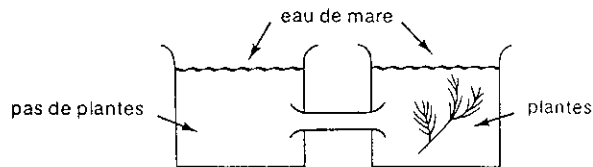
« Pour les plantes, on met dans un pot... on prend deux pots, dans un on met des plantes dans l'autre de l'eau de mare. »

N — « Dans le premier aussi de l'eau de mare, il faut mettre pareil autrement on ne sait pas si c'est une chose ou l'autre... »

Pi — « Vous mettrez pas trop de têtards ?

E — « Moi j'ai une idée, c'est pour éviter de faire mourir les têtards trop. »

E — « Je vais la dessiner au tableau. »



Ma — « Moi, je reviens à ça, mais c'est pareil pour E. Vous parlez des plantes, mais on ne sait si elles agissent pour la nourriture ou pour l'air. »

L — « L'oxygène. »

Ma — « Oui l'oxygène, pas pour les deux. » etc.

La discussion continue pour préciser chaque point.

Fo — « Pour les plantes et l'oxygène, moi j'ai une idée... Je mets les plantes derrière un bas de nylon... comme ça... elles pourraient faire des bulles, mais les têtards ne les prendront pas directement... »

EM — « C'est bien ton truc, mais il faudrait mettre de l'eau de mare sans plancton. »

Ma — « Comment faire ? »

EM — « C'est simple comme chou, on filtre !... »

Le maître joue ici le rôle d'animateur. Il devra canaliser la discussion pour éviter qu'elle ne s'enlise, car les interventions des élèves s'enchaînent et passent de point en point. Il doit constamment clarifier la discussion pour que le groupe d'élèves débouche sur des expériences à effectuer. Ceux-ci habitués à tâtonner ne manquent pas d'idées. On peut constater aussi qu'ils ont déjà un souci de précision : la critique est immédiate, si l'élève a oublié de prendre en considération un paramètre : voir plante et oxygène.

Dans cet exemple, l'activité expérimentale commence à être bien assumée. Les élèves essaient à partir de ce qu'ils ont fait, de formuler leurs procédures (à l'aide d'une description verbale et même d'un schéma), de les comparer et de vérifier par une pratique empirique quelles formulations sont valides. De plus, leur formulation a priori commence à prendre le statut d'hypothèses.

A ce stade par comparaison et critique s'établit un certain nombre de composantes de la méthodologie expérimentale : l'expérience témoin, le fait de recommencer plusieurs fois l'expérience, l'usage de la mesure et du repérage.

Trois obstacles épistémologiques cependant demeurent (8) :

- l'absence d'une combinatoire ;
- dissociation systématique des facteurs ;
- un problème de synthèse.

Ce sont à la fois des problèmes de mise en relation et d'interprétation liés aux traitements de l'information et à l'insuffisance ou à l'inadaptation des concepts référentiels qu'ils maîtrisent.

Cependant, ne voit-on pas les élèves se dégager progressivement de cet empirisme quitte à y retomber continuellement ?

L'expérimentation vague et inconsciente (l'exp. dite pour « voir ») ne se transforme-t-elle pas progressivement en expérimentation consciente et raisonnée. Ne commencent-ils pas à poser le problème en termes opératoires et à le fractionner en problèmes plus étroits. Ne font-ils pas des variations à l'extrême puis de façon plus sérieuse ? Tout cela est-il loin d'une démarche expérimentale ? D'autant plus que le doute et la critique des faits qui donnent aux sciences leur véritable caractère sont déjà présents chez ces élèves.

André GIORDAN,  
Concepteur de recherches INRP, Paris.  
Section sciences et environnement.

(8) ib. chapitre 4.

## ANNEXE I

### Ex. de grille d'analyse des niveaux successifs d'attitude scientifique \*

#### — *Curiosité*

##### Niveau 1 :

- ne s'intéresse à rien  
(cela ne signifie pas qu'il y a absence de curiosité mais qu'elle ne se manifeste pas dans ces conditions).

##### Niveau 2 :

- regarde superficiellement, touche, baille devant les animaux ou les plantes, passe d'une chose à l'autre sans fils conducteurs.
- ses questions sont implicites (sans formulation)
- fait des comptes rendus de ses observations contenant des idées préconçues.

##### Niveau 3 :

- étonnement ponctuel
- commence à regrouper ses observations
- pose des questions factuelles, anecdotiques, centrées sur le monde égocentrique de l'enfant.

##### Niveau 4 :

- étonnement devant une situation où un fait remet en question le savoir antérieur, où un fait complète le savoir antérieur,
- pose des questions précises qui motivent pour une investigation ultérieure
- fait des observations précises sous-tendues par une motivation
- curiosité qui débouche sur des activités constructives intellectuelles.

#### — *Activité critique*

##### Niveau 1 :

- accepte tout ce qui se présente sans le mettre en question
- tient les idées acquises comme une vérité.

##### Niveau 2 :

- commence à se poser des questions et discute de ce que disent les autres quand le maître le lui demande
- s'attache plus à la façon de présenter qu'au contenu
- critique sans émettre d'argument.

##### Niveau 3 :

- se pose des questions sur le travail des autres
- critique tout seul, même de façon incomplète
- tient compte des éléments qui infirment ses résultats
- apparition de la critique argumentée

##### Niveau 4 :

- remet en question quelques idées établies en se référant à son expérience
- contrôle les faits en tenant compte de tous les éléments éventuellement en recherche.

\* ib. (extrait) chapitre 3.

## — Activité Investigatrice

Niveau 1 :

- passif

Niveau 2 :

- fait une investigation  
si encouragé,  
si aidé,  
si on lui donne des idées.

Niveau 3 :

- fait une investigation tout seul  
en envisageant une seule possibilité  
et s'arrête en cas d'échec.

Niveau 4 :

- fait une étude tout seul à partir d'une question personnelle,  
en envisageant plusieurs possibilités d'investigations, sans  
qu'il lui soit nécessaire de réussir dans l'application.

## ANNEXE II

### Exemple de grille d'analyse concernant l'acquisition et utilisation du concept méthodologique d'opérant expérimental \*

Niveau 1 :

- ne tâtonne pas  
ou tâtonne au hasard.

Niveau 2 :

- tâtonnement par contiguïté - mise en liaison de 2 paramètres  
voisins  
opération sur les objets au hasard

---

ib. (extrait) chapitre 4.

- raisonne sur le concret : comparaison par comparaison, de  
façon événementielle.

Niveau 3 :

- tâtonnement en fonction d'un fil conducteur  
mise en liaison en n'envisageant que quelques paramètres.

Sous-Stage 1 :

- tâtonnement plus systématique en fonction d'une idée (sou-  
vent vaste et imprécise), implicite (expérience pour voir)
- l'enfant opère sur des cas particuliers liés à l'observation  
immédiate,  
début du raisonnement par intériorisation de l'action : par-  
vient à se libérer progressivement du concret : opération sur  
les opérations concrètes.

Sous-Stage 2 :

- tâtonnement systématique en fonction d'idées possibles (appari-  
tion du possible = hypothèses), toutes les possibilités ne  
sont pas envisagées d'avance : le tâtonnement et la discussion  
permet d'envisager les différentes possibilités
- raisonnement sur des possibles et interprétation : déduc-  
tion intimement liée aux situations concrètes, chaînes déduc-  
tives courtes.

Niveau 4 :

- réalisation d'une combinatoire systématique avant d'expéri-  
menter : tâtonnement accessoire : opération sur des opéra-  
tions abstraites
- mise en relation multiple, en envisageant la plupart des pos-  
sibilités
- fait des hypothèses à partir d'une observation suggérée par  
une théorie ou un système de pensée, raisonnement par des  
chaînes déductibles longues et ramifiées : déduction sur des  
situations représentées,
- début de construction de modèles opératoires.

## LIBRE CHOIX, MOTIVATION ET COMPORTEMENT :

### le cas des travaux pratiques de chimie

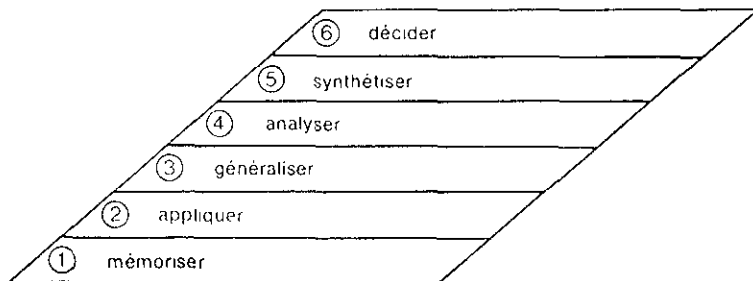
	Première option	Deuxième option
Atomistique et radioactivité .....	64	49
Ciment, chaux, béton, génie civil ..	30	27
Corrosion et galvanoplastie .....	13	14
Analyse et étude du lait .....	14	18
Recherche et caractérisation de colorants dans les produits alimentaires .....	75	80
Analyse du vin ; distillation ; alcool absolu .....	34	29
Distillation du pétrole brut ; caractérisation des produits dérivés ..	20	33
Caractérisation, fabrication, récupération des matières plastiques ..	25	52
Synthèses organiques .....	19	26
Analyse des eaux (eaux minérales et eaux usées) .....	24	35
Mesure de la pollution atmosphérique .....	34	75
Diffraction des Rayons X par les cristaux .....	6	12
Piles à combustibles .....	21	43
Energie solaire .....	193	76
Piles photogalvaniques .....	11	23
Conductivité thermique .....	4	4
Pouvoir calorifique d'un combustible	8	15

Nous avons observé depuis plusieurs années le comportement d'étudiants de premier cycle de l'enseignement supérieur placés en situation de libre choix. Nous rendons compte ici de l'excellente corrélation obtenue entre les objectifs pédagogiques fixés et les résultats obtenus.

A l'I.N.S.A. de Lyon (Institut national des sciences appliquées) le professeur Jean Veron et son équipe placent quatre séances de « travaux pratiques autonomes » au milieu de la 2<sup>e</sup> année (c'est-à-dire durant Bac + 2). En janvier il est demandé aux 600 étudiants de la promotion à quel grand thème se rattache le sujet qu'ils voudront travailler. Voici les désirs exprimés en 1976-1977 par exemple :

Certains expriment immédiatement un désir très précis : fabriquer un parfum (1), étudier la pompe à chaleur (3), analyser un minerai local (2), une roche (2), de l'eau de mer (1), etc.

La durée prévue est de quatre séances de trois heures, à raison d'une séance par semaine ; cette année les vacances de Pâques tombaient entre les séances 3 et 4. Il est entendu que ces travaux pratiques autonomes ont pour objectifs les points 4 et 5 de la taxonomie suivante, dérivée de Bloom :





Les étudiants organisent par eux-mêmes leur plan de travail. Ils en rendent compte étape par étape mais les enseignants (1 pour 12 étudiants) s'efforcent d'intervenir au minimum et toujours de pousser les étudiants vers d'autres interlocuteurs et d'autres sources d'information, de préférence extérieures : autres départements, bibliothèques, usines, correspondance, etc. Cette convention est immédiatement et joyeusement acceptée, ainsi que la suivante : « Il faut se débrouiller avec les moyens disponibles » ; ils sont considérables sur le campus mais l'existence même d'une limitation est ainsi admise.

Il est demandé, en plus du cahier-journal personnel tenu chronologiquement un rapport personnel : on suggère le plan suivant :

- \* ce que j'ai lu
- \* ce que j'ai vu
  - dans l'INSA
  - à l'extérieur
- \* ce que j'ai fait
  - à l'INSA
  - à l'extérieur
- \* ce que je ferai

A l'Université Lyon I, en Deug B 1<sup>re</sup> année (Bac + 1) les étudiants reçoivent un enseignement portant sur de nombreuses matières. L'image de marque de la chimie est plutôt mauvaise lors de leur arrivée. Nous cherchons à obtenir une attitude active de l'étudiant en travaux pratiques en diminuant progressivement les directives qui lui sont fournies. Vers le milieu de l'année scolaire des groupes d'étudiants volontaires sont capables d'entamer ce que nous appelons une micro-recherche. Dès le début de l'année un choix non limitatif de sujets est proposé et peu à peu des groupes se constituent. Une fois le thème fixé, le groupe (deux ou trois étudiants) réalise une étude bibliographique et cherche à mieux définir le sujet. L'équipe d'enseignants fournit les informations demandées et arrête un avant-projet.

Dans un deuxième stade il s'agit d'obtenir les moyens matériels nécessaires à l'étude. Si le laboratoire ne les possède pas, le groupe est mis en contact avec des personnes étrangères à l'enseignement. Par exemple un groupe ayant décidé de travailler sur la pollution de l'air et plus précisément sur le dosage de l'acidité forte (SO<sub>2</sub>) a été mis en contact avec la directrice de bureau d'hygiène de la ville de Lyon. Le groupe a pu ainsi

emprunter pendant trois semaines un système complet de dosage (pompe, compteur, filtres...). Les mesures de ce groupe ont été comparées à celles obtenues en routine par le Bureau d'Hygiène en un lieu très proche du Campus à Villeurbanne.

Dans le dernier stade le groupe rédige un rapport et le présente oralement. Le rapport est considéré comme aussi important que le travail pratique.

Dans un travail sur les boissons gazeuses, le programme comportait une étude bibliographique des principaux types de boissons gazeuses (les fabricants consultés n'avaient pas indiqué la composition de leurs produits), et une étude chimique (dosages d'acidité dans le coca cola...) et se terminait par un rapport critique et, last but not least, la confection d'une boisson gazeuse, dégustée par le jury.

Nous avons constaté depuis trois ans, à l'Université Lyon I comme à l'I.N.S.A., une motivation extrêmement forte entraînant un comportement souvent très actif.

Le libre choix suggère immédiatement que les sujets qui intéressent nos étudiants sont singulièrement différents des matières que nous leur enseignons.

Bien que les étudiants soient placés en situation nouvelle, le travail autonome commence très rapidement et se poursuit activement. Très fréquemment des étudiants reviennent au laboratoire en dehors des heures de travaux pratiques, et consacrent du temps personnel, et de vacances même, à cette étude qu'ils ont choisie. L'étude de l'énergie solaire a donné lieu à de véritables tours de force.

Nous avons reçu des comptes rendus de 50 à 60 pages montrant en plus d'une importante activité, des démarches réellement scientifiques, partant d'une hypothèse soigneusement explicitée, passant par une expérimentation chiffrée, pour aboutir à une conclusion : cette conclusion est souvent contraire d'ailleurs aux espoirs du chercheur débutant et ceci mérite d'être noté.

D'une manière générale ces micro recherches sont extrêmement motivantes et ont un effet bénéfique sur les résultats à l'examen. Mais surtout elles initient réellement les étudiants aux mécanismes de la recherche. Il est extrêmement réconfortant pour l'enseignant de les voir découvrir avec stupéfaction que les problèmes très simples qu'ils ont posés et en partie résolus les amènent à... savoir en poser de plus compliqués. Manifestement les problèmes soulevées au cours de ces activités autonomes donneront lieu à de nouvelles activités autonomes : nous en avons déjà eu confirmation les années précédentes.

Henri LATREILLE,  
Maurice CHASTRETTE,  
Centre Lyonnais d'Etudes et de Recherches  
pour l'Enseignement de la Chimie.

# ETUDE DE LA PRATIQUE DU RAISONNEMENT EXPERIMENTAL CHEZ DES ETUDIANTS EN SCIENCES HUMAINES

## I. — PRESENTATION DES RECHERCHES

Les recherches menées par notre équipe sont parties de notre pratique pédagogique de formation des étudiants à la démarche expérimentale dans le domaine des sciences humaines et plus précisément de la psychologie. L'initiation à la méthodologie expérimentale est souvent une initiation aux techniques statistiques qui paraissent a priori faire difficulté à des étudiants d'origine littéraire majoritairement. Il nous est apparu que l'acquisition des procédures de calcul posaient en fait peu de problèmes aux étudiants et que les difficultés étaient ailleurs.

Il nous a semblé utile d'isoler différentes activités dans la démarche expérimentale.

A un premier niveau, le problème est de savoir quel type de données il convient de recueillir pour répondre à une question.

Il s'agit ensuite d'être capable de sélectionner de manière pertinente des données et de les structurer de façon à ce que l'analyse en soit possible. Il faut donc construire un « protocole dérivé » en utilisant une grille d'analyse appropriée aux questions que l'on se pose.

Il faut enfin posséder une procédure qui permette de répondre aux questions posées et être capable aussi de préciser l'ensemble des questions auxquelles un tableau de données peut permettre de répondre.

C'est pour préciser les difficultés liées à ces différents points que des recherches ponctuelles ont été construites ou sont envisagées. Nous nous sommes proposés de repérer les procédures « spontanées » utilisées par les étudiants dans des problèmes simples ne nécessitant pas la mise en œuvre de techniques de calcul élaborées.

Notre équipe de recherche mène ces recherches essentiellement auprès d'étudiants en psychologie, mais il nous semble que le problème déborde la méthodologie psychologique et concerne de façon plus générale la formation à la pratique du raisonnement expérimental dans des disciplines très diverses.

Pour ce qui est du premier niveau concernant le **type de données qu'il convient de recueillir pour répondre à une question**, signalons simplement que nous n'en sommes pour l'instant qu'au niveau d'un projet dont nous ne mentionnerons que les grandes lignes :

Nous pensons mettre l'étudiant dans la situation dans laquelle se trouve un chercheur qui s'interroge sur les causes d'un phénomène. L'étudiant devra découvrir les facteurs déterminant les variations d'un comportement. Nous chercherons à étudier les stratégies de recherche de l'information utilisées par les étudiants. Que choisit-il de faire varier ? A-t-il des hypothèses explicites ? Quelle information tire-t-il des données qu'il reçoit, relativement à ses hypothèses ? Comment se comporte-t-il face à des interactions ? Dans cette tâche, sont évidemment mises en jeu toutes les difficultés liées à l'analyse des données, difficultés qui ont donné lieu à des recherches particulières.

Les premières recherches effectuées concernent la **structuration des données**, la construction d'une grille d'analyse pertinente par rapport aux données expérimentales. L'expérience est la suivante (1) : on donne aux étudiants un questionnaire d'enquête et les réponses d'un petit échantillon de la population à quelques-unes des questions posées. La tâche des étudiants consiste à imaginer un ensemble de catégories qui permette de classer toutes les réponses que l'on pourrait recueillir aux diverses questions. L'étudiant doit ensuite construire

(1) Cauzinille (E.), Weil-Barais (A.). — Enquête sur les activités de traitement de données non numériques par des étudiants en psychologie. — Document roncoté, 1976. Equipe de recherche « Recherches psychologiques sur les apprentissages et la didactique ».

le protocole, c'est-à-dire faire correspondre à chaque individu l'une des catégories qu'il a préalablement définies.

Nous ne soulignerons ici que l'un des résultats de cette recherche à savoir la très faible proportion de nos étudiants capables de construire des catégories adéquates lorsqu'il n'est pas possible de classer les réponses obtenues dans un ensemble de catégories unidimensionnelles. C'est le cas habituel lorsque les réponses à analyser (les comportements) sont riches et diversifiées. On touche là au problème de la construction d'une grille d'analyse qui n'est jamais, même pour un chercheur dit « confirmé », une tâche aisée.

On observe que lorsque les étudiants prennent en compte la diversité des réponses obtenues, ils construisent des ensembles de catégories hétérogènes relevant de critères de classification divers. Mais le comportement le plus fréquent consiste à ne retenir qu'un critère de classification des données recueillies. Dans ce cas, ou bien la totalité des réponses obtenues n'est pas classée, ou bien les catégories construites sont extrêmement vastes. Ce type de catégories conduit évidemment à faire perdre aux données primitives toute leur richesse et ne peut permettre que des analyses très grossières.

La difficulté observée dans la construction de catégories multidimensionnelles paraît être une difficulté cognitive particulière puisqu'on la retrouve également dans des situations où la tâche du sujet ne consiste qu'à identifier de telles catégories.

Il nous semble donc que même sur ce point, qui pouvait paraître trivial, il serait intéressant de construire des situations d'enseignement utilisant des problèmes de structures variées, et de faire sur ce point un enseignement systématique.

Les recherches suivantes portent sur la **découverte d'une procédure permettant de répondre aux questions que l'on peut se poser à partir de données expérimentales.**

Nous avons étudié deux situations relatives à la lecture de données :

Dans un premier type de situation on fournit aux étudiants des tableaux de données qui permettent de conclure sur un ou deux facteurs.

Dans un second type, on fournit aux étudiants des comparaisons et les résultats de ces comparaisons.

La première situation permet d'étudier les difficultés relatives à la lecture de tableaux de résultats (2).

(2) Richard (J.-F.), Weil-Barais (A.). — **Construction et commentaire de tableaux de résultats.** — Document ronéoté, 1975 ; et Richard (J.-F.), Weil-Barais (A.). — **Construction et commentaires de tableaux de résultats, expériences n° 2, Protocole numérique.** — Document ronéoté, 1976.

Nous avons constaté que dans le cas d'un tableau à un facteur, plus d'un étudiant sur deux ne fournit pas de conclusion comparative sur le facteur présent dans le tableau. Les étudiants se contentent de reformuler les résultats. Dans le cas d'un tableau à deux facteurs, la plupart des étudiants songent à faire une comparaison sur l'un ou l'autre facteur, mais ils sont peu nombreux (moins de 10 %) à faire les deux comparaisons. Ainsi, une fois le tableau examiné d'une façon, les étudiants ne procèdent plus à un ré-examen utilisant la procédure symétrique. C'est donc une lecture linéaire qui est privilégiée, comme si le tableau n'avait qu'une seule entrée. Un certain nombre d'étudiants procède à des comparaisons locales (comparaisons sur quelques cases du tableau) non systématiques et insuffisantes pour déterminer quelles sources de variation interviennent dans les résultats.

D'un point de vue pédagogique on peut avancer la conclusion que pour ce type de situation l'idée de la comparaison n'est pas nécessairement naturelle et qu'à côté des outils statistiques indispensables à la réalisation de la comparaison, il convient d'apprendre à explorer l'ensemble des comparaisons permises par les données.

La deuxième situation utilisée que nous exposons en détail dans la seconde partie vise à étudier comment l'étudiant se prononce sur la compatibilité d'une hypothèse avec des résultats expérimentaux. Nous renvoyons le lecteur à cette seconde partie.

L'ensemble des résultats déjà obtenus ont permis de mieux cerner les difficultés des étudiants dans les activités en jeu dans la démarche expérimentale. Il convient de remarquer, pour l'ensemble des situations étudiées, que les procédures « spontanées » des étudiants sont en général adéquates pour les problèmes simples : cas où une seule source de variation intervient, cas de données unidimensionnelles. En dehors de ces cas simples avec lesquels les étudiants ont été les plus familiarisés et qui représentent un coût cognitif moindre, les procédures sont inadéquates : les étudiants traitent mal l'information ou n'arrivent pas à la traiter.

## II. — COMMENT LES ETUDIANTS SE PRONONCENT SUR LA COMPATIBILITE D'UNE HYPOTHESE AVEC DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

La situation choisie :

La situation proposée aux étudiants consiste en un ensemble de résultats relatifs à des comparaisons qui ont été faites sur des données expérimentales. L'ensemble de résultats choisi est très restreint et bien structuré. Seuls, deux facteurs permettant de décrire la situation ont été retenus. Les résultats ne sont pas donnés sous

forme numérique : pour chaque comparaison, nous indiquons simplement s'il existe ou non une différence entre les résultats relatifs aux deux termes de la comparaison.

Cela permet d'éliminer les problèmes liés à la lecture de tableaux de données et aux procédures statistiques de calcul à mettre en œuvre pour les traiter.

Etant donné cet ensemble de résultats, nous demandons à l'étudiant de se prononcer sur la compatibilité d'une hypothèse, relative à l'effet de l'un des facteurs.

L'hypothèse donnée est supposée être une hypothèse faite par des chercheurs en agronomie : « Le rendement à l'hectare, pour une culture donnée, dépend de l'engrais utilisé. »

Différents ensembles de résultats supposés sont donnés à l'étudiant (3).

Les comparaisons faites ne mettent en jeu que deux facteurs (l'étudiant est informé que les facteurs non mentionnés ont été contrôlés).

Les facteurs considérés sont les suivants :

— la nature de l'engrais X1 ou X2 ;

— la nature du terrain Y1, argileux, ou Y2, calcaire.

Les résultats des comparaisons sur les facteurs X et Y permettent de se prononcer sur l'effet de chacun de ces deux facteurs.

Pour chaque ensemble de résultats, l'étudiant doit se prononcer sur la compatibilité de l'hypothèse : « Le rendement à l'hectare pour une culture donnée dépend de l'engrais utilisé. »

Les comparaisons choisies, et les cinq ensembles de résultats sont présentés ci-dessous. Dans chaque comparaison on indique les valeurs prises par chacun des facteurs (X1 ou X2, Y1 ou Y2). Les deux termes de chaque comparaison sont séparés par une virgule. La comparaison notée X1 Y1, X2 Y1, représente la comparaison sur un même terrain (Y1, argileux) des deux engrais X1 et X2.

Lorsque, pour une comparaison donnée, les résultats sont différents on a noté 1 ; lorsque l'on considère que les résultats sont équivalents on a noté 0.

Chaque ensemble de résultats relatifs aux 4 comparaisons définit un problème (noté de 1 à 5).

TABLEAU 1

Hypothèse proposée : « le rendement à l'hectare pour une culture donnée dépend de l'engrais utilisé ».

Ensemble des résultats proposés					
Problèmes	Ensemble des comparaisons				Réponse attendue (C ou $\bar{C}$ ) (2)
	A X1 Y1, X2 Y1	B X1 Y2, X2 Y2	C X1 Y1, X1 Y2	D X2 Y1, X2 Y2	
1	1	1	0	0	C
2	0	0	0	0	C
3	0	0	1	1	C
4	1	1	1	1	C
5	0	1	1	1	C

(2) — C : l'hypothèse est compatible avec l'ensemble des résultats correspondants.

—  $\bar{C}$  : l'hypothèse n'est pas compatible avec l'ensemble des résultats correspondants.

(3) La situation ne correspond pas à une situation réelle, mais a été construite pour cette recherche.

Quel que soit le problème, les deux premières comparaisons permettent de se prononcer sur l'effet du facteur X, (X varie et Y est constant), les deux dernières sur l'effet du facteur Y (Y varie et X est constant).

On admet qu'une hypothèse portant sur un facteur est compatible avec des résultats si l'on observe une différence sur au moins l'une des comparaisons où le facteur varie (lorsqu'on compare deux des modalités du facteur considéré). Les réponses attendues sont donc les suivantes :

Dans les problèmes 1 et 4 l'hypothèse donnée est compatible (C) avec les résultats : l'engrais a un effet. Dans les problèmes 2 et 3, l'hypothèse donnée est non compatible ( $\bar{C}$ ) avec les résultats : l'engrais n'a pas d'effet.

Le problème 5 présente un cas d'interaction : l'engrais a un effet, mais seulement lorsque le terrain est calcaire.

Pour nous permettre de préciser quel sens les étudiants donnent à des formulations du type :

Une hypothèse est compatible avec des résultats.

Un facteur a ou non un effet.

L'effet d'un facteur n'est pas le même selon les valeurs d'un autre facteur.

Nous avons construit deux formes de questionnaires mettant en jeu ces formulations, et nous avons demandé à l'étudiant de justifier ses réponses en précisant sur quel (s) résultat (s) des comparaisons il s'appuie pour conclure.

### Les questionnaires.

Pour chacun des cinq problèmes posés (passés dans l'ordre indiqué dans le tableau 1), tous les étudiants devaient se prononcer sur la compatibilité de l'hypothèse donnée en indiquant si elle était ou non compatible avec les résultats, ou en cochant une case « autre conclusion » s'il n'était d'accord avec aucune de ces propositions.

Les étudiants du **groupe 1** (dit groupe à réponse construite, RC) devaient ensuite indiquer sur quels résultats ils s'appuyaient pour répondre (en notant les comparaisons correspondantes) et pouvaient justifier leurs réponses par les commentaires qu'ils souhaitaient.

Les étudiants du **groupe 2** (dit groupe à choix multiples, QCM) devaient, après s'être prononcé sur la compatibilité de l'hypothèse, indiquer leur accord ou leur désaccord avec un certain nombre d'énoncés portant sur l'effet des facteurs. Pour chaque énoncé les étudiants devaient justifier leur réponse en notant les comparaisons qu'ils utilisaient.

Le choix de ces deux questionnaires a été motivé par le double souci d'avoir d'une part les réponses spontanées des étudiants et d'autre part d'avoir un ensemble systématique de réponses relatives à l'effet des différents facteurs.

### La population étudiée.

493 sujets ont répondu aux questionnaires (261 en réponse construite et 232 en QCM). Il s'agit d'étudiants inscrits en psychologie à l'Université de Rouen et à l'Université de Paris VIII qui ont répondu aux questionnaires au début de l'année universitaire et d'élèves de classe terminale qui ont répondu aux questionnaires à la fin de l'année scolaire. L'épreuve s'est passée collectivement et était anonyme. Les sujets étaient avertis qu'il s'agissait d'une recherche pédagogique.

### Résultats.

Nous présenterons d'abord les résultats relatifs aux jugements portés sur l'effet des facteurs, puis les résultats relatifs aux jugements de compatibilité de l'hypothèse donnée avec les résultats expérimentaux.

## I. — ETUDE DES REPONSES AUX ENONCES PORTANT SUR L'EFFET DES FACTEURS

Nous analyserons ici les réponses fournies par les étudiants du groupe 2 (QCM) ; ceux-ci devaient indiquer leur accord ou leur désaccord avec des énoncés du type :

- le facteur X a un effet ;
- le facteur X n'a pas d'effet ;
- l'effet de X est différent selon Y, et des énoncés similaires pour le facteur Y.

1. — Les énoncés du type « un facteur a ou n'a pas d'effet » ne posent aucun problème pour la grande majorité des étudiants. On observe très peu d'abstention et 93 % des étudiants en moyenne se prononcent correctement sur l'effet des facteurs, et cela quel que soit le problème. 80 % des sujets s'appuient sur les comparaisons où le facteur X varie pour conclure sur l'effet de X, et 80 % s'appuient sur les comparaisons où le facteur Y varie pour conclure sur Y ; très peu de sujets (5 %) s'appuient sur les comparaisons où Y varie pour conclure sur X et inversement.

### 2. — Les énoncés d'interaction.

Les résultats obtenus montrent que la formulation d'interaction « l'effet de X est différent selon Y » est pour la majorité des étudiants équivalente à « Y a un effet ». Inversement, la formulation « l'effet de Y est

différent selon X » est équivalente à la formulation « X a un effet ». Cela s'observe tant au niveau des réponses émises qu'au niveau des comparaisons prises en considération qui sont les comparaisons relatives au facteur Y pour « l'effet de X est différent selon Y » et les comparaisons relatives au facteur X pour « l'effet de Y est différent selon X ».

En résumé, il apparaît que les formulations « un facteur a ou n'a pas d'effet » ne posent pas de problèmes aux étudiants, même dans le cas du problème 5 où l'on n'observe une différence que pour un seul niveau du facteur X. Les réponses sont très majoritairement correctes et les comparaisons prises en considération sont adéquates. Par contre les formulations utilisées pour

exprimer l'interaction ne sont pas comprises par les étudiants au sens où l'entendent les chercheurs. Notons d'ailleurs que nous n'avons obtenu que très peu de formulations « spontanées » d'interaction pour le groupe 1, répondant en réponse construite. De plus, nous n'en avons guère observé plus au problème 5 que dans les quatre premiers problèmes (de l'ordre de 5 %).

## II. — ANALYSE DES JUGEMENTS DE COMPATIBILITE DE L'HYPOTHESE DONNEE AVEC LES RESULTATS

1) Jugements des étudiants sur la compatibilité de l'hypothèse « le rendement à l'hectare pour une culture donnée dépend de l'engrais utilisé ».

TABLEAU 2

Pourcentages de sujets se prononçant sur la compatibilité de l'hypothèse « engrais » (facteur X), pour chacun des cinq problèmes (groupe 1, RC).

Comparaisons	Problèmes				
	1	2	3	4	5
A X1 Y1, X2 Y1	1	0	0	1	0
B X1 Y2, X2 Y2	1	0	0	1	1
C X1 Y1, X1 Y2	0	0	1	1	1
D X2 Y1, X2 Y2	0	0	1	1	1
Compatibilité C	.85	.09	.12	.42	.11
Non compatibilité $\bar{C}$	.09	.80	.77	.25	.49
Autre chose A	.05	.11	.11	.32	.36
Non réponse NR	.01	.00	.00	.01	.04

I signifie : Il y a une différence,

O signifie : Il n'y a pas de différence.

L'analyse des résultats montre que les étudiants du groupe 1 donnent plus souvent une réponse correcte lorsque le facteur sur lequel porte l'hypothèse, le facteur « terrain », n'a pas d'effet. La réussite est sensiblement supérieure aux problèmes 1 et 2 (de l'ordre de 10 %). Même indépendamment du cas d'interaction (problème 5), les étudiants semblent avoir plus de mal à se prononcer sur la compatibilité d'une hypothèse relative à un facteur, si un autre facteur a un effet.

Sur le problème présentant un cas d'interaction, la réussite est très faible. 50 % des sujets estiment que

l'hypothèse n'est pas compatible avec les résultats. 40 % des sujets cochent la case « autre réponse », ou ne se prononcent pas.

2) Comparaisons sur lesquelles les étudiants s'appuient pour justifier leur réponse.

Environ deux tiers des sujets justifient leur jugement de compatibilité en s'appuyant sur des comparaisons. Sur les quatre premiers problèmes, les résultats sont assez comparables. Parmi les étudiants qui justifient leur réponse, 50 % ne s'appuient que sur les deux pre-

mières comparaisons, seules pertinentes pour juger de l'effet X « engrais » (ce sont les comparaisons où le facteur X varie, et où le facteur Y est constant). 35 % des étudiants s'appuient sur les quatre comparaisons données, 15 % des étudiants ne s'appuient que sur les deux dernières comparaisons (où le facteur X est constant et où c'est le facteur Y qui varie).

Au problème 5, les résultats sont différents, ce qui prouve la spécificité de ce problème qui représente un cas d'interaction entre les deux facteurs. 32 % des étudiants s'appuient uniquement sur la première comparaison où l'on n'observe pas de différence dans les résultats, 32 % des étudiants s'appuient sur les deux premières comparaisons, 11 % des étudiants s'appuient sur l'ensemble des quatre comparaisons. Les autres sujets s'appuient sur l'une des deux premières comparaisons et sur les deux dernières.

### 3) L'étude de la liaison entre les jugements de compatibilité et les comparaisons données comme justification, montre que :

Lorsque les sujets s'appuient sur les comparaisons A et B seulement ils fournissent majoritairement une réponse correcte de compatibilité (85 %) quel que soit le problème.

Lorsque les sujets s'appuient sur les quatre comparaisons, le taux de réponse correcte baisse et on n'observe plus que 42 % de réponses compatibles au quatrième

problème (présentant des différences sur les quatre comparaisons).

Lorsque les sujets s'appuient sur les deux dernières comparaisons uniquement, 70 % des sujets répondent « incompatible » au quatrième problème.

Il est à noter que les comparaisons prises en considération par les sujets ne sont pas toujours les mêmes d'un problème à l'autre. Les étudiants semblent parfois attacher de l'importance à certains résultats de comparaison, en fonction de l'ensemble des résultats présentés. Un sujet, selon le problème, peut s'appuyer sur les comparaisons AB, ou CD, ou ABCD. Néanmoins des régularités de comportement peuvent être dégagées, que nous indiquons ci-dessous.

### 4) Patrons de réponses pour les quatre premiers problèmes.

Nous avons essayé de repérer des catégories de sujets en fonction des jugements de compatibilité portés aux quatre premiers problèmes. Nous n'avons pas considérés le problème 5 qui semble présenter un autre type de difficulté.

Il a été possible d'isoler cinq patrons de réponses. Ceux-ci sont présentés dans le tableau 3 (le patron C C C A se lit réponse compatible au premier problème, incompatible aux problèmes 2 et 3 et autre réponse au problème 4).

TABLEAU 3

Patrons de réponses aux quatre premiers problèmes.

	Patrons de réponses de compatibilité sur les quatre premiers problèmes (1)				
	C C C C	C C C A	C C C C	C C A A	C A C A
% dans la population	.23	.14	.16	.05	.08
% d'étudiants qui justifient leur réponse par des comparaisons	.80	.65	.66	.48	.75
Les comparaisons utilisées pour la justification					
A, B	.66	.45	.43	.33	.25
A, B, C, D	.26	.41	.30	.42	.62
C, D	.05	.08	.25	.23	.06
Autres	.03	.06	.02	00	.07

(1) Code : C compatible  
 C non compatible  
 A autre.

Pour chaque patron de réponses on a indiqué :

— leur fréquence dans la population générale (on constate que l'ensemble des patrons représente 66 % des sujets) ;

— la fréquence d'étudiants qui justifient leur réponse par des comparaisons ;

— les comparaisons utilisées pour la justification, celles où le facteur X varie (A et B), les quatre comparaisons (A B C D), celles où le facteur X est constant (C et D).

On peut dégager quatre catégories de sujets :

Les sujets qui répondent que l'hypothèse est compatible avec les résultats si on observe des différences lorsque le facteur engrais (X) varie (comparaisons A et B). Ils répondent que l'hypothèse n'est pas compatible lorsqu'on n'observe pas de différences sur ces mêmes comparaisons (patron C  $\bar{C}$   $\bar{C}$  C). Ce sont les sujets qui répondent correctement aux quatre problèmes. Ils représentent 23 % de l'ensemble des étudiants. Ces sujets sont ceux qui justifient le plus de leur réponse ; ils s'appuient majoritairement sur les comparaisons où le facteur X varie.

Les sujets qui donnent des réponses correctes sur les trois premiers problèmes et qui ne se prononcent pas au quatrième problème, c'est-à-dire lorsque les deux facteurs engrais et terrain ont un effet (patron C  $\bar{C}$   $\bar{C}$  A). Ils représentent 14 % de l'ensemble des étudiants. Ces sujets ont plus tendance que les précédents à s'appuyer sur les quatre comparaisons.

Les sujets qui se prononcent à tort pour la non compatibilité de l'hypothèse lorsqu'on observe des différences aux quatre comparaisons : patron C  $\bar{C}$   $\bar{C}$  C. Ils représentent 16 % des sujets. C'est dans cette catégorie qu'on trouve le plus de sujets qui s'appuient sur les deux dernières comparaisons seulement (facteur Y varie) ou sur les quatre. Cette catégorie se rapproche des sujets qui ne se prononcent pas quand il y a des différences sur ces mêmes comparaisons (patron C  $\bar{C}$  A A). Ces deux patrons de réponses regrouperaient en fait des sujets pour qui l'hypothèse ne peut être tenue pour compatible parce que deux facteurs ont un effet, ou parce qu'il y a des différences lorsque le facteur X est constant et que le facteur Y varie.

Une dernière catégorie concerne des sujets qui ne peuvent se prononcer dans deux cas :

— lorsqu'il n'y a aucune différence ;

— lorsqu'il y a des différences aux quatre comparaisons. C'est le patron C A  $\bar{C}$  A qui représente 8 % des sujets.

C'est dans ce groupe qu'on trouve le plus de sujets qui s'appuient sur les quatre comparaisons.

En résumé, il apparaît qu'à peine un quart des sujets utilisent sur les quatre problèmes les critères pris habituellement par les chercheurs pour se prononcer sur la compatibilité d'une hypothèse donnée. En dehors de la situation simple où il n'y a que des différences pour les comparaisons où le facteur varie, c'est-à-dire quand il n'y a qu'une seule source de variation du phénomène observé, les étudiants rencontrent des difficultés :

— soit ils n'arrivent pas à se prononcer quand un autre facteur varie ;

— soit ils décident qu'une hypothèse est incompatible quand un autre facteur que celui sur lequel porte l'hypothèse a un effet.

Il est à noter que les difficultés observées pour se prononcer sur la compatibilité d'une hypothèse ne tiennent pas comme on l'a vu à des difficultés pour se prononcer sur l'effet des facteurs : quelles que soient les catégories de sujets que nous avons repérées, on n'observe pratiquement pas d'erreur lorsque les étudiants se prononcent sur l'effet des facteurs.

## CONCLUSION

Lorsqu'on demande si un facteur a ou non un effet, les sujets se prononcent correctement et envisagent les comparaisons adéquates. Dans le cas d'interaction (il y a une différence pour une valeur d'un second facteur, il n'y en a pas pour une autre valeur de ce facteur) ils n'acceptent pas la formulation de l'interaction quand elle leur est proposée et ils ne la trouvent pas spontanément quand ils doivent élaborer leur conclusion. La possibilité qu'un facteur ait un effet mais que cet effet ne soit pas le même selon les niveaux d'un autre facteur, ne semble pas envisagée. Pour eux la formulation : l'effet de X n'est pas le même suivant les valeurs de Y a le même sens que : Y a un effet. Cela explique les difficultés que pose dans l'enseignement la notion d'interaction : les étudiants débutants donnent à la formulation d'interaction un sens complètement différent de celui de l'enseignant. Si la notion de comparaison sur un facteur ne pose pas de difficulté la notion de comparaison d'interaction semble absente chez l'étudiant.

Le second résultat important est que cela ne revient pas du tout au même dans l'esprit de l'étudiant de se demander si le facteur X a un effet et de juger de la compatibilité de l'hypothèse : le rendement dépend du facteur X. Une catégorie importante de sujets refuse d'admettre que l'hypothèse est compatible avec les résultats quand un autre facteur a également un effet. Pour



eux la formulation « le rendement dépend du facteur X » semble signifier « le rendement ne dépend que du facteur X ». Il semble que pour ces sujets quand on formule une hypothèse on doit énoncer tous les facteurs qui interviennent. On peut se demander si cela ne se rattache pas à l'attitude consistant à n'accepter comme valide que les démarches prenant en compte simultanément tous les déterminants d'un phénomène, attitude qui se caractérise souvent par un refus de la méthode scientifique qui opère une sélection parmi les facteurs à étudier.

Une autre catégorie de sujets se rapproche de la précédente : ce sont des sujets qui ne jugent l'hypothèse ni incompatible ni compatible avec les résultats : ils n'arrivent pas à se prononcer. Il est difficile de savoir quel type de représentation recouvre ce type de réponse. Il faut donc prendre garde que deux formulations équivalentes pour le chercheur (« le facteur X a un effet » et l'hypothèse « les résultats dépendent du facteur X ») n'ont pas du tout le même sens dans l'esprit de nombreux étudiants.

D'autres sujets (5 % environ) jugent de la compatibilité de l'hypothèse par des considérations a priori. En cas d'incompatibilité ce sont les résultats qu'ils mettent en cause non l'hypothèse.

Ces résultats contiennent des informations intéressantes du point de vue pédagogique sur les procédures qu'utilisent les étudiants et sur la signification qu'ont pour eux un certain nombre de formulations d'utilisation courante. Le sens précis qu'ont ces formulations dans leur utilisation scientifique est loin d'être acquis naturellement par nombre d'étudiants. Ce n'est sans doute pas un simple problème de vocabulaire et ce problème relève vraisemblablement d'une attitude globale vis-à-vis de la démarche scientifique. Ces difficultés ne sont certainement pas mineures et les enseignants devraient y être très attentifs.

Il faut souligner que la pratique pédagogique des enseignants qui ont mené cette recherche n'avait pas

permise à elle seule de déterminer les sources de difficultés des étudiants. On voit ici l'avantage de procéder à des enquêtes systématiques avec des situations bien définies et contrôlées qui permettent d'isoler certains types de difficultés. Il resterait bien sûr à développer ce type de recherches, en particulier pour approfondir les difficultés relatives à la prise en compte des phénomènes d'interaction qui même pour le chercheur averti peut toujours faire difficulté. Cela nous paraît essentiel dans la mesure où les phénomènes d'interaction sont les plus fréquents, et que les élèves les rencontrent dans nombre de leurs observations. Il nous paraît illusoire à cet égard de penser que les élèves sont capables de conclure sur les facteurs déterminant d'un phénomène alors qu'ils ne savent pas prendre en compte les interactions. Deux attitudes pédagogiques sont donc possibles :

— Ou bien on propose aux élèves des situations simples ; c'est le cas lorsqu'un seul facteur varie, ou que l'on isole une seule source de variation du phénomène. Or les enseignants semblent rejeter de telles situations, très pauvres, et par ailleurs difficiles à mettre en œuvre.

— Ou bien on laisse l'élève face à des situations complexes, mais il faudrait sans doute alors enseigner des procédures qui lui permettent de considérer l'effet des différents facteurs et leur interaction éventuelle ; sinon l'élève aura tendance à conclure qu'on ne peut rien dire, qu'on ne peut pas savoir ce qui détermine le phénomène observé, ce qui l'incitera à nier l'intérêt de la démarche expérimentale.

Evelyne CAUZINILLE,  
Edouard FRIEMEL,  
Jacques MATHIEU,  
Jean-François RICHARD,  
Annick WEIL-BARAIS,

Equipe de recherches psychologiques  
sur les apprentissages et la didactique,  
Université Paris VIII.

## LES REACTIONS DES ETUDIANTS AUX SITUATIONS D'APPRENTISSAGE A L'UNIVERSITE

The Higher Education Learning Project, fondé par la Nuffield Foundation, est une alliance de professeurs de niveau universitaire, plus particulièrement des physiciens. Les activités du projet sont centrées sur quatre domaines :

- le travail individuel
- le travail en petits groupes
- le travail en laboratoires
- les réactions des étudiants aux situations d'apprentissage et à l'enseignement de la physique.

Ce papier va décrire la dernière de ces activités, qui était une étude assez étendue au cours de laquelle des étudiants de plusieurs universités ont été interviewés. Le but de notre entretien était de mieux comprendre les problèmes d'apprentissage du point de vue de l'étudiant, mais avait également des raisons pratiques : quelques-uns d'entre nous s'intéressaient aux nouvelles méthodes d'enseignement, tous s'interrogeaient sur leur propre

façon d'enseigner et tous ressentaient le besoin de mieux connaître comment les étudiants pourraient être plus intéressés et plus engagés dans ce qui leur était enseigné.

Nous avons décidé de demander aux étudiants de nous raconter une histoire concernant leur façon de réagir à un événement réel d'apprentissage de la physique à l'université. Il nous semblait que de telles histoires, abondantes en détails, seraient à la fois riches en informations et révélatrices. Plus précisément nous avons invité chaque étudiant à nous raconter une histoire quand il se sentait particulièrement bien ou mal concernant n'importe quelle situation d'apprentissage de la physique à l'université. Nous avons également posé des questions à propos de ce qui s'est passé d'une manière concrète, pourquoi cet événement était important, comment l'étudiant s'était senti au moment de cet incident, et si cet incident a eu un effet sur le travail de l'étudiant.

Notre idée d'approcher les étudiants de cette façon venait d'une étude de Herzberg concernant la motivation pour leur travail d'ingénieurs et de comptables dans l'industrie. Herzberg lui-même avait adapté cette technique « d'incident critique » des études de Flanagan qui lui, étudiait l'importance de certains facteurs dans le contenu et l'exécution du travail. Nous avons seulement emprunté l'idée générale et à partir de là nous avons développé aussi bien un entretien plus approprié aux étudiants universitaires qu'un système d'analyse nous permettant de nous rendre compte de la richesse des entretiens. Nous n'avons pas essayé de copier l'étude de Herzberg.

Notre but était d'interviewer 120 étudiants dans dix universités différentes, prenant 4 étudiants de chaque année à chaque endroit (l'Université en Angleterre ne dure que 3 ans pour obtenir un B.Sc ou B.A.). Notre résultat final fut 115 entretiens enregistrés, transcrits. Les universités ont été choisies de façon à pouvoir représenter la diversité des types d'Universités en Angleterre.

### L'ENTRETIEN

Dans notre étude pilote, nous avons parlé avec vingt étudiants de première année et vingt étudiants de troisième année dans quatre départements différents de physique. Pendant ces essais pilotes, l'entretien était développé et amélioré. Pour l'étude principale, une équipe d'interviewers était nécessaire. Il nous semblait important que si le travail devait refléter les intérêts et besoins des physiciens, ces derniers devaient jouer un rôle considérable dans la tâche d'interviewer des étudiants. L'art d'interviewer est néanmoins difficile et il fallait l'apprendre. Toute la valeur de l'étude reposait entièrement sur la qualité des entretiens : si l'interviewer pouvait créer

une bonne ambiance, poser des questions qui permettaient à l'étudiant de dire ce qu'il voulait dire et de ne pas poser des questions qui suggéraient à l'étudiant ce qu'il devait dire, etc. Donc une équipe, surtout des physiiciens, reçut une formation de la technique d'interviewer. Les entretiens dans les universités ont été conduits par des équipes de deux personnes dont une était un interviewer expérimenté. Malgré toutes ces précautions si parfois les transcripts des entretiens montraient des traces de suggestions etc. de la part de l'interviewer, ces données n'ont pas été utilisées dans l'analyse.

Evidemment nous ne pouvions pas prévoir ce que l'étudiant allait dire. Préparer une liste de questions précises auxquelles on aurait voulu des réponses, nous aurait obligé à supposer quel genre de chose avait une valeur pour les étudiants, ce qui en fait était le but de l'entretien. Il était donc important que l'étudiant lui-même fasse d'une certaine manière l'entretien et que nos questions ne dirigent pas ses réponses.

Mais d'autre part, nous ne voulions pas que l'étudiant parle de n'importe quoi. Le but de l'entretien était d'approfondir ce qui s'était passé dans la situation d'apprentissage et ce que l'étudiant ressentait à ce moment-là afin de rendre ces choses aussi claires que possible.

De plus il était essentiel que l'étudiant se sente libre de parler à un étranger de choses qui lui étaient à la fois intimes et importantes. Les données de l'entretien n'auraient une valeur que si l'étudiant parlait de quelque chose qui le touchait spécialement, sans trop cacher de choses importantes.

En bref, l'interviewer doit avoir en tête trois étapes importantes dans le déroulement d'une histoire que l'étudiant raconte :

— tout d'abord obtenir assez de détails concrets à propos d'un événement important pour l'étudiant, afin d'avoir une description qui pourrait être soumise à une analyse ;

— deuxièmement, savoir comment l'étudiant avait réagi face à cet événement et pourquoi il avait réagi ainsi ;

— troisièmement, demander si cette situation eût un effet sur le travail de l'étudiant.

Ayant obtenu une première histoire, une deuxième était demandée. Si la première concernait des événements où l'étudiant se sentait bien, la deuxième souhaitée était au contraire à propos d'une situation d'apprentissage où il se sentait mal et vice versa. A chaque occasion l'interviewer rappelait à l'étudiant que l'histoire pouvait être à propos de n'importe quelle situation d'apprentissage à l'université, ceci pour éviter un problème qui

pourrait être créé par la situation expérimentale, c'est-à-dire une bonne et mauvaise histoire à propos d'une situation du même genre. Pendant l'étude pilote nous avons trouvé qu'un certain nombre d'histoires très révélatrices surgissait si, une fois annoncé que l'entretien était fini, l'interviewer demandait à l'étudiant si par hasard une autre histoire soit bonne soit mauvaise, lui venait à l'esprit.

### La nature de l'analyse

Le problème fondamental de l'analyse était de réduire les histoires racontées par les étudiants à une forme qui permettait une comparaison entre elles pour voir dans quelle mesure elles étaient semblables ou différentes, sans que l'histoire soit rendue insignifiante.

Donc on cherchait une façon d'analyser les entretiens qui pouvait satisfaire les critères suivants :

- elle devait être bien fondée, des personnes différentes proposant la même réponse ;
- l'analyse devait être fidèle aux informations contenues dans les entretiens ;
- elle devait avoir un rapport avec le but de l'investigation ;
- elle devait établir un équilibre entre une approche trop simple et une autre trop complexe ;
- elle devait prendre en considération des points de vue différents et qui parfois même se chevauchaient ;
- la première étape de l'analyse était d'extraire l'essence du récit de façon à pouvoir la transmettre à une autre personne.

Nous avons trouvé une méthode pour donner à chaque histoire un compte rendu standardisé, en utilisant des termes fixes et ainsi ces comptes rendus pouvaient être comparés entre eux d'une façon bien fondée.

Pour pouvoir procéder de cette manière il nous a fallu une collection d'éléments standardisés venant des histoires ainsi qu'une stratégie que nous avons empruntée aux linguistes, qui est une sorte de réseau des traits qui pourrait caractériser les éléments constitutifs des histoires. Le but d'un tel réseau est de donner une étiquette à chaque élément d'une histoire pour que celui-ci puisse être vu comme étant un exemple, d'un parmi plusieurs types généraux et non comme une chose unique.

De cette façon nous pouvions examiner les histoires de toute une série de points de vue, tous choisis en fonction de leur intérêt pour un professeur qui était préoccupé de savoir ce que ses étudiants pensaient et ressentait dans des situations d'apprentissage.

## CODAGE DES HISTOIRES

Nous allons maintenant montrer comment l'histoire dans l'appendice 1 a été codée. Essayons d'abord de résumer l'histoire : on pourrait dire que l'histoire était à propos d'une étudiante qui, ayant écrit une composition, était contente parce qu'elle sentait qu'elle avait réussi à faire quelque chose et le professeur lui avait dit que c'était bien.

Ce compte rendu assez bref a été constitué en répondant à trois questions :

- Quelle situation l'histoire décrit-elle ?
- Que ressentait l'étudiante ?
- Pourquoi l'étudiante avait-elle ressenti ces sentiments ?

Toutes les histoires sont d'abord examinées de cette façon simple (les histoires où l'on ne pouvait pas répondre à ces trois questions n'étaient pas codées).

On pourrait peut-être élaborer le compte rendu que l'on vient de faire : on pourrait dire que le travail de l'étudiante était le sien, sans aide d'une autre personne, et qu'elle avait parlé d'une composition particulière. Si on regarde l'histoire de plus près, les sentiments sont plus complexes. L'étudiante était contente de son travail (voir lignes 56-64) et disait qu'elle était également contente d'elle-même, qu'elle se sentait « virtuous », heureuse d'avoir fait un effort qui avait réussi (voir lignes 34-47). Elle a ressenti qu'elle avait vraiment fait quelque chose (voir lignes 47-63) et que ce travail était le sien, propre à elle, donc un sentiment de réussite et de possession.

Si ceci est un compte rendu acceptable, ne laissant pas trop de détails de côté et n'interprétant pas trop les données, alors on peut le mettre sous une forme codée, qui se présente ainsi :

STORY CONCERNS/INDIVIDUAL LEARNING PARTICULAR  
THAT IS WRITING ESSAY  
WHEN (I FELT PLEASURE AND PLEASED-WITH-MYSELF  
AND I-HAVE-DONE IT)  
BECAUSE (I DID A LOT OF PREPARATION)  
SO (I UNDERSTOOD IDEAS)  
ALSO (TEACHER PRAISED ME)  
ALSO (TEACHER GAVE ME GOOD MARK)  
ALSO (I DID WELL WHICH IS UNUSUAL)  
ALSO WHEN I FELT IT-WAS-MY-WORK)  
BECAUSE (I WAS WORKING INDEPENDENTLY)

Toutes les histoires codées ont le même profil structuré que cet exemple c'est-à-dire une séquence de lignes qui commence :

## STORY CONCERNS...

WHEN (I FELT...

BECAUSE (...)

Les deux premières lignes ont une structure simple. La troisième ligne (et celles qui suivent) décrivant les raisons, est généralement plus complexe, étant constituée d'un nombre d'items soit en parallèle, soit interdépendants.

Il est évident que la réduction d'une histoire à un compte rendu standardisé présente beaucoup de problèmes. Le compte rendu doit contenir l'essence de l'histoire et à chaque moment du récit, la personne qui code doit interpréter les données et cette interprétation doit rester aussi fidèle que possible à la réalité de l'étudiant, tâche qui n'est pas facile !

## RESEAUX

Nous allons maintenant discuter du rôle des réseaux dans l'analyse. Leur tâche est double : d'abord de garder en réserve d'une manière organisée tous les items susceptibles de faire partie d'une histoire codée et ensuite de leur donner une étiquette (en général assez compliquée) qui décrit à la fois l'item et le rôle que celui-ci joue dans l'histoire. Pour illustrer l'idée dont on vient de parler, prenons comme exemple la liste des sentiments exprimés par les étudiants dans les entretiens :

relief (soulagement)	pleasure (plaisir)
reassurance (réconfort)	contentment (contentement)
relaxation (relaxation)	fed-up (en avoir assez)
bewilderment (égarement)	elation (exaltation)
confusion (confusion)	despair (désespoir)
anxiety (angoisse)	

Face à de telles listes, que ce soit de sentiments ou d'autre chose, nous devons essayer de trouver des façons de grouper les items. Par exemple dans la liste ci-dessus, on peut grouper les six premiers sentiments ensemble en disant que tous ont à faire avec un sentiment plus général de sécurité. On pourrait dire que « relief » « reassurance » et « relaxation » sont des expressions positives d'un sentiment de sécurité, tandis que « anxiety » est une expression très claire d'un sentiment d'être mal assuré (insecurity). Entre ces deux extrêmes on trouve « bewilderment » et « confusion » qui sont des expressions d'insécurité.

Les cinq sentiments suivants ont un autre caractère et on pourrait mieux les décrire en disant qu'ils ont à faire avec un sentiment plus général de satisfaction plutôt que de sécurité. « Pleasure » et « contentment » sont en opposition avec « fed-up », comme des expressions positives et négatives de satisfaction. « Elation »

et « despair » sont aussi deux extrêmes, mais cette fois les sentiments exprimés sont plus intenses que les autres.

Déjà on voit la difficulté à garder en mémoire tous ces différents groupes, donc un système de notation qui pourrait les représenter d'une manière concise et claire

nous sera très utile. La notation que nous avons utilisée est celle qui a été développée par des linguistes et sociologues pour représenter des interrelations de traits de langage et de situations sociales. Nous pouvons représenter les groupes de sentiments de la manière suivante :

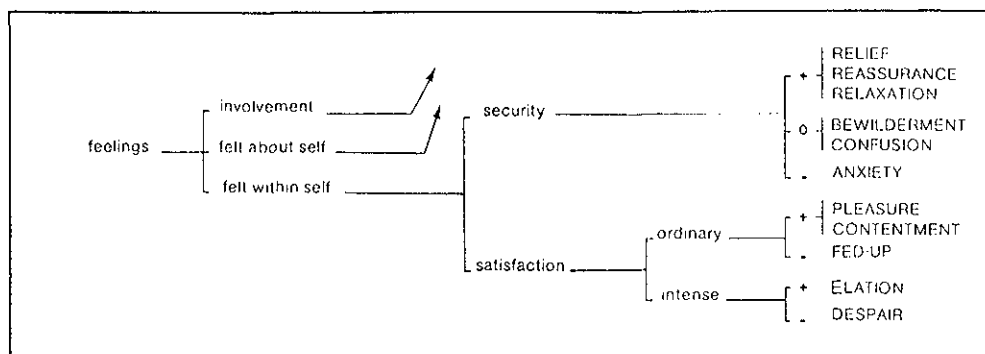


Figure 1

Une barre verticale indique un choix parmi plusieurs options. Les items faisant partie des comptes rendus standardisés sont donnés en majuscules, les autres items étant des traits descriptifs d'un niveau plus général. Les traits du réseau permettent de classer les éléments constitutifs des histoires à des niveaux de généralité divers. Les clauses qui constituent un compte rendu standardisé, telles que

(I FELT PLEASURE)  
(TEACHER PRAISED ME)

sont produites en utilisant le réseau comme un générateur de phrases (qui indique en même temps quel genre de phrase a été généré). Comment se passe ce processus ? Nous posons d'abord deux questions :

- De qui ou de quoi est-ce que la clause parle ?
- Quel genre de chose est en train d'être décrit dans la clause ?

Les réponses à la première question pourraient être : soit une personne — l'étudiant lui-même ou le professeur, soit une situation ou une chose — par exemple le travail lui-même ou la physique ou une expérience en laboratoire. Les réponses à la deuxième question étaient classées en deux catégories : soit on parlait d'un processus, soit on parlait d'un état de chose. Il nous a été utile

d'introduire d'autres traits tels que celui qui décrit dans quelle mesure la clause avait une nature personnelle ou celui qui décrit une sorte de régulateur, soit de contrôle, d'influence ou de pression.

Le réseau dans la figure 2 montre comment les huit réseaux principaux décrivant les traits généraux des clauses sont liés les uns aux autres (voir appendice 2 aussi). Les accolades (entrée à droite de l'accolade { ) indiquent que tous les traits à l'intérieur de l'accolade co-existent en même temps. Les accolades (entrée à gauche de l'accolade } ) représentent les traits qui sont les conditions nécessaires d'entrée « input ». Les options avec lignes hachurées indiquent que seule la présence du trait indiqué (par exemple « personal ») est importante.

Donc, en bref, notre façon d'analyser les entretiens est de mettre ce que nous interprétons comme l'essence de chaque entretien sous une forme codée — compte rendu standardisé — un peu comme si on écrivait un télégramme. Chaque item codé dans le compte rendu standardisé a une signification fixe qui lui est donnée par les traits de sa position dans le réseau. Le réseau est tel que ces traits sont liés dans une variété de patterns, telle que chaque item codé est flexible dans la manière dont il est lié aux autres items, mais sa signification est fixe. Les significations fixes permettent une comparaison entre histoires.

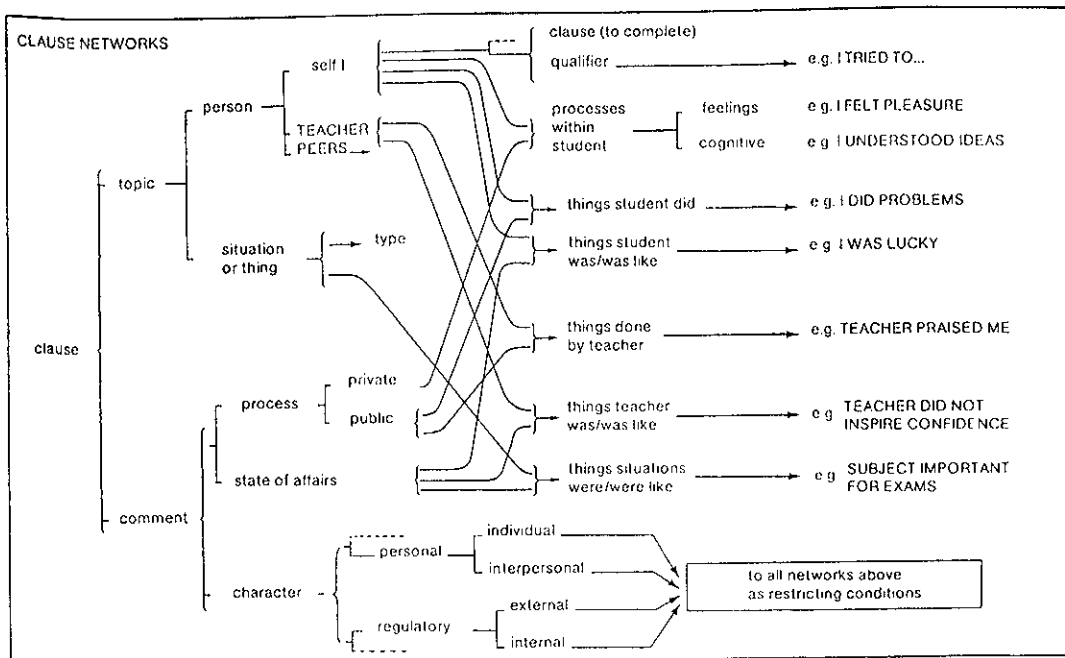


Figure 2

## CONTROLE DES CODAGES

Les entretiens ont produit 307 histoires desquelles 271 étaient utilisées car elles étaient claires dans les détails du déroulement et concernaient nettement soit un « bon » ou un « mauvais » événement. 36 histoires ont été rejetées, 22 n'étant pas du tout claires dans leurs détails, 14 autres étant des événements contradictoires, produisant à la fois des sentiments bons et mauvais.

Les traits du réseau que l'on vient de décrire ont joué un rôle important dans le codage en permettant un accord entre chercheurs pour le code donné à un item. Parfois nous ne pouvions pas être d'accord sur quels items choisir pour coder, mais souvent il se trouvait que différents items une fois codés avait les mêmes traits descriptifs dans le réseau (donc les items n'étaient pas fondamentalement différents) et la différence n'avait pas d'effet quand les traits des items de chaque histoire étaient comparés plus tard.

Lorsque la première personne qui codait avait un doute concernant le code d'une histoire (dans 38 % des cas), tous ces codes des histoires étaient contrôlés par un autre chercheur. En plus un échantillonnage de 15 % des codes ont été contrôlés.

## Résultats

Pour le but de ce papier nous ne pouvons que discuter quelques résultats en détail, et pour les autres nous indiquerons la nature de l'investigation.

### Nombre d'histoires

Chaque histoire était classée suivant une des situations suivantes :

- les cours
- le travail en petits groupes
- le travail en laboratoire
- les projets
- le travail individuel
- autres événements : histoires à propos d'examens, travail en dehors de l'université, des options, etc.

Elles étaient classées également selon l'année d'étude de l'étudiant, et l'année de l'histoire.

Naturellement la manière dont nous avons prévu l'étude a plus ou moins assurée que nous aurions à peu près moitié-moitié de « bonnes » et « mauvaises » histoires de chaque étudiant dans chaque année universi-

taire. Donc nous ne pouvons faire aucune évaluation de combien, de manière relative, l'expérience vécue par l'étudiant était « bonne » ou « mauvaise ». Cependant, parce que les étudiants étaient libres de parler de n'importe quelle année de leurs études et de n'importe quel sujet, il est possible de poser la question : y a-t-il une tendance à trouver un grand nombre d'histoires, ou une disproportion d'histoires « mauvaises » ou « bonnes » concernant une certaine situation ou une certaine année d'étude. Par exemple la figure 3 montre que les histoires concernant les cours étaient de loin les plus fréquentes, étant presque la moitié de toutes les histoires, et qu'elles se répartissaient à raison de trois à deux en faveur des histoires « mauvaises ».

Ensuite, en ordre de fréquence, venaient le travail en laboratoire et les projets pris ensemble, suivis par le travail individuel et en dernier lieu venait le travail en petits groupes.

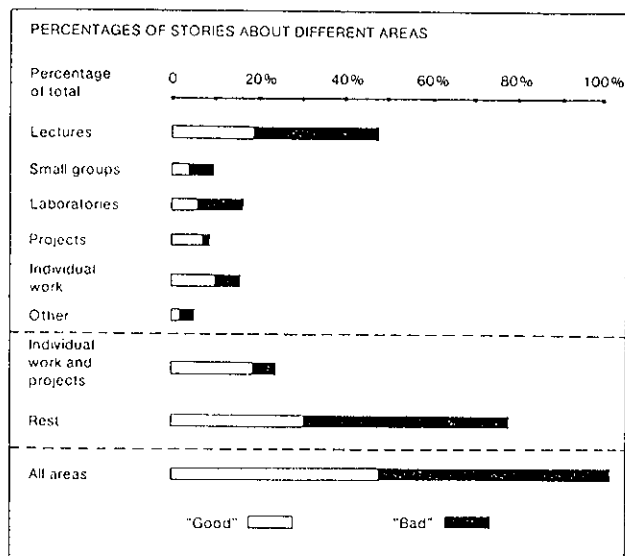


Figure 3

Un autre trait important des données, montré dans la figure 3, est la différence entre, d'une part les histoires concernant les cours, le travail en laboratoire, le travail en petits groupes et la catégorie d'autres événements tous avec à peu près le même excès d'histoires « mauvaises » par rapport aux histoires « bonnes », et d'autre

part, les histoires concernant le travail individuel et les projets dont les deux ont un excès d'histoires « bonnes » par rapport aux histoires « mauvaises ».

Autrement dit, les situations qui produisent le plus d'histoires « bonnes » sont celles où l'étudiant travaille pour lui-même, tandis que dans les situations où l'information leur est « lancée à la tête » les étudiants ont tendance à raconter des histoires « mauvaises ». On aurait peut-être espéré que le travail en laboratoire ferait partie de la première catégorie plutôt que la deuxième, mais ceci ne semble pas être le cas.

Des variations d'année en année montrent un changement en faveur d'un plus grand nombre d'histoires « bonnes » vers la fin des années d'étude. Prenant toutes les histoires concernant la première année ensemble, presque les deux tiers sont des histoires « mauvaises » tandis que pour la troisième année plus de deux tiers des histoires sont « bonnes ». La plupart de l'excès des histoires « mauvaises » dans la première année concerne deux genres d'histoires : premièrement des récits concernant le travail en laboratoire racontés par des étudiants de première année, et deuxièmement des histoires concernant des cours de première année racontés par des étudiants de troisième année. Un extrait d'une histoire racontée par un étudiant en dernière année d'études pourrait illustrer comment travailler seul peut donner un sentiment de satisfaction et de succès :

“...when everything was coming together, and all the courses were beginning and understood. It usually happens after the first time I've read through all my notes. And from then on, learning is a pleasure, because every new fact I read I can say, “ Oh yes, I remember that from there ” and things begin to slot into places, which helps my understanding. I can feel that now I'm a physicist, that I know what I'm talking about. ”

D'autres résultats concernent des effets différenciés de mémoire, la fréquence de différents types d'histoires comparée à une prédiction statistique, les variations de fréquence des types d'histoires avec l'année d'étude de l'étudiant, les effets d'ordre dans lequel l'histoire était racontée, les différences entre des étudiants « forts » et des étudiants « moins forts » (différence négligeable), les fréquences des différents types de matières en physique ont tous été étudiés.

### Des patterns des sentiments

La figure 4 montre le réseau complet qui décrit les sentiments exprimés par les étudiants dans les entretiens.

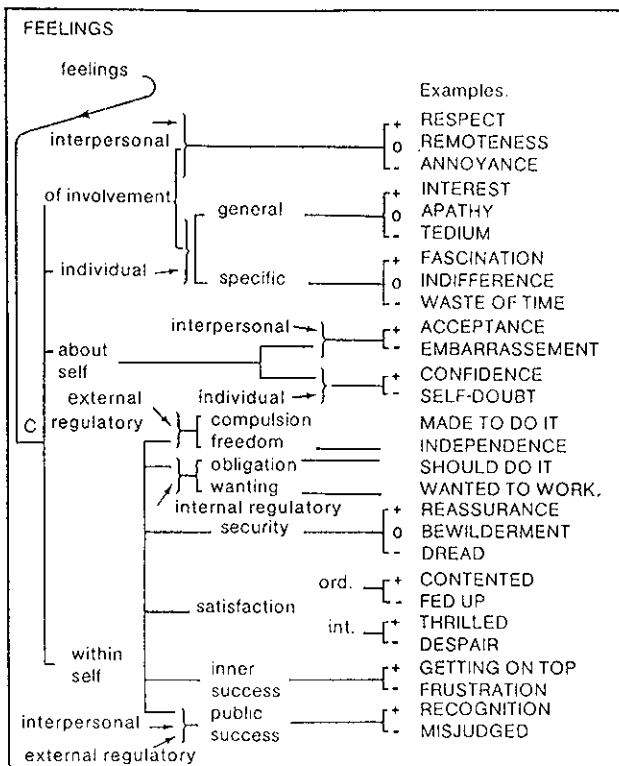


Figure 4

En utilisant ce réseau, nous avons pu compter les différents types de sentiments, comme montré dans la figure 5, les barres représentent le nombre de sentiments de tel ou tel genre pour dix histoires.

Il semblerait que le sentiment de «*involvement*» (être engagé ou impliqué) et celui de «*satisfaction*» sont les deux catégories les plus dominantes. Ce pattern semblerait avoir une raison d'être. Autrement dit, seulement quand il s'engage dans un travail, c'est-à-dire, s'intéresse à un travail, l'étudiant pourrait avoir la possibilité d'en tirer un sentiment de satisfaction. S'il ne s'engage pas, ou s'il réagit contre, la possibilité de satisfaction n'est guère possible.

Il vaut la peine de noter qu'il y a une tendance systématique pour les sentiments individuels de surpasser en nombre les sentiments «*interpersonnel*» (impliquant quelqu'un d'autre). Peut-être la nature exigeante de la physique est tellement saillante qu'elle joue un rôle, en tant qu'acteur agissant sur les sentiments des étudiants, qui est plus important parfois que les personnes avec lesquelles l'étudiant travaille.

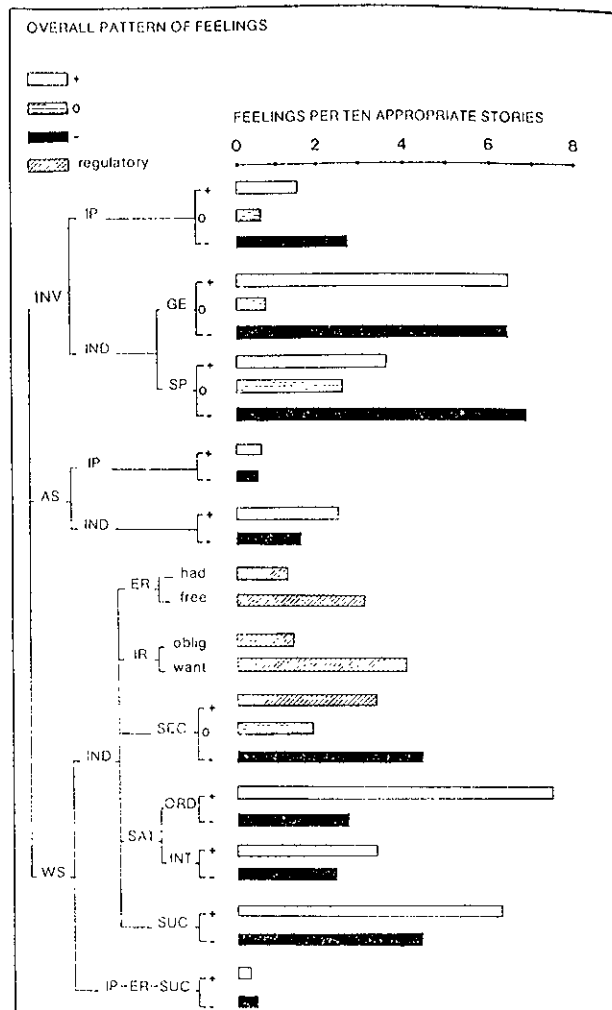


Figure 5

Le sentiment de sécurité a une importance considérable, étant mentionné (pris ensemble avec les sentiments concernant l'image que l'on a de soi) dans à peu près la moitié des histoires. Rappelant que la plupart des sentiments de sécurité sont du type «*relief*» (soulagement), il semblerait que la confrontation avec la matière en physique (une confrontation avec laquelle l'étudiant doit faire face tous les jours), peut souvent induire des sentiments de doute en soi ou d'angoisse.

Le problème de se sentir en sécurité est souvent une question concernant les étudiants de première année. Cependant le sentiment de sécurité est mentionné dans



des histoires « bonnes » à travers toutes les années d'études comme les sentiments d'insécurité se trouvent dans les histoires « mauvaises ».

Mais les sentiments de manque de sécurité (« bewilderment » et « confusion ») qui se trouvent dans les histoires de première et deuxième année d'études, ne se trouvent plus dans la dernière année d'études.

La fréquence des indications de manque de succès dans les histoires « mauvaises » augmente d'année en année. Par contre, les indications de succès dans les histoires « bonnes » augmentent mais pas à la même cadence que les manques de succès. Cependant la somme totale des sentiments de manque de succès est à peu près la même à travers toutes les années d'études à cause de la chute dans la proportion d'histoires « mauvaises » racontées d'année en année. De même la quantité de sentiments de succès est presque trois fois plus grande dans la dernière année que dans la première année, en raison de l'augmentation des histoires « bonnes » en dernière année.

D'autres résultats comprennent les différences dans les patterns de sentiments associés avec des genres de travail différents, et des différences dans les sentiments des étudiants « forts » et ceux qui sont « moins forts » (différence faible).

Un extrait d'une histoire d'un étudiant de première année pourrait illustrer l'origine des sentiments d'insécurité :

“ You go through the work and you think ‘ Now then ’, asking about that work you have just read, ‘ Do you know it ? ’. And the answer comes back nearly every time that you don't. ”

### **Réactions des étudiants aux différents genres de travail**

Nous avons examiné les patterns des pourquoi que les étudiants ont donnés pour expliquer leurs sentiments face à des situations d'apprentissage différentes. Les résultats sont trop complexes pour en discuter en détail dans ce papier et nous espérons que deux exemples pourront donner une indication de leur nature aux lecteurs.

Un exemple vient des histoires « mauvaises » concernant des cours. Dans moins de la moitié des histoires les étudiants ont exprimé une réaction où ils se sentaient vraiment mal au cours de l'événement. Dans plus de la moitié des cas l'étudiant disait qu'il se sentait détaché et non-engagé ou réfractaire. Nous avons interprété ces dernières réactions comme une façon de se défendre contre la possibilité de se sentir très mal, bien que

l'extrait suivant montre que le sentiment de détachement peut conduire à des sentiments d'insécurité :

“ It was like sitting there looking at a television screen : you know just looking... I never felt that what I was copying down had any meaning... my mind was just blank... Afterwards I wanted to try and understand but I never did... I felt too scared of the subject and felt I couldn't do it. I felt I ‘ Oh God, this is far beyond me ’. I was just like a zombie, I thought maybe I shouldn't have come to university. ”

Les pourquoi touchant « le professeur » dans les histoires « mauvaises » étaient pour la plupart de nature cognitive et très rarement affective, tandis que dans les histoires « bonnes » les raisons étaient presque aussi souvent de nature affective que cognitive.

Le deuxième exemple vient des histoires « bonnes », concernant le travail individuel. Dans ces histoires le fait de vraiment comprendre la matière en physique était extrêmement important. Associés avec une telle raison étaient des sentiments de succès, d'être vainqueur de la matière, souvent de confiance en soi et de propriété de la connaissance. A faire contraster ces histoires « bonnes » à propos du travail individuel et celles à propos des cours nous donne un effet très frappant, car dans ces dernières nous trouvons seulement des sentiments d'intérêt et plaisir, et presque jamais des sentiments listés ci-dessus associés au travail individuel. L'extrait suivant illustre ce que nous venons de dire :

“ I used to think before, that you can learn physics by going to lectures, but now I don't think you can do that. I think if you want to learn physics, it's got to be part somebody telling you something, but part learning it yourself, discovering by yourself... and if you do, feel you've conquered a small amount. ”

### **CONCLUSIONS**

Que tire-t-on d'une telle étude ? Une conséquence pourrait être un « insight » dans la manière dont on pourrait mieux conduire les cours de science. Evidemment on ne peut pas construire un programme constitué de ce que les étudiants aiment ou de ce qu'ils n'aiment pas : ils peuvent à la fois détester ce qui est essentiel et trouver bon ce qui est insignifiant. D'autre part, leurs réactions peuvent être passagères : il se peut qu'ils arrivent à donner une valeur aux choses qu'on les a obligés à faire, quand au départ ils ne voulaient pas les faire. Que peut-on alors tirer des données que l'on vient de décrire ? Pourrait-on mettre en doute la valeur de ces données : peut-être les étudiants ont simplement mal compris ce qu'était notre intention.

La réponse est double : d'abord de telles données sont seulement une des choses, parmi beaucoup d'autres, qu'il faut prendre en considération en prenant des décisions intelligentes. On peut très bien agir sans tenir compte de telles données, mais on ne devrait pas le faire sans bonne raison. Deuxièmement même si les étudiants ont mal compris, ce qu'ils ont dit est quand même une réalité, comment ils voient les choses. Pour le « professeur » les réalités peuvent être très différentes, mais c'est justement quand il y a une divergence entre deux réalités qu'une compréhension de la situation est absolument nécessaire. Chaque lecteur doit trouver par lui-même les instances de ce problème qui lui sont propres.

Une conséquence très différente pourrait être une ressource pour ceux qui veulent examiner le problème de l'enseignement. Tous les physiciens qui faisaient partie de l'équipe des interviewers ont pensé qu'ils ont appris énormément en faisant ce travail, et que de tels entretiens pourraient être utiles pour n'importe quelle université voulant un peu réfléchir aux problèmes de leur enseignement. L'analyse a également des traits nouveaux et importants, et nous espérons qu'elle pourrait avoir une valeur en essayant de « tenir tête » aux données de recherche les plus intraitables : les choses que disent les gens.

Joan BLISS,  
Jon OGBORN,  
Chelsea College  
Centre for Science Education  
London University

### Bibliography

#### The "critical incident" method

- Herzberg (F.), Mausner (B.), Snyderman (B.). — (1959) *The motivation to work*. John Wiley.  
Flanagan (J.). — (1954) The critical incident technique, *Psychological Bulletin*, vol. 51, pages 327-358.

#### Networks

- Berry (M.). — (1975) *Introduction to systemic linguistics*, 1. Structure and systems. Batsford.  
Halliday (M.A.K.). — (1973) *Explorations in the functions of language*. Edward Arnold.

#### Other related studies

- Madge (C.), Weinberger (B.). — (1973) *Art students observed*. Faber.  
Miller (C.M.L.), Parlett (M.). — (1974) *Up to mark*. S.R.H.E.  
Perry (W.G.). — (1968) *Forms of intellectual and ethical development in the college years : a scheme*. Holt, Rinehart, Winston.  
Roe (A.). — (1952) *The making of a scientists*. Dodd Mead.  
Zinberg (D.S.). — (1976) Education through science : the early stages of career development in chemistry, *Social Studies of Science*, vol. 6, pages 215-246.

#### H.E.L.P. Publications

- Bliss (J.), Ogborn (J.). — (1977) *Students' reactions to undergraduate science*.  
Bridge (W.), Elton L. (R.B.) (Eds.). — (1977) *Individual study in undergraduate science*.  
Ogborn (J.) (Ed.). — (1977) *Small group teaching in undergraduate science*.  
Ogborn (J. (Ed.). — (1977) *Practical work in undergraduate science*.

All published by Heinemann Educational Books, London.

### APPENDICE 1 A sample story

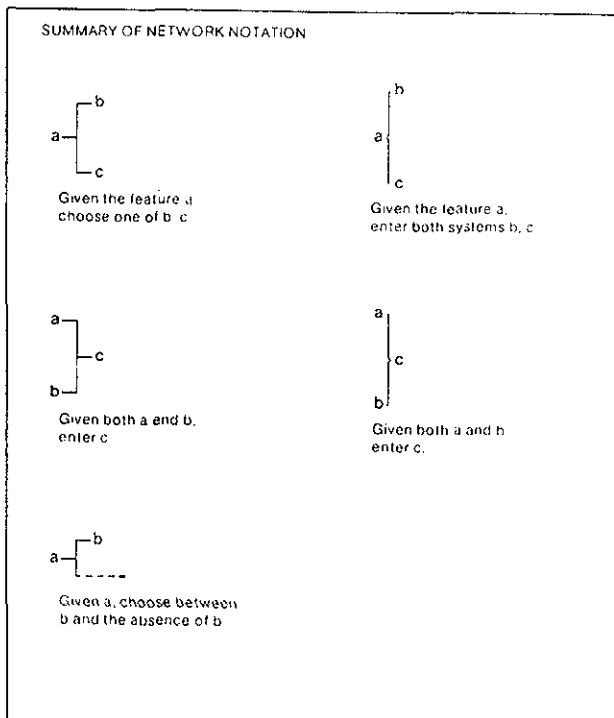
- I Well, perhaps you could cast your mind back now and think of something nice — something you felt particularly good about when you were learning something. Any situation at all... ?  
S I think the time when you feel that you've most achieved something is when you hand a piece of written work in... problems and get good marks for them.  
I Can you think of a particular incident when that happened ?  
S Well, for my tutor I had to do three exam questions for practice, and I got good marks in all of them. You felt, you know, that you really understood what you were going on about once you had had to write it down in essay form. And it helps with the learning, actually having to write it down.  
I Well, can you remember the one that you felt was the most satisfying ?  
S Oh yes... It was about the wave and particle properties of electrons and light.  
I How long did it take you to do ?  
S Oh, it took a lot of work. I had about three text books out, and about five hours I think in writing it up. And I got a good mark for it — I was generally very pleased about that.  
I What were you pleased about ? Were you pleased about the mark, or the reaction of the tutor or yourself — what was good about it ?  
S Well, I felt that I really understood what I was writing down. And it wasn't just copying it out of the books, because I had to prepare the essay as well. And the tutor praised me for it — said it was very good, that it was first class honours. I just felt very pleased about it.  
I That's nice. What I was trying to get at is — well, you can have all sorts of good feelings — if somebody told you you'd won the pools you'd feel good but very elated, while if you went out and had a good meal you'd feel good again, but this time nicely satisfied.  
S I feel virtuous, I suppose, because I've actually done something right for a change.  
I Is there any other way you could describe the way you felt good ?  
S I felt elated, I suppose. It's just because you have done something well for a change.  
I For a change ?  
S For a change, yes.  
I What made you say that ?

- S Well, I don't generally get all that good marks. I'm not particularly thorough with my work, I suppose. I do it as quickly as possible most of the time.
- I But in this particular situation ?
- S I decided to get down to it and try and prepare it well.
- I Why was that ?
- S I don't know — we generally have problems to do, and they're not very interesting — we just fiddle about with numbers — 50 but this was an essay we had to write. I think I prefer writing essays to doing problems.
- I Writing essays ?
- S Exam questions, things like that.
- I Why is that ?
- S I don't know, I feel you can get down more in an essay.
- I Why is writing essays more satisfying, do you think ?
- S Well, it takes longer ; it looks better ; you can read it back to yourself. With problems you just have to fit the numbers in,

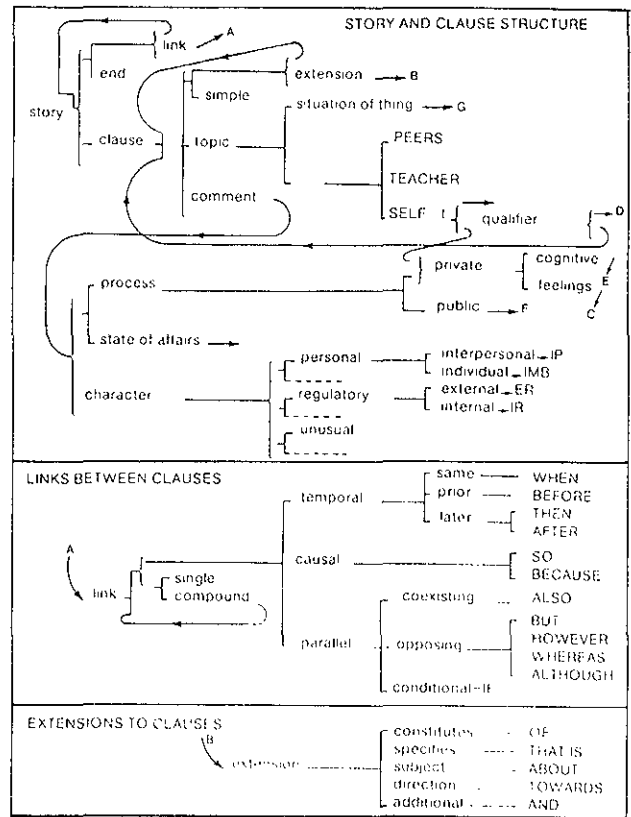
and you know what the answer is going to be because you can look it up. It's just a question of fiddling until you get the answer. There's about five of us back in the Hall who generally do our problems together, but you can't really do essays together, so you know it's your own product.

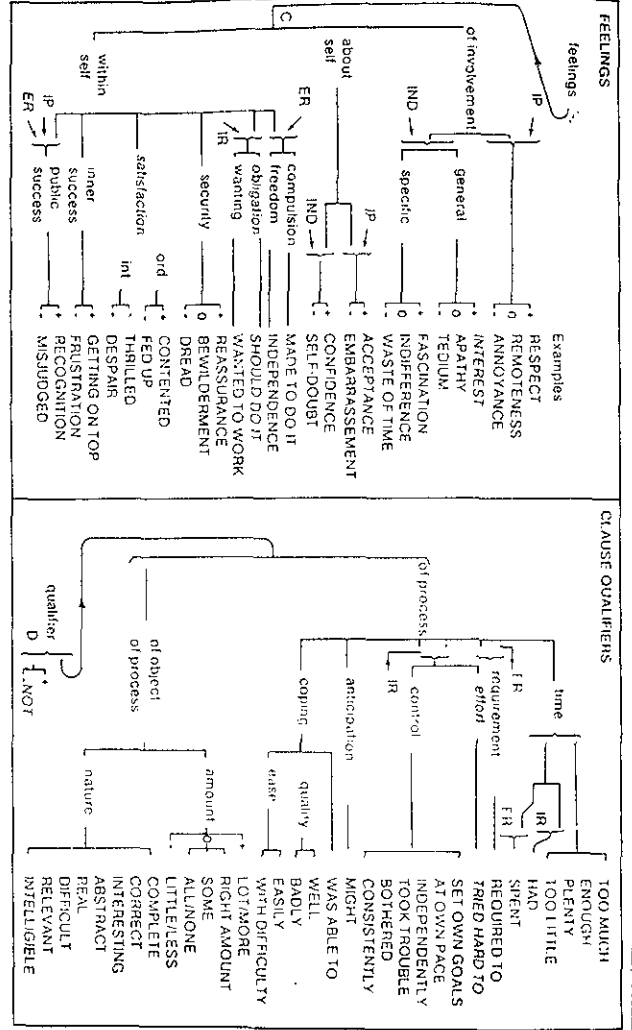
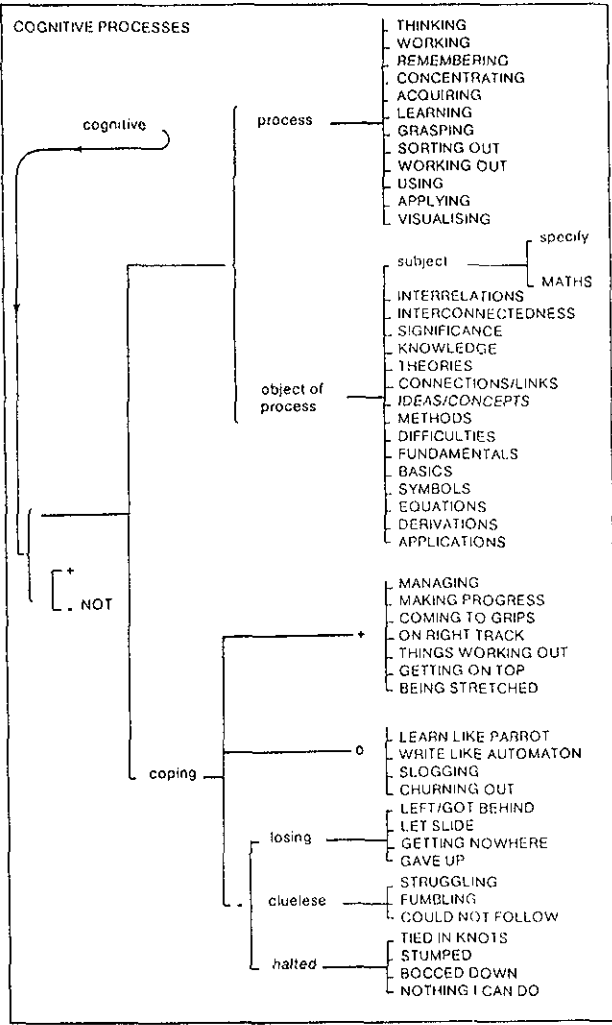
- I And how does that make you feel ?
- S Virtuous !
- I Does writing the essay and getting good marks and all the rest of it have any effect on your work at all? On the way you feel about university work or life?
- S I shouldn't think so. 70
- I When you come out from the tutor or when you get the essay back, does it have any... ?
- S Ah ! Well, you do think then, "oh, this is good. I shall keep this up and work hard all the time". But then you feel fed up again and just let it drop, and get back into your old ways.
- I So the effect, does it or doesn't it last ?
- S It doesn't last. Just a day or two.

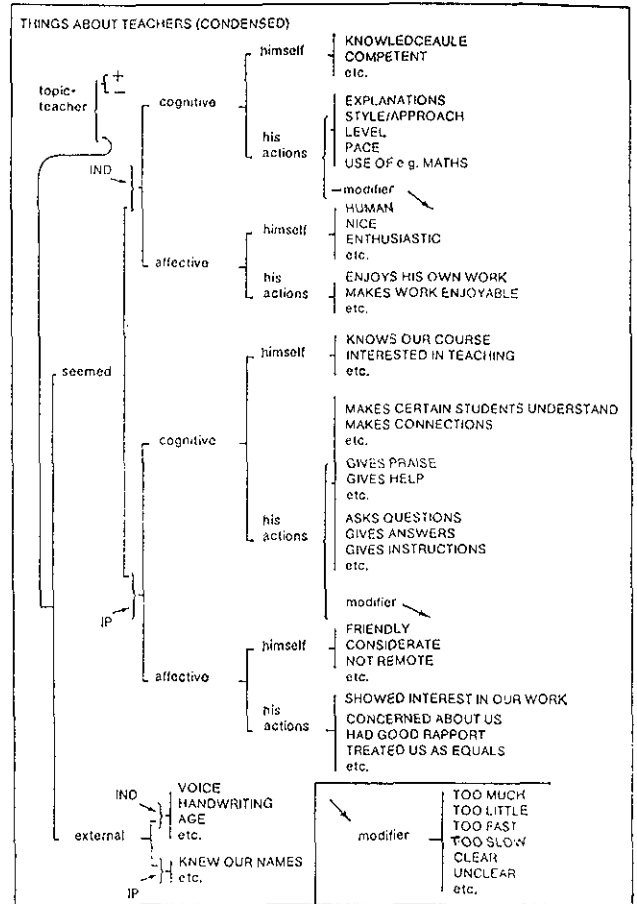
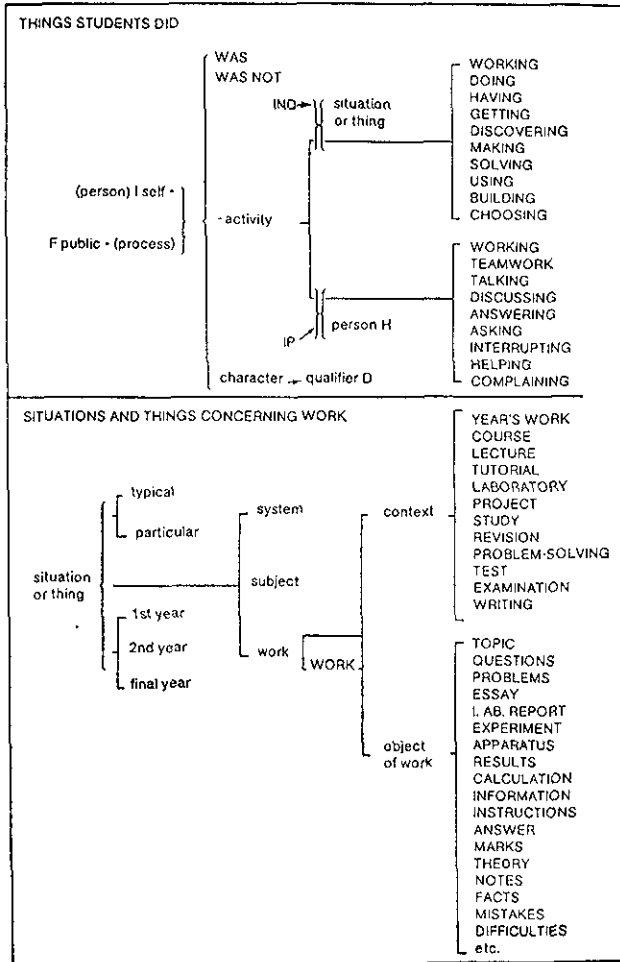
## APPENDICE 2



## ABRIDGED MAIN NETWORK STRUCTURE







## ANALYSE DES INFÉRENCES FAITES PAR DES ÉLÈVES AU COURS D'UN RAISONNEMENT EXPERIMENTAL

Dans une démarche expérimentale classique, on peut grossièrement distinguer deux phases : une phase de recherche, à travers un plan expérimental, du (des) facteur(s) déterminant un phénomène donné, et une phase d'interprétation, où il s'agit de lire, à travers le plan expérimental, les résultats de l'expérience.

Peu de recherches ont été consacrées à ce type de raisonnement, fondamental dans l'enseignement tant de la physique que d'autres sciences expérimentales, bien qu'il présente des difficultés certaines pour l'élève et même pour l'étudiant (Cauzinille, Friemel, Mathieu, Richard, Weil-Barais, 1977).

Dans cette première étude\*, on s'est intéressé à une situation expérimentale simplifiée, afin de pouvoir cerner les difficultés rencontrées par les élèves et de préciser les modes de raisonnement mis en jeu par ceux-ci.

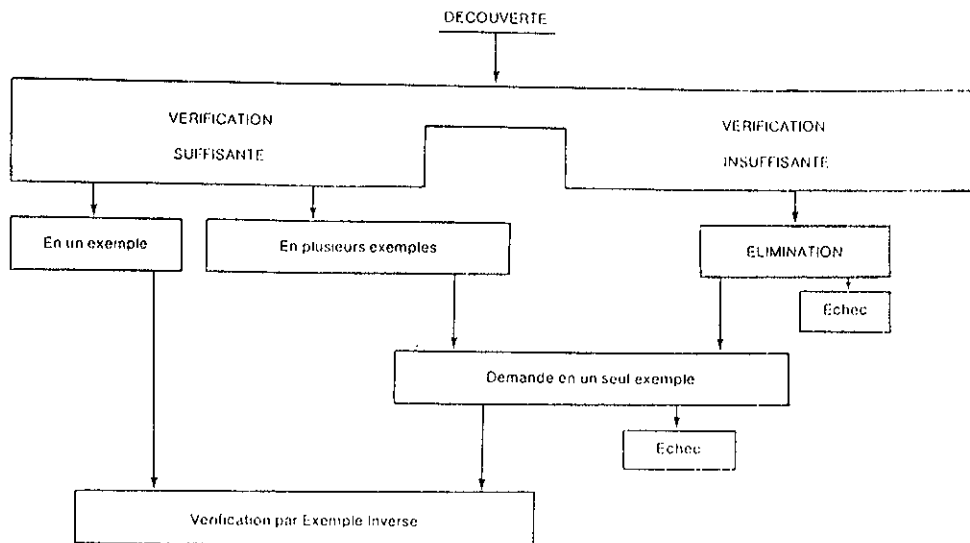
En particulier, on peut se demander si les types

de raisonnement mis en jeu (que ce soit dans la phase de découverte ou dans la phase de vérification) sont les mêmes dans le cas d'une règle naturelle et dans le cas d'une règle arbitraire, bien que les situations soient logiquement équivalentes. Cette étude a été menée sur des enfants de 6° et de 4°, c'est-à-dire au début et à la fin du stade des opérations formelles. (Inhelder et Piaget, 1955).

La situation choisie est celle du pendule, dont la période d'oscillation est déterminée par la longueur. On indique à l'enfant qu'un seul des quatre facteurs suivants est le facteur déterminant : la longueur du fil de suspension, le matériau du fil, la taille du balancier, la forme du balancier. On demande alors à l'enfant de rechercher ce facteur en choisissant des couples successifs de pendules qu'il doit faire osciller. Cette situation est logiquement isomorphe à la découverte d'une règle de classification de dessins géométriques structurés en quatre dimensions (ou facteurs) à deux modalités : taille (grande, petite), forme (carré, cercle) ; couleur (bleu, jaune) intérieur (plein, vide).

La différence entre les deux situations tient à la nature de la règle : dans un cas il s'agit d'une règle naturelle, dans l'autre d'une règle arbitraire. Chaque enfant doit, pour chaque type de matériel, effectuer trois tâches : une tâche de découverte, où il doit rechercher lui-même l'information nécessaire, une tâche de vérification où on lui indique le facteur déterminant et où il doit choisir un couple permettant d'être sûr que c'est ce facteur-là, et lui seul, qui est le facteur déterminant ; enfin une tâche d'élimination, où l'enfant doit choisir un couple permettant d'éliminer un facteur donné. Dans la phase vérification-élimination, on a fait dépendre les questions posées des réponses de l'enfant. On a résumé dans l'organigramme ci-dessous la suite des questions. Après une phase de découverte commune à tous les sujets, ou dans la phase de vérification initiale, on demande à l'enfant de choisir les pendules (ou les cartes) qu'il suffit de choisir pour être sûr que c'est la longueur qui compte (ou pour les figures, que c'est la dimension choisie comme critère). Quand la vérification n'est pas suffisante, l'enfant effectue une épreuve d'élimination : il doit successivement choisir trois exemples infirmant chacune des trois dimensions non pertinentes. Dans le cas d'une vérification suffisante, on distingue si la vérification a été donnée à partir d'un seul couple, ou de plusieurs couples. Dans ce dernier cas, il est explicitement demandé une vérification en un seul couple. Enfin on demande à tous les sujets (sauf ceux ayant échoué à l'élimination), une vérification par le couple inverse, c'est-à-dire : si le sujet avait choisi deux pendules allant à la même vitesse, il devra choisir deux pendules de vitesses différentes et vice versa (idem pour le matériel géométrique).

\* Cette recherche a été menée par F. Abramowitch, L. Loboutet, J. Mathieu, G. Politzer, J.-F. Richard.



## RESULTATS

### A — Analyse des réussites

#### 1. Phase de découverte

On n'a pas observé de différence sur les résultats des groupes fille et garçon, ainsi que sur l'ordre de passation : pendule-matériel géométrique. On ne reparlera pas de ces facteurs.

Le tableau 1 montre que les élèves des classes de 4<sup>e</sup> ont un nombre moyen d'essais inférieur à ceux de 6<sup>e</sup>. (Différence significative à  $p < .01$ ), et que le nombre d'essais est plus faible pour le pendule que pour le matériel géométrique (différence significative à  $p < .05$ ). Ceci peut s'expliquer par le fait que pour les figures géométriques, les quatre critères possibles ont d'égales chances d'être choisis comme critères pertinents ; pour le pendule, par contre, en raison des acquis des enfants, certains facteurs (comme la longueur ou la grosseur) sont plus plausibles.

#### 2. Phase de vérification et d'élimination

Sur le tableau 2, on peut voir que pour la classe de 6<sup>e</sup>, il n'y a pas de différence entre le matériel géométrique et le pendule (à  $p < .05$ ), tandis qu'en classe de 4<sup>e</sup>, le pendule semble plus facile, mais il n'y a pas de différence significative non plus (à  $p < .05$ ). Si l'on s'intéresse à la phase de vérification suffisante seulement, on observe que 25 % des élèves échouent si on leur demande de donner un seul couple permettant de conclure. Les 4<sup>e</sup> sont meilleurs que les 6<sup>e</sup> (tableau 3).

On observe aussi que les 4<sup>e</sup> donnent plus facilement une démonstration en un seul exemple spontanément pour le pendule que pour le matériel géométrique. Par contre, pour les classes de 6<sup>e</sup>, il n'y a pas de différence entre les deux conditions.

Enfin, si on considère les élèves n'ayant pas donné spontanément une vérification en 1 couple, on peut voir sur le tableau 3 que 58 % (34/59) d'entre eux réussissent quand on leur demande explicitement de présenter un seul couple permettant de conclure.

#### 3. Phase de vérification par l'exemple inverse

Dans cette phase, il y a une différence importante entre les 6<sup>e</sup> et les 4<sup>e</sup> : 25 % de réussite en 6<sup>e</sup> contre 50 % en 4<sup>e</sup>. Par contre il n'y a pas de différence entre les matériels dans les deux classes.

### B — Analyse des couples choisis par les sujets

On a procédé à une analyse plus fine des données à partir des couples choisis par le sujet.

On a codé les couples choisis de la manière suivante :

1C 3V signifie une dimension constante, trois dimensions variables.

Il y a trois types de couples possibles : 1C 3V ; 2C 2V ; 3C 1V.

Dans les résultats suivants, on a confondu les résultats portant sur le matériel géométrique et le pendule, ainsi que les classes.

### 1. Phase de découverte

On a observé la distribution suivante :

3C 1V : .591

2C 2V : .270

1C 3V : .122.

La distribution est semblable pour les élèves ayant réussi ou échoué, qu'ils soient en 6° ou en 4°. Les sujets ont donc une préférence marquée pour les couples où une seule dimension varie, et ceci qu'ils aient réussi ou non à cette phase, et quel que soit leur classe.

### 2. Phase d'élimination

Dans 94 % des cas, l'attribut pertinent est constant, tandis que l'attribut non pertinent sur lequel porte l'interrogation est variable. La grande majorité des couples choisis est du type 3C 1V. Là aussi, il n'y a pas de différence selon la réussite ou l'échec à cette phase, ce qui renforce les résultats de la phase de découverte, et suggère une difficulté due au traitement de l'information et non à un mauvais choix des couples.

### 3. Phase de vérification

Lorsque le sujet a donné la vérification à partir d'un ou plusieurs exemples, le type 3C 1V avec la dimension constante est nettement dominant.

### 4. Phase de vérification par l'exemple inverse

La réussite est plus fréquente quand l'exemple précédemment choisi est du type 3C 1V et que le sujet doit conclure sur un exemple 1C 3V.

## CONCLUSION

Ces résultats montrent la supériorité des élèves de 4°, mais cependant la différence avec les élèves de 6° n'est pas très grande.

Plus important, d'un point de vue pédagogique, est le résultat que la différence de matériel n'intervient que dans la phase de découverte, les deux matériels étant équivalents pour les phases de vérification et d'élimination.

Les élèves choisissent plutôt des couples du type 3C 1V, pour la découverte, l'élimination et la vérification en plusieurs exemples. On peut expliquer ces résultats en faisant l'hypothèse que les différences sur le facteur ont plus de relief que les ressemblances entre facteurs.

La réussite à 1C 3V entraîne celle à 3C 1V, alors que la réciproque n'est pas vraie, confirme qu'on peut conclure à deux niveaux de performance : au niveau le plus bas, le sujet sait infirmer une dimension non pertinente seulement en la faisant varier, la dimension pertinente étant constante, au niveau supérieur, le sujet sait infirmer une dimension non pertinente des deux façons possibles.

Enfin, on a remarqué que 58 % des élèves qui n'ont pas donné spontanément une vérification en un couple, sont cependant capables de le faire après une demande explicite. Il semblerait que ces sujets n'aient pas envisagé la possibilité de conclure à partir d'un seul couple, bien qu'ils en aient la capacité.

Jacques MATHIEU,  
Université de Rouen.

### Bibliographie

- Cauzinille, Friemel, Mathieu, Richard, Weil-Barais. — Etude de la pratique du raisonnement expérimental chez des étudiants en sciences humaines.
- Inhelder (B.), Piaget (J.). — De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. 1955, P.U.F., p. 314.

TABLEAU 1

Phase de découverte. Nombre moyen d'essais pour donner la réponse correcte.

		Pendule	Matériel géométrique	Effectif
Classe de .....	6°	5,6	9,4	115
	4°	4,2	7,2	125



TABLEAU 2

Phase de vérification et d'élimination. Pourcentage de type de réponse selon la nature du matériel. (P = Pendule, G = matériel géométrique).

		Vérification correcte		Vérification Insuffisante		
		Donnée en un exemple	Donnée en plusieurs exemples	Elimination correcte	Elimination incorrecte	
6°	P	.39	.26	.13	.22	100
	G	.33	.25	.12	.30	100
4°	P	.56	.23	.16	.05	100
	G	.35	.50	.07	.08	100

TABLEAU 3

Phase de vérification. Pourcentage ayant réussi la vérification par la présentation d'un seul couple.

		Réussite spontanée	Réussite après demande	Echec
6°	G .....	.30	.45	.25
	P .....	.39	.25	.35
4°	G .....	.34	.42	.23
	P .....	.57	.26	.16
ENSEMBLE .....		.42	.34	.25

## DISCUSSION GENERALE

L. Geminard pose à travers certains problèmes de l'enseignement technologique plusieurs questions générales. Prenant l'exemple de la formation de l'ouvrier en mécanique moteur auquel il faut faire comprendre le rôle du segment de piston et des différentes contraintes auxquelles il doit satisfaire, il pose la question du modèle didactique et du choix du modèle à utiliser. Un autre problème est évoqué, celui de la formation au dépannage, plus précisément à la détection des pannes, qui peut être réalisée directement sur des moteurs ou à partir d'un simulateur. Les résultats ont montré que ceux qui ont appris sur simulateur ont besoin d'un temps assez long de familiarisation quand ils passent au travail sur moteurs mais que le temps de transfert quand ils passent à un autre type de moteur est très rapide. Ceux qui ont été formés sur des moteurs vont très vite sur des moteurs de même type mais ont un temps de transfert plus long sur des moteurs de type différent. C'est là un résultat qui peut paraître assez banal, mais le point qui est à signaler dans cette expérience c'est qu'il y a eu des modifications d'attitude dues au type d'environnement qui caractérise les deux types de formation. Les

uns travaillent en blouse blanche, les autres sont dans la graisse et le cambouis. Les deux aspects sont importants : le processus didactique et l'équipement qui définit un certain environnement. On voudrait pouvoir changer le processus didactique mais il y a les contraintes du matériel, qui ne peut être renouvelé tous les ans. D'où la nécessité de bien réfléchir au processus pédagogique, quand on fait un choix d'équipement.

P. Guidoni distingue deux aspects de l'expérience :

Expérience pour connaître, expérience pour transformer. L'activité expérimentale est très importante, car elle conditionne l'attitude qu'a l'enfant vis-à-vis de la connaissance. Par l'expérience on se rend compte qu'on ne peut connaître les choses que de façon schématique, on se rend compte qu'un appareillage c'est la matérialisation de ce qu'on pense. On s'aperçoit devant un problème expérimental qu'il faut restructurer tout ce que l'on sait en fonction d'un objectif précis. Toutes ces caractéristiques de la connaissance, l'activité expérimentale permet de les appréhender.

F. Halbwachs aperçoit une dichotomie entre deux façons antagonistes de concevoir l'activité expérimentale chez l'élève. L'une privilégie la démarche par rapport à la connaissance (cf. communications de A. Giordan, H. Latreille). Pour elle l'important est de former l'enfant à la philosophie expérimentale. Elle place à la source de tout l'autonomie, l'activité. Elle insiste sur le caractère libérateur, voire contestataire de cette démarche à l'égard de toute la pédagogie dans laquelle l'expérience a uniquement une fonction de preuve, de démonstration.

La seconde soumet la démarche à la connaissance. Il s'agit de construire un système de connaissances dans l'esprit de l'élève, un système qui lui permette de comprendre le monde dans lequel il vit. Cette conception peut faire penser au système des connaissances et des programmes actuels. Elle s'en distingue fondamentalement par les caractéristiques suivantes : ces connaissances doivent être :

- des connaissances organisées, non ponctuelles ;
- des connaissances prouvées (le rôle de l'expérience est de faire que rien ne soit admis qui ne puisse être prouvé par l'expérience) ;
- des connaissances opératoires ;
- des connaissances utiles (il faut que l'élève puisse en faire quelque chose dans sa vie professionnelle et dans sa connaissance du monde).

E. Fiszbein conteste l'idée défendue dans le rapport introductif et selon laquelle l'enfant ne serait pas réceptif à l'expérience et n'accepterait pas de remettre en cause ses opinions. Evoquant des expériences dans lesquelles

l'enfant découvre que la force de friction est proportionnelle à la surface, il souligne l'importance des moments de surprise. Quand, ayant fait une expérience, les enfants constatent que leur opinion n'est pas vérifiée, ils se mettent à manipuler, font de nouvelles expériences et alors abandonnent leur opinion.

R. Jaccoud remarque que les deux modalités évoquées par L. Geminard pour la formation à la détection de pannes recouvrent en fait deux démarches : l'une privilégie l'organe par rapport à la fonction, l'autre privilégie la fonction par rapport à l'organe. La seconde représente ce qu'on appelle un modèle. Les élèves qui ont travaillé sur le simulateur accèdent à partir d'un modèle non formalisé à la capacité prédictive. D'une façon générale le support expérimental doit s'adresser au modèle qui sous-tend la connaissance pour développer la prise sur la classe d'objets auxquels s'applique le modèle.

A. Denis considère que si l'on arrive à des hiatus entre modèle et application c'est qu'on considère le modèle tout fait et non pas le processus par lequel on arrive au modèle. Si le modèle est le fruit de recherches, de tâtonnements, de demandes d'expériences explicites, alors le passage se fait de la théorie à la pratique et il n'y a pas de rupture.

Pour Vinh-Bang l'essentiel est que la connaissance soit intégrée, et il importe d'examiner comment s'opère la démarche de construction de cette connaissance. Il y a plusieurs niveaux d'organisation à considérer :

- l'organisation des instruments, des techniques ;
- l'organisation du raisonnement ;
- l'organisation de la connaissance.

G. Delacote répond à E. Fiszbein concernant les possibilités de modifications des opinions à partir de constats expérimentaux. C'est vrai qu'il y a des moments où on observe chez des enfants assez jeunes des changements d'attitude à parler de ce qu'ils ont observé. Ce qui a été dit dans le rapport représente une tendance et l'on peut citer des contre-exemples. En fait ces contre-exemples sont plutôt rares et ce que l'on observe souvent c'est que l'enfant va jusqu'à « falsifier » l'expérience plutôt que de se soumettre à ce qu'il voit.

G. Delacote souligne l'importance de la communication de J. Bliss et le courage qu'il y a à examiner de près comment passe notre enseignement ; il souhaite que de telles recherches soient développées dans d'autres pays.

M. Corcia insiste sur les limites de l'expérience. On à l'impression dit-il, qu'il suffit de montrer, de faire voir pour que l'enfant assimile et on ne tient pas compte de l'activité du sujet. C'est mal comprendre que le sujet construit sa connaissance par l'action et que l'expérience implique des cadres d'assimilation préalables.

J.L. Ovaert souligne l'intérêt que présente l'histoire des sciences quand elle est entendue comme une recherche des problématiques de construction des connaissances. Elle donne en particulier des exemples de terrains favorables à l'approfondissement théorique et à la réflexion sur l'activité expérimentale.

Pour G. Brousseau, on ne voit souvent qu'un aspect du modèle, l'aspect acquisition de règles. En réalité le modèle prend son sens par ce qu'il rejette et la mise en place du modèle est constitutive du modèle. Si on conçoit la connaissance comme privation de liberté, privation de parole, on vit l'installation d'une règle comme quelque chose d'appauvrissant et on ne voit pas la connaissance comme construction d'une parole.

J. Blanc constate que dans la pédagogie des sciences expérimentales on a éliminé toutes les expériences qui ne marchent pas parfaitement. Cela tient à l'attitude qu'a l'enseignant vis-à-vis de l'expérience : il prend l'expérience pour l'aider à faire passer sa vérité. Cela tient à la façon dont les enseignants sont formés, cela tient à la façon dont les enseignants sont jugés. Pour ces raisons aller jusqu'au bout d'une démarche véritablement expérimentale crée une anxiété extraordinaire chez les enseignants.

G. Vergnaud refuse de se ramener au schéma hypothèse-expérimentation-vérification. Ce qui compte, c'est le concept, la représentation. Le schéma pratique-théorie ne peut pas se ramener au schéma expérience-hypothèse. Aussi ce qui a été dit dans cette journée doit être pondéré par ce qui a été dit sur les contenus au cours de la journée précédente. La compréhension du pendule ne relève pas du problème de savoir si telle ou telle variable est pertinente. L'objet cognitif c'est de connaître le mouvement et cela ne relève pas de l'expérience.

B. Inhelder évoque les aspects structuraux de la genèse des connaissances mais souligne que depuis quelques années des recherches ont été entreprises à Genève, qui concernent l'aspect procédural et qui ont recours à des modèles cybernétiques. Ces deux aspects sont interdépendants sans être identiques.

Résumé de la discussion rédigé par  
Jean-François RICHARD.

## THEME III

## PLACE DES PROCEDURES D'APPRENTISSAGES « SPONTANÉES » DANS LA FORMATION SCIENTIFIQUE

I. — L'accord apparent des pédagogues sur le terme « méthodes actives » ou « méthodes de découverte » masque en réalité des divergences profondes sur les hypothèses et les méthodes pédagogiques. Les pratiques réelles peuvent se situer entre les deux extrêmes suivantes :

Pour certains l'acte pédagogique a pour objet essentiel l'apprentissage d'un « modèle » défini par l'adulte à partir de la logique et de la structure de la discipline : cette dernière détermine la nature et l'ordre des apprentissages. La pédagogie sera qualifiée d'active lorsque le maître prend en compte les intérêts et le développement des enfants en s'appuyant sur le dialogue orienté constamment par l'objectif à atteindre grâce à une maïeutique socratique. Elle accédera au statut de « méthodes de découverte » lorsque les enfants auront au début de l'exercice la possibilité de travailler librement sur un matériel spécialement choisi par le maître — souvent spécialement construit — en vue de l'objectif à atteindre. Cette phase de tâtonnement permet de motiver les enfants et de voir s'ils sont prêts à aborder l'apprentissage. Les interactions entre enfants ne jouent pas de rôle spéci-

fique, le dialogue reste centré de façon systématique sur le maître, l'individualisation porte uniquement sur les rythmes grâce à des jeux de fiches ou des aides pédagogiques programmées. Les défenseurs de cette approche insistent sur le fait que les sciences ne peuvent pas être découvertes par un coup de baguette magique alors qu'elles sont des constructions très progressives des sociétés humaines et que les obstacles à la connaissance n'ont pu être surmontés que par la découverte de situations de départ privilégiées. De plus chaque discipline est caractérisée par une structure qui définit des rapports nécessaires entre concepts. De ce fait un tâtonnement à partir de points de départ quelconques risque d'aboutir à des pertes de temps inutiles, à une chasse qui ne débouche pas sur des prises, à une poussière d'acquis non structurés.

D'autres au contraire cherchent à stimuler le dynamisme de l'enfant qui le pousse à apprendre lorsqu'il est placé dans un environnement social favorable et à l'orienter vers la découverte et la réalisation des objectifs pédagogiques reconnus comme souhaitables par l'institution scolaire.

Les acquisitions scolaires — langue écrite par exemple — relèveraient du même modèle pédagogique que les apprentissages « spontanés » de la 1<sup>re</sup> et de la 2<sup>e</sup> enfance — marche ou langue parlée par exemple — Dans les deux cas l'acquis se situerait au terme d'activités fonctionnelles (Claparède) c'est-à-dire des activités qui répondent à un besoin, même si elles ont été induites par le milieu dans lesquelles l'enfant est impliqué à la fois sur le plan affectif et intellectuel et qu'il poursuit au départ en situation d'autonomie et suivant leur origine propre. Leur réalisation est possible dans le cadre scolaire. Par exemple les cultures et les élevages ne seront pas de simples prétextes pour faire de la biologie, de la physique ou des mathématiques mais seront poursuivies en situation d'autonomie jusqu'à leur terme en fonction des besoins affectifs et pratiques des enfants ; de même l'éducation physique apparaîtra d'abord comme une activité d'expression et de développement avant de donner lieu à un questionnement ; les activités techniques répondront d'abord au besoin de créer et d'agir sur les objets avant de conduire à des problèmes de physique et de géométrie ; l'exploration du milieu se présentera au départ comme une activité de découverte libre.

L'observation des enfants permet au maître de reconnaître les objectifs pédagogiques possibles et il cherchera à les rendre nécessaires avant d'aborder les procédures d'apprentissage. Cette phase de maturation est très délicate, d'une part parce qu'il faut faire évoluer des besoins subjectifs en objectifs éducatifs tels qu'ils apparaissent aux adultes, d'autre part parce que ces objectifs doivent être ressentis au niveau du groupe et non

d'un individu isolé, ce qui suppose des échanges effectifs entre enfants.

Le questionnement de ces derniers débouche en général sur la formulation d'un problème au cours de laquelle les structures opératoires de l'enfant sont mobilisées pour la recherche d'une relation qui dépasse la simple recette pratique.

La démarche de résolution de problème permet à l'enfant lui-même de mettre ses représentations initiales en défaut à la suite de l'échec d'une activité orientée par celles-ci ou des contradictions qu'elles provoquent dans la classe et de construire un savoir opérationnel qui résulte de l'explicitation par la classe avec la participation du maître. Des apprentissages systématiques de situent éventuellement au terme de ce processus, lorsque les enfants éprouvent le besoin de consolider des outils dont ils ont éprouvé l'efficacité et de consolider ou structurer des acquis ponctuels. L'attitude pédagogique du maître ne relève pas de la non-directivité puisqu'il a des objectifs présents à l'esprit et qu'il ne se contente pas d'animer un groupe qui détermine lui-même ses objectifs ; mais il intervient surtout comme régulateur d'une démarche où les enfants sont constamment invités à prendre l'initiative et à créer. Les enfants sont amenés à participer de façon critique à la définition des objectifs et l'éducation est définie par une interaction entre classes d'âge et non par une prise en charge totale de la classe d'âge des enfants par celle des adultes.

Les partisans d'une pédagogie de la construction du savoir par une investigation autonome se basent sur les données de la psychologie génétique (en particulier de l'école de Piaget) pour affirmer que l'enfant ne peut surmonter les représentations subjectives par une simple présentation des « modèles » adultes même si elle s'accompagne de la « purge » de certaines représentations spontanées grâce à des contre-exemples bien choisis, les obstacles sont liés aux caractères spécifiques de la pensée enfantine ; un apprentissage efficace suppose la réorganisation de cette dernière.

D'autre part ils pensent qu'en demandant aux enfants de travailler sur des situations épurées et imposées, détachées de leur vécu on coupe les apprentissages cognitifs du champ affectif, de l'apport culturel de certains milieux et de l'expérience apportée par le travail humain. Ainsi s'expliquerait la régression progressive de l'acquis qui est parfois saisissante sur un intervalle de plusieurs années, la difficulté de réinvestissement en situation de vie des apprentissages pourtant confirmés par des épreuves papier-crayon, la faible intégration des informations véhiculées par les médias faute d'instruments permettant leur analyse critique et de structures effectivement construites par l'enfant. En plaçant la confrontation avec le vécu au cœur même du processus d'appren-

tissage on évite la dégradation du savoir en un corpus statique vite oublié et on fait apparaître son caractère dynamique : il permet de prévoir et de comprendre ; il se renforce, se spécifie, se remodèle constamment au contact de l'expérience.

En fait les pratiques pédagogiques concrètes ne s'opposent pas de façon aussi tranchée. D'une part il y a souvent un décalage considérable entre la pédagogie que le maître croit pratiquer et celle qu'il fait réellement ; au magnétoscope beaucoup de maîtres se découvrent plus directifs qu'ils ne le pensaient. D'autre part la pratique pédagogique des maîtres change suivant la situation de classe et la connaissance de la matière enseignée. Lorsque le maître connaît bien un domaine il prend plaisir à découvrir et à créer avec les enfants ; lorsqu'il ne se sent pas à l'aise dans une discipline donnée il a tendance à imposer des recettes.

Cependant il semble indispensable de pouvoir préciser l'articulation et l'importance relative de chacune des deux méthodes, d'une part parce que ces données orientent souvent de façon très directe les prises de décision du maître, qu'il s'agisse de son action immédiate auprès des élèves ou des activités de prévision et d'évaluation (planning - bilan) ; d'autre part parce que la priorité donnée à l'une ou l'autre méthode commande de nombreux aspects de l'institution scolaire : aménagement des locaux scolaires, forme de l'emploi du temps et de la coopération entre professeurs, nature des aides, (manuels scolaires par exemple), modalités de la formation des maîtres en particulier place de la recherche et de l'autoformation en équipes pédagogiques dans la formation permanente. Ces contraintes institutionnelles déterminent en grande partie le modèle pédagogique implicite du maître.

Nous ne pensons pas qu'un modèle pédagogique informel, basé uniquement sur des apprentissages spontanés permette de réaliser l'ensemble des objectifs qui caractérisent la pensée scientifique bien qu'il puisse conduire à la maîtrise des attitudes (curiosité, créativité, confiance en soi) et à un degré moindre à des méthodes ou de connaissances ponctuelles. On est donc ramené à chercher l'articulation entre les apprentissages spontanés et les apprentissages systématiques dans le cadre des méthodes actives. Deux solutions sont possibles lorsqu'on se propose de réaliser un contrat d'objectifs à long terme (année scolaire ou cycle) :

— On peut intercaler des périodes d'activités autonomes (projets, travail indépendant) dans une progression qui pour l'essentiel est programmée à l'avance et où les prises de décision relatives à la démarche partent du maître.

— On peut favoriser les activités fonctionnelles et rechercher d'abord quels objectifs on peut attendre et

quels sont les apprentissages rendus nécessaires ; ces acquis seront les points d'ancrage d'un effort de structuration ; le réseau conceptuel est construit après coup ; il articule l'expérience personnelle de l'élève et l'acquis social en un système ouvert et remodelable.

La première alternative est la plus répandue car elle sécurise : elle propose des béquilles en suggérant aux maîtres et aux élèves de les abandonner ensuite. *Mais elle ne réalise qu'un compromis purement empirique entre deux modèles pédagogiques contradictoires.* De ce fait l'un des deux tend à l'emporter et c'est habituellement le modèle d'apprentissage didactique car c'est lui qui commande en fait la notation (composition, examens) et l'organisation scolaire (horaires et installations). Bien plus elle conduit à une forme de recherche pédagogique qui ne répond pas aux problèmes spécifiques d'un apprentissage basé sur les activités fonctionnelles ; les unités ainsi construites font passer les enfants à travers une série de paliers soigneusement planifiés et évalués ; non seulement le maître n'est pas guidé pour exploiter le réseau des possibles mais rien ne prouve que les informations sur la manière dont l'enfant apprend soient transposables à une situation ouverte ; comment faire comprendre dans ces conditions à des maîtres épris d'innovation que l'aspect créateur de l'acte pédagogique ne nous dispense pas de la prise en compte des contraintes dans la prise de décision et de l'observation objective des situations de classe ?

De ce fait nous pensons qu'il est important d'explorer la deuxième alternative. Elle permet de construire un modèle pédagogique cohérent qui intègre les données de l'épistémologie, de la psychologie génétique et de la psychologie sociale dans le cas de l'enseignement scientifique expérimental à l'école élémentaire et au CES, enseignement qui doit répondre aux exigences suivantes :

— s'adresser à des enfants au stade des opérations concrètes et faciliter éventuellement le passage à la pensée formelle ;

— permettre de travailler en classes hétérogènes c'est-à-dire d'individualiser les apprentissages en partant du niveau réel des enfants et de prendre en compte l'acquis culturel d'enfants de milieux différents ;

— donner avant la fin de la scolarité obligatoire une culture scientifique de base qui permette à tous de se situer dans un monde marqué par la science et la technique et de participer aux décisions.

II. — Le modèle pédagogique proposé et qui donne place aux activités investigatrices en situation d'autonomie n'est pas un modèle fermé construit par une simple application de la recherche fondamentale. Il vise à intégrer les multiples variables de l'acte pédagogique suivant trois directions qui présentent chacune de nom-

breux problèmes non résolus mais qui apparaissent justifiées par l'analyse psychologique et épistémologique.

Dans quelle mesure est-il possible grâce à des activités fonctionnelles diversifiées, de permettre l'éclosion et la maturation des besoins réels des enfants et d'obtenir leur traduction en objectifs d'enseignement reconnus comme nécessaires par les élèves et atteints au cours d'un effort de recherche où ces derniers ont une responsabilité effective au niveau de la formulation du problème et du choix des stratégies de recherche ?

Il s'agit d'un renversement total de l'attitude pédagogique traditionnelle. Dans un premier temps le souci du maître n'est pas de suivre une progression et d'inventer pour chaque terme successif de cette progression une situation suffisamment sophistiquée pour que les élèves arrivent à coup sûr à réaliser l'objectif prévu en ayant l'illusion de la découverte mais de permettre aux enfants de réaliser librement une activité qui réponde à leurs besoins et qui les engage affectivement. La mise en place d'activités fonctionnelles authentiques pose de multiples problèmes : les enfants expriment-ils des besoins induits par leur milieu social ou faut-il faire de l'école un milieu riche qui offre à certains enfants des possibilités nouvelles (jeux de construction, club nature) ? Les activités fonctionnelles doivent-elles rester au niveau des intérêts des enfants ou doivent-elles mettre ces derniers en contact avec les adultes (participation au travail ou à d'autres activités sociales) ? Y-a-t-il lieu de regrouper ces activités sous forme d'ateliers distincts des heures d'enseignement par discipline ou peut-on les réaliser à l'intérieur des horaires disciplinaires par exemple faire de la biologie à partir des élevages et des cultures, des sciences physiques à partir de montages ou d'exercices de construction ?

L'observation des enfants joue un rôle décisif : en observant les conduites des élèves le maître peut évaluer les progrès de la pensée scientifique, détecter les difficultés individuelles des élèves souvent dans des disciplines différentes (mathématiques) et amorcer une pédagogie de prévention de l'échec au lieu d'un soutien par gavage, développer la confiance en soi de certains enfants en valorisant l'apport culturel de leur milieu ou en éliminant les causes d'anxiété dues à la situation d'autonomie. Par des interventions discrètes qui n'altèrent pas la logique des activités fonctionnelles, le maître peut préparer les stades ultérieurs, par exemple en diversifiant les modalités du travail de façon à permettre une confrontation ultérieure ou en favorisant les modes de travail qui facilitent le questionnement conduisant à la formulation du problème.

Cette dernière implique une prise de distance par rapport à l'action immédiate ; elle suppose une expérience suffisamment diversifiée pour permettre les comparaisons

et les confrontations. Résoudre un problème ce n'est pas trouver une règle pratique valable pour une situation particulière mais établir une relation largement transférable à des situations très différentes ; par exemple il ne s'agit pas de trouver une recette complexe pour faire germer du blé à coup sûr mais d'identifier certains facteurs nécessaires grâce à la séparation des variables. Une même situation peut conduire à plusieurs problèmes différents ; le maître doit avoir des objectifs présents à l'esprit pour pouvoir aider les élèves mais sans chercher à imposer un objectif défini à l'avance. D'autre part la démarche est réalisée souvent de façon intuitive et tâtonnante et l'acquis n'apparaît pas clairement aux yeux des enfants ; l'effort d'énonciation verbale et graphique permet à la fois la vérification grâce à la confrontation des idées et la compréhension du concept ou des algorithmes qui orientent la démarche. Le recours à la documentation est en général nécessaire pour cerner l'extension de l'énoncé avant que le réinvestissement de l'acquis dans de nouvelles activités n'assure son renforcement et permette de préciser sa signification et son champ de validité.

Les apprentissages systématiques peuvent intervenir à différents moments de cette démarche qu'il s'agisse de connaissances ou de savoir-faire ; mais ils s'ordonnent toujours par rapport à des points d'ancrage organisés en une structure d'accueil cohérente et liée à toute la personnalité de l'enfant : les objectifs cognitifs ne sont pas réduits à une poussière de comportements séparés répondant chacun à un conditionnement scolaire distinct mais sont liés de façon existentielle aux attitudes qui permettent de les mobiliser (créativité).

Comment le maître peut-il suivre honnêtement les activités fonctionnelles des enfants tout en ayant l'intention de réaliser un contrat d'objectifs ? En fait il s'agit d'objectifs à long terme, largement indépendants des situations et qui peuvent être réalisés par paliers successifs suivant des cheminements décrivant des réseaux extrêmement variés. A la structure linéaire imposée a priori par l'enseignement didactique il faut opposer la structuration progressive résultant d'un effort individualisé de l'élève ; cette activité trop souvent négligée par les défenseurs de la « méthode de découverte » distingue la véritable initiation scientifique d'un spontanéisme naïf. Arrivera-t-on ainsi à des structures conceptuelles effectivement mobilisables et susceptibles de se renforcer ou de se réorganiser devant une information reçue de façon critique ? On ne peut pas l'affirmer actuellement mais on sait que la simple présentation des connaissances même accompagnée de démonstrations expérimentales est très peu efficace.

Un deuxième problème qui n'est pas propre aux procédures d'apprentissage dites spontanées peut être

formulé ainsi : comment l'enfant peut-il passer des représentations spontanées à un savoir opérationnel par un cheminement actif et individualisé ? Nous postulons qu'avant tout apprentissage l'enfant dispose d'un mode d'explication appelé « représentation » (bien que ce mot soit employé ici dans un sens plus large que chez Moscovici et Migne) qui détermine la manière dont il organise les données de la perception dont il comprend les informations et dont il oriente son action. La représentation s'organise autour d'un noyau, une relation qui prétend organiser les données de l'expérience du sujet autour d'une famille de problèmes ; les concepts sont des représentations traduisant des relations variées et pour lesquelles les règles d'application à l'expérience sont clairement définies ; les représentations spontanées sont fondées sur la perception immédiate conduisant à des analogies superficielles (transductions) sans que le réalisme naïf ne soit dépassé par la découverte d'invariants ou de modèles permettant une prévision efficace par inférence ou déduction. Mais ce noyau qui comporte nécessairement un aspect opératif est habillé d'adhérences affectives, d'images et d'énoncés verbaux sans lesquelles la représentation ne serait ni communicable ni reliée à l'ensemble du vécu ; lorsque la transmission de la représentation se fait sans référence à l'aspect opératif du concept d'autres significations se substituent à la relation ; un mécanisme régressif s'installe et les stéréotypes sociaux ou le délire de l'imaginaire évacuent peu à peu la relation objective véhiculée par le concept.

De ce fait les représentations premières des enfants ont une double origine : elle peuvent traduire les difficultés de la pensée enfantine à mobiliser les structures opératoires nécessaires à la construction du concept ou résulter de la dégradation des concepts ou stéréotypes sociaux lorsque les informations sont reçues sans donner à l'enfant un pouvoir sur les choses. L'étude des obstacles épistémologiques à partir de l'histoire des sciences permet de connaître et d'expliquer certaines représentations ; mais elle ne nous dispense pas de rechercher celles qui orientent effectivement les conduites d'un enfant concret en situation de classe. Contrairement aux scientifiques du passé, l'enfant vit dans un univers technique et social où les concepts sont véhiculés de façon implicite par les pratiques et le langage : il ne peut pas investir dans le domaine considéré des structures opératoires non maîtrisées — dans ce domaine le recours aux travaux de Piaget est fécond même si on ne reconnaît pas le caractère systématique des stades.

L'accord est unanime sur la nécessité de dépasser les représentations pour construire un savoir opérationnel mais les stratégies divergent. Comme il a déjà été dit on peut choisir des situations privilégiées pour présenter un concept dans des conditions favorables et chercher ensuite à purger l'esprit de l'enfant d'une représentation



erronée en prenant un contre exemple si possible caricatural ; en cas d'échec ultérieur on rappelle à l'enfant les deux systèmes de références. Cette méthode ne permet pas de déceler quand et par quelle démarche l'enfant arrive à surmonter les obstacles à la connaissance : on se contente de « purger » son esprit avant de proposer un modèle. L'autre stratégie consiste à faire évoluer les représentations grâce à l'action propre de l'enfant travaillant en situation d'autonomie et aux interactions entre enfants dans le cadre du groupe ou de la classe ; le tâtonnement expérimental et la communication apparaissent comme deux exigences complémentaires chez le jeune enfant ; le premier constitue chez lui le point d'appui de la pensée rationnelle mais l'enfant se détache difficilement de ses représentations égocentriques sans confrontation avec autrui et il n'accède pas nécessairement à la pensée scientifique lorsqu'il agit mais lorsqu'il est obligé de recourir à la fonction symbolique (langue ou schéma) pour communiquer ce qu'il pense avoir découvert.

Dans le cas d'une stratégie de la découverte le rôle du maître est souvent difficile. Il ne lui suffit pas d'observer les enfants pour voir s'ils ont dépassé les représentations premières, d'une part parce qu'il ne sait pas à quel niveau opératoire l'enfant a résolu son problème, d'autre part parce qu'un élève ne peut mettre en question des représentations que s'il explicite celles-ci par un schéma ou un discours. Le maître s'appuie nécessairement sur les données de la recherche fondamentale relatives aux représentations ; mais comment les prendre en compte ? Suffit-il de les utiliser pour comprendre les causes de blocage et orienter les conduites individuelles des enfants ou est-il souhaitable de prévoir des moments d'activité collective de la classe pour expliciter les représentations relatives à un concept de base (tel que la notion de vivant). Dans ce cas ne provoque-t-on pas la formation d'artefacts ? Il n'est pas possible de répondre actuellement à ces questions.

On admet de façon assez générale que l'investigation en situation d'autonomie peut conduire au développement d'une attitude scientifique et à la maîtrise des principaux objectifs méthodologiques dans la mesure où ces derniers peuvent être détachés du contenu ; mais peut-on construire ainsi les concepts de base sans lesquelles la pensée scientifique risquerait de tourner à vide ? Une démarche honnête de résolution de problèmes ne conduit pas nécessairement à l'énoncé des manuels : dans quelle mesure peut-on accepter les énoncés différents à la fois opérationnels et susceptibles de conduire aux concepts de base de la discipline.

La logique de la démarche conduit à la réponse suivante : le maître accepte tout énoncé qui répond honnêtement au problème posé à condition que l'on ait

cherché à déterminer le champ de validité de la formulation proposée. On acceptera par exemple au cours élémentaire de définir la respiration comme un mouvement de ventilation à condition de préciser qu'on a cherché à définir, identifier et classer un type de mouvement et de limiter la définition aux animaux aériens. Cette définition est à la fois exacte et évolutive ; il est possible de préciser plus tard que cette ventilation s'accompagne d'une modification chimique des gaz ; que ce phénomène est par la suite analogue à celui qui se passe au cours de la circulation d'une eau aérée sur l'appareil branchial des animaux aquatiques et qu'il caractérise de façon plus générale un certain type d'échanges de tout être vivant avec l'atmosphère. Cet exemple montre les caractères essentiels du concept scientifique. D'une part son énoncé dépend du problème posé ; à cette condition seulement on peut le confronter aux données de l'expérience pour déterminer son champ de validité, le « falsifier » au sens que Popper donne à ce terme, le remodeler lorsqu'il est mis en défaut. D'autre part les différents niveaux peuvent être hiérarchisés. Le niveau le plus général n'est pas toujours celui qui convient à une situation donnée. En biologie les manuels du 2<sup>e</sup> degré tendent à valoriser les définitions de la reproduction, des gènes, de la respiration proposées par les précis de biologie générale ; mais ces définitions sont parfois trop pauvres pour répondre aux exigences des différentes sciences appliquées (agronomie, médecine, physiologie du sport...).

Le problème est beaucoup moins apparent en physique car l'approche qualitative est souvent court-circuitée au profit de l'étude quantitative qui exige d'emblée une définition précise des variables pour permettre l'application concrète d'une formule ; cependant l'approche des phénomènes physiques au stade des opérations concrètes conduit aussi à rechercher les niveaux de formulations successifs pour les concepts. Il est nécessaire de faire une dernière remarque : accepter les niveaux de formulation qui répondent effectivement à un problème n'interdit pas au maître de proposer ensuite un énoncé conventionnel — celui qui est habituellement utilisé dans les livres et les médias — et de les faire mémoriser à condition que cet énoncé ait été effectivement construit.

Finalement la lenteur que l'on reproche à la méthode de découverte n'entraîne souvent qu'une perte de temps apparente chez le jeune enfant car elle présente trois séries d'avantages :

— Elle facilite le développement général de l'enfant (évolution des structures opératoires, évolution vers la pensée formelle) dans la mesure où l'éducation à une action sur lui car elle s'appuie sur des cheminements individualisés effectivement réalisés et non pas imposés de l'extérieur. La pédagogie directive impose au contraire

à des enfants d'un même niveau (classe de 4<sup>e</sup>) tantôt des activités qui supposent un niveau formel, tantôt un niveau opératoire périel suivant la discipline.

— Elle oblige l'enfant à expliciter ses représentations et à les mettre effectivement en question ; la rupture épistémologique est la condition de la démarche et n'est pas reportée à un avenir problématique. Elle valorise l'attitude scientifique en la rendant productive et donne confiance à l'enfant dans son pouvoir de connaître. Les méthodes sont perçues dans leur unité fonctionnelle — en particulier la méthode expérimentale dont la signification est souvent mal comprise même par les grands élèves — au lieu de faire l'objet d'apprentissages ponctuels qui tendent à se réduire à des recettes.

— Elle conduit à maîtriser le mode de construction des concepts des sciences expérimentales (opérations de bornage, de remodelage et adaptation au problème posé). Sans la maîtrise effective de ces procédures les concepts scientifiques restent des objets scolaires qui ne peuvent pas être réinvestis dans le réel ou des énoncés formels qui donnent à la science un caractère mythique et absolu. A une époque où les enfants sont bombardés par le flux d'informations provenant des média sans que la réception passive ne débouche sur une véritable formation il importe de développer la capacité d'intégration grâce à une structure d'accueil ouverte et critique.

Comment peut-on différencier la pédagogie dans une classe hétérogène par le niveau et les intérêts des enfants et assurer l'individualisation des apprentissages tout en développant une communication effective entre enfants ? Peut-on réaliser un contrat d'objectifs commun à la classe, susceptible d'être atteint à des niveaux différents par certains élèves de façon à donner à chacun d'entre eux une impression de réussite sans faire éclater le cadre de la classe en tant que cadre de communication comme c'est malheureusement le cas dans certaines formes de travail indépendant. Les échanges entre pairs jouent probablement un rôle non négligeable dans les apprentissages et le développement cognitif. Par exemple chez certains enfants la manipulation conduit à la découverte alors que d'autres sont bloqués à ce moment par leurs représentations égocentriques ou animistes mais s'ouvrent à la compréhension à la suite d'une traduction graphique ou d'une énonciation sans que les formulations les plus transparentes pour l'adulte soient les plus pertinentes pour un enfant donné. D'autre part certaines activités dont la pratique systématique relève de la pensée formelle — séparation des variables ou vérification d'une hypothèse par une méthode hypothético-déductive — peuvent être réalisées de façon heuristique par les groupes d'enfants plus jeunes grâce aux échanges et contestations qui relancent la démarche intériorisée à des niveaux différents.

Les procédures d'investigation en situation d'autonomie permettent donc une activité commune de classe au cours de laquelle chaque enfant peut accéder aux objectifs d'attitude et de méthode qui caractérisent la pensée scientifique à son rythme propre et à des niveaux différents. En est-il de même des connaissances ? Si l'on reconnaît la possibilité de traduire honnêtement un même concept à des niveaux de formulation différents on peut concevoir des échanges dans la classe en modulant le niveau de formulation suivant les circonstances. Cet effort loin d'être négatif présente des avantages multiples ; non seulement il permet une meilleure compréhension des concepts en les détachant d'énoncés figés mais il prépare les enfants à exercer leurs responsabilités : les spécialistes n'ont pas à imposer leurs décisions sous le couvert de compétence scientifique en employant un jargon incompréhensible mais ils doivent pouvoir dialoguer avec les non spécialistes en leur parlant dans un langage accessible ; de plus il permet parfois à des élèves peu doués sur le plan des performances verbales d'apporter une contribution effective sur le plan du travail de groupe par leur créativité ou leurs critiques pertinentes.

La différenciation des pédagogies ignore souvent un aspect essentiel : prendre en compte les différences individuelles liées au milieu socio-culturel ; non seulement certains objectifs sont biaisés parce qu'ils sont formulés en fonction des attentes d'un certain milieu social mais des aspects importants de l'expérience de certains enfants ne sont pas pris en compte et valorisés. Partir des activités fonctionnelles et des procédures d'apprentissages spontanés qu'elles impliquent permet de réinterpréter les différences individuelles entre enfants en substituant à la notion de rythmes d'apprentissages fondés sur des différences de quotient intellectuel la notion de cheminement différencié en fonction de l'expérience de l'enfant mais qui convergent vers des objectifs de base reconnus par tous.

De l'analyse qui précède on peut tirer la conclusion suivante : les procédures d'apprentissage orientées par une démarche investigatrice en situation d'autonomie sont fondées tant sur le plan psychologique que sur le plan scientifique ; mais leur impact réel n'est pas connu car l'institution scolaire actuelle rend leur mise en place difficile et la recherche pédagogique n'a pas été orientée suffisamment vers les problèmes spécifiques posés par cette méthode. On a pu penser qu'un modèle pédagogique s'appuyant au départ sur les apprentissages spontanés était un modèle de luxe irréalisable dans les conditions habituelles d'enseignement ; nous pensons au contraire qu'une certaine forme de recherche en didactique est susceptible de le rendre opérationnel.

III. — Il existe dès maintenant un nombre considérable d'études analytiques de psychologie et de didac-

tique des sciences qui sont susceptibles d'apporter une contribution à cette recherche. Les travaux de psychologie et d'épistémologie de l'école de Genève permettent d'expliquer de nombreux blocages rencontrés en situation de classe bien qu'ils aient été établis dans un contexte différent ; il ont inspiré un certain nombre de projets importants anglo-saxons par exemple Elementary Science Study et Science 5/13. En France de nombreux travaux souvent peu accessibles sont susceptibles d'apporter une aide efficace aux groupes de pédagogues engagés dans des projets inspirés par les hypothèses pédagogiques décrites : travaux des IREM, des UER de psychologie, de didactique, de physique ; travaux d'histoire des sciences. Il serait souhaitable d'établir un répertoire analytique de ces recherches pour les rendre accessibles à tous les chercheurs et pédagogues concernés par la mise au point du modèle pédagogique.

Cependant les recherches signalées ci-dessus, bien que nécessaires, ne sont pas suffisantes ; elles ne permettent pas d'échapper au dilemme déjà signalé : ou bien on respecte la logique des situations ouvertes qui caractérisent les apprentissages spontanés et on aboutit à des productions divergentes qui n'aident pas suffisamment les maîtres dans leur travail de structuration ; ou bien on produit des unités fermées qui permettent de cerner les possibilités et les difficultés d'un nouveau curriculum mais qui imposent le recours à une pédagogie crypto dogmatique pour retrouver le cheminement du projet. Pour éviter ces difficultés il faut réguler une innovation qui s'appuie sur les données déjà indiquées par une recherche action qui associe étroitement les praticiens et les chercheurs en didactique.

Le point de départ de la recherche se situe dans les problèmes que se posent les maîtres au cours de leur activité pédagogique. L'équipe de maîtres a l'initiative de l'innovation (sujet d'étude et démarche) ; les chercheurs en didactique les aident à résoudre les problèmes par leur compétence technique et interviennent comme observateurs et évaluateurs mais ils n'imposent pas un curriculum. Non seulement cette procédure permet de valoriser la compétence pédagogique et la créativité des maîtres (cela apparaît clairement dans certains projets Nuffield) mais surtout elle est indispensable pour respecter l'esprit même de la recherche : comment peut-on analyser les problèmes posés par les procédures d'acquisition spontanée si on impose un projet plus ou moins fermé — parfois pour de simples raisons de procédures expérimentales — quitte à inviter les maîtres à se montrer créatifs après coup ? Mais est-il possible de supposer dès le départ que les maîtres seront capables d'orienter le dynamisme spontané des enfants ? Ici apparaît une contrainte capitale : l'équipe de didacticiens ne peut être efficace que si elle travaille avec un groupe de maîtres en formation et devrait normalement être implantée

dans les centres de formation. L'exemple de l'école élémentaire en France montre que cette hypothèse n'a rien d'irréel. La recherche action permet de dégager les modèles pédagogiques implicites des maîtres et de les faire évoluer vers le modèle souhaité en donnant aux maîtres la part qui leur revient dans la transformation du système éducatif.

D'autre part l'analyse de certains problèmes tels qu'ils sont posés par la situation de classe implique l'approche par une équipe interdisciplinaire de chercheurs en didactique : l'étude analytique des variables qui déterminent l'action pédagogique ne permet pas de prévoir dans tous les cas l'effet qui résulte de leur interaction. Il suffit parfois d'apporter des modifications légères à certains apprentissages méthodologiques ou conceptuels en situation concrète, retouches qui ne changent pas l'objectif recherché pour que les obstacles rencontrés puissent être dépassés par l'enfant : l'épistémologie et la psychologie génétique s'appuient réciproquement. L'enfant en situation d'apprentissage n'est pas un sujet épistémologique abstrait mais ses performances dépendront en grande partie de son investissement affectif, de l'attente du maître, des rapports entre l'école et son milieu : souvent en privilégiant un facteur on néglige les répercussions de l'action pédagogique sur les autres variables ; on risque ainsi d'aboutir de façon systématique à une conclusion négative : tout changement pédagogique favoriserait le handicap socio-culturel. Enfin les échanges à l'intérieur de la classe donnent une efficacité beaucoup plus grande aux approches heuristiques : le groupe réalise beaucoup de performances que l'enfant isolé ne peut pas atteindre et un problème fréquent consiste à chercher comment chaque enfant peut expliciter et comprendre l'acquis du groupe ; or la vie des groupes a été beaucoup moins étudiée sur le plan cognitif que sur le plan affectif.

La coordination des différentes recherches par une équipe pluridisciplinaire travaillant en liaison étroite avec les maîtres en situation de classe pourrait concerner les points suivants :

— Une exploration préalable d'un champ disciplinaire donné (hérédité, croissance, photosynthèse, énergie...) portant sur le contenu et les méthodes : comment ce champ est-il exploré et interprété par les scientifiques d'aujourd'hui, comment s'est-il construit progressivement d'après les données de l'histoire des sciences (quels sont les obstacles rencontrés, quels sont les facteurs techniques ou sociaux qui ont favorisé la maturation des idées. le renouvellement des idées a-t-il provoqué par la découverte d'une situation, privilégiée ou l'invention d'une technique nouvelle, comment le concept s'est-il dégagé des contaminations idéologiques ?) ; quelle fonction joue-t-il dans la société d'aujourd'hui — innovation technique

ou support d'une mythologie — ; qu'enseigne-t-on en classe, pourquoi et avec quels résultats ?

— Une analyse de la façon dont les enfants apprennent en situation de classe à l'occasion de travaux portant sur un problème précis. L'étude des représentations et de leur évolution à la suite des interventions du maître suppose la collaboration du psychologue, de l'épistémologue et des praticiens : les obstacles tiennent-ils aux caractères spécifiques de la pensée enfantine, aux représentations du milieu (média par exemple) ; n'y-a-t-il pas lieu de cerner parfois l'aspect positif d'une représentation animiste ou anthropomorphique avant d'en faire apparaître les déficiences ? L'analyse des progrès dans le cheminement de la pensée enfantine suppose que l'on recherche les rapports entre l'impact des pratiques opératoires et des différentes formes de communication qui conduisent à l'énonciation : quel est le registre ou le niveau de langage qui permettent la compréhension, quel est le rôle spécifique de la langue écrite, comment interviennent le dessin ou les autres productions graphiques de l'enfant ? L'analyse des causes de blocage permet en particulier de réguler certaines causes d'échec due à l'absence de prise en compte des caractères du milieu social des élèves et de rechercher des situations qui les sécurisent ou qui leur permettent de s'exprimer. L'établissement d'instruments d'évaluation formative maniables par l'équipe de maîtres est indispensable pour éviter le retour à une pédagogie didactique par le biais de l'évaluation : grilles d'observation des progrès de l'attitude scientifique des élèves, grilles d'analyse des modes d'intervention du maître.

— Une recherche de l'ensemble des facteurs qui peuvent assurer la cohérence de l'action pédagogique tout le long de l'année scolaire. Pour arriver à atteindre certains objectifs de base connus à l'avance par le maître et les élèves à partir de sujets d'étude non imposés et réalisés en situation d'autonomie il faut résoudre des problèmes à l'organisation macroscopique : comment les objectifs ponctuels réalisés de façon incidente à l'occasion d'un sujet d'étude donné peuvent-ils conduire

à l'acquisition d'un petit nombre d'objectifs de base qui eux sont indépendants des thèmes choisis ? Comment les élèves peuvent-ils être associés à l'établissement des bilans en particulier par les procédures d'autocontrôle ? Comment s'organise le travail de prévision des maîtres sur l'ensemble de l'année scolaire et le travail de préparation à l'occasion d'un thème de façon à concilier l'autonomie des élèves et l'efficacité du travail ? Ces problèmes ne relèvent pas uniquement de la pratique empirique ; cette dernière peut être régulée par des procédures d'observation et d'évaluation différentes de celles qui s'appliquent à une séquence isolée.

Une recherche de ce type n'est pas une simple recherche opérationnelle ; elle aboutit à la construction d'un curriculum non par une voie technocratique mais par une approche ouverte qui met en valeur les potentialités des enfants et qui s'appuie sur la créativité des maîtres. Elle ne vise pas à défendre un spontanéisme informel mais à établir un pont entre les apprentissages de la 2<sup>e</sup> enfance qui se font en situation d'autonomie — qu'il s'agisse des apprentissages spontanés ou de la pédagogie fonctionnelle de l'école maternelle — et les apprentissages systématiques et spécialisés chez les sujets qui maîtrisent les stratégies et les structures cognitives effectivement intégrées à leur vécu et qui peuvent suivre de ce fait un enseignement très systématique. Elle est réaliste par ailleurs car elle ne vise pas à développer une orthodoxie pédagogique sous le couvert de la vérité scientifique mais à donner un élan, une orientation et une valeur scientifique à un effort de formation permanente et d'animation pédagogique dont la mise en place est urgente dans le 2<sup>e</sup> degré et qui existe déjà dans l'enseignement élémentaire. Enfin cette recherche action n'est pas une simple retombée de la recherche fondamentale car elle peut servir cette dernière à son tour ; elle conduit à la collecte de données précises dont le traitement permet de saisir des interactions entre variables, interactions parfois négligées par les exigences de la méthode expérimentale classique.

Victor HOST,  
I.N.R.P., Paris.

## ACTIVITES D'ANALYSE DE DONNEES PAR DES ELEVES DU PREMIER CYCLE

Lorsqu'il s'agit d'introduire un enseignement de statistiques au niveau du premier cycle, plusieurs options peuvent être prises. Ainsi, sur le plan de l'activité mathématique ou de l'activité nécessairement préalable à la conceptualisation mathématique, on peut proposer aux élèves des jeux de hasard (tirages au sort dans des urnes, dés, etc.) permettant de faire des « statistiques » d'événements, mais on peut aussi proposer des données numériques présentées sous forme de tableaux. C'est cette seconde méthode (1) que nous avons choisie bien qu'elle puisse paraître, au premier abord, plus rébarbative et moins propice que les jeux de hasard pour développer chez les enfants des modèles d'analyse de type probabiliste.

Cependant, nous voulions nous rapprocher le plus possible de la démarche des statisticiens, non pas dans

(1) Cette recherche, inscrite au catalogue I.N.R.P. et commencée en 1973, est un travail collectif réalisé par de nombreux chercheurs regroupés en équipes régionales. Une équipe fonctionne à l'I.N.R.P., d'autres sont rattachées aux I.R.E.M. de Bordeaux, Grenoble, Lyon, Orléans, Rennes et Rouen.

son aspect achevé (et probabilisé), mais dans son intention qui est de rendre compte de données (attitude descriptive avant d'être inférentielle) et qui, dans tous les cas, consiste à rechercher des éléments de réponse à une question qui, en elle-même, n'est pas nécessairement du domaine de la statistique. Par ailleurs, le premier cycle correspond à l'âge où la socialisation conduit les élèves à prendre plus directement conscience de l'environnement économique et social, d'autant plus que la fin de ce cycle d'étude correspond grosso modo à la fin de la scolarité obligatoire. Or, cet environnement fourmille de données de type statistique, le plus souvent présentées dans la presse sous une forme achevée excluant une analyse des données brutes.

C'est pour ces deux raisons principales que nous avons adopté le principe d'aborder les statistiques sous la forme d'une analyse de données volontairement **nombreuses et réelles**, présentées sous forme de tableaux. De plus, pour respecter également en cela ce qui nous a paru être essentiel dans la démarche du statisticien, l'analyse des données se faisait à partir de questions que les élèves se posaient spontanément à leur sujet. C'est pourquoi nous avons proposé que notre intervention à cette table ronde se fasse sous la rubrique : procédures spontanées et acquisitions scolaires.

La phase de synthèse dans laquelle entre désormais notre recherche nous permet, à partir des observations que nous avons menées, de décrire quelques découvertes de notions mathématiques faites par les élèves au cours de leurs travaux. Nous montrerons également comment les activités statistiques permettent d'exercer et d'affermir certaines notions mathématiques pour lesquelles des difficultés significatives subsistent. Mais ces résultats ne pourront être exposés qu'après avoir précisé en trois points : la situation pédagogique en rapport avec les objectifs (en particulier son degré d'ouverture), les types de tableaux utilisés par les différentes équipes, les types de questions formulées par les élèves et servant de points de départ aux travaux.

### I. — SITUATION PEDAGOGIQUE (SON DEGRE « D'OUVERTURE » ET SES ETAPES)

D'une façon générale, nos objectifs étaient donc de développer chez les élèves une attitude critique et inventive par rapport à une information fournie sous forme de tableaux de données. Ces objectifs peuvent se traduire par une capacité à : lire des données, se poser des questions à leurs propos, traiter les données (calculs, graphiques, etc.), interpréter les résultats, critiquer et relativiser la méthode de traitement.

Pour atteindre ces objectifs, le principe commun à toutes les équipes était de commencer par fournir aux élèves des tableaux numériques (2), en indiquant simplement une consigne très ouverte invitant à établir une liste de questions à propos de ces données. Exemple : « A quelles questions avez-vous envie de répondre à l'aide de ces tableaux ? » ou « A quelles questions peut-on espérer répondre en utilisant ces tableaux » ou « Quels buts peut-on essayer d'atteindre par un travail effectué en utilisant ces tableaux ? » Les élèves travaillent par groupes de trois ou quatre et cette séquence dure à peu près une heure. Les séances qui suivent sont organisées selon le plan suivant qui n'a rien de normatif, mais qui se trouve être celui adopté par pratiquement toutes les équipes :

— 2<sup>e</sup> séquence : mise en commun des questions spontanées. Discussion en groupe pour choisir un thème de travail — choix de ce thème — un représentant par groupe expose à tous, le thème choisi.

— 3<sup>e</sup> séquence : traitement des questions par groupe. Il s'agit d'une séquence assez longue pouvant s'étaler sur plusieurs séances d'une heure et être entrecoupée de synthèses collectives partielles.

— 4<sup>e</sup> séquence : synthèse finale et rédaction d'un dossier par groupe d'élèves. Très souvent, le travail est terminé « à la maison ».

On voit qu'il y a une alternance de travaux de groupe et de synthèses collectives, celles-ci étant nécessaires à la clarification des objectifs poursuivis et à la mise en commun des travaux.

Par ailleurs, il faut insister sur le fait que l'enseignant est loin d'être passif. En effet, outre un rôle évident dans l'organisation générale des activités, il a à intervenir, en fonction de la problématique du groupe, pour suggérer des solutions, apporter des informations, rectifier une erreur (par exemple par une remarque contradictoire), aider les élèves à clarifier leur propre démarche de raisonnement, etc.

Enfin, la description de la situation pédagogique ne serait pas complète si l'on n'indiquait pas la présence d'observateurs chargés de transcrire les comportements du maître et ceux des élèves. Dans l'idéal, nous souhaitons disposer d'un observateur par groupe de travail. Cela n'a pas pu être réalisé faute d'avoir la possibilité d'engager suffisamment de psychologues. Les enseignants des équipes jouaient donc le rôle d'observateurs dans la classe de leur collègue. Mais cela n'était pas

toujours facile car même si l'on sait que l'on n'observe bien que si l'on est suffisamment extérieur à la situation, il reste qu'il est difficile à un enseignant de ne pas intervenir dans le travail des élèves. Malgré ces difficultés, les observations sont pourtant nécessaires car elles constituent notre assise sur le plan de la méthodologie de la recherche, selon des principes que nous avons définis ailleurs.

## II. — LES DONNÉES (FORMES ET CONTENUS)

Concernant les données elles-mêmes, il faut signaler tout d'abord que ce sont les équipes régionales qui choisissent leurs données, de façon assez indépendante les unes des autres. Il s'ensuit une grande diversité qui peut sembler salutaire si l'on veut éviter que les comportements observés ne soient relatifs à un certain type de tableaux.

La première différence tient à la quantité d'informations fournies. Nous avons tous comme principe de fournir des données nombreuses. Mais, il y a bien sûr une variation dans cette quantité. Cela va des résultats du championnat de football 72-73, présentés en un tableau à double entrée aux données concernant, par exemple, le port de Bordeaux : 28 pages de tableaux indiquant, sur une dizaine d'années (63-74), les nombres de navires, leur pavillon, les tonnages, l'évolution des marchandises, etc.

Une autre source de variation concerne la forme selon laquelle sont présentées les données. Les structures des tableaux sont en effet assez différentes. Par exemple, les résultats de football sont présentés de façon assez particulière et leur simple lecture n'est pas immédiate (il s'agit pourtant d'un tableau directement repris sur une revue de football) en raison, essentiellement de la distinction : matches sur terrain propre/matches sur terrain adverse. Par ailleurs, beaucoup de données concernent des paramètres évoluant dans le temps, d'où leur structure : jours X mois X année (ex. : hauteurs de la Loire, à midi, chaque jour depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1959 jusqu'au 31 décembre 1968 ; consommation d'électricité dans le sud-est par jour, tous les jours de 1971 à 1975). Enfin, nous avons des données présentées plus spécifiquement avec un critère d'appariement. Ex. : pour tous les individus d'une population d'élèves de 6<sup>e</sup>, on a : le sexe, l'âge, la taille et le poids.

La dernière source de variation importante concerne, c'est évident, le sujet même de l'étude. Celui-ci était parfois commandé par des intérêts locaux (ex. : le régime de la Loire, le port de Bordeaux, le port de Rouen...). Trois grands thèmes principaux ont été retenus : l'éco-

(2) Dans certains cas, les données avaient été recueillies par les élèves eux-mêmes.

**nomie** (ex. : les immatriculations de voitures dans les pays de la C.E.E., la consommation d'électricité du 3<sup>e</sup> mercredi du mois de décembre...) la **géographie** (ex. : climatologie, la Loire), le **sport** (ex. : championnat de football, résultats sportifs des classes du C.E.S.).

Chaque thème est entièrement pris en charge par une équipe régionale et aboutit à la constitution d'un « dossier de recherche » qui est rédigé selon un plan type élaboré en commun par toutes les équipes. Chaque dossier contient en particulier : les données, l'analyse des observations (dont des extraits d'observations), des travaux d'élèves, etc.

### III. — LES QUESTIONS FORMULEES PAR LES ELEVES

Les questions posées dépendent du thème étudié, mais elles sont également très diversifiées à l'intérieur d'un thème.

Pour la plupart des thèmes, on peut classer les questions spontanées en quatre catégories principales : (pour chaque catégorie, nous donnerons un exemple tiré d'une étude en cours avec des élèves de 3<sup>e</sup>, étude sur des données concernant l'évolution des effectifs des différents types de classes (de la 6<sup>e</sup> à la terminale) en fonction de la catégorie socio-professionnelle du père).

— **Questions de compréhension ou de lecture** : ce sont celles qui indiquent une lecture incomplète des données. Elles sont peu nombreuses, surtout en 3<sup>e</sup> (ex. : « Pourquoi dans le tableau 4, la case " effectifs de la population " est vide ? »)

— **Questions...** qui ne sont pas des questions mais simplement des remarques ou des opinions concernant les données (ex. : « N'est-ce pas une faute de ne pas avoir fait redoubler les élèves de 10 ans qui passent en 6<sup>e</sup> de transition ? »)

— **Questions dont on ne peut pas trouver la réponse au moyen des données.** Ces questions sont toujours assez fréquentes. Elles sont pour nous l'occasion de montrer les limites d'un simple tableau de chiffres et témoignent de l'intérêt porté aux données elles-mêmes (ex. : « Pourquoi les fils de cadres supérieurs et de professions importantes réussissent-ils mieux que les fils d'artisans et de plus petits travailleurs ? »)

— **Questions solubles par une analyse des données** : ce sont celles qui servent de point de départ aux travaux ultérieurs. Elles sont toujours assez nombreuses (ex. : « Est-ce que la classe sociale du père peut agir sur l'avenir (scolaire) des enfants ? »)

A l'intérieur de chaque thème, il est possible de faire une analyse plus détaillée des questions. Ainsi, à partir

de données concernant les immatriculations de voitures dans la C.E.E., les 396 questions spontanées (provenant de classes de 6<sup>e</sup>) furent classées en 14 catégories différentes. Il ressort que la majorité des questions concernent des effectifs (ex. : « Combien de voitures italiennes a-t-on vendu en 74 dans la C.E.E. », « combien de voitures ont été immatriculées pendant les années 72, 73, 74 ? ») sans qu'une comparaison soit explicitement formulée. De plus, pour la quasi-totalité des questions (95 %), il n'y a pas d'indication du traitement envisagé.

### IV. — LA DECOUVERTE DE NOTIONS MATHÉMATIQUES

Il est un fait que, au travers des activités développées pour répondre aux questions qu'ils se sont posées, les élèves sont amenés à inventer des procédures d'analyse qui, une fois systématisées et réfléchies (au sens d'une prise de conscience et peut-être aussi de « l'abstraction réfléchissante » de Piaget) constituent pour les élèves des notions mathématiques nouvelles. De cela, nous pouvons donner quelques exemples.

#### 1) Les entiers positifs et négatifs : Z

Alors que Z n'a été ni « vu » ni « étudié » en classe, la manipulation des entiers négatifs est acquise très vite si elle s'insère dans une problématique. Deux observations en classe de 6<sup>e</sup> le montrent très clairement.

**Obs. 1** (classe de 6<sup>e</sup>) : Il se trouve que les cotes de la Loire sont données avec des nombres tantôt positifs, tantôt négatifs. Comment faire la moyenne mensuelle ? Le mois de juillet 1959 ne pose pas trop de problèmes : tous les nombres sont négatifs. Un élève propose donc : « On les additionne, on fait la division et au résultat on ajoute le signe —. » Mais, un autre élève remarque : « Ce qu'il faudrait faire, c'est décembre, parce que c'est un peu plus compliqué. » (Il y a en effet des + et des —.) Un élève propose : « On additionne tous les +, on soustrait les — et on divise. » Les élèves passent aux calculs. Au bout d'un certain temps, un élève pose la question : « Pourquoi on fait la soustraction ? » Un autre déclare : « Quand je fais la soustraction, je ne sais pas quel signe mettre ! » Un autre : « Les —, on pourrait les transformer en + si on connaissait le fond ! » Pour expliciter sans doute ce dernier point, l'enseignant expose à tous un exemple fictif : + 50 et — 20. Après discussion, les élèves tombent d'accord sur le fait que la

$$\frac{50 + 20}{2}$$

moyenne « 35 » (—) est à compter à partir de

— 20 et non pas de 0. (Ceci est l'équivalent d'un calcul avec changement d'origine.)

**Obs. 2** (classe de 6<sup>e</sup>) : Les élèves veulent comparer d'un mois à l'autre l'évolution du nombre d'immatriculations : « Il faut faire des soustractions (janvier — février), (février — mars), (mars — avril)... » — « il faudrait les faire toujours dans le même sens » — « Oui, mais il y a des soustractions impossibles. » L'enseignant intervient alors pour indiquer qu'il faudra préciser si la différence est en plus ou en moins. Les élèves arrivent alors à un tableau à deux colonnes (cf. tableau 1).

	en moins	en plus
janvier — février		
février — mars		
etc.		

TABLEAU 1. — Représentation des différences mensuelles

Puis ils cherchent à représenter cela sur un graphique. Un élève propose d'abord l'ordre suivant : — 35, — 26, — 6, + 87, + 58, comme s'il ordonnait séparément les entiers + et les —. Cette erreur est vite corrigée. Il semble donc qu'il y ait alors une intuition correcte de deux relations d'ordre, l'une sur N, l'autre sur Z.

## 2) Calculs de distances pour comparer des échantillons

La notion de distance appliquée à la comparaison de résultats d'échantillons est une notion sans doute difficile à comprendre pour des élèves de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>. Lorsque l'occasion s'est présentée, elle fut cependant abordée et semble-t-il bien admise par les élèves comme une technique valable pour comparer la proximité de résultats d'échantillons par rapport à une population.

Ainsi, faire la « somme des différences positives » (comme l'exprime un élève pour signaler qu'il ne faut pas tenir compte du signe) permet de se rendre compte que la distribution des marques de voitures pour une classe (du lycée) donnée est plus éloignée de la distribution sur le plan national que la distribution des marques calculée sur 6 classes.

Une technique semblable a été également développée et utilisée en classe de 5<sup>e</sup> pour un dossier ayant pour thème une enquête sur la lecture des illustrés.

Ces calculs peuvent être de plus considérés comme une première approche de la notion d'échantillon (la taille de l'échantillon influe sur la représentativité des résultats). Nous en donnerons plus loin un autre exemple.

## 3) Les graphiques

Les graphiques ne sont pas des moyens d'expression nouveaux pour tous les élèves. Certains déclarent en

avoir utilisés dans d'autres disciplines qu'en mathématiques. Mais, pour d'autres élèves, la coordination des données spatiales avec les données mathématiques sont un problème et font l'objet d'un véritable apprentissage (obs. 3).

**Obs. 3** (classe de 6<sup>e</sup>) : Le groupe cherche à représenter graphiquement « comment varie la progression des voitures françaises de 1970 à 1974 ». Les élèves travaillent séparément et élaborent trois graphiques. Le premier (figure 1) est intéressant parce qu'il montre que l'élève a représenté sur l'abscisse la succession des années, mais sur l'axe des ordonnées, il a simplement indiqué la succession des nombres d'immatriculation en reprenant l'ordre des années : l'évolution quantitative est indiquée en reliant successivement les points (du plus faible au plus élevé).

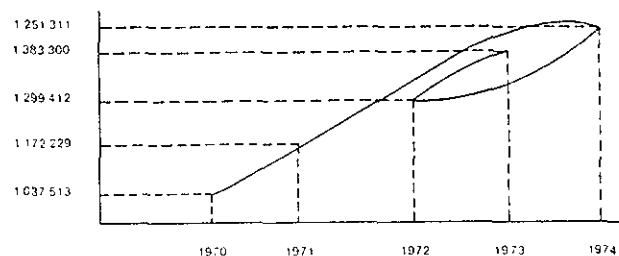


Fig. 1. — Reproduction d'un graphique fait dans un groupe.

Le deuxième graphique (qui est faux, contrairement au précédent) est présenté sous forme de tableau cartésien. Le troisième comporte à la fois un ordre sur l'axe des années et un ordre sur l'axe du nombre d'immatriculations, mais dans ce dernier cas, l'échelle n'est pas respectée. Après discussion, c'est ce troisième graphique qui est préféré.

Il arrive également que la réalisation d'un graphique permette une nouvelle lecture des données. On peut citer à ce propos une observation qui montre, dans une classe de sixième, une première approche de la notion de corrélation. Cette approche n'est bien sûr qu'une « ébauche », mais on remarquera qu'elle s'est insérée presque nécessairement, dans une démarche d'analyse.

**Obs. 4** (classe de 6<sup>e</sup>) : Dans un graphique indiquant le poids en ordonnée et la taille en abscisse, les élèves se proposent de marquer tous les élèves qui ont le même poids. Mais, il ne se contentent pas de marquer les points, ils tracent aussi des lignes reliant chaque point aux valeurs correspondantes sur les axes, le graphique devient très vite illisible. L'enseignant suggère alors de ne marquer que les points. Les élèves obtiennent à leur grande joie, un magnifique « nuage ». L'interpré-



tation du nuage a posé quelques problèmes, en particulier pour donner un sens aux différentes régions du plan.

#### 4) La prévision

Le problème de la prévision se pose tout naturellement quand il s'agit de données évoluant dans le temps. Le travail qui a été fait sur le trafic du port de Bordeaux en est un bon exemple (obs. 5).

Obs. 5 (classe de 5<sup>e</sup>) : L'idée de prévision est née avec l'idée tentante de prolonger un graphique pour l'année 1974, alors qu'on ne dispose pas des données. Dans ce cas, on est au moins sûr que le point sera sur la droite correspondant à 1974 et parallèle à l'ordonnée, mais où le situer ? La première solution proposée est de prolonger simplement le dernier segment, mais un élève remarque que « **c'est exceptionnel quand il y a trois points alignés** ».

Pendant ce temps-là, une partie du groupe travaille sur un autre graphique qui, contrairement au précédent, fluctue beaucoup. Les élèves prennent donc une marge de prévision qui correspond à l'étendue totale : « **Pour ce graphique, on peut penser que le nombre de bateaux anglais sera entre 70 et 140, le nombre le plus petit et le nombre le plus grand.** » Par assimilation avec les années, ils tracent deux parallèles à l'abscisse (correspondant à 70 et 140) et encadrent leurs données. Puis, « **comme les nombres se répartissent autour d'une moyenne** », ils calculent cette moyenne et tracent également une droite horizontale correspondant à cette moyenne.

Le problème posé au début se trouve solutionné en généralisant la solution du cas précédent. L'enseignant intervient pour indiquer qu'il ne s'agit pas ici de rendre compte d'une idée de constance, mais d'une idée de décroissance, de baisse. Il montre avec une règle que l'on peut tracer une droite qui laisse le même nombre de points de part et d'autre. Cela n'est cependant pas tout à fait satisfaisant pour les élèves, car on n'est pas sûr que le point trouvé sera le bon. L'un d'entre eux propose alors de faire comme pour le graphique précédent et de tracer deux parallèles à la « **droite centrale** », pour encadrer le point obtenu.

On aboutit en définitive à une méthode dite « **des crêtes et des creux** ». Cette méthode est présentée à l'ensemble de la classe et, après discussion, elle est adoptée par tous.

Cette observation semble intéressante malgré sa longueur, car elle témoigne du développement d'une technique, certes pas très « pure » mathématiquement, mais qui néanmoins aboutit à dégager les deux caractéristiques

principales d'une prévision : quelle tendance centrale ? Quelle marge d'erreur ?

## V. — L'EXERCICE DE NOTIONS MATHÉMATIQUES

Les activités d'analyse de données sont également l'occasion pour les élèves d'exercer des notions mathématiques qui ne sont pas nouvelles pour eux. Les fonctions et la signification psychologique de ces exercices peuvent être diverses.

Il s'agit parfois d'un simple exercice pour l'exercice, comme si une activité trouvait sa propre motivation en elle-même. Ainsi, nous avons été surpris par un fait constant dans tous les dossiers : à savoir le plaisir qu'éprouvent les élèves de 6<sup>e</sup> et de 5<sup>e</sup>, à la simple manipulation des nombres (additionner, soustraire...). La longueur du calcul ne les effraie pas du tout.

L'exercice peut également être l'occasion d'une consolidation du schème mis en œuvre ou même de son amélioration (sans qu'il s'agisse pour autant de l'apparition d'un schème nouveau).

Enfin, il est un fait que l'exercice peut témoigner simplement des difficultés rencontrées par certains pour appréhender une notion ou une technique d'analyse. Les observations qui sont menées sont alors très utiles d'un point de vue psychologique car elles permettent parfois de voir quelles conceptions les enfants ont, en situation, de la notion. En retour, il est évident que la mise en évidence des processus psychologiques (et leur complexité pour des notions évidentes à l'adulte) peut rendre de grands services pour l'enseignement.

### 1) La notion de moyenne

Les remarques précédentes s'appliquent en premier lieu à la notion de moyenne. Celle-ci ne semble pas toujours très bien structurée chez les élèves de 6<sup>e</sup>. Quand il s'agit de prévoir un calcul ou un traitement, la moyenne désigne simplement une approximation, une donnée grosso modo, se référant peut-être en cela au sens courant du terme (« en moyenne »). Mais, au niveau des calculs, les élèves ont une idée bien précise de la moyenne et cela est très significatif de leur niveau de développement cognitif. Ainsi, ils refusent souvent qu'une moyenne puisse être donnée avec des décimales (obs. 6, 7, 8).

Obs. 6 (classe de 6<sup>e</sup>) : Frédérique : « **Il ne faut pas aller après la virgule ?** » — Eric (riant) : « **Non, il n'y a pas de voiture coupée en deux.** »

**Obs. 7** (classe de 6<sup>e</sup>) : Jean-Louis : « 203 Alpine vendues en 3 ans » — Patricia : « 203 par 3, ça tombe pas juste » — Jean-Louis : « Ça doit être faux. »

**Obs. 8** (classe de 6<sup>e</sup>) : Vincent : « 13 525,12 : ça ne veut rien dire : ce sont des voitures ! »

La raison de ce refus semble bien être que la moyenne est un chiffre de la série, le plus représentatif de la série et non pas un chiffre représentant la série au titre d'une caractéristique de tendance centrale sans en être l'un des éléments. Il n'y a pas d'abstraction par rapport à la série.

L'observation suivante (obs. 9) montre un autre mode d'incompréhension qui témoigne en plus d'une recherche spontanée d'un autre indice de tendance centrale : la médiane.

**Obs. 9** (classe de 5<sup>e</sup>) : (Il s'agit d'une recherche de moyennes mensuelles pour le niveau de la Loire.) Un élève remarque que, le premier mois, le maximum est 180 et le minimum 80. Il demande pourquoi la moyenne  $\frac{180 + 80}{2}$  n'est pas 130, au lieu de 120, car  $\frac{180 + 80}{2} = 130$ .

Un camarade lui fait remarquer qu'il ne faut pas tenir compte seulement du maximum et du minimum. Un autre observe qu'il y a plus de jours (20 sur 31) ayant une cote inférieure à 120.

Ces observations nous invitent à poursuivre nos recherches dans une direction plus précise qui consisterait à demander explicitement aux élèves de rechercher le plus grand nombre de procédés pour comparer des collections de données.

## 2) Les pourcentages

Il semblera sans doute évident que la notion de pourcentage pose quelques problèmes aux élèves du début du premier cycle. Cette notion se caractérise le plus souvent comme un vague souvenir d'une technique de calcul (obs. 10 et 11). Parallèlement, le pourcentage peut être considéré comme un simple unité de mesure (au même titre que des mètres, des litres ou des kilos !) permettant d'évaluer des quantités. Dans ce cas, il n'est pas étonnant qu'une quantité comme 616 % ne soit pas considérée comme surprenante (il s'agissait d'une répartition de données et non pas d'un taux d'augmentation). Dans d'autres cas la notion de référentiel est inexistante (on cherche par exemple : « le % de Renault par rapport aux Citroën »).

**Obs. 10** (classe de 6<sup>e</sup>) : Le groupe se pose la question du calcul d'un pourcentage : Didier : « On n'a pas

vu ça ! » — Sophie : « On a vu ça au CM2 » — Didier : « Oui, au CM2, mais je me rappelle plus. C'est avec des opérateurs ? » — Sophie : « Ah oui, il faut faire un tableau : 20 100 . »  
4 ?

**Obs. 11** (classe de 6<sup>e</sup>) : Pour calculer un pourcentage, « il faut diviser par 100 » — « Non, il faut multiplier par 100 ! » Pendant ce temps, un autre groupe essaie de se référer à un « cours » sur les pourcentages où il fut question d'un autre problème (un problème de prix), mais le transfert se fait mal : Daniel : « C'est comme pour les prix ! » — Eric : « C'est pareil ! » — Daniel : « On multiplie par quelque chose et on divise... Je ne sais plus ! » — Eric : « J'y comprends plus rien ! »

## 3) Ordre — sériation — Classement

Nous avons également un troisième domaine où les activités des élèves semblent intéressantes : il s'agit de ce que l'on appelle « ordre » (si on est mathématicien) ou « sériation » (si on est psychologue)... tandis que dans la classe on dira spontanément « classement » ce qui est un terme impropre (bien qu'usuel) pour désigner la mise en œuvre d'une relation asymétrique et transitive.

Il est évident que des relations de ce type sont manipulées souvent par les élèves. Mais ce qui nous semble important à cet âge, c'est la variation des critères utilisés. Cette variation permet de relativiser les critères de classement et la prise de conscience de cette variation est ainsi un exemple d'entraînement à la relativisation des traitements statistiques.

Par exemple, pour comparer des performances sportives de cinq classes de 6<sup>e</sup>, les calculs ont été faits en prenant la moyenne de la classe ou la moyenne des dix premières performances ou encore la somme des trois meilleures performances. Les élèves ont remarqué que les deux premiers critères donnent le même rangement, alors qu'il y a une modification en prenant le troisième.

Dans une autre situation, celle des matches de football, les traitements effectués consistent souvent à calculer le nombre de buts marqués ou à comptabiliser le nombre de matches gagnés, perdus ou nuls. Ces traitements ont (implicitement ou explicitement) pour but un classement des équipes. Quelquefois, différents modes de classements sont essayés et la constatation que les résultats de classements différents ne sont pas identiques, ne semble pas surprendre les enfants.

#### 4) Les dénombrements

Les problèmes de dénombrement ne nous semblent intéressants au niveau du premier cycle (particulièrement en 6<sup>e</sup>) que dans la mesure où il s'agit de s'assurer de son exhaustivité. Dans ce cas, en effet, on peut penser que les activités présentées ont quelque chose à voir avec l'exercice de schèmes opératoires classiquement formels (combinatoire). L'observation 12 nous semble significative à ce propos. On y décèle un conflit entre deux modes de calcul du nombre total de matches pour le championnat (en dehors de la technique consistant simplement à compter itérativement les cases du tableau). Un élève propose la bonne solution (solution exacte et économique) et finira par convaincre trois élèves sur les quatre autres membres du groupe.

**Obs. 12** (classe de 6<sup>e</sup>) — (1, 2, 3, 4, 5 représentent les cinq élèves du groupe) : 5 : « **Combien de matches a fait chaque équipe ?** » — 1 : « **Deux fois 19. Y a 20 équipes chaque équipe fait 38 matches... j'espère que c'est ça !** » — 2 : « **Et pour tous les matches ?** » — 1 : « **38 × 20, c'est-à-dire 380 × 2** » — 2 : « **Pourquoi ?** » — 1 : « **Je ne sais pas... il faut compter toutes les petites cases** » — 2 propose : « **20 × 20 moins 20, donc 380 matches** » — 1 s'adressant à 5 qui est secrétaire : « **Marque 380 pour tous les matches** » — 5 : « **20 × 38 ?** » — 1 : « **20 × 20 moins 20** » — 5 : « **Non** » — 1 : « **Si, c'est ça (20 × 20 : toutes les cases) moins les rayées** » — (Les rayées sont celles de la diagonale du tableau à double entrée) — 5 : « **Non ! 38 × 20 (20 équipes, 38 matches)** » — 1 : « **Tu te rends compte, ça ferait 760 matches** » — 2 : « **Faut faire 20 × 20...** » — 1 : « **Mais une équipe fait 38 matches !** » — 2 explique à tous son mode de calcul — 4 : « **Oui, c'est ça** » — 5 (pas convaincue) : « **38 matches, 20 équipes : 760** » — 2 : « **Y a des matches répétés !** » — Par la suite, l'ensemble du groupe se ralliera à l'avis de 2 (20 × 20 moins 20) sauf 5 qui ne parviendra pas à dépasser ses contradictions.

Cette observation nous semble intéressante particulièrement à deux points de vue. Tout d'abord, elle montre l'existence d'un **conflit** entre deux modes de calcul qui semblent tous deux « logiques » (d'une part : il y a 20 équipes, chaque équipe fait 38 matches donc  $20 \times 38$ ; d'autre part : le nombre de matches, c'est le nombre de cases du tableau, 20 lignes, 20 colonnes, donc  $20 \times 20$ , moins les rayées). Ce mode de conflit n'est pas sans rappeler celui relevé et exploité (par B. Inhelder, H. Sinclair et M. Bovet) au moment du passage au niveau opératoire concret : la conservation numérique précédant la conservation de la longueur, il se produit un conflit chez les enfants de cet âge intermédiaire entre une évaluation de deux quantités d'allumettes se basant sur le nombre, et une évaluation se basant sur la corres-

pondance des extrémités des rangées (une rangée est en ligne droite, l'autre est en zig-zag).

L'observation 12 peut également servir à remarquer qu'il existe chez les élèves différents degrés de certitude quant à l'efficacité des techniques employées : si les techniques multiplicatives ne sont pas très sûres, on peut toujours se rabattre sur la technique qui consiste à compter une à une les cases du tableau : dans ce cas, tous le monde est d'accord sur la certitude du résultat.

#### 5) Les représentations graphiques

Le dernier point à signaler concerne les représentations graphiques. Un problème intéressant consiste à choisir un intervalle pour construire un histogramme. Ainsi, pour comparer des performances sportives de plusieurs classes (lancer du disque), des élèves de 6<sup>e</sup> ont construit des histogrammes indépendamment les uns des autres, et donc en ayant des intervalles allant de 1 m à 8 m. Les graphiques obtenus étaient donc très différents. L'unanimité des élèves a rejeté l'histogramme en 3 échelons pour son manque de précision « **on a perdu beaucoup d'information** »... « **Toutes les classes se ressemblent** », mais aussi l'histogramme mètre par mètre car : « **C'est trop en petits morceaux** »... « **Il y a trop de trous** »... « **on a tellement gardé d'informations qu'on n'y voit plus rien** ». L'accord se fait pour des histogrammes à intervalles de 3 ou 4 m. L'histogramme général de toutes les classes a également été fait. Il est bien sûr « **plus joli** » : « **Comme il y a plus d'enfants, les trous se suppriment** », mais « **on ne sait plus ce qu'a fait chaque classe** ». On voit que ce genre d'exercice pourrait conduire à une approche de la probabilisation et de l'échantillonnage.

Le problème du choix d'une représentation apparaît très souvent. Il est l'occasion d'une nouvelle structuration des données. Ainsi, dans le travail fait sur le port de Rouen, la représentation du tonnage du trafic (chiffres du style : 1 345 838 tonnes ou 1 223 694 tonnes...) amène d'une part à « arrondir » les nombres, ce qui revient à faire un regroupement en classes et également à choisir une origine qui ne soit pas zéro. Ceci correspond à une restructuration des données et on peut noter de plus un travail sur « les grands nombres », qui semble très important étant donné ce que l'on sait du développement cognitif sur ce point.

#### VI. — CONCLUSIONS

En conclusion, nous aimerions insister sur deux choses : d'une part, les élèves n'ont absolument pas été déroutés par la grande quantité de données. Puisqu'il

## Bibliographie

s'agissait de données réelles, cela constituait au contraire pour eux une motivation supplémentaire. Par ailleurs, nous avons constaté un réel plaisir à l'exercice de certains schèmes (ex. : calcul numérique en 6<sup>e</sup>) comme si l'exercice de schèmes nouvellement acquis était en soi une source de plaisir. Ceci ne semble pas éloigné des conceptions piagétiennees telles qu'elles sont par exemple exposées dans le dernier ouvrage sur l'équilibrage.

En définitive, les quelques observations rapportées apparaissent sans doute fragmentaires, mais nous pensons avoir illustré quelques acquisitions possibles au travers d'une activité spontanée. L'activité est nécessaire au développement cognitif, mais pas n'importe quelle activité, car pour résoudre un problème, il faut que le problème se pose à l'individu et non pas simplement qu'il soit posé. Il ne s'agit donc pas d'une activité... passive (faire ce que l'on dit de faire), mais il est nécessaire d'être actif dans l'activité.

Henri LEHALLE,  
maître assistant à l'Université de Rouen,  
conseiller scientifique à l'I.N.R.P., Paris.

Clarou (Ph.), Comiti (Cl.), Dumousseau (G.), Le Nezet (G.), Pincemin (J.). — *Approche des statistiques par des enfants de 11 à 15 ans*. Intervention au Congrès européen des statisticiens, Grenoble, sept. 1976.

Comiti (Cl.), Dumousseau (G.), Errecalde (P.). — *Activités statistiques dans les collèges. Présentation de la recherche et exemples*. Communication au Congrès international sur l'enseignement des mathématiques, Karlsruhe, août 1976.

Inhelder (B.), Sinclair (H.), Bovet (M.). — *Apprentissage et structures de la connaissance*, Paris, P.U.F., 1974.

Lehalle (H.). — *L'observation comme méthode de recherche. Discussion et exemple. Colloque inter-irem : Analyse de la didactique des mathématiques*, Bordeaux, mars 1975. — Compte rendu publié par l'I.R.E.M. de Bordeaux.

Piaget (J.). — *L'équilibrage des structures cognitives : Problème central du développement*, E.E.G., tome XXXIII, Paris, P.U.F., 1975.

## ANNEXE

Liste des dossiers établie le 10 janvier 1977

Equipes	Dossiers réalisés	Dossiers en cours d'élaboration
I.N.R.P. (Paris)	— Football juin 76 (2 <sup>e</sup> édition)	— Sondages — Mobilité sociale
I.R.E.M. de Bordeaux	— Le port de Bordeaux (juillet 76) — Climatologie (juillet 76)	— Mouvement de population : Zone rurale - zone urbaine
I.R.E.M. de Grenoble	— Enquête sur la population des 5 <sup>e</sup> du lycée C. Vernet (tailles-poids) (juin 1976) — Résultats sportifs (mai 75)	— Population de la Drôme (exploitation du recensement 1975) — Consommation d'eau de la ville de Grenoble
I.R.E.M. de Lyon	— Consommation d'électricité 1971 à 1975 (juin 1976) — Consommation d'électricité du troisième mercredi du mois de décembre (juin 1976)	— Immatriculation de voitures dans le Rhône depuis 1969 neuf et occasion — Déboucher sur un sondage : mois d'achat des voitures (1 <sup>er</sup> cycle 6 <sup>e</sup> à 3 <sup>e</sup> en particulier classes allégées)
I.R.E.M. d'Orléans	— La Loire (novembre 1975 - édition expérimentale + additif en juin 1976)	— La Loire — Réalisation d'une enquête
I.R.E.M. de Rennes	— Immatriculation de voitures dans les pays de la C.E.E. (juin 1976). — Taille - poids (juin 1975)	— Taille - poids - envergure
I.R.E.M. de Rouen	— Le port de Rouen (mai 1976)	— Télévision

## SCHEMES VIRTUELS ET SCHEMES ACTIFS DANS L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES

### SCHEME MENTAL ET COMPETENCE

Le mot « schème » est utilisé par Piaget en des contextes et avec des significations assez variées. Dans un ouvrage paru en 1968 on trouve une description relativement synthétique : « Nous appelons **schème** d'une action ce en quoi elle est répétable, transposable ou généralisable, autrement dit sa structure ou **forme** par opposition aux objets lui servant de contenus variables. » (Piaget et al., 1968, p. 205). D'autre part, dans un article plus récent on trouve une systématisation utile des schèmes : « Nous appellerons **schèmes présentatifs** ceux qui portent sur les caractères permanents et simultanés des objets comparables. Tels sont principalement les schèmes représentatifs ou concepts (par exemple les « carrés » et les « chats »), mais nous disons « présentatif » parce que, en plus des concepts, ce type de schèmes englobe également un grand nombre de schèmes sensorio-moteurs (par exemple reconnaître qu'un objet est suspendu à un fil...). En second lieu, nous appelons avec B. Inhelder, schèmes procéduraux les suites d'actions servant de moyens pour atteindre un but (par « précurtivité », c'est-à-dire détermination des actions initiales par la tendance vers un état ultérieur)...

En troisième lieu, les schèmes opératoires sont en un sens procéduraux, mais par utilisation de moyens réglés et généraux (les opérations). En outre, ils se coordonnent en structures (une classification, une sériation, etc.) qui sont présentatives (y compris le groupement des déplacements sensori-moteurs). Les schèmes opératoires constituent ainsi la synthèse des schèmes présentatifs et procéduraux (et cette synthèse n'est pas à confondre avec l'indifférenciation relative de ces deux formes de schèmes aux niveaux sensori-moteurs). » (Piaget, 1976, pp. 286-7).

Les schèmes mentaux constituent, selon Piaget, les mécanismes fondamentaux de la **compréhension** et de la **réussite des actions**.

La compréhension serait le résultat de la coopération des schèmes présentatifs (c'est-à-dire les concepts) et des schèmes opératoires, tandis que les réussites impliqueraient les schèmes procéduraux allant jusqu'aux schèmes opératoires en tant qu'opérations transformantes visant un but quelconque (solution d'un problème) (Piaget, 1976, p. 287).

En tout donc, les schèmes — les schèmes en général et les schèmes opératoires en particulier — constituent les mécanismes fondamentaux, tant de la compréhension (des réalités physiques et logico-mathématiques) que de l'action efficace, c'est-à-dire de l'utilisation des connaissances acquises dans la résolution des problèmes.

D'où vient ce rôle central des schèmes dans la cognition et dans l'action ?

Il faut d'abord rappeler la **fonction assimilatrice des schèmes**, c'est-à-dire leur rôle comme **mécanisme d'intégration**. **Comprendre** signifie essentiellement intégrer un fait plus ou moins nouveau dans le système constitué des connaissances et procédés mentaux du sujet. Comprendre le fait que la vitesse de rotation de deux roues en contact se transmet de l'une à l'autre à raison inverse des rayons des deux roues suppose l'existence d'un mécanisme d'intégration préexistant et, notamment, celui du schème des proportions.

Il faut, deuxièmement, rappeler la **fonction systématisante** des schèmes. Des données initialement séparées se trouvent non seulement intégrées dans un tout préexistant, mais aussi intégrées, systématisées **elles-mêmes** d'une manière imposée par le schème.

On se rappelle qu'un schème — et nous nous référons maintenant surtout aux schèmes opératoires — ne s'apprend pas de la même manière que des données empiriques quelconques. Un schème a une certaine genèse et même une certaine préhistoire. Les schèmes opératoires caractérisent une certaine période de l'évo-

lution intellectuelle, mais leurs débuts peuvent être retracés dans les périodes précédentes.

Les schèmes opératoires s'organisent en des « structures d'ensemble » possédant des mécanismes fondamentaux communs. Par exemple, les schèmes opératoires de la période formelle sont basés sur une synthèse sui-generis entre les propriétés du groupe et ceux des lattices.

La fonction essentiellement assimilatrice du schème n'exclut pas sa flexibilité accommodative : «... cette forme (le schème) n'est pas constituée préalablement à son contenu : elle s'élabore en interaction avec les objets auxquels s'applique l'action en formation... Ce processus dynamique comporte donc deux pôles indissociables : un pôle d'assimilation des objets aux schèmes, donc d'intégration de ceux-là et de construction de celui-ci (...) et un pôle d'accommodation à chaque situation particulière (Piaget et al., 1968, p. 205).

Comment est-ce que cette accommodation se réalise-t-elle ? On pourrait envisager deux modèles possibles. L'accommodation du schème au contenu pourrait avoir lieu d'une manière spontanée : en présence d'une certaine situation le schème se met à fonctionner en se pliant aux exigences spécifiques de la situation.

Mais on pourrait encore supposer que la mise en jeu d'un certain schème et son accommodation, par rapport à une situation donnée, sollicite en plus un exercice spécifique plus ou moins étendu.

Piaget et Inhelder semblent opter pour la première solution. La citation qui s'ensuit se réfère aux schèmes opératoires qui nous intéressent particulièrement dans ce contexte : «... These operational schemata consist of concepts or special operations (mathematical and not exclusively logical) the need for which may be felt by the subject when he tries to solve certain problems. When the need is felt he manages to work them out spontaneously... (Inhelder, Piaget, 1958, p. 308).

Les schèmes opératoires constituent donc, selon Piaget et Inhelder des potentialités caractérisant un certain niveau du développement intellectuel qui deviennent spontanément actives dès que la situation sollicite leur intervention. Ce principe est en fait appliqué conséquemment par Piaget et Inhelder dans l'organisation des recherches et dans l'interprétation des données. Si un sujet de 10 ans — par exemple — ne mène à bout un problème de combinatoire, il s'ensuit simplement qu'il ne possède pas le schème du combinatoire. Si un sujet de 9 ans ne réussit pas à évaluer les chances définies par une situation donnée il s'ensuit que cet enfant n'est pas encore en possession du schème des probabilités etc.

Les conséquences de ce point de vue, pas toujours explicitement invoqué, sont extrêmement importantes

pour la théorie de l'instruction et pour la construction des programmes d'enseignement. Ce point de vue est généralement supposé dans l'interprétation des résultats par différents auteurs qui se sont proposé de tester le fonctionnement des schèmes mentaux aux divers niveaux d'âge. Dans ce contexte nous citerons surtout les chercheurs se référant au niveau des opérations formelles. Le problème que les auteurs de ces recherches se sont posés a été donc de déterminer le niveau intellectuel des élèves des écoles secondaires par rapport à la périodisation piagétienne des stades.

Le problème est très important parce que les programmes actuels d'enseignement s'appuient (explicitement ou pas) sur les données de la psychologie génétique concernant les disponibilités de chaque période.

La conclusion générale de ces recherches est qu'une grande partie des élèves des écoles secondaires ne sont pas capables d'assimiler les connaissances prévues par les programmes parce que, en fait, ils n'ont pas atteint le niveau des opérations formelles. (Voir en ce sens la bibliographie citée par Lawson et Renner 1975, p. 347).

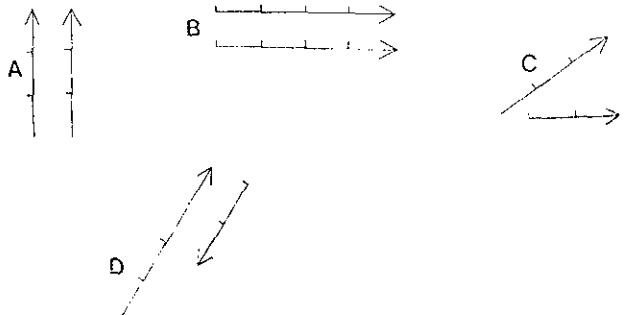
Lawson et Renner ont eux-mêmes étudié la capacité des sujets adolescents des écoles secondaires (high schools) à comprendre et à utiliser des concepts catalogués comme correspondant à la période des opérations concrètes et d'autres correspondant à la période des opérations formelles. Les sujets ont été sollicités de résoudre deux catégories de tests :

a) Des tests de type Piaget, ayant pour but de déterminer le niveau intellectuel des sujets par rapport aux stades de Piaget. Les auteurs ont considéré : 1) conservation des poids, 2) conservation des volumes, 3) séparation des variables, 4) l'équilibre des balances.

Une deuxième catégorie de tests se réfère à des questions de type concret et à des questions de type formel en liaison avec les connaissances scolaires.

Voilà un exemple de question de type concret :

« A laquelle de paires de vecteurs de la figure ci-jointe correspond la résultante la plus petite ? »



Question de type formel :

« La position relative observée de certaines étoiles change de  $1/2500^{\circ}$  entre janvier et juillet. La meilleure explication est la suivante :

- A. La terre tourne autour de son axe
- B. L'observateur se déplace
- C. Les étoiles se déplacent
- D. Les rayons venant des étoiles se courbent.

On a investigué des sujets provenant des classes de biologie, de chimie et de physique. Par rapport aux tâches de type Piaget, seulement 4,8 % des sujets se sont situés au niveau proprement formel. Tous les autres appartenaient au niveau concret ou de transition concret-formel.

En ce qui concerne la capacité de ces sujets de résoudre les tâches scolaires, on a obtenu les résultats suivants : les sujets se trouvant dans la phase de transition du préopératoire au concret n'ont pas résolu ni les problèmes concrets ni les problèmes formels. Les sujets « concrets » ont résolu 30 % des questions concrètes et presque aucune des questions formelles. Les sujets classifiés comme « transitoires » du concret au formel et les sujets formels ont résolu généralement tant les questions concrètes que les questions formelles. Tout cela prouve la valeur prédictive des tâches piagétienues par rapport à l'acquisition des connaissances scolaires.

Si on répartit ces résultats en fonction des spécialités des sujets, on obtient les données suivantes : parmi les sujets des classes de biologie, 64 % appartiennent au niveau concret et le reste aux niveaux plus bas ; les chimistes appartiennent au niveau concret, ou niveau de transition ou au premier stade du niveau formel. Des physiciens, 36,5 % sont « concrets » (et même inférieurs au niveau concret), 12,1 % sont des formels et le reste, environ 50 %, appartiennent à la phase de transition du concret au formel.

La conclusion générale de Lawson et Renner est, donc, qu'une grande partie des sujets des écoles secondaires (high schools) appartiennent au niveau concret (et même à un niveau plus bas) et ne sont pas en mesure de comprendre et d'utiliser des connaissances correspondant au niveau des opérations formelles.

Lawson et Renner citent divers auteurs dont les résultats plaident pour la même conclusion : entre 40 % et 75 % des élèves des écoles secondaires n'ont pas atteint le niveau formel. Karplus et Peterson (1973), ont trouvé que les élèves n'atteignent pas le raisonnement proportionnel avant l'âge de 15 ans.

Une des conséquences logiquement possibles serait la suivante :

“ In eagerness to update secondary school science programs during the 1960's, apparently one very important dimension was left out : the learner. What may be called for is a careful reevaluation of the major content of these science courses in an attempt to better fit that content to the level of the learner ” (Lawson et Renner, p. 357). Ces recherches semblent donc suggérer la nécessité de réévaluer les programmes d'enseignement des écoles secondaires avec, comme conséquence, la « concrétisation » de ces programmes, c'est-à-dire l'adaptation de ces programmes au niveau des opérations concrètes.

Cette conclusion constitue la suite directe de la prémise piagétienne : si un schème opératoire existe, il doit se manifester spontanément dans la présence des problèmes sollicitant ce schème. Si le schème n'agit pas, il s'ensuit qu'il n'existe pas.

### **SCHEMES VIRTUELS ET SCHEMES ACTIFS**

En nous étayant sur un nombre de données obtenues au cours de nos recherches, nous proposons une hypothèse différente.

Un schème opératoire n'est initialement qu'une virtualité — c'est ce que Piaget et Inhelder acceptent eux aussi. A la différence de Piaget et Inhelder nous considérons que **l'activation du schème demande toujours un exercice adéquat, adapté à une classe déterminée de problèmes**. Faute d'un tel exercice, le schème ne s'exprime que par une intuition plus ou moins vague (et parfois pas du tout). Un tel exercice conduit à la construction d'un ensemble de techniques mentales irréductibles aux procédés de calcul, ayant eux-mêmes certaines propriétés des schèmes : généralité conceptuelle et opérativité.

Si un sujet n'est pas capable de résoudre un problème sollicitant un certain schème opératoire, il ne s'ensuit pas nécessairement que le schème de base est absent. **Il est parfaitement possible que l'insuccès du sujet se doive à l'absence de ces structures accommodatives (1).**

---

(1) Dans la version présentée pendant la « Table Ronde » nous avons utilisé le terme « schème accommodatif » pour ces structures, étant donné qu'elles possèdent les propriétés des schèmes opératoires proprement dits : généralité conceptuelle et efficacité procédurale. A la suite d'une observation faite au cours des discussions par Guy Brousseau, nous avons renoncé à qualifier ces instruments accommodatifs comme étant des schèmes. D'abord, comme nous venons de le rappeler, un schème suppose toute une évolution et ne peut donc être le résultat d'un bref exercice. D'autre part un schème opératoire actif implique un instrument adaptatif, qui ne mène donc une vie indépendante. — Ce qui est important est que les structures accommodatives sont en même temps fonction du contenu spécifique et du schème opératoire et que leur constitution — résultat d'un exercice approprié — est nécessaire pour l'adaptation réciproque du schème et du contenu.

Exemplifions ces affirmations par un nombre de résultats obtenus au cours de nos recherches.

### Le combinatoire

A des enfants de 10, 12 et 14 ans (20 sujets pour chaque niveau d'âge) on a demandé de former les arrangements possibles de deux lettres prises 3 par 3 (avec répétition). La méthode utilisée par nous a été celle de l'**instruction par découverte programmée** : elle était constituée d'une suite de questions standardisées qui informait l'expérimentateur sur les disponibilités du sujet, mais qui, en même temps, aidait le sujet à avancer dans la résolution du problème. Au début, seulement 10 % (10 ans), 0 % (12 ans), 35 % (14 ans) des sujets savent comment s'y prendre pour construire les arrangements. Pour faire progresser les sujets on leur suggère, pas à pas, la construction et l'utilisation des diagrammes arborescents. Le progrès est rapide, c'est-à-dire les sujets apprennent rapidement, dès les premières indications, comment construire les arrangements en utilisant les diagrammes arborescents.

En passant aux permutations, 85 % (10 ans), 75 % (12 ans) et 90 % (14 ans) des sujets sont déjà capables d'attaquer efficacement le problème (bien que les diagrammes arborescents sont en ce cas différents de ceux utilisés pour les arrangements (Fischbein et al., 1970).

### Les proportions

a) A des enfants de 6, de 9 et de 13 ans (60 sujets à chaque niveau) on présente deux boîtes en plastique contenant des billes noires et blanches en différentes proportions. Les sujets doivent indiquer la boîte qui, à leur avis, offre plus de chances pour l'extraction par hasard d'une bille d'une certaine couleur. Trois catégories de questions ont été posées. Dans C 1 l'évaluation se réduit à une comparaison binaire (par exemple  $1/2 : 5/2$ ). Dans C 2 c'était des rapports quelconques à comparer (par exemple  $4/2 : 5/3$ ). Dans C 3 c'était des rapports égaux à comparer. Il y avait six questions pour chaque catégorie.

Une partie des sujets a été interrogée sans préparation préalable. Les préscolaires et les enfants de 9-10 ans donnent des réponses correctes seulement à la catégorie C 1 des questions. La majorité des enfants de 13 ans donnent des réponses correctes à toutes les questions. Un deuxième groupe de sujets a reçu une préparation préalable, consistant surtout dans une technique du groupement de billes (par exemple,  $4/2 : 5/3$  devient  $2/1, 2/1 : 2/1, 2/1, 1$ ). Aucune amélioration n'a été constatée chez les préscolaires, mais les enfants de 9-10 ans comprennent rapidement la technique et la majorité d'entre eux résolvent correctement les questions

appartenant à toutes les catégories (Fischbein et al., 1970b).

b) Dans le cadre d'une recherche concernant les stratégies expérimentales chez les adolescents on a demandé à des sujets de 12 ans (classe de sixième,  $N = 40$ ) de vérifier la proportionnalité entre le poids d'un objet et la force de friction correspondante (la force de friction étant, à son tour, représentée par le poids qui, attaché à l'objet respectif, était capable de maintenir son mouvement uniforme sur un plan horizontal). Les connaissances des sujets sur les proportions ont été préalablement vérifiées et complétées. Ce qu'on leur demandait était d'organiser et de réaliser effectivement eux-mêmes les expériences et finalement d'utiliser ces données pour vérifier la proportionnalité. Seulement une moitié des sujets ont su utiliser ces données pour vérifier la proportionnalité. Il est important de se représenter la situation. Les sujets dont il s'agit possédaient les connaissances arithmétiques élémentaires concernant les proportions. De plus, il s'agissait d'une hypothèse déjà formulée pour eux-mêmes : les poids des objets considérés et les poids exprimant la force de friction varient *proportionnellement*. Devant eux se trouvaient deux listes de nombres obtenus expérimentalement par eux-mêmes, et qu'ils devaient utiliser pour démontrer la proportionnalité. Ces sujets étaient donc en possession, tant du schème opératoire que des moyens arithmétiques pour résoudre le problème. Or, **une bonne partie des sujets n'arrive pas à encadrer ces données dans les structures conceptuelles correspondantes.**

Après cette première étude, les sujets reçoivent un entraînement concernant le groupement des données et l'interprétation des faits.

Dans la deuxième partie de l'expérience on passe à une loi physique nouvelle — la loi de Hooke. Dans les deux classes expérimentales on a obtenu 65 % et respectivement 90 % de réponses correctes (la démonstration de la proportionnalité entre l'allongement d'un ressort et la force de tiraillement). Dans une classe témoin — sans entraînement spécifique préalable — on obtient seulement 20 % de réponses correctes.

### Le raisonnement hypothético-déductif

Le raisonnement hypothético-déductif ne fait pas partie de la liste des schèmes opératoires telle qu'elle a été présentée par Piaget et Inhelder. Pourtant ce type de raisonnement (du possible au réel) est une des caractéristiques fondamentales du raisonnement formel.

En considérant la description que ces auteurs font de cette période du développement intellectuel, il est à supposer que l'adolescent possède toutes les pré-réquisites nécessaires pour mener à bout une recherche



expérimentale systématique. Nous nous sommes proposés de vérifier cette conclusion. Les sujets devaient résoudre des problèmes du type suivant. On leur présentait des montages électriques comprenant une source, une ampoule et trois interrupteurs. Les connexions n'étaient pas visibles. Les sujets en manœuvrant les interrupteurs et en considérant les effets (l'ampoule éteinte ou allumée), devaient déterminer la nature des connexions (en série, en parallèle ou mixte). Voilà un exemple de stratégie efficace. 1) Le sujet énumère les trois hypothèses possibles : a) série, b) parallèle, c) mixte. 2) Il se propose de vérifier successivement ces hypothèses. 3) Il commence avec « série » et il suit la tactique suivante : a) il manipule les interrupteurs jusqu'à ce que l'ampoule s'allume, b) à ce moment il fait le raisonnement suivant : si le montage est en série, tous les contacts sont formés (l'ampoule étant allumée). Si le montage est en série, l'ampoule devait s'éteindre en manœuvrant chacun des interrupteurs. 4) Le sujet commence à manipuler les interrupteurs et tire les conséquences. (Rappelons que les sujets recevaient une préparation préalable concernant les caractéristiques des montages en série et en parallèle). On a travaillé avec des élèves de 13 et 16 ans (20 sujets pour chaque niveau d'âge). La première constatation a été qu'une très faible partie des sujets commence l'investigation par un raisonnement hypothétique (25 % des sujets de 13 ans, 15 % des sujets de 16 ans). Tous les autres se contentent des tâtonnements « aveugles ». Les sujets sont instruits à formuler des hypothèses et à raisonner en fonction de l'hypothèse choisie et des faits constatés (l'ampoule s'allume ou ne s'allume pas à la suite d'une certaine manœuvre).

Dans une épreuve-test ultérieure, équivalente à la précédente, mais différente comme structure, les résultats sont visiblement améliorés. Dans les phases finales, 80 % des élèves de 13 ans et 70 % des élèves de 16 ans commencent l'investigation par l'exposition d'un répertoire d'hypothèses à vérifier.

On arrive donc à la même constatation que dans les exemples précédents : les schèmes opératoires ne fonctionnent d'emblée que dans un nombre très limité de cas. Un exercice systématique est nécessaire pour transformer ce qui n'est initialement qu'une virtualité dans un facteur intellectuel actif et adapté.

Cette conclusion est très banale mais il faut y ajouter certains éléments qui sont, peut-être, moins évidents.

Nos sujets, comme nous venons de le constater, connaissaient, par exemple, le calcul des proportions et possédaient, entre autres, une intuition des variations proportionnelles. Pourtant, beaucoup d'entre eux ne savaient utiliser cette intuition et ces techniques de calcul dans une situation qui, apparemment, ne demandait rien

de plus. Ce qui manquait, c'était quelque chose d'analogue à un schème dans le sens de Piaget, mais plus analytique, plus « technique », plus adapté à la classe des situations considérées. Savoir comment grouper les données empiriques et interpréter les résultats pour mettre en évidence la proportionnalité suppose un mécanisme intellectuel supplémentaire qui est en même temps mécanisme de compréhension et d'action. Les sujets qui possédaient ce mécanisme étaient capables de raisonner de la manière suivante : « A l'allongement  $l_1$  (représenté dans le tableau par un certain chiffre) correspond la sollicitation  $g_1$  (qui pouvait être trouvée dans le même tableau). A un allongement  $l_2$  correspond la sollicitation  $g_2$ . La proportion, si elle existe, devait donc se présenter de la manière suivante :

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{g_1}{g_2} \quad \text{ou bien} \quad \frac{l_1}{g_1} = \frac{l_2}{g_2}$$

Et on pouvait ainsi continuer, en organisant les données de la manière suivante :

$$\frac{l_1}{g_1} = \frac{l_2}{g_2} = \frac{l_3}{g_3} = \dots = \frac{l_n}{g_n} \dots = C$$

Ce que nous voulons souligner en ce cas c'est que, **entre l'idée générale de la variation proportionnelle de deux grandeurs et les connaissances proprement arithmétiques s'interpose une certaine intuition du phénomène physique qui permet au sujet de manipuler et ordonner les données librement, mais en accord en même temps avec l'idée de base (le schème général de la proportionnalité) et avec les règles du calcul arithmétique.** L'argument principal pour l'existence d'un tel mécanisme intermédiaire et le fait que ni le schème constitué naturellement à un certain âge, ni une technique de calcul appropriée, ni les deux ensembles ne suffisent, maintes fois, pour la résolution de certaines classes de problèmes.

Reprenons aussi, l'exemple du combinatoire. Un enfant de 10 ans auquel on demande de permuter  $n$  objets possède certainement l'idée générale de cette opération. Il commence en effet à changer l'ordre des objets et à produire des permutations. Mais à un certain moment les choses s'embrouillent. Il ne sait comment continuer ou considère qu'il a déjà épuisé toutes les possibilités avant d'avoir achevé réellement la production des variantes. Il suffit de lui suggérer le procédé des diagrammes arborescents pour que l'enfant devienne rapidement capable de résoudre de tels problèmes. Or, un diagramme n'est pas une simple formule de calcul (par exemple  $n!$ ). Celui qui a appris à manipuler de tels diagrammes a compris le principe de construction et a

appris, en même temps, une **technique effective de construction**. Un tel diagramme est d'un côté idée générale, concept, schème présentatif — pour reprendre le terme de Piaget — et de l'autre côté, procédé d'action, algorithme, schème procédural. La synthèse obtenue est donc quelque chose d'analogue à un schème opératoire. Mais, à la différence d'un schème opératoire authentique, ce procédé du diagramme s'apprend rapidement à **condition que l'enfant possède l'idée générale fondamentale du combinatoire**. Le rôle du diagramme est en ce cas donc de servir d'intermédiaire entre le schème global initial et l'action effective (2).

Un schème opératoire peut donc exister comme simple virtualité (en ne se manifestant du tout, en se manifestant sous forme d'une interprétation intuitive syncrétique ou bien sous la forme d'un rudiment de solution effective). En associant à une telle virtualité une formule de calcul, le sujet ne devient nécessairement pas capable de résoudre le problème (par exemple construire les permutations ou les arrangements d'une manière exhaustive dans un problème de combinatoire). Ce qui manque encore est cet anneau intermédiaire qui est plus technique, plus analytique, plus algorithmique que le schème opératoire dans sa forme initiale, mais en même temps plus saturé en signification explicative et instructive qu'une formule particulière.

**La qualité essentielle d'une telle structure accommodative est qu'elle déduit sa stratégie du contenu même de la situation, contenu transformé en signification explicite.**

Le grand problème dans la didactique des sciences est moins celui des schèmes opératoires (dont la construction est plus ou moins naturelle) et des procédés de calcul (qui supposent souvent des routines élémentaires).

Le grand problème — et peut-être la clé du succès — est constitué par ces structures accommodatives qui représentent la partie la plus « vivante », la plus flexible, la plus productive d'un schème opératoire actif. **Or ces structures intermédiaires ne se construisent que par**

---

(2) Nous avons décrit (Fischbein, 1975, p. 110-11) ailleurs les mêmes diagrammes arborescents comme représentant d'excellents modèles figuratifs. Une modèle figuratif est vraiment productif s'il remplit les conditions d'un modèle génératif : capacité de généralisation, capacité heuristique, autoprofération. On pourrait formuler l'hypothèse que le rôle qui revient à de tels modèles dans la compréhension, dans l'apprentissage et dans la résolution des problèmes est justement celui de structures accommodatives. Ou, réciproquement : une structure accommodative se présente fréquemment sous la forme d'un bon modèle figuratif.

**rapport à un certain contenu et à la suite d'une activité investigative et productive sollicitée par un tel contenu (3).**

Quel est le rôle du professeur, quelles sont les techniques didactiques les plus appropriées, quel est le délai qu'on doit accorder à cet entraînement spécifique et quel est l'âge le plus propice pour la formation d'une certaine structure accommodative ? Ce sont toutes des questions auxquelles seulement l'expérience peut répondre.

Notre hypothèse nous permet d'expliquer un nombre de faits apparemment obscurs.

On comprend d'abord pourquoi les sujets de Lawson et Renner (et ceux des autres auteurs qui ont entrepris des recherches similaires) ont dû être classifiés comme « concrets » bien qu'étant à l'âge des opérations formelles. **On peut supposer que ce qui leur manquait, c'était l'entraînement spécifique capable d'activer leurs schèmes opératoires latents.**

Lawson et Renner ont, eux-mêmes, suggéré cette hypothèse : " Another possible alternative would include the use of curricular materials in the elementary and junior high schools which confronted students with first-hand experiences and concrete problems. In this manner, perhaps students would enter secondary science programs as formal thinkers able to comprehend the abstract nature of the course (Lawson et Renner, 1975, p. 357).

Un deuxième aspect apparemment obscur se réfère à la possibilité de mettre en œuvre des schèmes « formels » à l'âge des opérations concrètes.

Comment est-il possible qu'un enfant de 9-10 ans qui, selon Piaget, ne possède ni le schème de la proportion ni celui du combinatoire, devienne capable de résoudre des problèmes sollicitant ces schèmes, après un bref entraînement systématique ?

Il y a deux interprétations possibles :

— Ou qu'un schème opératoire peut être créé à l'aide d'un bref entraînement.

---

(3) Vermersch décrit l'insuccès initial d'un adulte devant un problème spécifique, comme exprimant un « déséquilibre transitoire » dû à la nouveauté du contenu. Le sujet reviendrait initialement à des stades intellectuels plus primitifs avant de trouver les moyens intellectuels correspondant aux disponibilités réelles. Pour trouver ces moyens le sujet devrait parcourir certaines étapes correspondant à l'évolution génétique. En certains cas ce seraient les schèmes mêmes qui manqueraient aux sujets et qui donc devraient être construits par un apprentissage approprié.

Ce qui n'est pas expliqué par cette théorie est l'insuccès du sujet quand les schèmes nécessaires existent. Cette situation nous conduit à l'hypothèse des structures accommodatives.

— Ou que ces schèmes existent déjà à l'âge considéré et ce qui manque pour leur manifestation active n'est qu'un tel entraînement systématique et spécifique.

La deuxième hypothèse — qui est la nôtre — est en accord avec les faits cités plus haut : **un tel entraînement est nécessaire aussi pour les sujets adolescents.**

La conclusion didactique la plus évidente est qu'on ne peut compter, dans l'enseignement, sur la manifes-

tation spontanée des schèmes opératoires. La dynamisation de ces schèmes, initialement de simples virtualités, demande généralement la construction, par des exercices appropriés, des structures accommodatives définies, adaptées aux classes de problèmes considérés.

Efraïm FISCHBEIN,  
Université de Tel Aviv.

#### Bibliographie

1. FISCHBEIN (E.), PAMPU (I.), MANZAT (I.). — 1967, L'intuition probabiliste chez l'enfant, *Enfance*, N° 2, 193-203.
2. FISCHBEIN (E.), PAMPU (I.), MANZAT (I.). — 1970 a, Effects of Age and Instruction on Combinatory Ability in Children, *The British Journal of Educational Psychology*, 40, Part 3, p. 261-270.
3. FISCHBEIN (E.), PAMPU (E.), MANZAT (I.). — 1970 b, Comparison of Ratios and the Chance Concept in Children, *Child Development*, 41, 2, 377-389.
4. FISCHBEIN (E.), MANZAT (I.), BARBAT (I.). — 1974, L'acquisition des stratégies expérimentales par les adolescents, *Revue Roumaine des Sciences Sociales, Série de Psychologie*, T. 18, N° 2, p. 131-148.
5. FISCHBEIN (E.). — 1975 a, *The Intuitive Sources of Probabilistic Thinking in Children*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
6. FISCHBEIN (E.), MANZAT (I.), BARBAT (I.). — 1975 b, Dezvoltarea capacitatii de investigare experimentală la elevi. (Le développement de la capacité d'investigation expérimentale chez les élèves), *Revista de Psihologie*, 4, T. 21, p. 409-423.
7. INHELDER (B.), PIAGET (J.). — *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence*, 1958, Routledge & Kegan Paul, London.
8. KARPLUS (R.), PETERSON (R.W.). — 1973, *Intellectual Development Beyond Elementary School, II : Ratio*, A survey in Cognitive Processes and Science Instruction, K. Frey and M. Lang, Editors, Verlag Hans Huber, Bern, p. 314-321.
9. LAWSON (A.E.), RENNER (J.W.). — Relationships of Science Subject Matter and Developmental Levels of Learners, 1975, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 12, N° 4, pp. 347-358.
10. PIAGET (J.). — 1976, Le possible, l'impossible et le nécessaire, *Arch. Psych.*, XLIV, 172, pp. 281-299.
11. PIAGET (J.), GRIZE (J.-B.), SZEMINSKA (A.), Vinh Bang. — 1968, *Épistémologie et psychologie de la fonction*, Paris, P.U.F.
12. VERMERSCH (P.). — *Une approche de la régulation de l'action chez l'adulte. Registres de fonctionnement, déséquilibre transitoire et microgénése*. Thèse, 1976.

## LES REPRESENTATIONS DES ENFANTS EN SITUATION DE CLASSE

J'envisagerai la question des représentations des enfants du seul point de vue de la recherche pédagogique (1), c'est-à-dire du point de vue d'enseignants qui tentent collectivement d'objectiver leur pratique. Notre problème n'est donc pas de procéder à de minutieuses études de laboratoire relatives à tel ou tel problème précis. Il consiste à repérer les représentations des élèves en situation de classe, à la vitesse réelle de son déroulement, puis d'utiliser ces observations recueillies, d'une part pour prévoir la suite de l'action pédagogique, d'autre part pour effectuer des bilans.

Il n'est pas évident à tous les enseignants, au niveau de la pratique quotidienne, que les représentations des enfants aient un sens, qu'elles valent la peine d'être décelées et explorées, que leur connaissance soit indispensable pour des apprentissages en profondeur.

(1) Ce texte a été élaboré en utilisant un document récent des équipes de recherche I.N.R.P. (Recherches pédagogiques n° 36 Activités d'éveil scientifiques, IV. Initiation biologique) et sur la base d'une publication en préparation, rédigée par les enseignants en biologie des collégiens expérimentaux.

Voici, à titre d'exemple, quelques phrases extraites d'un dialogue d'élèves de sixième enregistré au magnétophone au cours d'une discussion qui portait sur l'appendicite et le développement des bébés :

« Quand on enlève l'appendicite d'une femme, elle ne peut plus avoir d'enfants. »

« La mère, si elle boit trop, elle peut noyer son enfant. »

« Il y a quoi dans la bulle où est le bébé ? de l'eau ? du liquide comme de la graisse ? »

« Est-ce que c'est du lait que l'enfant avale lorsqu'il est dans le ventre de sa mère ? »

On devine, à travers cet exemple simple, un certain nombre de représentations et chacun peut avoir à l'esprit des réactions du même type, quel que soit le sujet abordé, quel que soit le niveau scolaire considéré. Il est tentant, face à de tels propos, de réagir de deux manières symétriques. La première est de s'émerveiller devant la richesse des idées des enfants, devant leurs capacités créatrices et leur potentiel poétique. La seconde est de prendre acte que les enfants ne savent rien, qu'il est urgent de leur apprendre quelque chose de sérieux qui se substitue à ces idées folles !

Les équipes de recherche de l'Institut national de recherche pédagogique, tant au niveau de l'école élémentaire qu'à celui des collèges, ont adopté comme ligne de travail de prendre au sérieux ces représentations, d'essayer d'en tenir compte puisqu'elles correspondent à quelque chose de cohérent dans la pensée des enfants, de les intégrer pour permettre un enseignement plus efficace.

Comment donc connaître les représentations des enfants dans une classe ?

Généralement pas en posant directement une question ni en provoquant un entretien sur le sujet avec les enfants, car les représentations ne constituent pas un système conscient sur lequel ils peuvent s'exprimer facilement. En procédant de cette façon, on ne les amène pas à remettre profondément en cause leur mode de pensée car, tel qui vient de reprendre son camarade qui prétend « qu'une ronce lui a fait un croche-pied » va raisonner d'une manière comparable dans l'instant qui suit.

Par contre, en posant une question sur tel ou tel point, on obtient des réponses qui sont significatives d'un autre point de vue.

Je prendrai un exemple au niveau des collèges où la question suivante avait été posée aux élèves : « Avez-vous déjà étudié un comportement animal ? Si oui,

racontez ce que vous avez fait. Si non, comment vous y prendriez-vous pour le faire ? »

Un élève de sixième répond :

« Je prendrais un animal, je jouerais avec lui pour le dresser ; le comportement d'un animal est, par exemple, s'il est sage, gentil, s'il a besoin d'affection ou pas, s'il est jaloux des autres. »

Un élève de cinquième, pour sa part, dit à ce sujet :

« Si j'étudiais le comportement d'un animal, je prendrais un animal, je le garderais, je le prendrais sur mes genoux, je le caresserais pour savoir s'il a besoin d'affection. »

On n'apprend certes pas grand-chose sur la notion de comportement animal vue par les enfants (la question posée provoque d'ailleurs un artefact à ce sujet) mais on voit bien quelles difficultés subsistent à cet âge pour se distancier de l'animal et l'envisager comme un objet d'étude distinct de soi.

Une autre façon de connaître les représentations des enfants est d'en tenter une analyse plus systématique dans le cadre de la classe. Je rendrai compte, à ce sujet, d'un travail effectué par une équipe d'enseignants d'Aix-en-Provence (Caron, Lamarque et Nury) qui essaie de mettre au clair les représentations relatives à l'idée de vivant, au niveau du cours préparatoire. Le travail a consisté à élaborer et à dépouiller une épreuve qui a été passée individuellement par chacun des enfants, en début et en fin d'année.

Puis, à se servir des résultats de cette épreuve, non pour juger et noter les élèves, mais pour orienter une action pédagogique de longue durée, au fil de l'année. Cette épreuve comprend deux parties, l'une à base de photographies, l'autre à base d'objets réels. Le principe en est assez simple. Chaque enfant s'est vu présenter une collection d'objets et d'êtres vivants sous la double forme photo/objet réel. Il a dû classer chaque élément parmi les vivants ou les non-vivants, et justifier son choix.

La composition des collections a obéi à deux préoccupations. La première est de fournir, en plus des êtres vivants, un certain nombre d'objets inertes qui sont souvent considérés comme vivants par les enfants. La seconde, d'ailleurs complémentaire, consiste à présenter au milieu de cas simples, un certain nombre d'éléments qui présentent des difficultés sur le plan scientifique de façon à étalonner les réactions des enfants de façon plus fine (germes à vie ralentie, fragments de végétaux...).

Ceci a donné la collection suivante :

### 1. Photographies

- animaux connus aux mouvements visibles : grillon, hamster, moutons, poisson ;

- animaux connus aux mouvements moins repérables : escargot, papillon ;
- végétaux complets, non douteux : arbre avec feuilles, plante en pot ;
- végétaux complets, douteux : arbre sans feuilles ;
- végétaux en fragments : feuille isolée, fleur coupée ;
- vivants à vie ralentie : graine de haricots, œufs ;
- objets mécaniques dotés de mouvements : eau calme, cascade, nuages.

### 2. Objets réels

- grillon, escargot, poisson ;
- plante en pot, fleur coupée ;
- jouet mécanique, montre ;
- graines de haricots, œuf.

Postérieurement, il a été proposé d'enrichir cette liste des trois éléments suivants : un feu, un train, un téléviseur, à propos desquels une incertitude est fréquente chez les enfants de cet âge.

Quelle est la signification pédagogique d'une telle épreuve ?

Sa première fonction est d'aider à mieux connaître certains points de blocage des jeunes enfants face au concept de Vivant, et donc d'orienter les activités d'éveil scientifique proposées par les maîtres.

Voici, brièvement cités, quelques-uns des points sur lesquels les enfants butent fréquemment :

**L'obstacle de l'image** : un certain nombre d'enfants (une dizaine sur 78, ce qui n'est pas négligeable) ont eu des difficultés à se détacher du support de l'image. C'est ainsi que l'un d'eux a classé parmi les vivants toutes les photos à fond sombre et parmi les non-vivants toutes celles à fond clair.

**Le lien entre la vie et la mort** : au lieu de les relier, certains enfants les opposent. C'est ainsi que le papillon, par exemple, « ça n'est pas vivant parce que ça peut mourir » tandis que l'eau « c'est vivant parce que ça ne meurt jamais ».

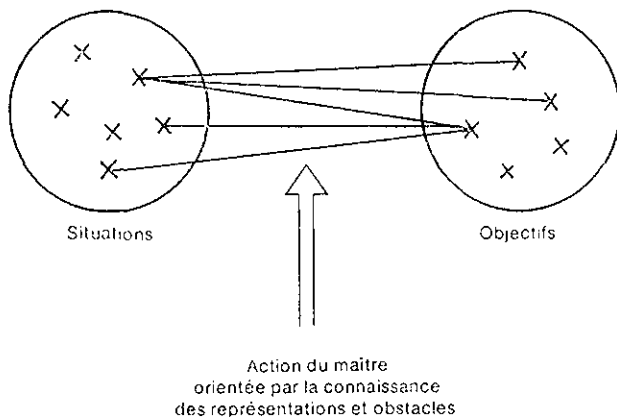
**La reconnaissance des critères de la vie** : la vie se décèle grâce à plusieurs indices qui peuvent être communs à plusieurs êtres vivants et notamment à l'animal et au végétal.

**La distinction entre mouvement autonome et mouvement provoqué**, etc.

Il faut noter que la prise en compte de ces points dans la progression pédagogique ne conduit nullement à

une action uniforme. Au contraire chaque classe a suivi son propre itinéraire, a utilisé les situations variées qui se sont présentées, a abordé des thèmes différents. Car chaque point de blocage, au lieu de faire l'objet d'un apprentissage systématique, a été utilisé par les maîtres comme un instrument de travail constamment présent à leur esprit, et permettant de donner un sens à différentes situations non prévues d'avance. C'est ainsi que dans une classe la réflexion sur les critères de la vie s'est développée à partir d'huîtres et de moules « qui ne bougeaient pas et qui sentaient mauvais », alors que dans une autre c'est la constatation que de vieilles graines de maïs plantées ne germaient pas qui a servi de point de départ.

Ce principe peut être illustré par le schéma suivant sur lequel on reconnaît trois éléments :



- l'ensemble des **situations pédagogiques**, certaines prévues, d'autres fortuites ;
- l'ensemble des **objectifs** (le concept de vivant en est un) lié au précédent par une relation telle que la même situation peut permettre d'atteindre plusieurs objectifs et réciproquement ;
- l'**action du maître** qui, orientée par la connaissance des représentations et des obstacles, facilite le passage des situations aux objectifs.

Une autre fonction de cette épreuve est de fournir un instrument qui aide à mieux cerner l'évolution des enfants grâce au repérage d'un certain nombre de seuils que les enfants peuvent franchir. A ce sujet, les auteurs ont beaucoup insisté sur le fait que les seuils ne doivent pas servir à des fins de classement ou de sélection. En effet, ils ne correspondent nullement à des stades que les enfants franchiraient dans un ordre déterminé. Bien au contraire, chacun les franchit dans un

ordre et à un rythme qui lui est propre et qui caractérise sa façon de construire son savoir.

Soyons honnêtes et réalistes ! Les enseignants ne peuvent pas constamment effectuer dans leur classe des analyses de ce type, qui exigent un travail considérable. Et ceci pour un seul des objectifs cognitifs de l'année !

Ce qui nous semble fondamental, c'est plutôt la démarche de l'équipe d'enseignants et sa sensibilisation à ce type de problème.

La participation à quelques recherches de cette nature aide ensuite à être plus réceptif aux représentations qui se manifestent dans des activités spontanées, dès lors qu'on place les élèves en situation d'autonomie c'est-à-dire dans des activités de vie qui permettent un engagement réel de leur part. Cela fournit une grille de lecture de la réalité de la classe, à sa vitesse normale de déroulement. Cela aide à un meilleur repérage des séquences significatives du point de vue de l'évolution des enfants.

J'aimerais terminer par un point important, qui donne tout son sens aux travaux que j'ai brièvement décrits. C'est qu'une caractéristique importante des représentations est d'être **tenaces** et de ne pas se laisser abolir facilement par un enseignement systématique, même bien fait.

On s'aperçoit constamment que ces représentations resurgissent en situation d'action alors même qu'on croyait les avoir dépassées en situation d'apprentissage. Et l'on doit bien souvent constater que le verbalisme de certaines acquisitions scolaires masque la persistance de modes de pensée antérieurs.

Je pense par exemple, à certains dessins réalisés par des élèves de première auxquels leur professeur avait demandé de représenter l'appareil respiratoire humain. Un certain nombre de ces dessins paraissaient avoir été réalisés par des enfants de sixième, sinon de l'école élémentaire. L'un montre ainsi « le poumon par lequel entre l'air et celui par lequel il ressort ». Et ceci n'est en rien contradictoire avec des connaissances très savantes sur les oxydations cellulaires et le rôle des mitochondries, permettant de réussir aux examens !

C'est qu'il ne s'agit pas tant pour les enseignants de connaître les représentations des enfants et d'en tenir compte pour l'établissement de leur progression, que de favoriser les situations où les élèves eux-mêmes pourront *exprimer leurs représentations*, les mettre en question collectivement et les dépasser par un effort personnel de construction du savoir.

Jean-Pierre ASTOLFI,  
professeur au collège expérimental  
de Marly-le-Roi.



## L'OBSERVATION DES ACTIVITES DIDACTIQUES

J'ai renoncé à présenter le texte académique que vous auriez pu espérer : le sujet est trop vaste. Ce sont donc des réflexions personnelles que je vous propose nourries d'exemples puisés dans mon expérience — limitée

— et limitée à la didactique des mathématiques.

Je ne prétends ni à l'exhaustivité, ni à l'objectivité.

Je me suis senti autorisé à faire ce choix après avoir lu de larges fragments de la thèse de J.M. de Ketele. C'est un très bon texte de base, que je citerai, dont je résumerai certaines parties et auquel je vous renvoie pour les aspects dont je n'aurai pas le temps de parler.

Le but de ce rapport introductif est double :

- soulever les questions qui me paraissent fondamentales de façon à favoriser la discussion et à permettre aux intervenants de centrer leurs propos ;
- donner des indications concrètes sur les pratiques actuelles afin d'illustrer et de faciliter la réflexion.

Les questions premières sont simples :

Observer **quoi ? pourquoi ?** (ou pour quoi) **comment ?** Mais elles ne le sont qu'en apparence. Même l'ordre dans lequel on les pose prend une hypothèse sur la manière d'y répondre. On ne peut déterminer « **quoi** » si on ne sait pas « **pourquoi** » et souvent le « **comment** » guide le choix des « **quoi** ».

Je pense qu'il faudrait nous garder de séparer trop vite ces questions, nous risquerions de masquer la réalité profonde des phénomènes que nous voulons comprendre.

C'est pourquoi nous procéderons par des approches successives :

Tout d'abord s'imposent :

- une première délimitation de l'objet de l'étude (qu'est-ce qu'un fait didactique ?) ;
- une approche du rôle de l'observation dans les recherches en didactique (pourquoi observer ces faits ?) ;
- et une étude des conditions fondamentales des rapports entre l'observateur et les faits didactiques observés (comment les rendre possibles ?).

Nous pourrions alors pénétrer plus avant et voir :

- comment les types de recherches, l'ampleur et la généralité des faits que l'on vise, commandent le choix des variables observées, donc celui des dispositifs expérimentaux ;
- et comment les techniques d'analyse doivent s'adapter, à la fois, aux recherches et aux données recueillies.

La tentation est grande de faire un simple recensement des types de données — toujours les mêmes — et une liste des techniques de recueil d'analyse de ces données. Dans une troisième partie, nous y succomberons malgré les risques encourus :

Colin Power, dans un intéressant « recensement critique des études d'interaction dans les classes spécifiques » constate que, bien souvent, les observateurs se contentent alors d'utiliser les instruments existants à toute occasion, sans but et sans grand profit scientifique. En particulier, il remarque qu'on n'est pas parvenu à mettre au point une méthode correcte de remise en cause des modèles naïfs qui dominent la recherche en éducation. On ne doit donc pas être trop optimiste et il ne faut pas, par conséquent, être trop sévère ni trop exigeant a priori. La recherche dans ce domaine en est aux balbutiements.



Je crois que de nombreuses approches sont compatibles et qu'il faut se méfier des réductionnismes.

## I. — LES CONDITIONS DE L'OBSERVATION DES FAITS DIDACTIQUES

### 1 — Les phénomènes didactiques

Nous pourrions définir la didactique comme un projet le plus souvent social de faire approprier à un sujet un savoir constitué ou en voie de constitution. Ce projet se manifestera par un contrôle et une modification intentionnelle des relations de l'élève avec son milieu. Seuls les phénomènes relatifs à un tel projet et qui réuniront les deux propriétés suivantes, seront dans le champ de la didactique :

- d'une part, le phénomène ne saurait être compris sans qu'on fasse intervenir la spécificité du savoir ;
- d'autre part, il ne saurait être traité sans sortir du domaine de ce savoir.

Il serait important de voir sur un exemple concret d'enseignement, comment se mêlent, se complètent et s'opposent les faits d'ordres divers : pédagogiques, psychologiques, épistémologiques, didactiques et sociologiques. Nous pourrions peut-être le faire en cours de discussion ; en attendant, voici un exemple assez sommaire : décider qu'on apportera de l'information à une élève lorsque son incertitude (subjective instantanée) deviendra trop forte (en supposant qu'on sache en voir les indices) et qu'inversement on étendra le champ des choix qui lui sont offerts lorsqu'elle deviendra trop faible n'est pas une décision didactique : elle peut être le fruit d'une théorie de l'apprentissage, ou une pratique éducative... Mais l'actualisation de cette décision dans un enseignement de mathématique conduira obligatoirement à interpréter à chaque instant les indices d'incertitude en se référant aux issues effectives de la situation — les solutions — (par exemple en leur attribuant une probabilité) l'intervention étant elle-même une sélection du contenu de l'information apportée. Alors cette actualisation est dans le champ de la didactique :

Elle ne saurait être réalisée ni comprise sans référence aux connaissances mathématiques du maître et de l'élève au moment de l'action et ne pourrait non plus l'être entièrement sans qu'il soit fait appel au moins implicitement à une théorie de la connaissance, de l'apprentissage, à une métamathématique et une épistémologie sous-jacente.

Il faudra aussi distinguer, bien qu'on emploie le même mot, les faits « didactiques » et la « didactique »,

science si elle existe dont ils sont l'objet, comme on peut distinguer les objets physiques et la physique.

Les phénomènes didactiques seront donc constitués d'interactions entre trois types de systèmes **régulateurs** : le ou les élèves, le système éducatif et le milieu (ou la situation), interactions relatives à un système de connaissances déterminé (le mot « système » n'est pas employé dans le même sens dans ces deux occurrences).

On met trop souvent l'accent sur les interactions maître-élève et on les réduit à de simples communications. Il faut souligner fortement :

D'une part, que les interactions de bases sont celles de l'élève avec le milieu, pris aussi bien au sens général (milieu social, scolaire, etc.) qu'au sens particulier de situation (matériel qu'il manipule, questions posées, rapports définissant le statut de la vérité qu'il construit... etc.) ; le maître est conduit à contrôler toutes les sources scolaires d'informations et il se substitue à la plupart d'entre elles parce qu'il ne peut pas les faire interagir avec ses élèves de façon satisfaisante.

D'autre part, que les connaissances n'existent et n'ont de sens chez un sujet que parce qu'elles représentent une solution optimale dans un système de contraintes. Les relations du sujet avec son milieu, et particulièrement les tensions créées par les divers feed-backs déterminent pour chaque acte des coûts à l'emploi, à l'essai, à l'apprentissage, des coûts à l'erreur, qui provoquent à leur tour l'apparition, l'évolution, la déformation, la disparition ou la reprise des concepts à travers équilibres, conflits et ruptures. L'activité didactique consiste à organiser ces contraintes et à maintenir les conditions des interactions optimales.

De plus, l'élève, comme le système éducatif ont en commun deux caractéristiques : ils appréhendent le milieu à l'aide de systèmes de représentations qui font que leurs échanges sont traités comme des messages, de plus, ils sont capables d'anticiper et de finaliser leurs interactions qui prennent de ce fait, un caractère dialogique particulier.

Une suite d'interactions ne prend un sens en didactique que dans la mesure où elles se rapportent à un même projet (un chez le maître, un chez l'élève) à propos d'un concept dont elles constituent une genèse et dont elles fondent la signification. Seuls seront pertinents du point de vue didactique, ceux des traits relatifs aux systèmes en présence qui déterminent et expliquent cette suite d'interactions (nous reviendrons plus loin sur cet état de choses qui a pour conséquence de faire dépendre la définition des éléments synchroniques intéressants d'une analyse diachronique préalable). Pour bien marquer tout ce que ces suites d'interactions ont de

particulier, j'utilise à leur sujet le terme de « dialectique » : les processus didactiques ont un caractère dialectique.

Les recherches en didactique ont pour but de décrire, classer, comprendre, expliquer, concevoir, améliorer, prévoir et permettre de reproduire de tels processus. Mais s'il y a une idée qui s'impose d'abord à chacun à ce propos, c'est le nombre très élevé de variables qui entrent en jeu dans ce type de phénomènes et la complexité décourageante de leur mode d'action (justement à cause de son caractère dialectique).

Aussi, une des premières tâches consiste à isoler des sous-systèmes d'interactions : quelques traits de l'élève, du maître, de la connaissance et du milieu, s'ils sont bien choisis peuvent entrer ensemble et eux seuls, dans une explication d'une classe de phénomènes didactiques. Par exemple, l'apprentissage skinérien fournit un sous-système : le sujet est une mémoire, munie d'un dispositif de mise en mémoire dans des conditions données, que satisfait justement un système d'enseignement réduit à la présentation contrôlée d'informations à mémoriser, le savoir est supposé équivalent à une suite d'informations ou de comportements... etc.

Le plus souvent, pour isoler un sous-système, il est fait appel à un facteur qui permet de séparer ou d'opposer deux catégories de faits didactiques inexpliqués dans leur ensemble mais que l'on espère désormais explicables séparément.

Exemples : algorithme ou mécanisme opposé à raisonnement, déduction vs intuition, concret vs abstrait — directivité, non directivité... etc.

Il est très difficile de choisir un sous-système, qui ne laisse pas échapper l'essentiel : le sens du processus. S'il est assez simple et indépendant des autres sous-systèmes pour se laisser décrire et comparer à l'expérience, il est souvent superficiel et formel, s'il est complexe ou non indépendant des autres systèmes, il devient très difficile à caractériser, donc à observer ou à reproduire.

## 2 — L'Observation

« L'observation est un acte incluant l'attention volontaire et l'intelligence dirigée sur un " objet " pour en recueillir systématiquement des informations » propose J.M. de Ketele qui s'empresse de reconnaître que ce terme recouvre de nombreuses significations et de les étudier : comme processus en acte, objectif éducatif, méthode pédagogique, **phase et composante de toute recherche** (c'est le seul point que nous développerons ici) phase et composante du processus d'apprentissage

systématiquement orienté, technique de prise d'information et enfin comme résultat. Je ne rappellerai pas les querelles célèbres que ce concept d'observation et les questions connexes de méthodologie des sciences ont soulevé (Titchener et Baldwin... etc.). Je préfère proposer mon point de vue et que nous discutions sur le sujet qui nous occupe.

Ma pratique de la recherche en didactique m'a conduit à distinguer trois types principaux d'observations différents, à la fois par leurs buts et leurs méthodes sinon par leur sujet :

### *Prise d'informations codifiées*

Il s'agit de la prise systématique d'informations précises à l'avance, dans le cadre d'une position théorique cohérente et explicite, ou mieux d'une hypothèse suffisamment et sincèrement douteuse, et ce dans des conditions réifiables et suivant une procédure standardisée.

Prise au sens le plus strict, l'observation consiste ici à constater la réaction des faits et à répondre par oui ou par non à une question posée d'avance. C'est le type d'observation vers lequel chacun tend :

Il est conçu comme le plus satisfaisant du point de vue scientifique — certains même refusent aux autres types ce statut.

Il est techniquement le plus facile à mettre en œuvre mais il est le plus difficile à rattacher convenablement à une décision didactique ou à un objet didactique théorique pertinent.

Il est souvent le plus décevant parce qu'il est toujours très fragmentaire à cause du nombre de variables.

De ce fait, il masque la presque totalité de la signification des processus observés.

Il ne permet de remettre en cause les conditions de l'observation ou la théorie engagée qu'à travers l'énorme machine de la recherche expérimentale. Compte tenu de la formidable complexité des problèmes, rien ne prouve que cette machine assure effectivement une interaction suffisamment dense pour assurer un quelconque progrès. Certes, il est souhaitable d'accumuler des « faits » proprement établis mais il ne faut pas céder par empirisme à une téléologie scientifique de mauvais aloi.

### *Contrôle didactique et scientifique d'une recherche*

Pour des raisons scientifiques et déontologiques, il faut donc que les observations de type précédent soient accompagnées d'observations ayant pour but de percevoir l'essentiel des événements observés, d'en restaurer la signification, le sens.

Ce deuxième type d'observations est tout à fait indispensable pour contrôler de façon assez immédiate la valeur didactique de l'activité en cours si la situation a été manipulée ou si le professeur, du fait de l'observation, n'en a pas seul la maîtrise, et a fortiori si un observateur est intervenant même ou seulement perçu.

Il est aussi nécessaire, à mes yeux, pour vérifier la pertinence des objets choisis en première approche, la validité scientifique de l'observation. C'est un moyen de contrôle de la recherche, de remise en cause des hypothèses, de recherche de nouveaux points de vue à soumettre à l'observation systématique. Le résultat de ce type d'observation est une « chronique ». Elle est construite immédiatement après les faits, à partir d'un maximum de notes, et d'enregistrements au sein d'un groupe expérimenté qui analyse les événements sommairement mais de divers points de vue et peut vérifier les points importants soulevés.

Comme celle du type précédent, elle engage une connaissance préalable des phénomènes et implicitement des choix, des hypothèses qu'il est nécessaire d'explicitier. Il est plus difficile qu'il ne paraît à réaliser et il est très difficile à utiliser de façon scientifique, mais il a une valeur irremplaçable comme moyen de préciser les conditions de l'expérience et de la rendre reproductible.

#### *Préparation du chercheur et paradigme à sa recherche*

Ainsi le contrôle didactique et scientifique dépend du regard de l'observateur. Ce regard il faut le former et l'entretenir par un troisième type d'observations : celles qui n'ont pas pour but la production d'un résultat relatif à l'objet de l'étude, mais, si j'ose dire, le réajustement du chercheur et le maintien pour lui d'un système de référence, d'un paradigme pour les traits retenus dans son travail. Tout chercheur en didactique devrait à mon avis avoir constamment « des enfants dans la tête » et pour cela regarder des classes, des apprentissages de toutes sortes, qu'ils aient, ou non, un rapport avec son sujet de recherche. De ce point de vue, l'observation devient presque une ascèse car rien n'émousse plus la vivacité des perceptions et l'ardeur à noter ce qui est saillant, que la répétition des observations (ce discours n'est contradictoire qu'en apparence).

Je ne ferai pas une distinction qui a un certain temps retenu mon attention : celle qui oppose l'observation aux fins de recherche et dont nous venons de parler, et l'observation aux fins de décision. La première aurait pour but de produire une déclaration sur la réalité,

elle serait le fait de chercheurs que le résultat didactique n'intéresse qu'accessoirement et indirectement, tandis que la seconde aurait pour but de permettre l'action didactique elle-même, et serait l'apanage des professeurs ou des intervenants.

Nous allons voir pourquoi tôt ou tard, le chercheur devient intervenant ou prend l'intervention à son compte. De ce fait, il observe à des détails près de la même façon.

Pour observer un phénomène précis il faut réaliser une situation déterminée et par conséquent la réalisation didactique fait partie du dessein expérimental. Toute expérience didactique fournit donc à la fois des documents pratiques pour la classe et des documents théoriques ou scientifiques. Mais dans cette activité sont engagés bien d'autres choix et d'autres décisions que celles envisagées du point de vue théorique. Réciproquement bien des questions, bien des occurrences constructibles dans la théorie ne seront pas réellement ouvertes dans l'expérience — c'est-à-dire n'auront pas de chance de se produire ou de ne pas se produire.

Une erreur classique consiste à profiter de l'observation pour transférer indûment des validations :

Les bons résultats pédagogiques de la leçon sont imputés à tort à la théorie et inversement, la théorie séduisante rehausse l'intérêt d'une leçon, en fait terne et quelconque, la part de l'action réellement expérimentée est camouflée.

L'utilisation d'une observation exige toujours un effort pour discerner ce qui était possible dans ce qui ne s'est pas produit et ce qui est nécessaire dans ce qui s'est produit. Cet effort est une construction scientifique.

La place et les techniques de l'observation, dans une science évoluent toujours de façon spécifique avec son développement.

On ne peut pas traiter actuellement des questions d'observation en didactique de façon générale. Il faut examiner les motivations de tous ordres. Elle n'est déterminée directement ni par l'objet de l'étude, ni par les données recueillies, ni par les méthodes d'analyse. Il faudrait examiner les questions et les connaissances du moment. Il faudrait faire un véritable survol des problèmes scientifiques du champ de la didactique et voir, dans chaque cas, la place et le rôle tenu par l'observation. Nous aborderons très modestement cette question au prochain paragraphe mais il me semble utile auparavant de persévérer encore un peu dans les études préalables et de regarder les conditions de l'observation.

### 3 — Conditions limites d'une observation en didactique des mathématiques

#### *Contrôle des contraintes agissant sur l'observateur*

Pour que les théories sur la didactique puissent échapper à des rapports purement idéologiques avec la réalité, il faut à mon avis, que le système de recherches qui les produit soit soumis à des contraintes convenables de la part de l'objet observé. C'est la responsabilité des chercheurs d'organiser ces contraintes : les contrôler ne signifie pas qu'il s'y soustrait quand ça l'arrange, mais au contraire qu'il s'y prête et s'en évade tour à tour dans des conditions déterminées.

Ces contraintes ont pour objet d'amener la théorie à se développer sans cesser d'être éprouvées :

- au regard de la signification et de l'efficacité didactique ;
- au regard de la communicabilité ;
- et à celui de la scientificité.

Certes, comme le dit Canghilem « une théorie n'est pas vraie parce qu'elle est efficace, mais elle est efficace parce qu'elle est vraie ».

Observer c'est donc d'abord organiser les rapports d'observation qui présentent des garanties sur le plan déontologique et scientifique.

Le dispositif expérimental doit prévoir l'organisation des relations de l'observateur avec son sujet (Bonboir, 1972).

Ces relations concernent les élèves, les maîtres, les autres chercheurs et sont de divers ordres : les contraintes scientifiques, techniques et institutionnelles. Elles sont souvent le prix qu'il faut payer pour rendre possible l'observation.

Elles mettent le chercheur dans l'obligation de tenir compte des problèmes sans l'obliger à les résoudre.

Mais il ne doit à aucun prix y avoir confusion des tâches du système éducatif avec celles du chercheur.

#### *Une théorie du processus de recherche en didactique*

Les théories mises en œuvre pour décrire le processus d'acquisition du savoir par les élèves sont souvent utilisables pour ce même processus chez le chercheur. Je transposerai donc les conceptions que j'ai utilisées à propos des élèves [ ] et dont on parlera peut-être lors de la discussion sur le « statut de l'obser-

vation et de l'activité expérimentale chez l'élève » (Colmez, Delacôte, Richard). Elles permettent de rassembler les conditions des échanges avec le milieu autour de trois types de dialectiques : la plus générale, la dialectique de l'action : le système a une interaction, effective avec le milieu, et pertinente au sujet du savoir construit ; cette nécessité et cette pertinence sont le fruit de conditions appropriées et caractéristiques sur les motivations, les actions et les informations accessibles. Ce processus aboutit à la création par le sujet d'un savoir-faire qu'il peut plus ou moins expliciter ou valider. Dans une dialectique de l'action où aucune formulation n'est nécessaire, il peut en apparaître une (ou non) mais elle ne sera régie que par les règles (de syntaxe ou autres) déjà intériorisées.

La dialectique de la formulation est un cas particulier de la précédente. Des conditions supplémentaires rendent nécessaire l'échange d'informations avec un autre sujet, d'où la création d'un langage et l'apparition d'un savoir.

La dialectique de la validation est à son tour, un cas particulier de la précédente. Les échanges concernent, non pas des informations, mais des assertions. Elle aboutit à la création d'un système de validation, donc d'une théorie, par un renvoi aux deux autres types de dialectiques (expérimentation et explicitation).

Dans le cas de la didactique, les dialectiques de l'action se produisent au niveau du système maître-élève ou au contact de l'observateur avec ce système. Le maître construit des régularités, des automatismes, des représentations des objets didactiques. Il perçoit une foule d'indices, dont il a conscience ou non, et agit en conséquence. En observant ces échanges, en y intervenant et en les pratiquant aussi, l'observateur fait de même. Il s'agit alors pour lui, si possible, d'analyser, de décrire, de modéliser ces actions, d'identifier les entrées, les états, les issues, etc. Il combine alors l'observation introspective, allospective et manipulée.

Des communications entre les maîtres réalisent des dialectiques de la formulation et peuvent révéler les informations dont ils se servent et leurs modalités d'action. On peut donc organiser des rencontres entre eux et les observer aussi. Mais en général, le discours pédagogique a un caractère fortement idéologique. Il est un indice de la réalité scolaire, il n'en est pas une théorie ; il remplit d'autres fonctions auprès du maître, sauf si un dispositif particulier par exemple :

— celui que nous avons mis en œuvre dans notre centre de l'IREM de Bordeaux — oblige ces communications à remplir une fonction précise et « asservie » pour rendre nécessaire l'apparition des variables didactiques étudiées.

Il faudra se garder de confondre les opinions didactiques, objets didactiques, avec les assertions du champ didactique, c'est-à-dire la chose observée et les conclusions de l'observation.

L'observateur devra organiser sa propre dialectique de la formulation, que ce soit dans des cours ou dans des débats avec des professionnels ou avec d'autres scientifiques. Mais s'il veut s'engager dans une dialectique de la validation, il devra fatalement intervenir sur les objets de son étude — si possible dans un processus expérimental — Un débat scientifique implique que les théories soient éprouvées par des contraintes sur le système. On tirera d'autant plus d'informations — et plus pertinentes — de ces interactions qu'elles seront plus nombreuses et plus diversifiées.

Les théories ne surgissent pas d'un seul coup par une combinatoire d'observations naïves ou d'expériences cruciales mais par un lent travail réflexif et critique sur les pratiques mêmes de l'observation. Ce qui justifie pleinement les stratégies « en spirales » invoquées par les chercheurs en didactique.

Souvent, le but d'une recherche ou d'une observation est seulement de rendre possible une observation meilleure (plus fiable, plus précise... etc.).

Le processus de recherche apparaît alors comme dépendant de conditions limites diverses :

- importance et composition de l'équipe de recherche et insertion dans le système éducatif ;
- préalables expérimentaux, méthodologiques et théoriques ;
- ouverture minimum du champ sur lequel porte l'investigation... etc.

Mais les plus difficiles à réaliser sont les conditions institutionnelles.

#### *Organisation d'un système d'observation*

Sous la conduite du professeur Lichnerowicz, et avec le professeur Colmez, j'ai étudié ces conditions limites (cf. Brousseau 67 et Brousseau, Colmez, Becker 68). Les IREM me paraissent une réponse adéquate aux problèmes soulevés par l'observation, bien que peu d'entre eux aient pu réaliser l'ensemble des dispositifs préconisés. Les progrès sont lents mais réels et ils seraient impossibles dans d'autres structures.

Je renvoie les intéressés aux textes fondamentaux de l'IREM relatifs à la création de l'école Jules-Michelet pour l'observation, à ceux décrivant le fonctionnement des différents groupes du centre d'observation (informatique, didactique, technique, A.V.), des groupes de

recherche sur l'enseignement élémentaire et du séminaire de didactique du groupe d'enseignement (D.E.A., stages IDEN, PEN, etc.).

L'interface de l'IREM avec les institutions n'a pas fait l'objet d'une description formelle. Il est néanmoins conçu comme un système comportant un certain nombre de jauges de contraintes. Il permet la réalisation des observations souhaitées et la circulation des demandes, l'évaluation des résultats et surtout la prise en charge et la hiérarchisation des problèmes.

Je considère que ces réalisations font partie intégrante de l'activité des chercheurs, comme ce serait le cas pour la conception d'un appareil nouveau de recherche en physique.

Il n'est pas nécessaire que la même personne contrôle un tel système. Mais si elle n'est pas impliquée dans un système de ce type, elle peut s'égarer très vite. L'observation est bien plus une entreprise collective qu'une activité personnelle. C'est pourquoi des débats comme ceux-ci sont très importants.

#### *Méthode :*

Le sujet d'une leçon étant fixé, les différentes équipes qui vont travailler à l'observation sont constituées : groupe didactique, groupe enregistrement, groupe chronique, groupe évaluation et observation.

Le groupe « didactique » a pour but d'adapter l'observation au travail de l'année et de la rendre compatible avec le programme officiel. Il veut susciter un phénomène de façon précise, reproductible, et l'observer. Il va donc déterminer d'une façon très précise les motivations attendues avec les consignes données par le maître, le temps de travail pour les enfants, le matériel utilisé. Ce matériel utilisé par le maître et les enfants obéit à certains impératifs : par exemple, il doit être assez grand pour être visible à l'écran de télévision. Le déroulement de la leçon est donné dans ses moindres détails sur la fiche didactique. Cette fiche est donnée à tous les observateurs, avant la leçon, pour qu'ils en prennent connaissance.

Durant toute la leçon, le groupe « enregistrement » assure la retransmission son, image, repérage de séquences et l'enregistrement de tout ce qui se passe dans la salle.

Le groupe « chronique » rend compte de la leçon suivie depuis la salle (ou par l'intermédiaire du circuit fermé), sur une simple fiche d'observation.

Le groupe « évaluation et observation » est chargé d'établir les grilles d'observation et de les utiliser au cours de la leçon. Après la leçon, ce même groupe est

chargé du dépouillement des résultats et du traitement immédiat des données. Ces grilles, différentes pour chaque séance d'observation, doivent permettre de repérer les différentes découvertes faites par les enfants et leur propagation au sein des groupes. Selon un code déterminé à l'avance, on y note les communications de l'émetteur, du récepteur, le contenu de la communication (verbale ou non verbale).

A la fin de la leçon, les travaux des enfants sont recueillis, les chroniques, les grilles d'observation sont rassemblées. Ces documents ajoutés aux bandes de magnéscope et magnétophone constituent le matériel de base qui permettra de nombreuses analyses.

### Conclusion

Nous avons essayé de répondre à un premier lot de questions relatives au « pourquoi », au « quoi » et au « comment », et de montrer que l'on ne peut espérer que les rapports observateurs/observés s'établissent naturellement et naïvement en dehors de la problématique scientifique. L'observation se construit « contre » le système observé.

Il reste maintenant à s'intéresser au « quoi », au « pourquoi » et au « comment ».

## II. — PROBLEMES D'OBSERVATION EN DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES — TYPES D'OBSERVATION

**1) Les problèmes d'observation sont toujours des problèmes d'adéquation des moyens aux objectifs.** C'est pourquoi il faudrait tenter de les classer d'après les sujets de recherche. Mais nous ne pourrions pas aller très loin dans cette direction sans exposer les recherches elles-mêmes. Nous allons donc chercher d'abord des caractères distinctifs plus formels, relevant plus de l'observation des phénomènes éducatifs en général que de la didactique.

Il est normal alors de retrouver les grandes questions regroupées suivant les deux grands courants dialectiques de l'observation :

- d'un côté les problèmes bien connus d'expérimentation : formulation des hypothèses, définition des facteurs, plans d'expériences, tests problèmes de reproductibilité et de comparaisons de méthodes, etc. ;
- de l'autre, les problèmes de définition de choix des observables, de constitution, de recueil et d'analyse des produits de l'observation, de généralisabilité... etc.

Le premier point de vue est à la fois plus classique donc mieux connu, plus difficile à mettre en œuvre en

didactique et moins prometteur que le second. Je partage à ce sujet le point de vue exposé par J. Cardinet dans « comparaison de méthodes pédagogiques ou analyse du système scolaire ». Je n'en parlerai donc pas ici aujourd'hui. Mais puisque l'observation se concrétise lors du recueil de ses produits nous allons commencer par étudier les méthodes de saisie des données.

### 2) L'observation, suivant les méthodes de saisie des données

Elles sont très variées, nous les rappelons pour mémoire.

#### *Les types de Wrightstone (1960)*

Elles sont limitées aux méthodes directes de choix des comportements et elles comportent :

Les techniques d'échantillonnage temporel (Time samples). Il s'agit de « contrôler dans de courtes périodes de temps l'apparition ou l'absence de formes de comportements objectivement définies » inventaires, questionnaires d'observation (check-list) et grilles d'observation (schédule) qui diffèrent par l'existence d'un codage systématique.

Les techniques d'observation et de jugement (rating methods) : enregistrement de jugements sur des échelles d'évaluation : descriptives (rating scales) graphiques, de correspondance homme à homme, numériques... techniques de rangement, de comparaisons paires et de choix forcé.

*Ces méthodes ont un très grand succès :*

Colin Power rapporte que 200 systèmes ont été développés, de façon jugée trop indépendante, pour analyser séparément, (hélas), les systèmes cognitifs, affectifs et (Flanders), les catégories d'échanges (transactions) intellectuels, (Eggleston 75). 73 de ces systèmes sont décrits dans *Mirror of Behavior* dont 8 spéciaux pour les classes scientifiques ; elles permettent de juger toutes sortes de variables mais principalement les qualités du maître ou de la classe. On a développé de même des grilles d'analyse du comportement (Fischer et Power) et du discours (Coulthar et Sinclair) « le plus souvent les utilisateurs se sont contentés de l'accord entre les observateurs et de la fidélité des observations comme marque de fiabilité », dit Power. La question de pertinence est souvent posée de façon sommaire.

*Les classifications de De Landsheere et De Ketele*

De Landsheere place l'observation dans un produit de 5 variables :

fonction (prédictive ou descriptive)  
mode (direct ou indirect)  
méthode (monographie, étude de cas (case study)  
méthode des cas (case method) l'étude (survey) l'enquête)  
le lieu (sur le terrain, en laboratoire)  
le temps (longitudinales et transversales)

De Ketele (1976) les classe plus finement suivant les caractéristiques fondamentales (systématique vs non, introspective vs allospective, narrative vs attributive). Le stimulus (objet perceptif ou évaluatif) la réponse (notation immédiate ou différée) la situation (naturelle ou créée, manipulée ou non) la place de l'observateur (participatif ou passif, perçu ou non), le temps (longitudinale continue ou ponctuelle, et transversale) enfin suivant les attributs qu'il classe en stimulus (signes ou catégories) exclusifs ou non, exhaustifs ou non, unidimensionnels ou pluridimensionnels.

Et en réponses : (unités recoupées ou non par l'observateur, échantillonnées ou non, échelles ordinales ou nominales).

### 3) Problèmes de sémiologie : la détermination des objets étudiés

C'est un des problèmes les plus délicats et les plus négligés.

#### *Le découpage en actes et en séquences*

Pour toutes ces méthodes il est nécessaire de découper le temps pour obtenir des séquences. Cela se fait soit arbitrairement (en tranches de trois secondes — par exemple) soit suivant le discours (par phrases) soit suivant un système plus complexe se référant au fonctionnement du maître par exemple.

Il faut que un intervalle de temps soit suffisamment long pour que les objets pertinents de l'observation y soient identifiables (le dit, l'intention...) et suffisamment court pour contenir le minimum d'interactions afin de pouvoir assigner un même état aux différents systèmes en présence. Ce n'est pas toujours facile.

On peut aussi demander à des professionnels de proposer un découpage. On s'aperçoit que les observateurs découpent de la même façon des séquences importantes lorsqu'elles correspondent aux prévisions de la fiche didactique mais que l'accord ne subsiste pas au niveau d'un découpage fin. C'est que l'observateur « lit » le déroulement de l'activité didactique comme on lit un film, en le découpant en scènes pour reconstituer un sens à partir du texte avec des systèmes et des codes implicites. Comme telle l'observation relèverait autant de sémiologie que de l'analyse de systèmes, il s'agit d'étudier un lan-

gage. Le découpage décidé par le maître fonctionne comme le montage d'un film. Il crée des unités de sens, des « signes » qui ne devraient pas être analysés seulement suivant le découpage technique mais aussi suivant le sens créé. (Christian Metz, Langage et cinéma.)

#### *Les traits, objets, relations et faits pertinents*

Le découpage doit donc fournir des unités identifiables, susceptibles d'être un élément reconnaissable d'une séquence par exemple. Il doit donc exister une liste d'unités distinctes susceptibles de se produire à sa place. Nous dirons un paradigme de situations didactiques élémentaires. Deux situations sont distinctes à partir du moment où elles peuvent être opposées par au moins un trait (présent dans l'une, absent dans l'autre) pertinent. La distinction est pertinente si le remplacement d'une situation par l'autre est susceptible de changer la signification de la séquence (de façon régulière, non accidentelle).

Ainsi, la recherche des traits pertinents passe par l'analyse de leurs « dépendances » (des causalités) Vinrich. Deux moments peuvent différer non par un trait, mais par la présence ou l'absence d'un fait, d'un objet, d'une relation qui deviennent ainsi pertinents (signifiants si l'on veut) dans cette séquence. Il est clair que tous les faits ne sont pas pertinents dans un processus.

#### *Dépendances, processus*

On voit comment à partir d'un processus didactique entier on est conduit à interpréter le phénomène, et à partir des dépendances (souvent supposées) à désigner certains faits comme pertinents. Il est alors possible de combiner ces faits, de construire des automates qui reproduisent les processus observés.

Cette interprétation sémiologique de l'observation met en évidence qu'il est nécessaire de partir et de revenir au sens global des processus d'apprentissage, en observant et en combinant des faits isolés, même en très grand nombre, même en leur appliquant les méthodes puissantes de reconnaissance de forme, on n'a pas plus de chance de reconstituer un modèle didactique qu'on n'en aurait de construire la grammaire française à partir de l'étude des coefficients de Fourier de l'enregistrement d'une voix.

Ceci n'est pas sans avoir des conséquences méthodologiques dont nous avons déjà parlé plus haut.

#### *Résultats*

On essaie donc d'obtenir par des procédés objectifs les résultats d'observation suivants :

a) Un découpage du temps (de la leçon, ou des processus) en une suite d'étapes typiques (ou situations identifiées par leurs relations syntagmatiques et para-

b) Le discours (transcription) et l'interprétation de ce discours, (détermination des signes et leur articulation).

c) Une caractérisation des étapes et une référence à des types de situations. Ceci implique :

L'identification des éléments en présence et de leurs relations synchroniques : états des élèves, du maître, étape de la connaissance, objectif contractuel de la séquence, usage prévu des productions de l'élève, comportements acceptés, informations connues ou ignorées, motivations, résultats de l'élève.

La construction de paramètres appropriés.

d) Une liste de conditions de succession de ces situations : conditions cognitives, affectives, linguistiques, informationnelles, matérielles — ce qui implique une étude des relations diachroniques entre les éléments des situations : successions de comportements, analyse des productions verbales, écrites, graphiques des élèves, dans leur dépendance...

e) Une liste de conditions de reproduction des processus observés.

#### *Conditions optimales*

Il s'agit alors de rechercher les modèles d'élèves, de maître, de projet didactique, de la connaissance mathématique, des processus d'apprentissage qui permettront d'expliquer ce qui s'est produit et les facteurs sur lesquels on peut agir pour faire apparaître des différences (éventuellement pour optimiser). Ceci appelle deux remarques que je sou mets à votre réflexion. Le détour théorique et méthodologique proposé ici est nécessaire à l'amélioration de l'enseignement : les tentatives de procéder de façon empirique, pas à pas ou de ne jouer que sur un petit nombre de facteurs, ont échoué, c'est-à-dire ont donné des résultats moins bons. Les méthodes classiques sont localement optimales.

Par contre, on recherche trop exclusivement à recourir à des modèles quantitatifs. Il est très possible de raisonner mathématiquement sur des modèles qualitatifs dans la voie ouverte par Thom.

#### 4) L'observation suivant les types de recherche

Je ne connais pas de classification des recherches qui donne une typologie des observations. Pour ma part, j'essaie de situer les recherches selon qu'elles portent principalement sur le fonctionnement ou les caractéristiques des systèmes en présence ;

— sur des processus eux-mêmes ;

— sur des facteurs de discrimination ou d'optimisation qui permettent d'expliquer et de classer les processus eux-mêmes.

Dans le premier cas on a des analyses d'automates : l'observation c'est le recueil des entrées et des sorties.

Dans le second cas on a des analyses de suites d'interactions d'automates, les observations portent sur des « super-signes » comme il est indiqué ci-dessus.

Dans le troisième cas, l'observation peut prendre des formes très différentes : comme on peut le voir dans nos travaux sur l'apprentissage des algorithmes, les variables informationnelles et les obstacles épistémologiques.

### III. — ANALYSE DES DONNEES SUR LA DIDACTIQUE

Pour mémoire, je renverrai à :

1) **Les structures mathématiques des données** (Brousseau 70). Les données se présentent sous forme, soit de textes codés ou en langue naturelle, soit de tableaux à trois dimensions (sujets, variables observées, moments).

Un même corpus peut être interprété de diverses manières, ce qui permettra différents traitements.

Les travaux actuels portent sur les méthodes permettant de manipuler et de structurer les marges (sujets variables...), soit a priori avant traitement ; soit a posteriori d'après les résultats ; cela réclame la création de langages en vue du traitement informatique.

#### 2) Les méthodes d'analyse

Voici le plan d'un ouvrage en cours de réalisation à l'IREM de Bordeaux qui montre la variété des méthodes et de problèmes : Observation, Recueil des données, Gestion des données et recensements, Analyse des données, taxinomies et correspondances, Tests d'hypothèses Méthodes bayésiennes et fiduciaires, Analyse des dépendances, méthodes ordinales, etc., Analyse du discours, simulations et modèles, évaluation et docimologie, modèles mathématiques de gestion didactique.



On y retrouvera la trace des deux tendances en analyse des données signalées jusqu'ici, la reconnaissance de formes (Benzecri), l'analyse de dépendance et le test d'hypothèse.

Je ne choisis pas entre les deux. Pas plus que je ne les considère comme de simples techniques. Les rapports d'application des mathématiques au mathématique, comme à l'extra-mathématique ne sont pas ce que

l'on croit : une méthode est modifiée par sa mise en œuvre et un sujet d'étude déformé par la méthode utilisée, ou plutôt l'un et l'autre sont réciproquement constitutifs.

Guy BROUSSEAU.

Maître assistant de mathématiques,  
Université de Bordeaux I.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BONBOIR. — Pédagogie correctrice (1970 ?).
- BROUSSEAU (G.). — 1967, Organisation du centre de recherche pour l'enseignement des mathématiques, *Cahier du C.R.E.M.*, n° 4.
- BECKER (J.), BROUSSEAU (G.), COLMEZ (J.). — 1968, Rôle des instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, *Cahier du C.R.E.M.*, n° 6.
- BROUSSEAU (G.). — 1970, Observations et recherches en enseignement des mathématiques, *Cahier de l'I.R.E.M. de Bordeaux*, n° 4.
- BROUSSEAU (G.). — 1972, Processus de mathématisation, *publication de l'A.P.M.*
- BROUSSEAU (G.). — 1973, Peut-on améliorer le calcul des produits de nombres naturels, *Actes du Congrès des Sciences de l'Education I.P.I.*
- BROUSSEAU (G.). — 1973, Recherches sur l'enseignement du calcul numérique, *Cahier de l'I.R.E.M. de Bordeaux*, n° 15.
- BROUSSEAU (G.) et coll. — 1974, Recherche sur l'analyse du discours, *Cahier de l'I.R.E.M.*, n° 15.
- BROUSSEAU (G.). — 1975, Qu'est-ce que la didactique des mathématiques ? Exemples de recherches en didactique, T. 1 du compte rendu du colloque sur l'analyse de la didactique des mathématiques de Bordeaux.
- BROUSSEAU (G.). — Le recueil et le traitement des résultats à l'école Jules-Michelet (1978, 39 p., *Cahier 18, I.R.E.M. de Bordeaux*).
- Publications du 3<sup>e</sup> cycle de didactique des mathématiques (ouvrage collectif), 1976, *Méthodes d'analyse quantitative en didactique des mathématiques*, Fascicule 5, Tests d'hypothèses ; Fascicule 4, Taxinomie et correspondances.
- CARDINET (J.). — Comparaison de méthodes pédagogiques en analyse du système scolaire. Etudes pédagogiques.
- CARDINET (J.), TOURNEUR, ALLAL. — 1976, The symmetry of generalizability theory : applications to educational measurement, *Journal of educational measurement*, vol. 13, n° 2.
- COLMEZ (F.). — Société des nombres (1978, article I.R.E.M. de Paris).
- DUSSAULT (G.), LECLERC (M.), BRUNELLE (J.), TURCOTTE (C.). — 1973, *L'analyse de l'enseignement*, Presses de l'Université du Québec.
- FAUCON (E.), RAYMOND (P.), VINCENTI (M.). — L'observation à l'école Jules-Michelet (1976, 30 p. *Cahier 17, I.R.E.M. de Bordeaux*).
- FOUCAULT (M.). — 1973, *Naissance de la clinique*, P.U.F.
- KETELE (M. de). — 1976, *Processus éducatif, objet de l'observation psycho-pédagogique*, Doctorat P.S.M. 321, Université de Louvain.
- LANDSHEERE (G. de). — 1970, *Introduction à la recherche*, Armand Colin.
- LEFEVRE (L.). — *Méthode d'observation psycho-pédagogique*, E.S.F.
- METZ (C.). — 1971, *Langage et cinéma*, Larousse.
- POWER (C.). — 1977, A critical review of science class room, interaction studies, *Studies In Science Education*.
- REGNIER (A.). — 1974, *La crise du langage scientifique*, Anthropos.
- ROUANET (H.). — *L'analyse des comparaisons systématiques dans un plan à un facteur aléatoire*, introduction au programme VAR 3.
- SINCLAIR (J.) et COULTHARD. — 1975, *Towards an analysis of discourse*, The English used by teachers and pupils, Oxford University Press.
- THOM (R.). — 1972, *Stabilité culturelle et morphogénèse*, Reading Massachusetts.
- VINRICH (G.). — Dépendances didactiques, mémoire D.E.A. de didactique des mathématiques, nov. 1976.
- VERGNAUD (G.). — Essai de classification des situations d'apprentissage, *Bulletin du C.E.R.P.*, 1964, XIII, n° 3, pp. 115-155.

## RECHERCHE D'UNE METHODOLOGIE

« Recherches sur les processus et les conditions de travail de l'élève (enfant ou adulte) ».

Il se propose d'étudier les collégiens devant les sciences physiques, leur comportement spontané et induit en situation scolaire et extrascolaire et d'établir une comparaison avec celui des adultes en formation.

Les mots clefs demandés par la D.G.R.S.T. forment le sigle I.P.E.C.A. : « Initiation - Physique - Elèves - Collégiens - Adultes ».

Le programme d'ensemble porte sur les quatre années de scolarité des collèges et sur deux années de formation continue préparant à l'Examen Spécial d'Entrée à l'Université. Une de ses particularités est d'utiliser comme champ d'expérience les établissements d'enseignement (collèges, Université) mais aussi le milieu familial en prenant appui sur les associations de parents d'élèves.

Il s'agit d'observer et d'enregistrer au collège, pendant les séances de travaux pratiques de physique, les élèves de 6<sup>e</sup>, puis, d'année en année, de 5<sup>e</sup>, de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>, et, dans le milieu extra-scolaire, de proposer des jeux permettant de détecter le report des acquis scolaires sur les activités créatrices des enfants, gratuites ou utilitaires, individuelles ou collectives, enfin de transférer chez les adultes la méthode d'investigation appliquée aux enfants.

\*\*

Le projet IPECA répond à un appel d'offre de la délégation générale à la Recherche scientifique et technique relatif à une action complémentaire coordonnée

L'équipe est actuellement composée de six personnes à temps partiel de compétences complémentaires :

	jc.B	mj.D	c.H	a.K	h.O	g.P
Sciences de l'éducation .....		×	×			×
Recherche en physique .....	×			×		
Expérience E.S.E. ....		×	×	×		×
Association Parents d'élèves .....	×			×	×	×
Formation continue d'adultes .....		×	×	×	×	

Pour l'année scolaire 1976-1977, nous avons reçu mission de la D.G.R.S.T. d'expérimenter les outils de la recherche projetée et d'en préciser le mode d'emploi.

### outil 1

Nous enregistrons à l'aide de microphones émetteurs la conversation des élèves en situation d'activité expérimentale. Nous disposons, après chaque séance de tra-

voux pratiques, d'une fiche d'observation établie par un observateur assistant à la séance et de deux enregistrements sur cassette. (Présentation du matériel : annexe 1.)

### outil 2

Nous proposons aux enfants les « jeux du pécari » qu'ils emportent à la maison. Nous devons tenir compte des contraintes suivantes :

Proposer un jeu pour la maison et non un devoir scolaire à la maison.

Centrer ce jeu sur une manipulation significative.

Disposer de documents utilisables en fin d'opération.

Respecter des limitations de prix et d'encombrement.

Les résultats des jeux nous sont remis par les enfants et leurs commentaires sont enregistrés.

### mode d'emploi

La mission définie par la D.G.R.S.T. est claire : les observations et les enregistrements doivent être analysés et pas seulement recueillis. Plus précisément il faut définir un mode d'analyse en évitant trois écueils :

Substituer définitivement aux données primitives les données dérivées.

Appauvrir l'information initiale sans pour autant la structurer.

Présupposer, dans les modalités choisies, les résultats à découvrir.

Nous examinons ci-dessous les problèmes posés par l'utilisation des deux « outils » sur lesquels nous avons concentré notre effort cette année.

\* \*

### outil 1

Les programmes de physique sont pré-expérimentés en 6<sup>e</sup> sous la responsabilité de l'Inspection Générale dans le C.E.S. « Fernand-Léger » à Saint-Martin-d'Hères, près de Grenoble.

Dans une classe de composition sociale urbaine moyenne, l'observateur assiste à deux séances hebdomadaires d'une heure où se succèdent les deux demi-sections. (Annexe 2.)

A chaque séance, deux groupes (en général binômes) d'enfants sont enregistrés (micro bleu et micro vert), les porteurs de micro changeant d'une semaine à l'autre.

Nous disposons donc chaque semaine de deux fiches d'observation et de quatre cassettes enregistrées de 50 minutes. Une cassette (donnée primaire) fait l'objet d'une note d'écoute (donnée secondaire) dont la partie supérieure est reproduite ci-contre.

Une première écoute permet de noter ce qui a été dit en style télégraphique et d'inscrire dans la colonne temps les tops enregistrés de minute en minute sur la bande magnétique. Une deuxième écoute permet de caractériser l'expression orale des élèves ou du maître. Les lettres QRAOF et QRD! résument les situations suivantes :

### Elève

Q : appel au maître (M'sieur !...)

R : expression orale spontanée et relationnelle directe

A : expression orale d'activité (présente, passée, future)

O : expression orale d'observation (présente, passée)

F : expression orale formalisée (hypothèse, analyse, synthèse, interprétation, généralisation).

### Maître

Q : questionnement en direction des élèves, collectif ou individuel

R : expression relationnelle (affective ou banale)

D : directives ou activités du maître (faire-faire ou faire)

I : informations (commentaires, exposés descriptifs ou interprétatifs).

La comparaison des grilles d'écoute de la même cassette par plusieurs auditeurs prouve que ce codage est assez univoque.

Ce type de donnée secondaire évite-t-il les pièges signalés plus haut ?

L'information initiale reste accessible et la note d'écoute permet de retrouver rapidement sur une bande un passage intéressant.

La structuration introduite par le codage permet déjà de définir une typologie grossière des activités expérimentales de la classe par le temps de parole du maître et des élèves et la durée des silences ; au-delà, des progressions significatives se dessinent dans certains enregistrements lorsque, par exemple, les croix « élève » se décalent de Q vers F pendant le déroulement de la séance ; d'autres exploitations sont possibles.

A cette étape de notre travail, les présupposés implicites nous semblent moins à craindre que l'empirisme.

Dans une étape ultérieure, il sera sans doute profitable d'extraire et de classer certains passages significatifs des bandes magnétiques selon des critères et en fonction d'objectifs à définir.

### outil 2

Un premier jeu Pecari a été expérimenté sur les enfants de deux classes. Un second est en préparation.

Le jeu « des 5 masses » est fourni aux enfants dans une boîte qui contient le matériel nécessaire à la fabrication et à la comparaison de cinq objets de même

masse. La règle du jeu est complétée par des informations sous enveloppe que les enfants ouvrent en cas de besoin. (Les documents décrivant le contenu de la boîte et les consignes données aux enfants peuvent être envoyés sur demande.)

Les quatre contraintes énumérées plus haut semblent correctement respectées.

La réussite du jeu peut être appréciée en faisant intervenir l'égalité des masses des cinq objets, leur diversité, le nombre d'enveloppes ouvertes, la nature du compte rendu. L'enregistrement du commentaire des enfants fournit un complément qualitatif.

Destiné, au départ, à évaluer l'aptitude des enfants d'une classe à investir dans un jeu les acquis scolaires (et non scolaires) le jeu des 5 masses a, en outre, mis en évidence le souci d'une partie des enfants de réaliser avant tout un objet fonctionnel ou figuratif, en contraste avec la priorité donnée, par les autres, à la consigne d'égalité des masses ; il peut également inspirer une pratique pédagogique.

Dans un cas, un groupe de deux enfants a été enregistré pendant toute la durée du jeu (une heure environ) ce qui apporte, naturellement, des informations plus fines.

Les physiciens ne sont pas seuls dans l'équipe à s'inquiéter de la distance entre les phénomènes observés et les lois à découvrir : il est clair qu'un mode d'observation ne définit pas, à lui seul, un fait expérimental ; une procédure de traitement des données ne suffit pas à isoler un paramètre significatif.

Cependant, il semble que nos méthodes d'observation et d'analyse sont cohérentes avec les hypothèses de travail définies a priori dans le programme de recherche (rapport de présentation du programme IPECA à la D.G. R.S.T.). Elles peuvent déjà avoir certaines retombées pédagogiques.

Nous pouvons raisonnablement espérer disposer, en fin d'année, d'une méthodologie précise permettant de répondre en partie à quelques-uns des problèmes posés.

Jean-Claude BRUYERE  
Marie-Josèphe DUBRUQUE  
Colette HUG  
André KAHANE  
Huguette OUVRARD  
Ghislaine PAYAN  
Service Education permanente  
Université scientifique et médicale de Grenoble

#### ANNEXE I

##### Présentation sommaire du matériel d'enregistrement

Il s'agit de recueillir et de pouvoir identifier les propos tenus par les enfants dans la classe, en perturbant le moins possible le déroulement des cours.

Le dispositif électronique a été fourni par la Société TABEY à Lyon. Il est composé :

- de trois micros émetteurs à modulation de fréquence opérant dans trois canaux différents et portés par les enfants comme l'indique la photo n° 1 ;
- d'un ensemble de réception composé (photo n° 2) :
  - d'une antenne extensible ;
  - de trois modules de réception
  - de magnétophones d'enregistrement.

L'appareillage permet la réception des signaux à quelques dizaines de mètres. Les conversations reçues peuvent être soit enregistrées séparément, soit mélangées pour obtenir un enregistrement unique.



Photo n° 1

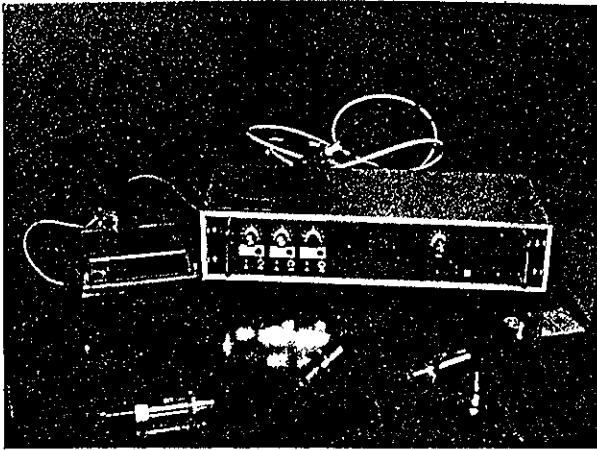


Photo n° 2

L'échelle de temps est obtenue à partir de circuits intégrés à faible consommation. Ces circuits assurent les fonctions suivantes :

- horloge programmable (1 minute, 5 minutes)
- circuit diviseur
- circuit générateur de tonalité et mélangeur.

Le dispositif permet de superposer aux conversations un signal sonore de durée réglable qui apparaît à intervalle régulier.

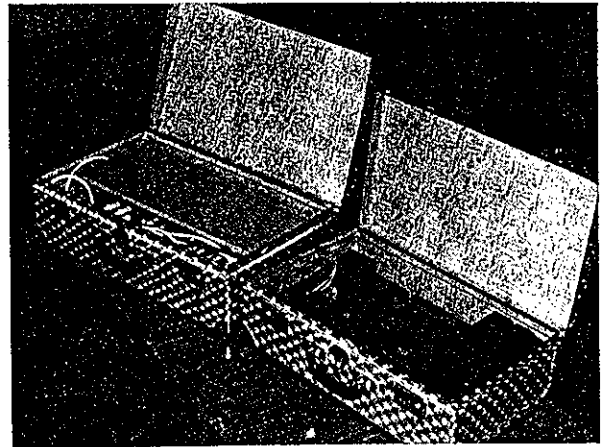


Photo n° 3

L'ensemble du matériel d'enregistrement est contenu dans deux valises (photo n° 3) de poids raisonnable.

La mise en œuvre de l'appareillage demande quelques minutes.

## ANNEXE II

## Composition sociale de la classe

Nombre de fiches	
Nombre de filles .....	13
Nombre de garçons .....	17
Total de la classe .....	30

Profession des pères	
Petit commerçant .....	1
Cadre supérieur .....	1
Cadre moyen .....	9
Employé .....	3
Ouvrier .....	13
Machiniste-receveur .....	1
Retraité .....	1
Total .....	29

Age des enfants	
Nés en 1964 .....	10
Nés en 1965 .....	18
Nés en 1966 .....	2

Profession des mères	
Sans profession .....	19
Cadre supérieur .....	1
Cadre moyen .....	2
Employée .....	5
Personnel de service .....	2
Aide familiale .....	1
Total .....	30

## ANALYSE SOCIOLOGIQUE D'UNE SITUATION DIDACTIQUE A L'AIDE D'UNE NOUVELLE GRILLE D'OBSERVATION

Peu d'études sur l'institution scolaire se sont attachées à observer les situations didactiques quotidiennes de l'école primaire dans une perspective d'élucidation des mécanismes concrets de la sélection scolaire et plus précisément de ses effets discriminants.

Le caractère massif des difficultés et des échecs scolaires en France a été largement démontré par des études statistiques, ainsi que son effet socialement discriminant.

A l'entrée en 6<sup>e</sup>, un élève sur deux est en retard, mais ce pourcentage d'élèves en retard varie d'une catégorie socio-professionnelle à l'autre. Parmi les fils d'ouvriers, deux élèves sur trois (66 %) sont en retard, contre un élève sur cinq (18 %) pour les enfants de cadres supérieurs (enquête dite du « panel d'élèves » lancée par le service de Statistique du ministère, 1974).

Si d'ores et déjà, dès les premières années de scolarisation, les élèves se trouvent différenciés (différenciation scolaire qui recouvre largement la différenciation sociale), il nous faut identifier les éléments (1) de la vie quotidienne de la classe et les caractères de l'activité enseignante qui peuvent utiliser les différences sociales existant entre les élèves pour les séparer, les hiérarchiser.

C'est pourquoi nous avons centré notre étude (2) sur l'analyse des situations didactiques de la classe et leurs variations selon l'origine sociale des élèves.

Plusieurs études récentes (3) montrent en effet, non seulement qu'un même acte pédagogique ne produit pas les mêmes effets sur des élèves d'origine sociale différente, mais qu'il arrive souvent que le maître ait des comportements pédagogiques différents avec des élèves de milieux socio-culturels différents.

Travailler sur les pratiques pédagogiques quotidiennes des enseignants pose immédiatement le problème de la saisie de cette pratique concrète, le problème de son observation.

Observer, c'est déjà structurer sa perception en fonction de critères plus ou moins bien établis (4).

Observer des pratiques dans la situation concrète de la classe, c'est observer en direct, c'est coder sur-le-champ une situation dynamique (situation aussi complexe que stéréotypée d'ailleurs).

Comment peut-on alors constituer la pratique pédagogique comme « objet » d'une observation sociologique.

Il existe déjà de nombreuses grilles d'observation des situations pédagogiques. Mais la plupart d'entre elles (De Landsheere, Flanders, Postic) ont été élaborées dans le cadre des théories béhavioristes de l'apprentissage ; la catégorisation s'y fait en termes de « stimuli-réponses » dans une perspective strictement expérimentaliste où le comportement du professeur est un inducteur déterminant et dominant des apprentissages en classe (5), et les interactions verbales considérées comme représentatives du comportement global.

Ces grilles ont été élaborées (aux U.S.A., en Belgique, puis en France) dans une perspective, soit de contrôle, soit de formation des enseignants (6). L'objectif étant de confronter les actes observés à une norme idéale du fonctionnement de la classe.

(1) « Car il s'agit de les replacer non seulement dans la solidarité d'un fonctionnement, mais dans la cohérence d'une tactique (...) où nul détail n'est indifférent, mais moins par le sens propre qui s'y cache que par la prise qu'y trouve le pouvoir qui veut le saisir. » M. Foucault : Surveiller et punir.

(2) Nous exposons ici les lignes directrices d'un travail de recherche en cours de réalisation. Il est mené en collaboration avec R. Jones et M.C. Couderc, de l'U.E.R. de Linguistique de Paris-V, sous la direction de V. Isambert-Jamati.

(3) Un certain nombre de travaux menés par l'équipe du CRESAS : Pourquoi les échecs scolaires dans les premières années de la scolarité. *Recherches pédagogiques* n° 68, 1974. — *Les enfants baillonnés*. — C. Dannequin. — Cedic, 1977.

(4) J. Chobaux. — Etude de la Relation éducative. Quelques réflexions méthodologiques. — *Revue Française de Sociologie*, 1967.

R. Kohn. — L'observateur observé. — *Education et Développement*, n° 94.

Ce modèle sous-jacent de la pratique pédagogique rend difficile l'utilisation des grilles existantes dans une perspective sociologique, car réduire le rapport de communication pédagogique à un pur et simple rapport de communication, c'est s'interdire de comprendre les conditions sociales de son efficacité.

C'est pourquoi nous avons construit une grille autour de dimensions qui nous semblent essentielles :

1 — La situation pédagogique ne peut être considérée comme neutre et indépendamment du contexte social dans lequel elle s'inscrit.

2 — Les élèves ne peuvent être considérés comme une entité indifférenciée ; ils doivent être identifiés précisément (chaque locuteur doit être repéré et caractérisé socialement) et leurs différents types de comportement repérés.

3 — Les interactions verbales ne peuvent être analysées indépendamment du contenu communiqué et plus précisément des référents culturels et institutionnels.

Ces dimensions ont été transcrites en terme d'indicateurs, nous permettant de coder instantanément, pendant le déroulement de la classe, le comportement de la maîtresse et des élèves ; tout en nous attachant essentiellement à caractériser les interactions verbales, nous avons aussi repéré certains aspects du comportement gestuel des élèves et du maître.

A l'aide de cette grille, nous avons observé, pendant une semaine chacune, sept classes de C.M. 1.

Le dépouillement des grilles d'observation, la transcription des enregistrements et la mise en regard des données se font à l'aide d'un deuxième type de grille qui permet :

— d'une part, d'identifier précisément les élèves et leurs comportements ;

— d'autre part, de synthétiser l'ensemble des données et de restituer leur dynamique en reconstituant une sorte de photographie à plat d'une séance de classe.

#### Quelques données déjà obtenues

La première partie de l'analyse a porté sur la répartition des prises de parole entre les élèves ; nous pouvons faire apparaître dès maintenant que :

1 — Cette répartition des prises de parole est très inégale : dans une même classe, un seul élève peut monopoliser 25 % (voire 33 %) des prises de parole de

l'ensemble de la classe et d'autres pratiquement ne ja mais prendre la parole.

2 — L'ensemble des élèves issus des classes favorisées prennent presque deux fois plus la parole (65 %) que l'ensemble des élèves d'origine populaire (35 % des prises de parole).

3 — Si l'on compare les résultats dans 25 % de chaque classe qui prennent le plus la parole, au dernier quart de chaque classe (ceux qui prennent le moins la parole), on s'aperçoit que :

— le premier quart monopolise entre 81 % et 51 % des prises de parole (soit 71 % en moyenne) ; dans ce premier quart, trois enfants sur quatre sont issus des classes favorisées ;

— alors que, dans le dernier quart, qui représente 2 % de prises de parole, deux enfants sur trois sont issus des classes populaires.

Les proportions se renversent donc complètement.

En analysant de manière plus qualitative le type de prise de parole à l'intérieur d'une même classe et en prenant comme critère « l'initiative de la prise de parole » et l'insistance pour l'obtenir, il apparaît que, sur le total des « demandes insistantes », 90 % sont le fait d'élèves des classes favorisées.

Il semble, au niveau de ce début d'analyse, que les élèves se situent de manière différente dans le processus pédagogique en fonction de leurs origines sociales.

A l'intérieur du jeu de l'égalité formelle entre les élèves face au maître, le discours du maître et son comportement ne produisent-ils pas un arbitraire culturel ou norme, à partir de laquelle chacun se définit à l'intérieur de la classe ? (7) Ce processus semble avoir comme base un mécanisme de valorisation ou dévalorisation (8) du discours et des comportements des élèves, car les élèves se retrouvent comparés, différenciés, hiérarchisés, par rapport à cette norme implicite et sous-jacente au fonctionnement de la classe.

Les dimensions de l'analyse sont présentées ici sous forme de schémas qui décrivent les deux pôles d'une typologie hypothétique des comportements du maître et des réactions des élèves.

Les comportements réels sont, bien entendu, plus complexes, mais ces schémas nous ont aidés à déterminer des indicateurs qui nous permettent d'évaluer et d'analyser les comportements observés.

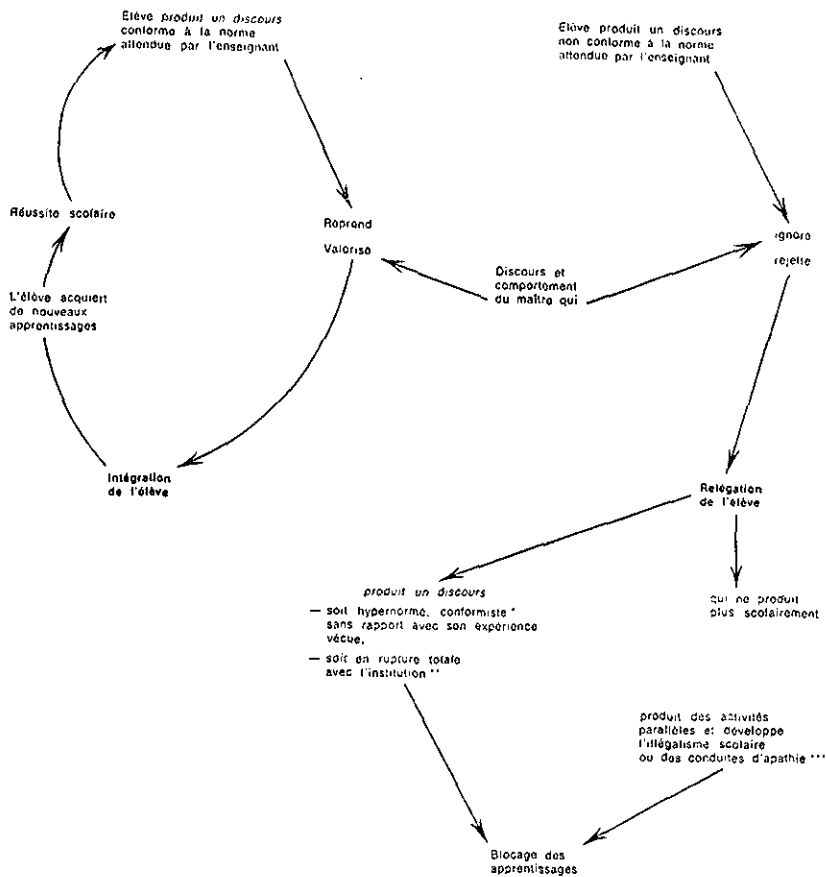
Le fonctionnement hypothétique de la norme peut être représenté de la façon suivante :

(5) De Landsheere. — Comment les maîtres enseignent. Analyse des interactions verbales en classe. Doc. ronéoté.

(6) Postic. — Observation et formation des enseignants. P.U.F., 1977. — Léon (A.). — Les grilles d'observation des situations pédagogiques. — Revue Française de Pédagogie, n° 30, 1975.

(7) Ferry (G.) et coll. — Les communications dans la classe. — Bulletin de Psychologie, oct. 1968.





(\*) Suzanne Mollo, à partir de rédactions d'élèves décrivant une journée à l'école, démontre fort bien cette stratégie du conformisme :

« Le conformisme apparaît donc comme un ajustement à la situation éducative, une régulation des conduites sociales... Il évite toute remise en cause d'une situation en constant déséquilibre, offrant les garanties d'une bonne communication, puisqu'il

emprunte les apparences, c'est-à-dire le formalisme. - — Les muets parlent aux sourds. — Casterman.

(\*\*) Témoignage des classes de transition : Lettre à une maîtresse d'école. — Les enfants de Barblana. — Mercure de France.

(\*\*\*) Testanière. — Chahut traditionnel et chahut anémique dans l'enseignement du second degré. — Revue Française de Sociologie, 1967.

Les indicateurs de ce fonctionnement pourrait être nombreux. En voici, à titre d'exemple, une série que nous avons utilisés dans notre grille.

**Interventions à l'égard des élèves Intégrés**  
(bourgeoisie, petite bourgeoisie)

Les interpelle.  
Leur répond d'un ton intéressé.  
Appréciations verbales valorisantes.  
Leur loue de parler et d'écrire sur des sujets « intéressants ».  
Prend, exploite les exemples, les textes qu'ils proposent.

**Interventions à l'égard des élèves relégués**  
(classe ouvrière, petits paysans)

Les maintient hors circuit.  
Leur répond d'un ton excédé.  
Appréciations verbales dévalorisantes.  
Ne leur donne pas la parole lorsqu'ils essaient d'intervenir.  
Critiquent sur la forme lorsqu'ils expriment une idée.  
Leur reproche de parler et d'écrire sur des sujets peu intéressants, banals, pauvres.  
Néglige les exemples, les textes qu'ils proposent.

L'aspect individuel des indications ne signifie pas que nous leur supposons un effet purement individuel, car le maître peut avoir avec certains élèves une relation qui peut jouer sur l'ensemble de la classe.

Dans un tel schéma, ce n'est pas le même jeu qui se jouerait avec l'ensemble de la classe. On peut en effet distinguer deux réseaux de communication :

— Un réseau de communication principale, qui ne concerne qu'une partie de la classe, où des élèves sont *effectivement sujets d'une communication*, car ils participent en étant intéressés, valorisés et ont des choses à dire.

— Un réseau de communication, qui concerne l'autre partie de la classe. Ces élèves sont dans une position

extérieure au réseau de communication principal, dans la mesure où ils ne sont ni intéressés, ni valorisés, ni partie prenante et développent donc des conduites d'illégalisme scolaire ou d'apathie.

Ces deux réseaux peuvent même se traduire spatialement :

— le maître se rapprochant souvent de certains élèves et s'adressent à eux plus fréquemment par le regard ou la parole ;

— les élèves sont situés et s'installent dans la classe dans des zones plus ou moins centrales ou marginales.

Hypothèses de travail qu'il nous reste à confirmer, à approfondir ou à infirmer à l'aide des données recueillies avec la grille sur l'ensemble des observations.

En conclusion, il nous semble nécessaire de souligner l'importance de l'explicitation du cadre d'analyse car toute observation d'une situation didactique se fait en fonction de choix qui privilégient certains aspects de la pratique pédagogique et en négligent d'autres. L'effort d'objectivité consiste alors à élucider et clarifier les présupposés et les choix de l'observateur (9), l'utilisation d'une grille n'étant nullement une garantie en soi. L'explicitation du cadre d'analyse peut permettre d'autre part de resituer les différentes recherches les unes en fonction des autres ; ainsi, si les recherches de type expérimentaliste sur les processus d'enseignement ou d'apprentissage permettent de comprendre certains mécanismes, nous aurions voulu souligner à l'aide des premiers résultats de cette étude que le contexte scolaire et social peut donner un tout autre sens à tel ou tel processus didactique.

Régine SIROTA

E.R.A. 281, C.N.R.S.

U.E.R. de Sciences de l'Education, Paris V.

(9) Blouet (C.), Ferry (G.). — Les implications de l'analyse des interactions dans la classe. — *Bulletin de Psychologie*, 1974.

## OBSERVATION DES SITUATIONS DIDACTIQUES

### I. — POURQUOI DES OBSERVATIONS DE CLASSE

Nous nous situons dans un cadre de recherche au service de l'innovation où l'observation a pour fonction de décrire et d'analyser l'action pédagogique afin de la réguler par rapport à des objectifs (objectifs généraux de formation de l'enfant, objectifs méthodologiques, objectifs conceptuels) que nous avons définis pour la formation scientifique.

Les enseignants qui participent à la recherche définissent un certain nombre d'objectifs prioritaires. Ils organisent leur classe pour essayer d'atteindre ces objectifs. Puis de la pratique de la classe, telle qu'elle est vécue par le maître et observée par des psychologues et des spécialistes de la discipline, et de la confrontation des pratiques différentes, naissent des questions en relation avec ces objectifs de formation et avec les méthodes utilisées.

Ces questions portent sur l'enfant en situation de classe, en interaction avec d'autres — un maître, des élèves — aux prises avec des problèmes d'ordre scien-

tifique. Elles nous amènent à étudier l'évolution de ses représentations, de ses attitudes, de son savoir, non pas en soi mais en relation avec l'action du maître, les situations d'échanges et de manipulation que le maître crée.

### II. — LES CONDITIONS MATERIELLES DE L'OBSERVATION

La plupart des instruments d'observation en situation de classe élaborés par les chercheurs en didactique sont en général élaborés dans le cadre d'une pédagogie dogmatique et sont centrés sur les interventions du maître (parfois sur les interactions verbales entre le maître et les élèves, mais pas sur les interactions verbales entre enfants, ni sur les actions qui les accompagnent), indépendamment du contenu de l'activité et des exigences de la discipline. Or ces grilles ne répondent pas aux besoins qui se sont manifestés dans les classes expérimentales. Nous serons donc amenés à construire nos propres instruments d'observation. Notre démarche est assez pragmatique ; dans un 1<sup>er</sup> temps nous orientons nos observations en fonction de fils directeurs, de questions qui nous permettent de prendre en compte à la fois le maître et les élèves dans leur processus de recherche de solution et l'élaboration de la pensée au fur et à mesure de la progression de l'activité.

Dans la mesure du possible, nous nous efforçons d'observer l'ensemble des séquences de classe portant sur un même travail, afin de disposer du maximum d'éléments en ce qui concerne le déroulement de l'activité et la progression des élèves vers la résolution des problèmes, et donc vers l'acquisition d'attitudes et de savoirs méthodologiques et conceptuels ; nous cherchons à préciser quel est le rôle respectif des manipulations, des échanges entre enfants à l'intérieur de petits groupes et des échanges et confrontations au niveau de la classe, des interventions du maître, dans l'élaboration de la pensée scientifique.

La diversité des séquences observées — séquences de confrontation en grand groupe, lors desquelles se manifestent les représentations et obstacles liés au niveau de développement de la pensée et aux systèmes explicatifs erronés des enfants, séquences de manipulation, qui permettent aux enfants qui s'expriment peu verbalement de manifester leurs compétences, et permettent de cerner comment se fait la confrontation des idées aux faits et le tâtonnement progressif vers une solution cohérente, activités de petits groupes au cours desquelles on peut voir comment les enfants se gèrent en dehors de l'activité organisatrice du maître (sur le plan de la pensée comme de l'action) — nous permettra de recueillir et de constituer un ensemble large d'indi-

cateurs sans ignorer l'une ou l'autre forme par lesquelles se fait l'appropriation de la connaissance par les enfants.

Nous essayons également d'observer plusieurs activités sur le même thème traitées dans des classes parallèles, soit avec le même enseignant (dans le cas des enseignants spécialisés du 1<sup>er</sup> cycle) soit avec des enseignants différents (dans le cas du cycle élémentaire) ou encore le même moment de l'activité scientifique dans plusieurs classes : démarrage d'un travail, mise en commun, structuration. Il s'agit de voir en quoi l'attitude des élèves amène le professeur à modifier sa démarche pédagogique, en quoi l'attitude de l'enseignant modèle la forme et même le fond de l'activité, comment différents types d'interventions du maître ou d'organisation de la classe modifient le comportement des élèves à un moment donné de l'activité scientifique.

Il nous paraît essentiel que l'observation soit faite ou tout au moins analysée par des spécialistes de disci-

plines différentes (psychologue de l'enfant, psychologue social, spécialistes de la discipline) en collaboration avec les enseignants.

Chaque séance qui fait l'objet d'une observation est enregistrée au magnétophone, parfois au magnétoscope, l'ensemble des échanges oraux est retranscrit, et nous notons dans une 2<sup>e</sup> colonne, avec le maximum de précision, parallèlement à la transcription des échanges, les actions des enfants et du maître. Dans une 3<sup>e</sup> colonne, nous notons quelques commentaires, permettant parfois d'éclairer les décisions du maître, pour un 1<sup>er</sup> niveau d'analyse.

A titre d'exemple nous présentons ci-dessous un bref extrait de la transcription d'une séance de travail menée au cours préparatoire, au cours de laquelle les enfants essaient des instruments fabriqués par certains d'entre eux pour répondre à cette question : « Comment savoir si on grandit » (l'intégralité de la transcription a été diffusée lors du colloque).

### Extrait de la transcription d'une séance

Christophe M. : Il faudrait voir comment elles marchent nos idées parce qu'autrement...

M. : Bien, alors Christophe, tu dis : « Il faudrait voir comment elles marchent nos idées. » Alors, qu'est-ce que tu proposes de faire ?

Christophe M. : Eh ben, Christophe, viens avec ta girafe, moi je vais te la tenir... Alors.

M. : Bon, dis bien comment tu veux faire ?

Christophe M. : Alors moi je veux faire, bon la girafe elle est comme ça et on va voir combien Christophe...

Yann : Oui, mais il se met à dos lui.

- Les pieds. (1)
- Quoi les pieds.
- Tu fais combien toi, ben dis donc, plus haut que...

J.-L. : Tu la plies, là tu la plies.

- 120, 120...

Christophe D. : Eh ben mesure-toi, toi. Il faudrait l'attacher à un mur.

M. : Qu'est-ce que tu dis, Christophe ?

- Pour me mesurer chez moi, on l'attache parce que autrement, elle est pas très haute alors.

Christophe propose de mettre à l'épreuve des instruments — élément important d'une démarche expérimentale.

mise à l'épreuve des « idées »

Christophe M. se lève, se place au centre du cercle, prend la girafe et appelle un camarade pour le mesurer.

Proposition et passage à l'acte sont confondus — incapacité pour l'enfant d'exprimer sans faire — la verbalisation se fera progressivement au cours de l'action.

La maîtresse demande de verbaliser.

Christophe M. place Christophe D. dos à la girafe qui ne touche pas le sol et entreprend de le mesurer : plusieurs enfants se lèvent et soit apportent leur aide, soit observent de près.

Un enfant ajuste la girafe pour que la bande de carton soit bien en ligne droite et non gondolée. Un autre lit 120 (mesure très approximative) le 120 correspond à peu près au niveau où le dos du crâne touche encore le carton (les enfants prendront conscience de cette erreur par la suite).

Double découverte :  
— 1<sup>er</sup> temps : les enfants se donnent un départ ;  
— 2<sup>e</sup> temps : ils ajustent.

Impression que pour mesurer la distance entre un point de départ et un point d'arrivée, il faut utiliser un segment droit.

(1) Lorsqu'on n'a pas pu reconnaître les enfants qui parlaient on a simplement mis un tiret.

M. : Et pourquoi faut-il la mettre à un mur ?

Christophe D. : Parce que sinon.

— On sera obligé de la tenir.

— Elle est difficile à tenir.

Christophe D. : Elle est pas très haute, alors faut la mettre un peu haute sur un mur parce que si quelqu'un est pas arrivé en haut alors.

M. : Bon, et bien tu vas aller la placer sur un mur.

— Il faut du scotch.

Stéphanie : Ça touche pas carrément par terre.

— Pourquoi tu l'accroches en haut ?

— Il faut lui faire la courte-échelle.

M. : Bien alors, je vais te mettre le scotch. Tu la places comme ça ta girafe ?

M. : *Bien, alors tu la mets comme ça, bon. Bon alors explique maintenant comment on fait pour se mesurer avec ta girafe.*

Christophe D. : Bon, eh ben on se met comme ça et par exemple, là, ma petite sœur, avant, elle avait été jusqu'ici, alors ma maman elle l'avait marqué.

M. : Bon, qu'est-ce que vous pensez de l'idée de Christophe ? (Léger brouhaha.)

M. : Jean-François, ça te convient ça, ça te convient bien cette façon ?

J.-F. : Oui.

Christophe M. : Bon, on fait une autre idée, j'ai apporté la mienne, mais j'ai oublié de tracer les traits.

### III. — EXPLOITATION DES DONNEES DE L'OBSERVATION

Nous distinguons deux niveaux d'exploitation :

1) Une exploitation en vue d'une utilisation immédiate, pour faciliter ou appuyer les décisions du maître quant à son action pédagogique ultérieure.

2) Une exploitation en vue d'une utilisation différée, les dimensions de l'analyse étant alors approfondies en vue de dégager par confrontation d'observations multiples certains aspects de l'élaboration de la pensée scientifique chez l'enfant et de rechercher le type de pédagogie, d'intervention du maître qui peut la favoriser.

Un groupe d'enfants se déplace vers l'armoire et s'active pour placer la girafe. La maîtresse facilite la mise en œuvre, fournit du scotch puis aide l'enfant à le poser, là où il le lui indique. La girafe est collée sur l'armoire à 30 cm du sol. La classe a donc agité en fonction de l'idée de Christophe.

A la 1<sup>re</sup> séance, Christophe avait proposé de se mesurer en faisant un trait sur le mur puis sur un papier ou une baguette pour ne pas écrire sur le mur. Il est probable que maintenant c'est par contagion avec l'idée précédente.

Christophe propose un aménagement pratique que la maîtresse relève car cette proposition est susceptible de faire progresser la classe.

L'enfant avait intuitivement bien réagi à la critique « tu plies » en proposant un support rigide mais il n'y parvient pas.

L'instrument doit être plus grand que l'objet à mesurer.

Stéphanie perçoit un problème, sa proposition n'est pas relevée, elle ne la réitère pas.

Non conceptualisation de la longueur comme une propriété d'un segment limité par deux points fixes dépendant l'un de l'autre.

La maîtresse essaie de semer un doute sans succès, n'insiste pas.

L'explication de Christophe montre que pour lui ce qui est important, c'est le trait pour repérer et pas les « numéros ». C'est sans doute pourquoi il lui importe peu que la girafe soit accrochée au ras du sol.

Sous-jacente, notion de repérage.

La maîtresse essaie sans succès d'amener une controverse sur la façon dont est placée la girafe.

Christophe M. continue à organiser le travail de la classe.

#### 1 — Exploitation en vue d'une utilisation immédiate

Les observations faites par l'observateur extérieur, peuvent après discussion avec le maître, l'aider :

— à faire le point sur les représentations, les obstacles, l'acquis des enfants en général et de certains enfants en particulier (quel enfant a eu telle difficulté, a décroché à tel moment...);

— à noter éventuellement de nouvelles directions possibles de travail dans lesquelles il serait intéressant de suivre les enfants pour mieux cerner leur démarche, l'élaboration d'un concept...

— à aider le maître à objectiver sa pratique pédagogique ;

— à rechercher, en fonction de l'activité de la classe, du comportement des élèves, de la progression de la tâche et des objectifs que s'est fixé le maître comment la suite de l'activité pourra être engagée.

## 2 — Exploitation en vue d'une utilisation différée

Dans ce cas, ce ne sont plus les données de l'observation d'une séquence particulière de classe qui sont prises en compte, mais les données de multiples autres observations. La confrontation des uns et des autres, leur recoupement, leur complémentarité ou au contraire leur contradiction nous permettront de chercher une réponse à deux questions qui nous semblent particulièrement importantes dans le cadre d'une recherche pédagogique au service des maîtres et des élèves :

— d'une part, comment les enfants raisonnent face à un problème scientifique qu'ils se sont posé et qu'ils ont à résoudre en commun dans une situation de classe ;

— d'autre part, quels sont les modes d'interventions du maître sur le plan verbal comme sur le plan de l'action qui sont favorables au déroulement et à la progression de l'activité scientifique des enfants.

## A — COMMENT LES ENFANTS RAISONNENT

*Nous cherchons à cerner cet aspect en portant notre attention sur les difficultés, obstacles que rencontrent les enfants, et sur la façon dont ces difficultés sont surmontées.*

### Ces difficultés sont de divers ordres

Elles peuvent être liées :

Aux représentations initiales des enfants (par exemple on grandit pendant la nuit qui précède le jour de son anniversaire), représentations construites à partir de tout ce qui est véhiculée par les média, l'entourage idéologique et culturel (dans notre culture la mesure de la taille se fait avec des nombres d'où un refus des enfants de se contenter du repérage — qu'ils maîtrisent — alors qu'ils ne maîtrisent pas la mesure), à partir des premières expériences de l'enfant (avant la porte du buffet était plus petite que moi, maintenant je la dépasse).

Au niveau du développement psychologique de l'enfant. Ainsi dans la séance dont un très court extrait est reproduit ci-dessus, on a pu noter en particulier :

— la difficulté à prendre en compte deux ou plusieurs variables à la fois (par exemple, la nécessité du repère au sol et la nécessité de disposer d'un instrument assez grand) ;

— la difficulté des enfants à intégrer à leur système de représentation des faits qui les contredisent, l'imperméabilité à l'expérience ;

— la difficulté à raisonner en dehors de l'objet, sur de l'hypothétique ;

— les obstacles liés à la centration sur soi, à la prégnance affective.

Ces difficultés liées au niveau du développement psychologique de l'enfant recourent presque toujours les difficultés liées à la non maîtrise de la démarche scientifique, c'est pourquoi nous ne dissocierons pas ces deux sortes de blocages.

A l'insuffisance de l'expression par les mots, soit que les enfants ne maîtrisent pas suffisamment la langue pour exprimer leur pensée, soit que ce mode de communication soit effectivement inadapté à la situation. A ce niveau, il s'avère fort intéressant d'étudier l'évolution de la formulation verbale au fur et à mesure de la progression de l'activité, et de voir comment s'intègrent et se complètent différents modes de communication (langue orale, écrite, dessin, schéma, maquette) en fonction des nécessités liées au moment de l'activité.

Au manque d'organisation dans la réalisation du projet sur le plan matériel et pratique (noter les résultats, faire les essais de façon systématique...).

**Comment sont contournées, surmontées ces difficultés**

*Comment sont résolus les problèmes successifs ?* Deux aspects entrent en jeu ici : d'une part la confrontation aux faits, au matériel par le canal de l'observation, du tâtonnement expérimental, de l'expérimentation, d'autre part les interactions dans la classe, notamment les interactions entre enfants qui permettent la confrontation des points de vue, la remise en cause et la progression dans la solution vers une construction collective du savoir. Le premier aspect, confrontation aux faits est souvent valorisé à l'extrême, le second aspect, interactions entre enfants, souvent ignoré, voire même nié alors que leurs rôles sont complémentaires. En fait on peut observer, pendant les activités de résolution de problème, un passage constant de l'une à l'autre forme d'activités : ainsi dans le compte rendu d'observation présenté au colloque, les phases de véritables interactions verbales entre enfants sont relativement limitées les progrès de la pensée semblent davantage liés à la relation, la manipulation ; les critiques décisives portant sur l'un ou l'autre instrument ne sont pas reprises par les autres enfants sur le plan verbal, elles conduisent parfois à d'autres manipulations, mais jamais à une réflexion et une synthèse qui permettraient de les inté-

grer à la démarche et de repartir sur de nouvelles bases bien élaborées. Par contre, à la séance suivante, les critiques qui avaient été émises précédemment sont réexprimées par leurs auteurs et sont alors prises en compte par d'autres enfants, discutées, élargies, complétées, les échanges étant rendus possibles par l'intériorisation des manipulations ou d'observations dans d'autres cas ; c'est donc au cours de cette phase d'échanges verbaux que la synthèse des apports peut se faire et déboucher sur la décision d'entreprendre d'autres manipulations plus systématiques.

Nous nous efforçons donc à partir des documents recueillis de mettre en évidence les mécanismes de fonctionnement et de régulation de l'une ou l'autre phase : quels sont les éléments décisifs qui permettent de passer d'une phase à l'autre, comment le mûrissement progressif se fait au cours de l'action, comment se fait le passage du constat de la manipulation à la verbalisation, comment les éléments acquis dans la manipulation sont insérés dans la discussion collective ?

## B — LES MODES D'INTERVENTION DU MAITRE

L'action du maître dans sa classe est orientée par des objectifs et régulée par ce qu'il peut apprendre des représentations et de la démarche des enfants au cours de chaque séance.

Pour l'instant nous essayons d'analyser ce qui se passe ; à long terme nous cherchons à dégager quelles interventions sont facilitantes et quels types d'interventions semblent bloquantes en fonction du moment de l'activité scientifique et des difficultés rencontrées par les enfants.

### Types d'interventions du maître au cours de la séance analysée :

La maîtresse fait varier les modes d'organisation de la classe : au début de la séance, les tables sont disposées en rond, les objets apportés par les enfants sont posés par terre au milieu du rond. La maîtresse fait alterner des phases où un enfant aidé de quelques autres essaie un instrument, et des phases où on discute des essais qui viennent d'être faits ; elle provoque des travaux individuels ou de petits groupes parallèles à l'activité du grand groupe (elle envoie un enfant parfois aidé d'un ou deux autres, compléter, préparer ou une fois essayer un instrument) ; des phases où elle rassemble l'attention de tous pour une réflexion plus générale (« vous allez vous asseoir et on va réfléchir un petit peu à ce que l'on vient de voir »).

Le rythme de passage d'un instrument à l'autre s'accélère vers la fin de la séance.

**Fait verbaliser l'action en cours :** « Dis bien comment tu veux faire. »

**Fait expliquer, justifier les propositions :** « E. : Elles pourrait enlever ses chaussures. M. Si tu veux. Pourquoi, c'est ennuyeux d'avoir les chaussures ? »

### Introduit la critique :

Fait appel à la critique de tous pour chaque instrument (« qu'est-ce que vous en pensez » « qu'est-ce que tu penses de ce que tu viens de faire » « Jean-François, as-tu une remarque à faire sur ce qui vient de se passer ? »).

*Introduit le doute : en créant une situation où la contradiction apparaît (un enfant avait compté le long de la ficelle sans repère. Elle le fait recompter et il arrive à un autre nombre) ; en montrant qu'elle n'est pas convaincue (E. : « Elle est bien cette idée. M. : « Elle est bien mais... »).*

**Relève les interventions et les actions des élèves qui lui paraissent intéressantes sur le plan de la démarche (voit comment marchent nos idées) et par rapport au problème à résoudre (Pascaline compte les cubes, la maîtresse lui demande ce qu'elle fait ; un peu plus tard Emmanuel suggère de compter, la maîtresse reprend son intervention).**

**Recentre sur le problème :** « Comment tu vas savoir si tu as grandi dans quelque temps ? » « Comment vas-tu faire pour te souvenir de la taille d'aujourd'hui ? »

**Aide à la manipulation :** Sur demande verbale ou gestuelle.

### Comment caractériser les interventions de la maîtresse par rapport à ses objectifs ?

— Objectifs relatifs au problème posé : arriver à une trace de la taille d'aujourd'hui pour pouvoir comparer plus tard ; pour cela acquérir de façon opératoire la mesure ou le repérage.

Ces objectifs se précisent en fonction de l'évolution de la classe. La maîtresse n'introduit pas d'éléments nouveaux. Elle recentre sur le problème, elle fait essayer systématiquement tous les instruments, elle pousse les enfants à tirer des conclusions sur l'efficacité de chacun. Elle privilégie les actions et les interventions des enfants ayant trait aux conditions de repérage ou de mesure (définir une origine identique pour l'objet à mesurer et l'instrument de mesure, l'instrument de mesure doit être rectiligne, etc.) : en les relevant, en les faisant expliciter et justifier. Mais elle ne systématise pas les acquis sur ce plan (qui sont d'ailleurs, lors de cette séance, des acquis pour certains enfants seulement). Elle le fera lors d'une séance ultérieure.

**Fait agir** : en incitant directement : « Essaie de mesurer Sophie » ; en relevant la suggestion d'un enfant : « Il faudrait voir comment elles marchent, nos idées. »

Elle fait agir systématiquement pour mettre à l'épreuve chaque instrument et occasionnellement quand un enfant a des difficultés à s'exprimer.

— **Objectifs relatifs à la formation d'attitudes, de démarches et d'un savoir scientifique.**

La maîtresse se situe dans un modèle pédagogique où la formation d'attitudes, de démarches, et d'un savoir scientifique se réalise par la confrontation des idées de l'enfant aux faits et la confrontation aux autres.

Dans cette séance on la voit constamment provoquer une activité de repérage ou de mesurage des enfants (et de verbalisation à propos de cette activité) et les amener à confronter leurs affirmations aux faits. Elle fait en sorte que ce soit les enfants qui proposent eux-mêmes leurs méthodes de travail, et qui la critiquent et l'améliorent progressivement. Enfin elle suscite une confrontation des actions et des idées entre les enfants du groupe (et elle-même lorsqu'elle introduit un doute) et elle cherche à développer chez eux une ouverture aux critiques des autres.

— **Objectifs relatifs au langage.**

La maîtresse essaie de développer la capacité d'expression verbale, des enfants. Pour cela elle lie étroitement l'action et la verbalisation (« Explique-nous comment ça marche. Montre-nous » « Explique ce que tu es en train de faire »). Lorsqu'un enfant rencontre une difficulté d'expression, elle lui propose le recours à l'action. Elle cherche à lui faire expliciter le plus possible sa pensée dans ses propres termes. Elle s'efforce par ailleurs, lorsqu'elle reprend ce qui a été dit, de garder la formulation de l'enfant.

**RESUME DU DEBAT**

M. Vinh-Bang a exprimé quelques réserves. Ce type d'observation présente selon lui de grosses difficultés

car de nombreux problèmes sont mêlés. Dans l'exemple présenté, on peut relever notamment la notion de causalité, le problème de la mesure, le problème du choix de la technique de mesure, le problème de l'utilisation de la mesure... Il lui semble nécessaire par confrontation aux travaux de Piaget, de découper les problèmes, de bien définir les hypothèses de départ, de façon à maîtriser en quelque sorte les conditions d'observation, afin de ne pas en rester au niveau de la description et de pouvoir passer à l'interprétation.

G. Brousseau trouve l'approche intéressante quoique le projet didactique dans la séquence présentée soit trop vague, à son gré, ce qui, pense-t-il, ne permet pas de dissocier les obstacles dus aux insuffisances du projet didactique et les obstacles dus aux conditions même de l'élaboration de la connaissance chez l'enfant. Il lui semble intéressant de ne pas exclure de tels comptes rendus qui permettent des analyses sur des faits déjà interprétés dans des situations épurées et de les prolonger en construisant des instruments pour étudier comment la maîtresse va prendre en compte les obstacles, erreurs, quel statut vont avoir les déclarations des enfants, quels chemins vont prendre les enfants pour clarifier, surmonter les obstacles.

P. Guidoni est favorable à ce type d'approche. Il pense que — s'il est vrai que les choses sont très difficiles parce que tout est mélangé — ce n'est pas certain que l'on gagne à faire des séparations artificielles. Il est nécessaire de tenir compte de tous les aspects du processus. Se fixer sur un aspect limité risque de nous éloigner de la situation qui nous intéresse d'autant que le cadre théorique déjà existant est souvent trop particulier pour être utilisable dans les situations pédagogiques réelles ; il est préférable d'avoir une théorie moins rigoureuse mais capable de rendre compte de la complexité de la situation.

Anne COULIBALY,  
Claudie DEMAN,  
I.N.R.P., Paris.



## RECHERCHE SUR L'ENSEIGNEMENT DU TRAVAIL EN LABORATOIRE

Ce papier concerne une série de recherches sur l'enseignement du travail en laboratoire dans les universités. Ce travail a été conduit en Grande-Bretagne par une équipe de professeurs de l'Université comme faisant partie du travail d'ensemble du projet H.E.L.P.(P) étant fondé par le Nuffield Foundation. Ce projet est de nature assez rare car il s'agit d'une association de professeurs de physique qui, ayant choisi une série de problèmes éducatifs que chacun d'eux considérait importants, a non seulement prévu les plans de recherches pour étudier ces questions, mais les amenés à bonne fin.

La première phase du travail était l'identification de tels problèmes et ensuite le choix des méthodes les plus appropriées pour les investiguer. L'auteur de ce papier était le coordinateur du projet H.E.L.P.(P) mais dans ce rapport il écrit en tant que membre d'une équipe.

Ce papier décrit brièvement le contenu d'un livre que nous avons écrit à propos de nos travaux (voir bibliographie). A travers toute cette étude nous avons essayé de fournir une discussion critique des problèmes

basée sur les données et des exemples que nous avons recueillis au cours de nombreuses visites dans des laboratoires de physique par les équipes de physiciens. La base de notre livre est l'observation et l'argumentation. Nous avons d'abord observé des étudiants et des professeurs au travail, ensuite nous avons discuté avec eux du but de leur travail. Nous avons mis ensemble nos différentes impressions d'un endroit, et ceci était fait pour chaque laboratoire, et par la suite nous avons essayé de faire des comparaisons entre laboratoires et de relever les différences qui existaient entre eux. Evidemment une telle étude n'est pas du tout comme une investigation scientifique, même si parfois on peut être tenté de voir les problèmes de cette manière, par exemple : une investigation de l'étendue des matériaux à utiliser dans une variété d'applications. Au contraire, nous pensons qu'un tel parallèle avec une investigation scientifique pourrait induire en erreur nos lecteurs et même compromettre notre étude. La compréhension (insight) d'un problème ne vient pas d'une masse de faits, mais de quelques instances particulières lesquelles, malgré parfois leur qualité « accidentelle » peuvent éclairer par des détails significatifs ce qui était auparavant incompréhensible, ou même manquait de force et d'éclat.

A première vue il semblerait simple de décrire un laboratoire : on n'a qu'à dire ce que sont les expériences de laboratoire et ce que les étudiants doivent faire.

Mais ceci ne suffit pas dans le domaine de l'éducation car, comme dans le domaine de la politique, des mots qui semblent seulement décrire un fait sont, en effet, choisis en fonction de leur pouvoir de persuasion : pour pouvoir donner un éclairage favorable ou défavorable à ce qui était dit.

De nouveau cette façon de décrire une situation en éducation est insuffisante parce que d'une certaine manière le sujet est indéterminé, on ne sait pas de quoi on parle, même quand on semble cerner le sujet.

Dans le domaine de la physique les événements peuvent être décrits car il existe une conception théorique convenue qui peut les encadrer. Au début de la découverte de l'électricité, par analogie avec ce qui se passe en éducation en ce moment, les chercheurs parlaient des morceaux d'ambre qui, ayant été frottés par des morceaux de fourrure, avaient acquis le pouvoir d'attirer des morceaux de papier ; les chercheurs n'étaient pas sûrs de ce qu'il fallait mettre dans une description, c'est-à-dire savoir choisir entre l'essentiel et ce qui n'était pas nécessaire. Une telle difficulté existe pour tous les sujets où manque un corps substantiel de théorie. Ces difficultés indiquent le besoin d'être prudent et non pas de désespérer. Cependant nous pouvons essayer de décrire les laboratoires d'une façon intéressante et éclair-

cissante, c'est-à-dire d'en tirer aussi bien des connexions entre données que de nouvelles façons de les voir lesquelles peuvent nous étonner car jusque là elles sont passées inaperçues bien qu'elles s'accordent avec l'expérience commune.

Evidemment la sélection même des données et les différentes façons de voir ces données sont d'une certaine manière inévitablement déformées et on pourrait peut-être même dire malhonnêtes. Mais une telle déformation ne peut pas être évitée. Il n'y a pas de point de vue. Notre seule défense était de travailler ensemble en tant que groupe, essayant de réduire au maximum les effets de préjugés des individus, et également en faisant l'expérience de tester nos interprétations contre l'expérience des autres. Malgré tout, tout ce que nous pouvons offrir est la question suivante, qui nous semblait à tous la plus appropriée :

“ This is what we think, and this is why ; what do you think ? ”

L'étude avait quatre buts fondamentaux. Le premier but était de rendre plus claire la nature de la discussion ; d'une part nous avons suggéré un cadre de termes que l'on pourrait utiliser quand on discutait les problèmes en question et, d'autre part, et bien plus important, nous avons essayé autant que possible de relier la discussion avec la réalité pratique.

Le deuxième but était de découvrir et considérer une variété très étendue de possibilités pour que la discussion à propos de ce qu'il fallait faire soit aussi bien informée que possible. Le troisième but était d'en tirer des conclusions générales ou au moins d'inviter le lecteur à le faire pour lui-même. Personne ne pourrait imaginer que de telles conclusions seraient définitives ou qu'elles ne seraient pas en conflit les unes avec les autres. Comme dans la vie courante, de même en laboratoire, les événements les mieux préparés peuvent avoir des conséquences soit mauvaises, soit inattendues : de la même façon les événements mal conçus peuvent parfois conduire à des résultats accidentels à la fois bons et étonnants. Ceci ne veut pas dire que la situation que nous allons décrire devrait être vue d'une manière uniforme, une sorte de couleur grise ; elle est plutôt très complexe avec des nuances d'ombre et de lumière, avec parfois, aux moments les plus inattendus, des rayons de soleil ou des chutes dans les ténèbres.

Donc notre quatrième but est en quelque sorte de montrer que le troisième but est plus compliqué que l'on pensait, en démontrant que même si l'on peut soutenir certaines conclusions, ces mêmes conclusions ne peuvent pas être appliquées à n'importe quelle situation d'une manière impérative ou sans discrimination.

## QUELQUES EXEMPLES PRIS DE L'ETUDE

Venant de défendre la complexité du travail en laboratoire, il serait absurde d'essayer de donner un sommaire de nos résultats, lequel risque d'induire en erreur par la nature précise d'un résultat. A la place nous allons donner quelques exemples relevés au cours de l'étude.

## EXEMPLES VENANT DE L'OBSERVATION DES ETUDIANTS ET DES PROFESSEURS

Il est bien trop simple d'oublier que ce que l'étudiant ou le professeur fait dans un laboratoire, comme dans n'importe quelle autre situation, est influencé par ce qu'il pense qu'il fait, comment il voit son rôle. Les perceptions des personnes engagées dans un travail sont des données significatives qui aident à comprendre ce qui se passe dans une situation. Dans les laboratoires en Angleterre, les professeurs sont souvent aidés par des étudiants qui travaillent pour leur doctorat, on les appelle des « post-graduate demonstrators ». Que le « demonstrator » travaille bien ou mal est souvent considéré comme une question de chance. D'habitude on croit que le « demonstrator » va apprendre son travail en le faisant ; ce n'est pas qu'une formation n'est ni considérée ni rejetée mais plutôt qu'elle n'entre même pas en ligne de compte. Donc un « post-graduate demonstrator » dira :

“ Demonstrating can't be taught to you, you just have to pick it up. ”

Ces « demonstrators » s'accordent sur leur rôle, en disant que leur contribution particulière est d'être proche de l'étudiant, venant de passer il n'y a pas si longtemps leur « maîtrise » (BSc). Les étudiants ont tendance à voir les « demonstrators » comme étant moins menaçants que les professeurs, mais cette tendance n'est pas très marquée.

Nous avons constaté une « supposition » d'une certaine importance : le « post-graduate demonstrator » connaît bien le laboratoire étant donné qu'il vient d'y passer trois ans en tant qu'étudiant. D'une manière superficielle, la supposition semblerait être basée sur le fait que le « demonstrator » connaît bien les expériences, mais il nous semble que cette supposition laisse de côté un problème plus fondamental : souvent le « demonstrator » ne sait pas pourquoi on fait les expériences, il ne voit pas clairement le but à atteindre à travers l'expérience de laboratoire. Ce problème est rarement clair car on se tient pour dit que le but du travail en laboratoire est habituellement quelque chose que l'on absorbe et non pas quelque chose que l'on explique.

Ce qui nous semblerait être utile aussi bien pour les « post-graduate demonstrators » que pour les professeurs serait plus de discussions à propos des problèmes de laboratoire. De cette manière au moins les faits pertinents pourraient être transmis.

## DES EXEMPLES PRIS DES OBSERVATIONS DIRECTES

Les laboratoires abondent en événements de différents types. Par exemple, nous avons cherché à examiner ce qui se passe au cours d'une expérience en laboratoire durant deux semaines ou plus. De même nous avons aussi regardé de près ce qui se passe au cours d'une expérience de laboratoire très courte où l'étudiant doit apprendre un « skill » ou une technique. Une autre approche était de voir comment les différents types d'instructions écrites pour exécuter une expérience de laboratoire, y compris les textes programmés, agissaient sur ce que les étudiants faisaient au cours de l'expérience. Nous avons également essayé de voir ce que les professeurs faisaient dans le laboratoire — de quelle façon ils aidaient ou ils gênaient les étudiants — et comment ils discutaient avec eux de leur travail et en même temps comment ils parlaient de leur manière de corriger un travail. Nous voulions aussi voir des choses plus subtiles, alors nous avons observé comment les étudiants s'aident les uns les autres, comment ils ont appris ce que l'on attendait d'eux (l'exemple qui va suivre est une bonne illustration de nos dernières observations).

L'étudiant a parfois des difficultés à savoir ce que l'on attend de lui car souvent ces normes ne sont exprimées que d'une façon très générale. Nous avons remarqué que les professeurs avaient beaucoup de mal à répondre à une question particulière : quel est le but du travail en laboratoire ? En parlant aussi bien avec les étudiants qu'avec les professeurs nous avons été frappés par le fait que les étudiants doivent apprendre ce que l'on attend d'eux à travers une série d'indices très variés à propos de toutes sortes de choses. Tout ce qui se passe dans le laboratoire donne des indices : la nature des expériences, le genre d'assistance qu'on donne à l'étudiant ou évite de donner, ce que les autres étudiants disent ; et surtout ce qui est dit quand une expérience de laboratoire, une fois finie, est corrigée. De tous ces messages, parfois généraux parfois précis, clairs ou confus, les étudiants déduisent des conclusions. Certaines de ces conclusions sont très détaillées, très bien comprises ; par exemple,

“ He was obviously looking for the errors. ”

“ Did you learn much from that discussion ? ”

“ I think it taught us that we have to be more particular when we write up, and follow every oddity in the results... ”

“ And that when we use errors, we don't use them straight out of a book but try to apply them to the situation of the experiment. ”

D'autres conclusions étaient plus générales, déduites de la façon dont le laboratoire est structuré dans son ensemble ; par exemple,

“ ... we're free to take it out (of the apparatus) and throw it away and see whether it's better or not... ”

“ How do you know you're free ? ”

“ We just assumed... ”

“ Nobody's going to stop you ! ”

## EXEMPLES PRIS AU COURS DE L'OBSERVATION DE LABORATOIRES TRADITIONNELS

Nous n'avons à aucun moment pendant l'étude supposé qu'une innovation conduirait automatiquement à une amélioration. En effet, pendant des visites à certains laboratoires nous avons pu dégager des patterns de tradition qui étaient intéressants et parfois on pourrait soutenir admirables. Notre livre décrit cinq laboratoires qui ont ce type de pattern. Nous allons donner ici un compte rendu très bref d'un de ces laboratoires (pour les étudiants en deuxième année à Bristol).

Les instructions écrites sont courtes, donnant d'abord le but de chaque expérience en termes généraux. Elles donnent très peu de notes sur les problèmes théoriques, à la place des références sont citées. Les dispositifs expérimentaux sont construits avec modestie aussi bien du point de vue scientifique qu'économique. Les expériences de laboratoire sont souvent planifiées de façon à limiter leur précision, et c'est quelque chose dans le plan lui-même que l'étudiant ne peut pas modifier : donc une tâche importante pour l'étudiant est de réfléchir comment résoudre le problème en tenant compte de cette limite. D'une manière typique les étudiants qui demandent comment il faut faire, reçoivent la réponse : « find out for yourselves » (essayez de découvrir par vous-même). Dans les instructions pour les étudiants à Bristol on peut lire :

“ Good technique may be learned by overcoming the ' inadequacy ' of some piece of apparatus, and our experiments have usually been designed this way, not out of pure malice, but because almost always at the research level some piece of the apparatus is working at its limit (it could hardly be research if it were not) that is, it is ' inadequate ' for the job. ”

## EXEMPLES PRIS AU COURS D'OBSERVATION D'INNOVATIONS

Nous avons recueilli des comptes rendus et des observations de nombreux laboratoires où différents types

d'innovations importantes étaient en cours. Par exemple : l'amélioration des expériences de laboratoire pour qu'elles puissent atteindre des buts précis et l'utilisation des groupes de discussion dans le laboratoire. Quand cela était possible nous avons demandé à ceux qui étaient responsables de nous expliquer leur façon de voir l'innovation ; à côté de ces données nous avons pu mettre nos propres observations de ce qui se passait dans le laboratoire.

Voici par exemple un extrait d'un compte rendu d'un laboratoire de deuxième année à l'Université de Birmingham, écrit par Robert Whitworth qui était l'une des personnes responsables de l'innovation :

« L'essence de notre système d'organisation de l'enseignement dans le laboratoire est de prendre un grand groupe d'étudiants et de le diviser en plus petits groupes. Chaque groupe est envoyé un à la fois, à une série de " unit laboratories " dans une séquence particulière. Un " unit laboratory " est organisé par deux ou trois membres de la faculté dans un endroit précis. Chaque " unit laboratory " s'occupe d'un domaine particulier de la physique et les professeurs choisissent ce qu'ils pensent être la façon la plus appropriée d'aborder la matière en question. Un tel laboratoire dure plusieurs semaines. Un étudiant passe tout le temps destiné au travail en laboratoire dans le même " unit laboratory " jusqu'à ce que le laboratoire ait réalisé le travail prévu.

Ainsi dans notre système chaque professeur a une responsabilité propre à son enseignement dans le travail du laboratoire, qui est bien définie par chaque " unit laboratory ", et aussi une responsabilité personnelle vis-à-vis des étudiants dans le " unit laboratory ". Le rôle d'un professeur dans un " unit laboratory " est comparable au rôle de quelqu'un qui donne une série de cours et qui donne également des séminaires à propos de ses cours : tâche assez stimulante. Mais il nous semble que c'est une situation dans laquelle le professeur peut donner le meilleur de lui-même et être récompensé par les réponses des étudiants. Une telle situation permet au professeur de faire des changements lorsqu'il le sent nécessaire.

Dans chaque " unit laboratory " d'une durée d'à peu près cinq semaines, chaque étudiant peut compter sur une moyenne de trois à quatre heures de contact personnel avec le professeur. Donc le progrès de chaque étudiant peut être suivi d'une manière individuelle. »

Nos propres observations de ces " unit laboratories " ont confirmé ce qui vient d'être dit concernant les patterns de travail choisis par les professeurs et aussi, l'engagement d'une large partie des membres de la faculté mais pas tous.

## EXEMPLES PRIS PARMIS LES OBSERVATIONS CONCERNANT LES PROJETS EN LABORATOIRE

Nous avons fait une étude spéciale de « project work »\*. Cette étude était conduite par Roy Lawrence.

Dans l'ensemble le travail de projet semble bien marcher et avoir une certaine popularité. D'une manière paradoxale il nous semble que ce résultat pourrait cacher certains dangers. Une impression frappante est que l'on réfléchit peu de manière critique, à savoir si oui ou non, un projet a pu atteindre ses propres buts. Il nous semble que à cause du fait que les projets sont à la mode, on les fait et ceci est une bonne chose en soi.

Un autre problème nous semble être la situation où le responsable du projet ressent une certaine obligation de faire en sorte que le projet de l'étudiant réussisse d'une manière ou d'une autre. D'une part cette obligation vient du fait que les responsables se comparent entre eux, d'autre part il est tout à fait naturel que l'on veuille être certain que l'étudiant arrive à une conclusion satisfaisante.

Il nous semble que dans la pratique ce qui se passe est que le but du projet change continuellement afin de pouvoir assurer que l'étudiant puisse arriver à un succès, quel qu'il soit. De cette façon chaque projet est un succès, et la différence entre un bon projet et un moins bon est seulement la mesure du succès. Tout ceci n'est peut-être pas important, mais dans ce cas-là il est difficile de soutenir le raisonnement : le travail de projet est très semblable au travail de recherche.

## EXEMPLES PRIS DE LA LITTÉRATURE

Beaucoup de rapports qui apparaissent dans des journaux scientifiques décrivent des essais pour rendre une expérience de laboratoire « plus ouverte », mais de cette manière ne font que décrire toute une variété de changements. Nous avons trouvé utile d'introduire le terme « improvisation » pour décrire ces expériences. La signification de ce terme, appliqué au travail en laboratoire est que l'étudiant peut choisir — dans des domaines dans lesquels il peut « improviser » — mais son choix a des limites bien définies. L'utilisation d'un tel terme nous aide à éviter une polarisation entre les laboratoires « traditionnels » et les « nouveaux », car « l'improvisation » se retrouve dans les deux.

\* Chez nous un « project » est équivalent à un mémoire de diplôme.

## EXEMPLES PRIS DES ARGUMENTATIONS CONCERNANT LA REALISATION DES BUTS

Le dernier chapitre du livre est une discussion pour arriver à cerner les buts de l'enseignement du travail en laboratoire, et comment les atteindre. En analysant de près les buts, on pourrait relever des exemples de difficultés qui se produisent soit selon le cas quand les buts sont formulés de manière très générale ou au contraire de manière trop précise. Même si les professeurs ne s'accordent pas entre eux avec ce qui vient d'être dit, ils sont d'accord cependant sur les difficultés de relier les buts à « l'action » c'est-à-dire avec ce qui se passe en laboratoire.

Un autre exemple est celui relatif aux rôles des professeurs et des étudiants. On pourrait dire que la contribution principale du professeur est d'être lui-même. Un laboratoire a plus de chance de succès s'il est organisé de telle manière qu'il exige du professeur le meilleur de lui-même.

Dans ce sens, les patterns de tradition sont forts. Les exigences pratiques et immédiates du travail en laboratoire sont concrètes et intelligibles : aider à faire faire des expériences. L'enseignement du travail en laboratoire ne se trouve pas en conflit avec d'autres exigences d'un membre de la faculté, car une personne peut très bien en remplacer une autre. Mais une conséquence de tout ce que l'on vient de dire est que le travail devient vite monotone.

Le pattern de tradition compte sur le fait que ces buts seront compris sans avoir été exprimés. Cependant s'il n'y a pas de but commun convenu les responsables du travail risquent de détruire la cohérence du laboratoire, chacun suivant son propre intérêt. Malgré tout ce qui vient d'être dit, le laboratoire traditionnel permet, et même encourage, une variété d'approches différentes.

D'autres patterns de laboratoires et d'innovations sont souvent plus exigeants pour le professeur. Ceux-ci fonctionnent mieux quand les demandes supplémentaires sont organisées de façon à correspondre aux qualités des professeurs concernés. De telles demandes produisent souvent plus de récompenses et aussi un meilleur enseignement, mais parfois dans ces mêmes situations, à cause de la nouveauté, on retrouve un manque de flexibilité.

La laboratoire traditionnel est souvent vu comme trop anonyme, n'appartenant à personne, et n'étant pas la responsabilité de quelqu'un en particulier. Par contre dans les laboratoires où une innovation est en cours, les responsables sont des propriétaires orgueilleux.

En ce qui concerne les étudiants, il nous semblait, en ayant vu beaucoup dans différents laboratoires, qu'ils

avaient des qualités et se comportaient comme les responsables du laboratoire s'y attendaient. Ils avaient tendance à insister sur leur indépendance dans les endroits où le droit d'être indépendant était tenu pour dit, et où des conditions matérielles le permettaient.

Dans les endroits où l'aide est organisée et donnée de façon bien pensée et prudente ils ont tendance à exprimer leur appréciation. De même les étudiants travaillaient avec persévérance quand il était convenu qu'on leur donnerait le temps nécessaire pour terminer. Ils valorisaient également l'idée de « trouver pour eux-mêmes » quand ils étaient invités à poursuivre leurs idées. Donc en un mot, les étudiants comme n'importe quelle autre personne, font ou ne font pas ce que l'on attend d'eux.

En face de telles complexités, quelles conclusions peut-on tirer à l'égard de ce qui détermine les événements dans un laboratoire. Nous pensons pouvoir avancer quelques conclusions. Nous allons donner des exemples de ce que nous voudrions soutenir :

Ce qui se passe en laboratoire ne correspond pas toujours à ce qui devrait se passer.

Il y a toutes sortes de phénomènes critiques dans un laboratoire : parfois une variation relativement faible peut déterminer des aspects importants de ce qui se passe, ou comment les gens voient les événements.

Malgré ce dernier point, les laboratoires sont très stables dans beaucoup de sens, les changements faisant beaucoup moins de différences que l'on supposait ou que l'on voulait.

Ce sont les responsables qui ont le plus d'influence : qui sont-ils ? quel genre de personnes sont-ils et comment se comportent-ils ? ce point est peut-être plus important que dans n'importe quel type d'organisation.

On doit mettre en question la mythologie du laboratoire : c'est-à-dire un laboratoire est un endroit où l'on apprend l'art d'expérimenter par un contact direct avec ceux qui savent faire de la recherche. Il y a beaucoup moins de contacts que l'on ne l'imagine, et souvent ce n'est pas de ce genre. Mais une telle chose peut se passer et, à ce moment-là, il faut la reconnaître.

L'étudiant est souvent dans une situation à double sens : il doit à la fois essayer de faire de la physique et aussi satisfaire le professeur. Ceci est inévitable et peut-être pas aussi regrettable que l'on pense, mais il est important de se rappeler ce problème quand on veut comprendre ce qui se passe en laboratoire.

Presque tous les patterns de laboratoire peuvent produire de bons ou mauvais résultats et parfois les deux à la fois. Parmi les patterns observés, l'expérience de laboratoire traditionnelle a une robustesse qui mérite

le respect. Mais des innovations peuvent introduire une raison d'être dans le travail et ceci fait une différence énorme.

Les étudiants sont assez différents les uns des autres pour qu'il soit raisonnable d'essayer de faire correspondre un travail à un besoin individuel.

Les responsables de laboratoires sont également différents les uns des autres pour qu'il soit peu vraisemblable qu'un seul pattern de travail convienne à tous. Ils travaillent mieux quand chacun fait ce qu'il sait le mieux faire.

Les vraies propositions à propos de n'importe quel laboratoire semblent être tellement évidentes, une fois dites. Mais pour celui qui travaille dans le laboratoire ce n'est pas toujours facile de voir pourquoi elles sont vraies ni quelles seront les conséquences de leur mise en pratique.

Essayer d'atteindre des buts est bien plus difficile que l'on pense. Dans la littérature trop peu est dit à propos de la façon dont les buts sont négociés. Dans notre livre nous avons essayé de décrire un peu mieux ce processus. Un des messages importants est d'être attentif aux incompatibilités cachées et aux conflits entre le but et l'action. Les étudiants ont le don de comprendre « la vraie signification » d'un événement malgré ce qui se passe. Mais il faut aussi dire que tout événement est astreint à des contraintes qu'il faut admettre et il est nécessaire de travailler de façon à en tenir compte. Ceci est la seule façon d'atteindre un but valable « worthwhile » dans un monde réel.

Jon OGBORN,  
Chelsea College for Science Education,  
University of London.

#### Références

- Ogborn (J.) (Ed.). — (1977) *Practical work in undergraduate science*, Heinemann Educational Books, London.
- Bridge (W.), Elton (L.R.B.) (Eds). — (1977) *Individual study in undergraduate science*, Heinemann Educational Books London.

- Ogborn (J.) (Ed.). — (1977) *Small group teaching in undergraduate science*, Heinemann Educational Books, London.
- Bliss (J.), Ogborn (J.). — (1977) *Students' reactions to undergraduate science*, Heinemann Educational Books.

## DISCUSSION GENERALE

### OBSERVATIONS

**J.-F. Richard.** — Le but de l'observation est d'esayer de dégager des faits pertinents. Dans l'espoir de ne pas laisser échapper des faits importants, l'observateur prend des options :

- d'une part sur l'unité à observer (enseignant, élèves ou classe) ;
- d'autre part sur le moment du codage des données (ce qui implique le choix des faits à observer considérés a priori comme importants).

**G. Brousseau.** — La distinction entre observation large (choix tardif) et utilisation de grilles (choix précoce) est moins importante que le rapport des efforts consa-

---

**N.B.** — Le regroupement des principales interventions sous des titres un peu arbitraires masque le caractère dialectique de la discussion.

crés aux unes et aux autres. Un système d'observation centré sur un aspect limité n'a que trop tendance à fonctionner tout seul. Si on veut se ménager la possibilité de remettre en cause son travail dans un laps de temps pas trop long, il faut pouvoir tenir compte de beaucoup d'autres informations.

**M. Vermersch.** — Ce qu'on cherche à connaître, le modèle qu'a l'élève de ce qu'on veut lui enseigner, n'est pas directement observable mais seulement inférable.

**M. Vinh Bang.** — Par exemple : on observe le comportement des enfants devant des récipients mais pas la conservation. Cependant certaines techniques permettent de rendre observable ce qui ne l'était pas a priori, comme le passage d'un film au ralenti ou son découpage.

**M. Vermersch.** — Le choix des moyens d'observation influe considérablement sur les traces recueillies (les observables). Selon qu'on demande au sujet de parler, d'agir, de dessiner, de choisir dans un lot de réponses, etc. on fait appel à des niveaux de compétence différents ; du point de vue de l'information recueillie la réponse écrite est un filtre passe-bas.

Les exposés de Kahane et de Sirota sont l'occasion de préciser l'idée d'observation à travers un créneau.

**M. Gaulin.** — Est-il suffisant d'étudier les interactions de type verbal ?

**J.-P. Kahane.** — Non ce n'est pas suffisant. Cependant pour un physicien ayant vécu la situation en classe, l'écoute des bandes permet de reconstituer la classe, de comparer l'utilisation du temps dans les groupes différents d'élèves et d'étudier leur langage (en particulier de noter les phrases révélatrices par la finesse et le détail de leur formulation).

Dans toutes les sciences on a commencé par des observations filtrées ; on peut discuter sur le choix du créneau mais pas sur la possibilité de l'éviter. En groupant des personnes ayant des compétences diverses, tant par leur formation disciplinaire que par leurs préoccupations professionnelles ou sociales, il est plus facile d'ajuster le créneau.

**G. Vergnaud.** — Il faut une problématique : étudier la question de l'observation en relation avec un contenu particulier, c'est-à-dire un champ de connaissances pas trop étroit considéré sous tous ses aspects, et cela quels que soient les faits observés (procédures différentes utilisées par les enfants, interventions possibles du maître et sa façon d'organiser une activité, représentations des enfants, interactions entre les enfants, etc.).

## FAITS, OBJETS ET CHOIX DIDACTIQUES

**M. Vinh Bang.** — Un fait didactique est ce qui se passe quand plusieurs personnes sont en interaction dans une situation provoquée par l'enseignant ; cette situation dépend du cadre théorique, de la manière dont l'enseignant conçoit son enseignement et dont il communique ses connaissances. (Il y a tout un ensemble de théories sous-jacentes.) Un fait didactique doit être décelable ; on doit pouvoir l'observer, le décrire, le consigner, le reproduire.

**G. Brousseau.** — Le fait didactique est la déformation des rapports qu'aurait eu le sujet avec son milieu en l'absence d'enseignement ; constituer un fait didactique revient à déterminer ce qui s'est produit et qui ne se serait pas produit en l'absence d'enseignement. Cela n'est pas objectivable, mais on rencontre les mêmes difficultés dans les autres domaines.

**M. Vinh Bang.** — Une situation très riche (telle que celle exposée par Deman et Coulibaly) met en évidence les difficultés méthodologiques, car toutes les variables sont mélangées. Il faut définir l'ensembles des objectifs de l'observation ; par exemple : l'étude des difficultés rencontrées par les enfants et de la manière dont ils les contournent. Si on ne fait pas des hypothèses au départ on a peur de perdre de l'information.

**P. Guidoni.** — Dans une situation complexe, on ne gagne rien à faire des séparations artificielles en ne s'intéressant qu'au petit peu qu'on sait interpréter.

**G. Brousseau.** — On a tendance à considérer comme indépendants les facteurs dont on se sert pour approcher un problème. Mais si par exemple on a fait une analyse factorielle des correspondances sur les résultats à un test de N élèves il faut partir de cette analyse pour en faire vingt autres sur le même sujet afin de comprendre la signification des groupements obtenus. Il faut de plus débattre avec les maîtres des facteurs analysés pour recenser les types de critères qu'ils ont à l'esprit.

On a besoin d'un corpus permettant de mettre en œuvre divers types d'analyses sur des faits déjà interprétés (par exemple exposé Deman Coulibaly), de façon à y dépister des objets didactiques tels que types d'échanges entre les élèves, types de dialectiques, difficultés, obstacles. On pourrait par exemple ici analyser la manière dont la maîtresse prend en compte les obstacles, les erreurs ou les échecs et quel statut elle donne aux déclarations des enfants.

L'exposé de Sirota montre l'importance du choix didactique à faire dans la manière d'installer les enfants dans leur rapport avec la réalité. Par exemple en mathé-

matiques le discours peut être purement descriptif, ce qui fait que la parole, la prise de parole, le discours principal, etc. sont des éléments fondamentaux dans la classe ; mais si au contraire l'accent est mis sur le désir des élèves de prouver ce qu'ils disent et de se créer par ce qu'ils sont en train de dire, la prise de parole échappe en grande partie à la volonté du maître.

**G. Vergnaud.** — Une expérience didactique comme toute autre expérience doit se remettre constamment en chantier, sur une longue période. C'est la seule façon d'aborder le problème des faits pertinents et des codages intéressants. A notre niveau de développement encore faible, on ne peut pas se montrer pressé ; la problématique s'enrichit peu à peu.

## RAPPORTS ENTRE LA PSYCHOLOGIE ET LA DIDACTIQUE : ROLE DES THEORIES

**E. Fischbein.** — La psychologie ne fournit pas à l'heure actuelle d'instruments directement utilisables dans la recherche didactique. Il faut repenser les concepts psychologiques pour les intégrer dans des théories didactiques.

**G. Vergnaud.** — La psychologie n'est pas en mesure de fournir des solutions aux problèmes didactiques.

**P. Guidoni.** — La théorie de Piaget est trop particulière ; il faudrait essayer de promouvoir des théories moins rigoureuses et plus générales. Il faudrait des schémas généraux et des catégories d'observations concernant les différentes composantes de la dynamique de la classe que sont les interactions : interactions entre les enfants, la plus importante, interactions avec le milieu, le langage, etc.

**M. N.** — Dans certains domaines de la connaissance la psychologie a montré qu'on peut établir une genèse (conservation par exemple). Le savoir-faire en action précède de loin la capacité d'objectiver au moyen du langage. On peut en déduire un principe général d'apprentissage : demander des savoir-faire avant la conceptualisation de ces savoir-faire.

**J. Jaccoud.** — J'attends de la psychologie qu'elle me donne une idée des possibles avec un enfant donné dans un domaine donné de la connaissance. Quelle représentation peut-il bâtir et en s'appuyant sur quelles hypothèses ?

**E. Fischbein.** — Nous profitons mal des théories psychologiques ; cela est dû en partie à une dichotomie gênante des observations :



- d'une part les observations de faits plus ou moins bruts essayant de préserver le sens des choses ;
- d'autre part les recherches de type américain qui détaillent les variables et ne débouchent sur rien de significatif pour l'école.

Il faut trouver une voie de synthèse en cherchant à la fois des réponses théoriques et pratiques. Par exemple : enfant apprenant des notions de statistiques, avant l'âge des opérations formelles, dans un laboratoire où il est possible de suivre son développement et de contrôler les variables.

**M. Vinh Bang.** — Il faut développer une psychologie de l'élève (enfant en situation d'apprentissage dans un environnement défini), car les définitions de l'apprentissage données en psychologie ne s'appliquent pas en didactique. Les expériences sont construites dans le cadre de pensée de l'expérimentateur qui s'oppose à l'approche propre de l'enfant ; pour superposer les deux et maîtriser l'information on a besoin d'une théorie de l'élève.

On peut dire que la philosophie de la didactique relève de l'épistémologie qui est derrière. Il faut distinguer entre la genèse terminale d'une notion et les étapes constitutives ; la pédagogie doit intervenir au niveau des étapes constitutives et non attendre la genèse finale. Dans les analyses de Piaget la recherche de la cause des échecs est importante pour la compréhension du processus et les applications pédagogiques.

**M. Vermersch.** — Il ne faut pas en rester aux résultats structuraux de l'école de Genèse (certes intéressants pour déterminer les grandes lignes des curriculums) mais y puiser également les éléments de base d'une théorie du fonctionnement cognitif. Par exemple : toute intelligence suppose la construction d'invariants et un processus de régulation faisant intervenir la réversibilité ; elle passe par des constructions successives qui persistent en partie (tels les instruments de l'intelligence sensorio-motrice). Une analyse décrivant le fonctionnement de l'intelligence permet d'organiser le recueil et la lecture des observables pour comprendre le type de compétence formée chez l'élève ou la nature et la cause des erreurs.

**P. Guidoni.** — La définition de l'intelligence est en même temps l'objectif de la didactique : compréhension et réaction à une situation très compliquée. On demande aux enfants d'avoir de bons « skills » (terme anglais signifiant à la fois langage, connaissances, expérience, capacité d'intervention, etc.). Se limiter au langage ou à une habileté opératoire particulière revient à fausser complètement le processus, d'autant plus que les connexions entre les différentes composantes varient d'un enfant à l'autre et d'une situation à l'autre.

## LES DIDACTICIENS ET LES ENSEIGNANTS

**M. Vinh Bang.** — Le but d'une recherche didactique est-elle la création de théories didactiques ou l'établissement de conseils aux enseignements en vue de modifier la pratique existante ?

**P. Guidoni.** — Un processus de recherche didactique — c'est-à-dire un protocole expérimental construit à partir d'hypothèses dans le cadre d'une théorie peut-il déboucher sur la formation des maîtres ? Il faudrait apprendre aux maîtres à observer pour qu'ils puissent accorder les théories didactiques à la réalité ; par exemple que les maîtres sachent déterminer l'état initial des élèves sur le sujet abordé, observer la dynamique de la transformation créée par leur intervention puis déterminer l'état final des élèves et le comparer à l'état initial. Cela est plus difficile que de former une équipe de recherche pour élaborer et vérifier des théories didactiques.

**J. Ogborn.** — Par exemple : de l'étude d'un protocole regroupant les déclarations des étudiants sur leur attitude pendant un cours, on peut tirer des inférences permettant d'aider le professeur dans son rôle et lui procurer des moyens de contrôler ce qu'il est en train de faire.

**G. Vergnaud.** — Les ambitions de la didactique doivent être raisonnables ; partir des deux applications principales : les curriculums et la formation des maîtres. Il est illusoire d'espérer faire une théorie du déroulement d'une leçon car il y a trop de variables. On peut espérer décrire des suites possibles d'états de connaissances partielles des élèves en fonction de certains critères et de leur capacité opératoire en situation.

On ne peut pas être didacticien sans formation en psychologie sur la façon de prendre de l'information, la façon de comprendre la conduite des enfants, la façon d'expérimenter systématiquement, la façon de mettre en rapport les différents aspects de la conduite des enfants.

**G. Delacote.** — La spécificité de la recherche en didactique est l'expertise des nouveaux curriculums et la validation des objectifs pédagogiques qui jusqu'à présent étaient faites par les enseignements eux-mêmes.

**G. Vergnaud.** — Pour définir les objectifs pédagogiques en terme de conduite des enfants et classer ces conduites la psychologie sera très utile.

**L. Frey.** — On n'a pas dans le domaine de la didactique d'instruments généraux de l'observation ; si on utilise les instruments standard de la psychologie, on les reconstruit en fonction de la situation.

En Allemagne, la psychologie vient toujours en second lieu. Les problèmes didactiques sont abordés par un travail de groupe dans lequel chacun a une bonne connaissance de la matière sur laquelle porte ses recherches et dans une autre discipline telle que histoire des sciences, théorie des systèmes scolaires, etc., mais rarement la psychologie.

**G. Brousseau.** — Le travail du didacticien n'est pas seulement la prise en charge du travail du professeur avec des moyens techniques plus forts ; c'est l'analyse des situations (à travers un créneau et à côté du créneau). Il faut beaucoup de travail pour traiter les questions sans les séparer et arriver à une étude quelque peu pertinente. Dans un groupe de recherche il faut des compétences variées, mais l'apport de chacun doit se fondre dans l'ensemble ; le prix à payer est une forma-

tion qu'on acquiert en y consacrant beaucoup de temps. La différence entre chercheurs et professeurs n'est pas au niveau des personnes mais au niveau des attitudes.

Il faudrait recenser le champ sur lequel doivent porter les analyses et débattre des contraintes à travers lesquelles le savoir didactique est fabriqué ; mais il ne faut pas se laisser obnubiler par les facteurs qui intéressent les enseignants ou les administrateurs. Sans écarter les rapports d'ordre idéologique entre la recherche et la réalité, il faut tenter de les distinguer des rapports d'ordre scientifique qui sont à établir.

Résumé de la discussion rédigé par :

François COLMEZ.

Maître assistant à l'Université Paris VII.



## MATHEMATIQUE ET AFFECTIVITE

Nombreuses ont été les interventions qui nous ont montré que dans tout phénomène didactique des éléments affectifs interviennent. On a parlé de la nécessité de « motiver » les élèves, de leur « trouble » devant certaines expériences aboutissant à un doute sur le matériel utilisé plutôt que sur le raisonnement. On a constaté des « raisonnements spontanés » résistant au cursus scolaire et dit la nécessité de ne pas « couper les apprentissages cognitifs du champ affectif ».

Mais qu'est-ce que l'affectivité ? Que met-on sous ce concept ? Ne s'agit-il pas pour l'instant d'un mot utilisé pour désigner un ensemble de phénomènes dont nous constatons l'importance mais dont nous n'avons pas encore l'explication. J'ai voulu essayer d'aborder ce problème, de l'aborder seulement.

Peut-être serait-il préférable de désigner l'ensemble de ces phénomènes par domaine de l'imaginaire. Comment intervient-il dans les phénomènes d'apprentissage ? et même intervient-il ? Le moyen de le savoir ne pourrait-il être l'étude du « discours verbal » des élèves. Si

en effet on peut distinguer les actions matérielles d'un sujet de son discours verbal et si, de plus, les écarts sont nombreux c'est peut-être qu'il est nécessaire de distinguer dans ce discours deux niveaux, l'un manifeste et l'autre latent, qu'il s'agit de décrire. J'ai voulu essayer de mettre en évidence ce dernier pour faire entrevoir son importance et la nécessité qu'il y a à en tenir compte dans la didactique.

### METHODOLOGIE

Elle utilise un ensemble conceptuel psychanalytique répondant mieux à ce genre de question que l'ensemble conceptuel de la psychologie génétique.

J'ai tout d'abord enregistré une soixantaine d'entretiens avec des garçons et des filles de 16 à 18 ans et ceci à partir de trois questions :

- racontez moi comment se sont déroulées vos études de mathématiques ;
- quels sont les sentiments que vous éprouvez quand vous faites des mathématiques ;
- avez-vous discuté de mathématiques avec vos parents ?

Certains de ces entretiens m'ont permis de faire une analyse thématique. A partir des thèmes les plus fréquents j'ai constitué un questionnaire composé de phrases représentatives de ces thèmes. Ce questionnaire a été complété par un différentiateur sémantique utilisant des couples d'adjectifs. Ces couples d'adjectifs caractérisaient les mathématiques au plan réel d'une part, et au plan imaginaire, d'autre part. Enfin le questionnaire comportait un choix de 42 verbes qui exprimaient le fait de « faire des mathématiques ». Ces différents verbes avaient été relevés au cours des entretiens.

Ce questionnaire a été proposé à près de 700 élèves, c'est-à-dire à tous les élèves de 1<sup>re</sup> littéraire et de 1<sup>re</sup> scientifique du département de la Marne. L'échantillon n'est donc pas représentatif de la France mais biaisé systématiquement par la variable géographique.

Les entretiens ont été effectués avec des élèves de deux lycées, volontaires, me connaissant dans l'un des lycées, mais non dans l'autre. J'ai ainsi voulu associer une analyse clinique d'entretien et une analyse statistique. Chacune avait leurs avantages et leurs inconvénients. Les variables retenues étaient les suivantes : sexe et série (A ou C) d'une part et des variables secondaires d'autre part (profession des parents, place dans la famille).

## RESULTATS

La première constatation qui s'impose est que les deux variables, sexe et série, sont discriminantes. En effet sur les 59 questions que comportait le questionnaire on trouve globalement les résultats suivants :

	Non sign.	Sign. à 0,05	Sign. à 0,01	Sign. à 0,001	Total
Entre A et C	2	2	7	48	59
Entre G et F	21	3	14	21	59

D'autres études sont en cours pour étudier les effets des deux variables secondaires, profession des parents et place dans la famille. Cette dernière s'est déjà avérée sans importance et on peut déjà dire que l'influence de la profession du père s'exerce de façon plus faible que les deux variables principales.

### Résultats concernant le discriminateur

**Au plan réel :** Il apparaît que les mathématiques ont une image positive, par certains côtés, chez les C (elles sont utiles, attirantes, faisables) mais aussi plutôt difficiles, imposées et loin de la vie).

**Pour les A.** S'ils reconnaissent encore aux mathématiques leur utilité et le fait qu'elles sont faisables, ils les trouvent plutôt repoussantes, difficiles, très nettement imposées et toujours plutôt loin de la vie.

**Au plan imaginaire :** La différence est plus grande et en même temps la qualité que tous leur attribuent est d'être exigeantes. Par contre si les C les trouvent « ouvertes », les A les trouvent « fermées ». Les A les trouvent plutôt « sournoises » mais les C plutôt « franches », les A plutôt « dangereuses », les C plutôt « sécurisantes », etc.

Ces quelques exemples permettent déjà de se rendre compte que les mathématiques ne sont pas seulement objet de « raison » mais aussi de sentiment et que leur abord entraîne des réactions dues aux propriétés qu'on leur attribue ; autrement dit il est possible de les considérer au travers de projections comme un objet d'investissement libidinal.

### Résultats concernant les questions fermées

Les entretiens m'avaient permis d'établir la présence de certains thèmes, les réponses fermées m'ont permis de vérifier leur fréquence chez un grand nombre d'élèves

et de rechercher des différences significatives dans l'apparition de ces thèmes en fonction des quatre groupes GA - GC - FA - FC. Il serait trop long d'explicitier toutes les caractéristiques des différents groupes face aux questions. Je me contenterai de mettre en relief quelques résultats marquants.

Pratiquement tous les élèves ressentent les mathématiques comme une science particulièrement tranchée. 85 % sont d'accord avec la phrase suivante :

« En mathématique, on ne peut pas baratiner, on sait ou on ne sait pas. »

Ceci a pour conséquence chez les littéraires de leur donner l'impression que les mathématiques sont une discipline où la personnalité de l'élève ne peut pas s'exprimer. La grande majorité des A est d'accord pour considérer que :

« Faire des mathématiques c'est faire quelque chose qu'on nous dit de faire et qu'on répète comme une machine. »

« En maths, il n'y a pas de place pour la personnalité. »

Les filles littéraires, les FA, y ajoutent une note *dépressive*, c'est elles, en effet, qui approuvent le plus fréquemment l'affirmation : « Je me dis souvent que je n'y arriverai pas. »

On peut dire, d'une façon générale que les A, filles et garçons, ressentent souvent les mathématiques comme une obligation, imposée de l'extérieur, comme une sorte de surmoi oppressif.

Les scientifiques, au contraire trouvent parfois auprès des mathématiques une certaine sécurité : « Si je trouve tout de suite, j'ai en moi un sentiment de paix. » Ils y trouvent l'intérêt d'y « découvrir quelque chose » ou « d'établir des liens », mais surtout ils imaginent l'objet mathématique comme chargé de puissance qu'ils peuvent utiliser à leur profit : « Faire des mathématiques c'est une façon de discipliner mon esprit » par exemple.

Les garçons C se caractérisent comme étant ceux qui trouvent les mathématiques fondamentales, à la base de tout le reste. Les filles C, elles, témoignent à l'égard de cette discipline d'une ambivalence réelle. Elles déclarent par exemple : « Au cours d'un problème, il m'arrive assez souvent de paniquer. »

Il serait certainement intéressant de faire une étude plus fine des différences significatives du vécu des différents groupes à l'égard des mathématiques (et non seulement exploratoire comme je l'ai fait ici).

Je présenterai plus particulièrement deux des questions.

## Amour et haine

Dans la question 67 il était demandé aux élèves de choisir entre 7 réponses possibles : « Vous aimez beaucoup les maths — Vous aimez un peu les maths — Les maths vous sont indifférentes — Vous détestez un peu les maths — Vous détestez beaucoup les maths — Vous détestez et aimez à la fois les maths et autres sentiments.

Naturellement comme on pouvait s'y attendre les C aiment davantage les maths que les A. Une proportion importante des GA (près du quart) expriment leur indifférence vis-à-vis des maths. Cette réponse atteint chez eux le pourcentage le plus élevé et ce sont eux qui, en regard des autres catégories, manifestent le plus leur indifférence. D'autre part on trouve des sentiments moins négatifs de la part des FA que de la part des GA et l'ambivalence est plus marquée chez les FA et les FC (près du quart dans les deux cas).

Les garçons affirment aimer les maths en plus grand nombre que les filles et les filles sont plus nombreuses à détester les maths. Mais le plus remarquable est l'indifférence des garçons et l'ambivalence des filles.

## Les verbes

42 verbes exprimaient de différentes façons le fait de faire des maths. Les élèves devaient en choisir trois.

Ces verbes se répartissaient en deux groupes : des verbes exprimant un sentiment tels que « aimer », « admirer », « être affolé », « se sentir incapable » ; des verbes exprimant une relation tels que « découvrir », « imaginer », « détruire », « vaincre », etc. On constate des différences importantes dans les choix entre les différentes catégories.

Si les élèves de A répartissent également leur choix entre les deux groupes de verbes (GA : 50,7 % sentiments, 49,4 % relation — FA : 50,2 % sentiments, 49,8 % relation). Les C choisissent pour une très forte majorité les verbes de relation (GC : 24,2 % sentiments, 75,8 % relation — FC : 27,1 % sentiments, 72,8 % relation).

Ces résultats laissent entrevoir la possibilité de faire certaines hypothèses sur les différents types d'attitude vis-à-vis des mathématiques suivant la série dans laquelle ils se trouvent, certains sont plus actifs d'autres plus passifs. Peut-être même pourrait-on rechercher des explications du côté des modes de relation objectale.

## Conclusion

Ces quelques exemples montrent qu'il est possible d'établir des différences significatives dans le vécu affectif entre quatre groupes d'élèves grâce à des méthodes

expérimentales. Je voudrais maintenant essayer de montrer que grâce à un travail d'ordre clinique, il est possible d'interpréter ces différences.

## APPROCHE CLINIQUE

Le matériel dont je disposais est donc constitué d'une soixantaine d'entretiens. Il met en évidence la présence d'une certaine angoisse à propos des mathématiques. Cette angoisse prend différentes formes ; elle peut être angoisse de dépossession de sa propre personnalité, angoisse de destruction, angoisse de séparation...

Ainsi certains élèves craignent de perdre leur personnalité en faisant des mathématiques :

« J'aime bien mieux faire une dissertation qu'un devoir de mathématiques. Je trouvais qu'il y avait plus... c'était moins idiot. Pas moins idiot, mais les mathématiques c'était me faire devenir une machine. » FA 16 ans.

Ceci se retrouve également dans la crainte, plus ou moins avouée, de devenir fou et rejoint de ce fait certaines inquiétudes populaires. Mais les mathématiques peuvent aussi représenter avant tout un risque tellement grand qu'il peut amener au désastre :

« Quand on est imprégné de chiffres, eh bien ! on y pense toujours, on veut continuer plus loin, toujours progresser sans y arriver ; puis parfois on réussit, puis parfois c'est un désastre... par ex.  $e = mc^2$ , ça a fait un désastre au Japon. Oui, les mathématiques, il faut pas les aborder avec le niveau le plus haut. Il ne faut pas. Il faut savoir s'arrêter. » GA 16 ans. (1)

Cette destruction, même si elle n'est pas toujours ressentie avec autant d'ampleur peut se rencontrer au niveau de petites choses quotidiennes : les mathématiques dépoétisent, éloignent de la nature et risquent même d'isoler ceux qui les pratiquent :

« Et puis ce qui montre aussi que les mathématiques coupent du monde, c'est qu'en ce moment, je travaille : les mathématiques ne me servent à rien, alors que les discussions, les idées que j'ai retenues, je peux toujours en parler avec n'importe qui. Alors que si je parle comme cela, à une fille, dans le bureau de la surjectivité, premièrement je n'en verrai pas l'intérêt, elle non plus et puis on aurait l'air un peu idiots quoi ! de parler de cela ! » FC 18 ans.

Cette angoisse des mathématiques que l'on rencontre sous différentes formes serait une angoisse

(1) Les citations sont tirées du livre : **Mathématique et Affectivité**. Jacques Nimier, Editions Stock (Paris).

déplacée. Je voudrais donner un exemple des chaînes associatives utilisées pour un tel déplacement. Dans le passage d'entretien suivant, une élève littéraire va utiliser une succession de mots dont l'enchaînement ne prendra toute sa signification qu'à la fin lorsqu'elle-même essaiera d'en donner une explication. Elle va utiliser à propos de ce qu'elle dit des mathématiques les mots ou expressions : oreiller - voix endormante - piquait un petit cri - réveillait tous - voix - ronronnement - chambre.

« Dès le départ je me suis refusée à apprendre l'algèbre... Pourquoi l'algèbre ? Je me pose cette question depuis ma quatrième. Pourquoi ? Les cours de géométrie me passionnaient, je ne voyais pas l'heure passer. J'étais prise par le cours, je vivais le cours. Alors qu'en algèbre, c'est tout juste si je n'apportais pas mon oreiller... On sentait bien que le professeur ne mettait pas tellement de cœur à faire son travail et en plus de ça, la pauvre femme avait une voix endormante. De temps en temps, elle piquait un petit cri, elle nous réveillait tous... »

Une voix... une voix qui vous rappelait quoi ?

« Qu'est-ce qu'elle me rappelait ?... Oui effectivement elle devait me rappeler quelque chose de vécu, de connu ou qui avait été particulièrement désagréable, certainement... cette voix ; c'est sûrement en rapport avec quelque chose ou quelqu'un qui m'a frappée ou qui m'a déplu... »

Quelqu'un ?

« Par sa voix, je ne sais pas, c'était comme un ronronnement. Elle parlait mais pas très fort, en plus de ça ! C'était très doux. Oh je pense que c'était en liaison avec quelque chose d'autre, mais je ne veux pas me dire que c'est possible que ce soit ça... »

« A quoi pensez-vous ? Même si ce n'est pas ça, ça ne fait rien... »

« Bon ! Parce qu'il y avait tout de même un très grand désaccord entre mon père et ma mère et j'avais ma chambre qui était commune avec la leur. Et je me souviens que toutes ces nuits, je ne dormais pas parce que j'entendais les disputes qu'il y avait et j'entendais cela dans un demi-sommeil et à chaque fois que j'arrivais en cours de maths, que j'entendais cette voix de femme... eh bien ! je ne sais pas, je pensais à ça, et je ne sais pas, ça faisait à peu près le même bruit, le même ronronnement. Alors ça me crispait. Alors en géométrie, je finissais pas m'isoler, j'étais toute seule avec mon dessin, je m'isolais alors qu'en algèbre, j'entendais cette voix. »

Une autre forme de déplacement est aussi utilisée. Il s'agit du glissement de sens par l'intermédiaire d'un

signifiant. Ainsi dans l'exemple suivant le signifiant rigueur permettra d'effectuer un glissement de sens de l'exigence morale à l'exigence mathématique.

Qu'est-ce que vous apportent les mathématiques ?

« Je crois que c'est surtout la rigueur qui est très importante là-dedans. La rigueur mathématique est quelque chose de fondamental. »

Oui. Pourquoi ?

« C'est... on peut pas faire... il y a qu'une solution : c'est ça ou c'est pas ça. C'est peut-être cette espèce de violence un peu. On voit, ou bien on se fait ramasser, ou bien c'est ça... En mathématique c'est quelque chose de pur, on peut pas tellement dénaturer, ça peut pas être autrement. Et la rigueur, j'ai toujours aimé la rigueur : quand j'étais petit, je me rappelle, je demandais à être fouetté. C'est assez bizarre, mais j'aimais bien la rigueur, j'aimais tout ce qui était net ». GC 18 ans.

Ce dernier exemple pose plus particulièrement la question de savoir ce qui dans les mathématiques provoque ces différents sentiments. Il m'a semblé qu'on pourrait trouver une réponse dans l'étude des caractéristiques du langage mathématique.

Tout d'abord le langage mathématique est caractérisé par l'univocité des termes utilisés : « Le grand avantage des énoncés mathématiques c'est que ce sont des phrases d'un langage formel tel que, une fois fixées les interprétations des divers composants d'une phrase bien formée, elle a une signification unique » (J. Adda). Comme disait le garçon précédent « c'est ça ou c'est pas ça ».

Cette rigidité laisse évidemment bien peu de place à l'interprétation personnelle. En cela il est opposé au langage poétique.

Le langage mathématique est aussi caractérisé par la rigidité de ses règles syntaxiques : à côté d'un symbole donné ne peut figurer que tel autre symbole fixé et reconnu. Il est inutile, en mathématiques de chercher à produire des effets insolites ou inusités en juxtaposant les mots ou en les coupant et les ressoudant pour en former d'autres comme dans les écrits de Lacan. Les langages sont différents par leur souplesse : à une extrémité un langage purement formel mais universel, à l'autre un langage presque personnel à la limite de l'incommunicabilité où tout est invention.

En mathématique l'information est peu répétée alors qu'en français l'information « pluriel », par exemple, se retrouve dans plusieurs signes de la phrase.

Tout ceci concourt à faire des mathématiques un langage dont la fonction essentielle serait de faire apparaître les différences. Or la première des différences

est celle du sexe et toute idée de différence renvoie à celle-là.

De ce point de vue, faire des mathématiques, serait par certains aspects se confronter à l'angoisse de castration.

Par ailleurs on sait, comme l'indique Freud, qu' « il ne faut pas oublier que la détermination inconsciente ne peut rien réaliser qui ne satisfasse en même temps à l'activité scientifique consciente ». Autrement dit, pour s'exprimer, l'inconscient doit tenir compte des caractéristiques du langage mathématique.

C'est ainsi que les mathématiques sont souvent ressenties comme l'**expression d'une loi**. Par exemple de nombreux élèves considèrent les mathématiques comme un objet bien ordonné :

« Les mathématiques : quelque chose de bien ordonné comme un tiroir bien rangé avec des compartiments. » FC 18 ans.

« Tout s'enchaîne, c'est... c'est bien fait ; c'est un peu comme un jeu de construction. On nous donne des éléments, au départ : Il s'agit de les répartir correctement. GC 18 ans.

Mais que les mathématiques soient en elles-mêmes bien ordonnées, régies par des « règles » précises, dont tous les éléments sont liés entre eux n'est pas indifférent pour les utilisateurs car cet ordre s'exerce même sur celui qui les pratique. C'est ce qu'exprime très clairement cette élève de classe scientifique :

« Je donne des cours de maths, comme ça. Le garçon à qui je donne ces cours suit vraiment sa fantaisie. Il fait des maths c'est vraiment quelque chose d'assez fantaisiste. Alors ça lui donne une direction à suivre, à ordonner ses idées et puis je trouve ça assez amusant. Et puis d'un autre côté, je trouve cela assez dommage de détruire un peu sa fantaisie pour le faire rentrer dans l'ordre des choses établies. » FC 18 ans.

Cet aspect des mathématiques est vécu par les élèves de deux façons différentes. Pour les garçons littéraires surtout, elles représentent une sorte de surmoi oppresseur dont ils ressentent l'aspect contraignant :

« En français, j'ai mon opinion ; elle sera recevable. Même si elle n'est pas la meilleure. Elle est recevable ; on peut quand même l'accepter. Alors qu'en maths il y a un avis il faut que je me mette à cet avis là. Je dois accepter cet avis là et puis c'est tout. » GA 16 ans.

Pour d'autres, au contraire, elles sont vécues comme une **expression de la loi symbolique**. Cette fille scientifique aime les mathématiques à cause de l'ordre qu'elles apportent :

« Oui, je ne suis pas ordonnée, mais j'aime l'ordre,

ça fait partie du monde, le monde doit être bien ordonné. Il y a une succession d'époques qui sont la société bien ordonnée enfin c'est bien... on est chacun à sa place. »

Et cette autre élève espère que les mathématiques la rendront plus réfléchie de façon à lui permettre de communiquer avec les autres :

« Ça aide à ne pas avoir la tête en l'air qui saute d'une question à une autre comme ça... ça nous donne un air plus réfléchi... On en voit certains qui parlent d'une chose puis aussitôt d'une autre sans avoir terminé le premier point. Je pense que c'est tout de même un peu mieux, non seulement pour nous-mêmes mais aussi pour les autres. »

Dans la mesure où les mathématiques sont vécues comme dangereuses, source d'angoisses, contraignantes, elles font surgir chez les élèves différents réflexes de protection ou défenses pour contenir ou orienter cette angoisse. On peut les regrouper en deux catégories : dans l'une les mathématiques jouent le rôle d'objet dangereux dont il faut se protéger, dans l'autre les mathématiques jouent, au contraire, le rôle de bon objet protecteur.

On peut chercher à s'en protéger par évitement.

« Quand je vois que c'est trop difficile, je sais pas, je recule devant. »  
ou bien

« Ceux qui n'aiment pas les mathématiques, ils les repoussent. C'est pas la peine de les obliger, ils les repoussent. »

ou par **déni de la réalité** :

« Pour moi les « x » et les « y », ça ne représente rien, c'est aberrant. »

« Il fallait copier des théorèmes qui étaient complètement idiots. »

Ces deux défenses sont utilisées principalement par les littéraires.

Chez les scientifiques on essaiera plutôt de tout savoir pour éviter le « trou », le « manque ».

« Dès qu'il y a des points obscurs, c'est comme un trou, et le trou ne doit pas exister : il faut que tout soit unifié... parce que si je laisse un trou derrière moi, j'ai l'impression que je sombrerais dedans, que je ne serais plus assuré en arrière... Et même si ça n'intervient pas après, même si c'est une simple question élémentaire, c'est plus fort que moi, il faut que rien ne reste. Tout doit passer par moi, il faut que je sache tout. Il y a ça aussi il faut que je sache tout en mathématiques. »

La deuxième catégorie de défenses rencontrées utilisait les mathématiques comme bon objet. Elles sont de deux types : les unes pourraient être désignées comme



**défenses par réparation**, les autres comme **défenses maniaques**.

Pour lutter contre l'angoisse de destruction l'élève élabore tout un processus de sentiments qui l'amène à considérer les mathématiques comme utilisables dans un but de construction réparatrice. Il se sentira ainsi possesseur d'un objet de valeur :

« Au fond on crée pas tellement le problème, on crée la solution. Enfin elle vient de nous, c'est comme des objets qu'on fait tout ça. »

— Vous fabriquez quelque chose ?

Oui. En faisant des mathématiques on se fabrique quelque chose. Alors c'est pour ça... on aime bien. Tout le monde aime bien fabriquer quelque chose. Parce que si on n'arrivait pas à fabriquer ce quelque chose enfin trouver... trouver la paix, avoir la joie justement de l'avoir fait, je crois qu'on n'en ferait plus. J'en ferais plus.. :

— Vous avez l'impression de fabriquer quelque chose, mais quelque chose qui vient de vous ?

Ah ! Oui. Qui sort de nous. Oui. Comme quelque chose qu'on a pensé, qu'on a trouvé, qu'on a montré. Parce qu'un raisonnement mathématique ça se montre... Enfin je pense...

Il serait possible de trouver différentes interprétations de ce texte et par exemple de penser que la fabrication de ce quelque chose qui ne vient pas de nous fait allusion à la gestation d'un enfant qu'on est ensuite fier de montrer... En tout cas cela apporte la paix et montre ainsi le rôle défensif de ces sentiments dans la lutte contre une certaine angoisse de destruction.

J'aimerais, maintenant, pour illustrer l'existence de certaines formes de défenses que j'appellerai défenses maniaques, lire un passage de l'entretien avec un garçon scientifique de 18 ans. Il est un peu long, c'est vrai mais il est très significatif de la façon dont les mathématiques peuvent être utilisées à des fins de défense contre un état dépressif provoqué par une angoisse de séparation ou solitude.

« Il faut que je sache tout. Il y a ça aussi, c'est que je veux tout savoir en mathématiques... si jamais j'accroche quelque part, je me dirai, bon ! eh ! bien derrière toi, tu as dû laisser quelque chose de pas clair et ce sont des signaux d'alarme.

Mais c'est ma hantise de ne pas trouver quelque chose... J'ai l'impression que je me suis fait une fausse idée en croyant que justement je suivais ce cours de mathématiques et en réalité c'était juste une illusion. Au premier tournant je suis arrêté, ça, ça me fait peur aussi...

J'aurai toujours peur de cette difficulté insurmontable. C'est ça qui m'effraie le plus. Si jamais... je rencon-

trais cette difficulté, je ne sais pas ce que je ferais. J'ai pensé au suicide, j'ai pensé à beaucoup de choses parce que... Finalement je me supprimerais. Enfin j'en parle comme ça librement, mais quand on est devant... »

Une simple difficulté est vécue comme une perte du contrôle omnipotent utilisé comme défense par des scientifiques et c'est le dévoilement du fantasme exprimé par le « c'était juste une illusion » qui provoque l'état dépressif : « Je me suiciderais. » Une nouvelle défense apparaît alors dans la suite de l'entretien sous la forme de clivage : d'une part l'objet mathématique idéalisé devient le bon objet de grande valeur, d'autre part un mauvais objet est désigné par le terme vague « on » puis plus loin par « les professeurs ».

« En réfléchissant bien, je crois que je me suiciderais (toujours en parlant), parce que je ne peux pas admettre ça. J'aurais tout misé là-dessus, je me serais donné corps et âme à cette merveilleuse chose et je me rendrais compte qu'on m'a trompé depuis le début ! ça je ne pourrais pas, j'ai l'impression que je ne pourrai pas survivre. Pour moi c'est quelque chose de sacré, c'est quelque chose... ça m'appartient presque. Je crois que les... les mathématiques, ça m'appartient... Parce que je crois que j'ai trouvé des petites... je me construirais quelque chose. Alors je me disais : oui il n'y a que moi qui ai trouvé ça, c'est mon trésor, c'est à moi, je ne veux pas qu'on y touche.

Alors si je vois que c'est faux, qu'on s'est moqué de moi, que rien ne m'appartient, alors je me retrouve tout seul et puis là je ne sais plus où me tourner... »

... Par moment... j'avais envie de ne plus du tout aller au cours de mathématiques, parce que j'avais l'impression que tous les professeurs, je ne sais pas, les baffouaient les mathématiques.

Oui j'avais l'impression qu'ils faisaient cela comme leur gagne-pain... et alors j'avais envie de leur taper dessus...

D'un côté les mathématiques, trésor amoureusement possédé, de l'autre un danger mal défini puis identifié, les professeurs.

Si tous les élèves ne s'expriment pas avec cette facilité, ils savent pourtant décrire les mathématiques comme monde magique, grand, impressionnant, doué de pouvoirs inquiétants.

### **Réussite ou échec en mathématiques**

Par leur nature les mathématiques provoqueraient un réveil de l'angoisse de castration à différents niveaux : œdipien — pré-œdipien. La réussite ou l'échec en mathématique se joueraient alors dans un subtil équilibre entre l'angoisse provoquée par les mathématiques et les forces défensives utilisant ou non les mathématiques pour lutter

contre cette angoisse. Le type de mécanisme de défense y aurait une très grande importance. Pour certains leur type de défense ne leur permettrait pas l'utilisation de l'objet mathématique. Ce dernier ne pourrait que rester objet d'angoisse. Pour d'autres une certaine forme d'ambivalence existerait et un surinvestissement des mathématiques leur permettrait un certain contrôle de cette angoisse.

Je voudrai mettre ceci en évidence avec deux exemples.

### L'échec en mathématiques

Voici ce que dit un garçon littéraire de 17 ans. Il a toujours été « mauvais » en mathématiques, mais il commence à avoir des résultats meilleurs :

« Le danger c'est que j'ai peur, je me suis habitué... C'est une sorte d'état qui dure depuis des années. Je suis confiant en français et en langue et je suis pas du tout sûr de moi... je suis dans un climat d'insécurité en mathématique. Donc je ne me fais pas du tout à l'idée de changer de situation. Si je suis un peu plus confiant en maths... ce qui arrive ! ce qui va se passer ! J'ai peur de perdre, ça paraît stupide, mais j'ai peur de perdre un peu... Moi je trouve cela idiot.

Je trouve qu'il y a une sorte d'équilibre qui se maintient. C'est un peu le principe des vases communicants...

Ça paraît idiot, mais je me dis : « T'as intérêt à ne pas faire de mathématiques. » Depuis des années c'est comme cela justement. Il y a toujours ce refus... »

Ici les mathématiques ne sont investies, au travers d'un fantasme de vases communicants, que comme une occasion de perte, d'où cet intérêt à ne pas faire de mathématiques et ce « refus » qui dure. Comme il le dit ailleurs « il préfère laisser tomber plutôt que perdre ». Le mécanisme d'évitement ne paraît pas permettre un réinvestissement narcissique.

### La réussite en mathématiques

L'exemple suivant met en évidence l'utilisation des mathématiques comme élément du moi pour lutter contre une agressivité inconsciente risquant d'apporter, là aussi, un état dépressif. Il s'agit d'une fille scientifique de 18 ans.

« Pour les maths, je pense que quand on a à résoudre quelque chose on le fait progressivement sans sauter... d'une question à une autre... Tandis que quand c'est un enchaînement je trouve que c'est plus normal... ça aide à ne pas avoir ce qu'on appelle une tête en l'air qui saute d'une question à une autre... on sait au moins où on va... Et puis même dans le travail ou des choses comme ça, ça donne moins de soucis. Pour moi

je préfère une vie beaucoup plus calme, plus tranquille... et justement c'est ça, je recherche une vie... une stabilité.

C'est peut-être qu'en moi-même je ne suis pas stable... C'est peut-être parce que je cherche quelque chose qui me rende stable parce que je sais très bien qu'en moi-même je ne le suis pas. »

Les mathématiques représentent pour cette élève une possibilité d'acquérir une certaine stabilité intérieure, elles sont une alliée du Moi. Par la suite elle explique que cette instabilité dont elle se méfie est le résultat d'une certaine tension entre elle et un frère plus jeune avec lequel elle ne s'entend pas. Pour elle un hyperinvestissement des mathématiques a pour rôle d'occuper un « esprit » dont elle craint les manifestations.

On pourrait multiplier les exemples ou étudier certains points plus précis. Pour mon compte le travail que j'ai fait sur ces soixante entretiens m'amène à penser que réussite et échec sont en grande partie conditionnés par le type de mécanisme de défense utilisé. Dénî, évitement entre autres, ne seraient pas favorables à une réussite ; clivage, idéalisation et surtout maîtrise omnipotente y seraient, au contraire, favorables.

### Conclusion

Ce travail n'est qu'exploratoire. Il devrait attirer l'attention sur l'importance des phénomènes imaginaires dans l'appropriation des connaissances. Le premier objet de connaissance pour l'enfant, sa mère, est aussi le premier objet d'amour. Il est important de ne pas séparer connaissance et affectivité. Les deux sont liés depuis les temps bibliques. Le véritable sens du mot « connaître » de la bible est « faire l'amour avec ».

Beaucoup de questions se posent encore. Par exemple, dans quelle mesure la structure de certains fantasmes induit-elle certains modes de raisonnement. Ne peut-on y voir l'explication de l'existence de « raisonnements spontanés » résistant à l'enseignement ?

Jacques NIMIER.  
I.R.E.M. de Reims.

### Bibliographie

- NIMIER (J.). — *Mathématique et Affectivité* (Editions Stock) Fr., (1976). — *Educational Studies In Mathematics*, 8 (1977). — *Le vécu des mathématiques chez de jeunes Français et Québécois* (Essai d'analyse factorielle et clinique), I.R.E.M. de Reims (1978).
- BROUSSELLE (A.). — *Fantasme et concept mathématique*. *Psychol. Infant*, Fr., (1973), 16, n° 2, pp. 467-487.
- BRUNER (J.S.). — *Affrontement et défense*. *J. Psychol. norm. pathol.*, Fr., (1961), 58, n° 1, pp. 33-56.

# INTRODUCTION DE LA SOUSTRACTION AU CYCLE ELEMENTAIRE : QUELQUES ELEMENTS D'UNE EXPERIMENTATION

Il s'agit d'évaluer l'influence respective à court et moyen terme, de deux types de représentations différentes utilisés pour introduire la soustraction au cycle élémentaire (1) (7-8 ans).

## CADRE INSTITUTIONNEL

Cette expérimentation concerne 42 classes de C.E. 1.

Ces classes sont regroupées autour d'une vingtaine d'équipes de recherche.

Ces équipes réunissent des professeurs de mathématiques, des psychologues et des maîtres des classes concernées par les diverses expériences. Professeurs

(1) Cette expérimentation se situe dans le cadre de la recherche « étude du rôle des moyens d'expression dans l'apprentissage mathématique », 71.02.2.03, qui a déjà donné lieu à une première publication : **Représentations ensemblistes au C.P.** (collection : Recherche Pédagogique, 1976, n° 81). Le compte rendu complet paraîtra dans la collection Recherche Pédagogique, publication I.N.R.P.

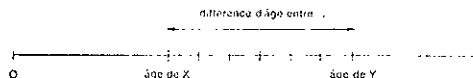
et psychologues sont presque tous professeurs d'École Normale, donc déjà confrontés aux problèmes de l'enseignement à l'École Élémentaire. Les maîtres des classes n'ont aucune formation antérieure spécifique. Cependant, ceux qui participent à la recherche depuis plusieurs années ont, grâce aux confrontations, aux réunions de réflexion et de rédaction liées à la recherche, acquis une formation et une compétence qui n'est pas une des moindres retombées du travail entrepris.

## CADRE EXPERIMENTAL

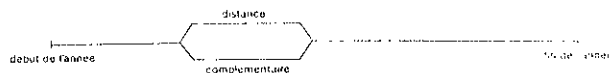
1) Les observations des enseignants et des professeurs d'Écoles Normales, nous ont conduit à isoler deux façons d'introduire la soustraction.

- Une première façon basée sur la notion de « complémentaire ». Il s'agit pour les enfants de trouver ce qu'il faut ajouter à a pour trouver b.

- Une autre façon est basée sur la notion de « distance », et a pour support la demi-droite numérique. On peut parler de la différence d'âge entre X et Y sans connaître leurs âges respectifs et il est bien évident que cette « distance » d'âges n'est pas orientée, la différence d'âge entre X et Y est la même que la différence d'âge entre Y et X. De même de la distance de deux villes, etc.



Il nous a paru intéressant d'opposer ces deux points de vue sur l'introduction de la soustraction et de tenter d'observer leur effet au niveau de l'utilisation de la soustraction à court terme (juste après apprentissage) et à moyen terme (fin de l'année scolaire), l'expérimentation se greffe ainsi sur une partie de la progression en proposant ces deux voies d'apprentissage pour la soustraction, selon le schéma suivant :



2) On fait l'hypothèse suivante : on peut essayer d'évaluer l'effet du mode d'introduction d'une notion, bien qu'elle soit en interaction avec d'autres facteurs.

On a tenté de résoudre ce problème en mettant en œuvre un plan d'expérience approprié dont la variable principale est la progression.

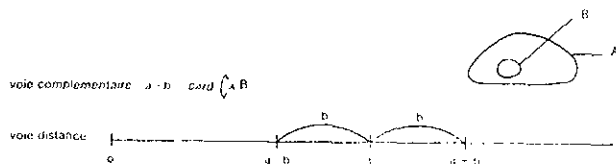
On entend par progression (2) un ensemble d'activités didactiques organisées et définies tant par rapport au contenu mathématique, que par rapport à une mise en œuvre pédagogique et ceci pour l'ensemble de l'année scolaire.

Nous donnons ci-dessous les principales étapes de la progression « soustraction » pour les deux voies expérimentales :

- a) introduction de la différence  $a-b$  pour désigner un nombre ;
- b) étude de l'opération associée ;
- c) étude de problèmes relevant de cette opération.

### Contenu mathématique

C'est au niveau du point a) que les deux voies se différencient de la façon suivante :



$a-b$  est la désignation d'un des deux nombres qui se trouve à la distance  $b$  de  $a$  (l'autre étant désigné par  $a + b$ ).

### Mise en œuvre pédagogique

Elle est la même pour les deux voies. Dans les deux cas on part d'une situation (quadrillage ou « piste ») et par une suite de signes successives on fait apparaître la nécessité d'une nouvelle écriture (conventionnellement  $a-b$ ).

Pour la voie complémentaire la situation initiale choisie est la suivante sur un quadrillage  $A$  (de 70 à 100 cases), on pose un cache  $B$  (20 à 40 cases). Il s'agit de chercher à désigner le nombre de cases non cachées.

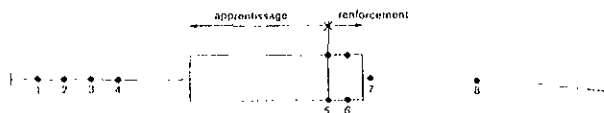
Pour la voie distance, on propose une piste graduée et on cherche à écrire les nombres qui sont à une distance  $x$  d'une cible.

Les épreuves de contrôle :

Cette progression est jalonnée de huit contrôles situés avant et après les séquences d'apprentissage sur la soustraction :

Tous ces contrôles sont essayés et mis au point une première année (année de pré-expérimentation).

(2) La progression détaillée a fait l'objet d'un document de recherche **Mathématique au C.E. 1, n° 3, 1975**, publication destinée aux équipes de recherche.



Les contrôles situés avant l'expérimentation permettent de tester l'équivalence des deux groupes expérimentaux.

- Le contrôle 1 : propose des figures construites selon un certain algorithme : il s'agit pour les enfants de les compléter.
- Le contrôle 2 : porte sur l'ordre des nombres (nombres de 2, 3 et 4 chiffres écrits en base dix).
- Le contrôle 3 : les enfants ont à produire plusieurs écritures différentes de nombres (respectivement de  $6 + 7$ ;  $12 + 4$ ;  $24$  et  $3 \times 4$ ).
- Le contrôle 4 : porte sur la notion de la loi de composition interne, avec des problèmes de lecture et compréhension d'arbres de calcul, table de Pythagore et résolution d'équations.
- Les contrôles 5 et 7 sont relatifs à la soustraction (cf. annexe). (Le contrôle 7 se présente sous forme de problèmes.)
- Le contrôle 6 : propose une table d'addition à compléter.
- Le contrôle 8 : est le même que le contrôle 3 (on demande plusieurs écritures de nombres donnés).

### 3) Analyse en cours

Les contrôles sont analysés de trois points de vue :

- la correction de la réponse ;
- les types de procédés employés ;
- la nature des erreurs.

Nous disposons à l'heure actuelle des premiers résultats concernant la correction de la réponse : de ce point de vue les deux groupes sont équivalents sur les contrôles 5 et 6 (soustraction et table d'addition). Le groupe complémentaire obtient des performances significativement supérieures sur les contrôles 7 et 8, (soustraction problèmes et réécritures de nombres).

Une conclusion serait donc que la soustraction semble plus disponible à moyen terme pour le groupe complémentaire, que pour le groupe distance.

Cependant il nous faut nuancer ce résultat, car le groupe complémentaire est légèrement supérieur au groupe distance sur les contrôles 1, 2 et 4 (contrôles avant l'intervention expérimentale).

Une analyse ultérieure, par classe permettra de rendre équivalents les deux échantillons. Par ailleurs une analyse fine des procédés et des erreurs faits par les enfants devrait nous fournir des éléments d'interprétation des résultats obtenus.

Jacques COLOMB,  
Marie-Noëlle AUDIGIER,  
I.N.R.P., Paris.

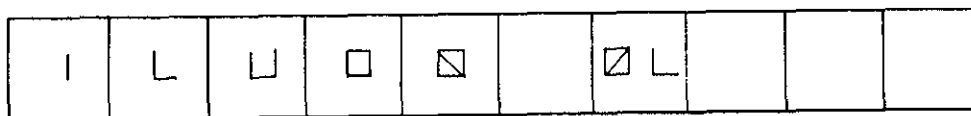
Il est bien évident, qu'il faudrait maintenant pouvoir « suivre » ce qui se passe ultérieurement au C.E. 2 et au C.M. (comment le concept de soustraction continue à se construire et s'enrichir, un point de départ ayant été choisi).

Nous avons simplement tenté de voir quelle était au **niveau du C.E. 1** l'effet de deux modes d'introduction différents.

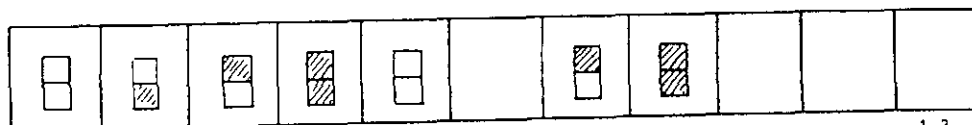
### CONTROLE 1



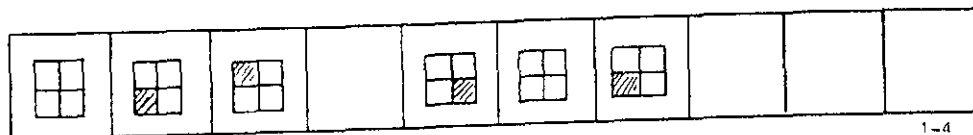
1-1



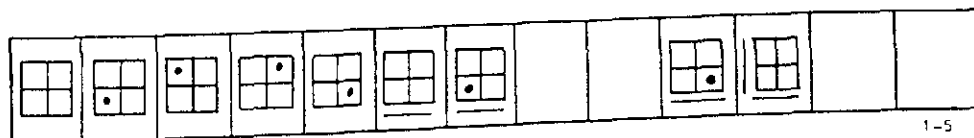
1-2



1-3



1-4



1-5

Les enfants doivent compléter les cases vides.

## CONTROLE 2

---

1240  
4536 505  
4563  
1420 2861  
555 2681  
1024

Soulignez tous les nombres qui sont plus petits que 2861.

---

1240  
4536 505  
4563  
1420 2861  
555 2681  
1024

Souligner tous les nombres qui sont plus grands que 1240.

---

---

1240

4536

505

4563

1420

2861

555

2681

1024

Soulignez tous les nombres qui sont en même temps plus grands que 1240 et qui sont aussi plus petits que 2861.

---

## CONTROLE 3

Réécrive d'une autre façon, puis de plusieurs autres façons :

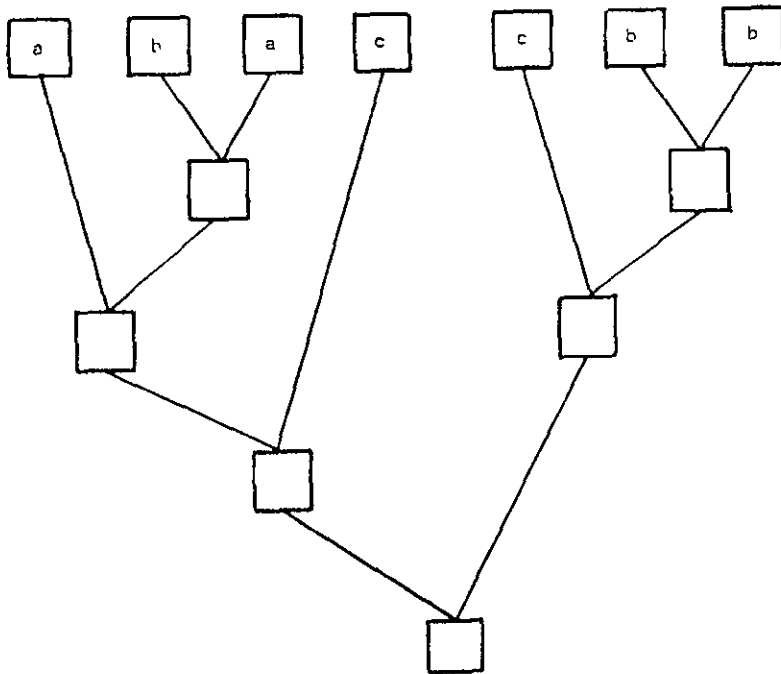
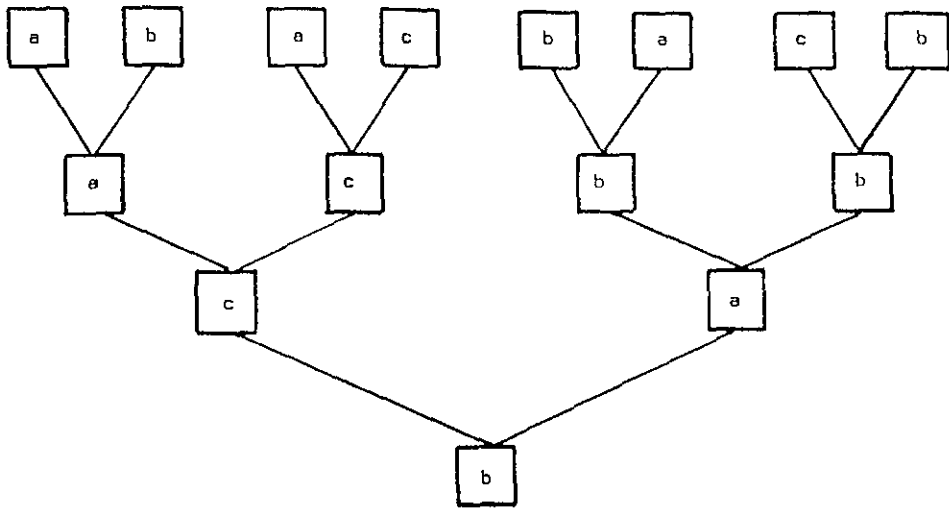
$$6 + 7$$

$$12 + 4$$


$$24$$

$$3 \times 4$$


CONTROLE 4



Les enfants doivent en fonction du 1<sup>er</sup> arbre remplir le second.

 *	a	b	c
a			
b			
c			

Les enfants doivent remplir cette table à partir du 1<sup>er</sup> arbre.

 *	a	b	c
a	c	a	c
b	b	a	b
c	b	b	c

- En regardant le tableau
  - complète .....  $b * \dots = b$
  - complète autrement, si tu peux  $b * \dots = b$
- En regardant le tableau
  - complète .....  $\dots * c = b$
  - complète autrement, si tu peux  $\dots * c = b$
- En regardant le tableau
  - complète .....  $\dots * a = c$
  - complète autrement, si tu peux  $\dots * a = c$

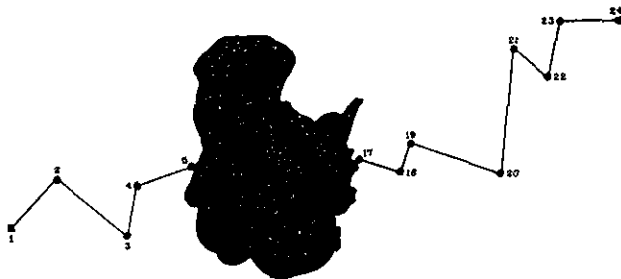




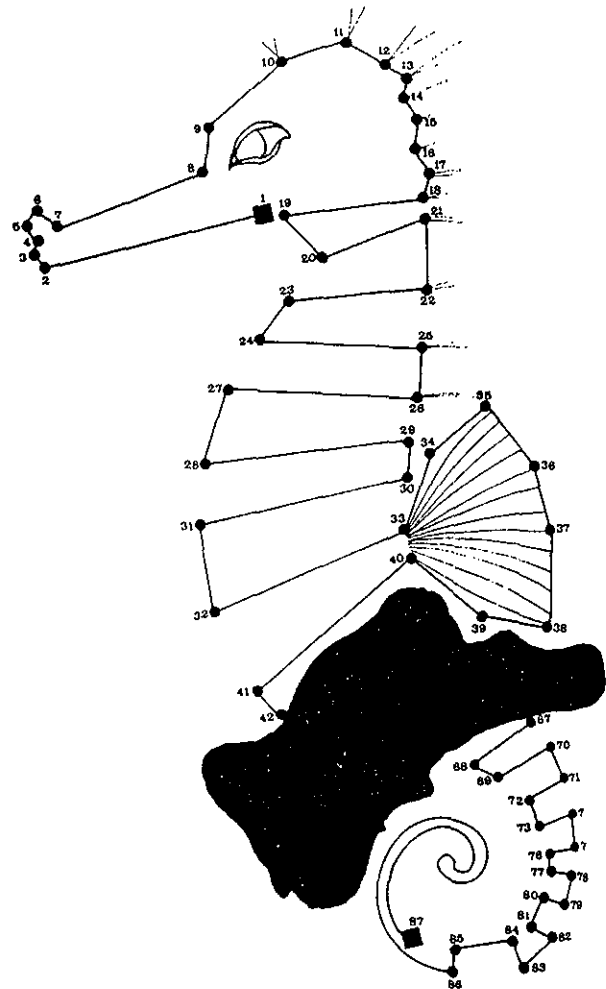
25 enfants jouent.  
On en voit quelques-uns.  
Les autres sont cachés derrière les arbres dans la forêt.  
Combien d'enfants sont cachés ?

Sur le papier peint, il y a 348 étoiles.  
La gravure cache 25 étoiles.

Combien y-a-t-il d'étoiles qui ne sont pas cachées par la gravure ?

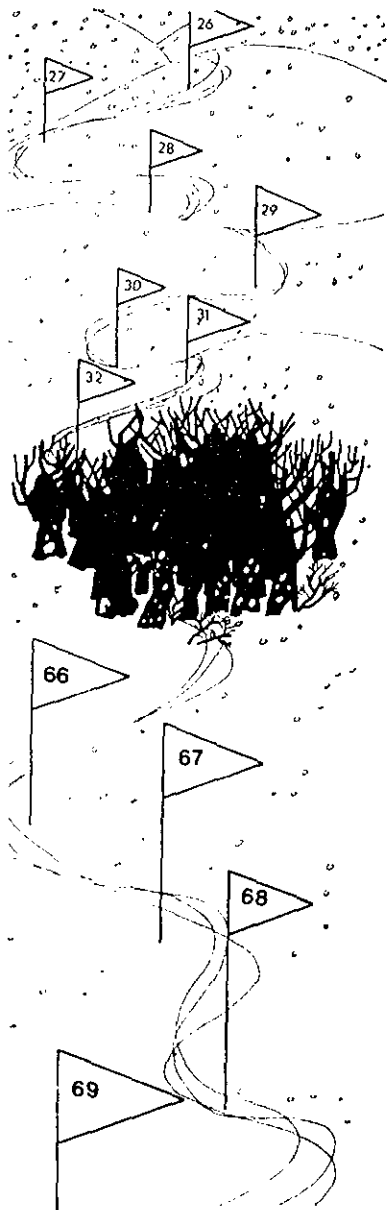


Combien de traits sont cachés par la tache ? (répondre sans tracer les traits)



Combien de traits sont cachés par la tache ? (répondre sans tracer les traits)

CONTROLE 6



↶ +	3	1	7
7			
14			
10			

↶ +	3	22	26
5			
	24		
	19		

↶ +	5		
3		24	19
62			
26			

Entre le fanion 32 et 66, la piste est dans la forêt.  
Julien tombe près du 8<sup>e</sup> fanion qu'il rencontre dans la forêt.

Quel est le numéro de ce fanion ?

Combien de fanions sont dans la forêt ?

### CONTROLE 7

Une salle de cinéma a 255 places.

134 personnes ont déjà une place — 148 attendent encore dehors.

**Céline dit** : — « Il n'y aura pas assez de place pour tout le monde. »

**Julie répond** : — « Si ! tout le monde pourra rentrer. »

— *Qui a raison ?* .....

— *Explique pourquoi elle a raison.*

**Céline dit** — « Tout le monde ne pourra pas rentrer et je peux même trouver le nombre de personnes qui resteront dehors. »

**Julie répond** — « Tout le monde rentrera et je peux trouver le nombre de places qui resteront vides. »

— *Ecrire le nom de la petite fille qui a raison : ....*  
.....

— *Fais et écris les mêmes opérations que cette petite fille.*

Le maître a reçu 2 paquets de 25 cahiers.

— Lundi il a distribué 28 cahiers.

— Mardi il a distribué 13 cahiers.

— Mercredi il compte les cahiers qui lui restent.

— *Combien trouve-t-il ?* .....

Jeudi il reçoit un paquet de 25 cahiers.

Il les range avec ceux qui restaient.

Vendredi, il distribue 29 cahiers.

— *Combien a-t-il distribué de cahiers depuis le début de la semaine ?* .....

— *Combien lui en reste-t-il le samedi ?* .....

### CONTROLE 8

Réécrire d'une autre façon, puis de plusieurs façons :

$$3 \times 4$$

$$24$$

$$12 + 4$$

$$6 + 7$$

## TRAME POUR REDIGER UN EXERCICE DE PHYSIQUE

L'originalité de la recherche présentée réside dans le double aspect de la trame qui lui permet d'être à la fois un canevas utile à l'élève pour rédiger un exercice quelconque de physique et une grille d'analyse pour le maître permettant de contrôler les acquisitions de ses classes.

### I. — HISTORIQUE DE LA TRAME

Attirer l'attention des enseignants sur les causes de certaines difficultés rencontrées par les élèves du second cycle du secondaire dans l'assimilation des concepts de la physique a été l'objet qui a motivé cette recherche.

#### 1 — Orientation vers l'exercice de physique

Il est alors apparu qu'il serait plus opérationnel de donner aux maîtres des moyens de mettre en évidence eux-mêmes ces difficultés pour qu'ils puissent y porter remède.

Le maître contrôle les acquisitions (connaissances, savoir-faire, compréhension...) principalement à l'aide de deux types d'activités :

- interrogations orales ou écrites ;
- exercices qui, groupés ou chaînés peuvent devenir l'objet des « problèmes » d'examen ou de devoir à la maison.

Dans les deux cas, les travaux d'élèves constituent l'essentiel du feed-back objectif reçu par le maître sur son enseignement. Il peut alors apporter des modifications à sa stratégie, mais encore faut-il que l'interprétation des réponses obtenues puisse être correcte, efficace, pas trop complexe.

Pour une première expérience, proposer des protocoles d'interrogations semblerait réduire la liberté du maître, intervenir de trop près sur la conception de son cours. Se tourner vers les exercices qui ne sont pas le plus souvent élaborés par lui-même, serait plus facile à faire accepter.

### 2 — Premières réflexions sur les exercices de physique

Durant tout le second cycle de la seconde à la terminale, une part importante du travail de l'élève en physique se passe à chercher des exercices. La fin de chaque cours est suivie de quelques exercices (si le maître en a le temps), chaque chapitre du livre s'accompagne d'un certain nombre de textes donnés ou recommandés aux élèves.

Ces exercices, reconnaissons-le, ne mettent en jeu qu'un seul type d'opération intellectuelle en général, dénommée application, centrée le plus souvent sur une équation du premier degré plus ou moins habilement camouflée par le vêtement physique qui la recouvre. La correction des exercices ne fournit au maître qu'un contrôle très partiel, limité, insuffisant des concepts mis en jeu.

Il est évident que d'autres exercices mettant en jeu des opérations intellectuelles plus diverses sont tout à fait possibles :

Analyse, synthèse, comparaison, organisation, représentation, prédiction, évaluation, invention...

Ces travaux ne pourraient qu'améliorer l'appréhension des phénomènes physiques par les élèves et faciliter ensuite le fameux exercice classique. Ils renseigneraient le maître sur d'autres aspects des connaissances, des acquisitions.

Mais chaque fois que des exemples d'exercices plus variés ont été proposés aux maîtres, même si ils jugeaient

l'activité intéressante (1), les réponses se partageaient en deux catégories.

— « *Le temps manque.* »

— « *Ne te prépare pas à l'examen.* »

Ces réponses étaient données même au début de la classe de seconde.

En fait très peu de maîtres assignent des objectifs précis à chacun des exercices qu'ils demandent aux élèves de trouver. Les objectifs les plus souvent implicites, lorsqu'ils sont explicités, se traduisent dans des intentions humanistes souvent fort généreuses, idéalistes, mais très éloignées de l'exercice considéré.

*Ainsi l'élève qui doit simplement calculer le poids d'un corps de masse  $m$  à l'équateur où  $g = 9,78 \text{ m/g}^2$  est censé « acquérir l'esprit scientifique, dominer le monde technique ou être introduit à l'an 2000 ».*

Le critère de choix des textes proposés par les enseignants paraît résider dans une certaine variété

a  
pour que  $m = \frac{a}{b}$  soit présenté sous tous les aspects :

b  
recherche de  $m$ , ou de  $a$  ou de  $b$ .

Toutes les formes d'un exercice doivent être connues, pour que l'élève puisse reconnaître l'identité de celui-ci avec un exercice proposé à l'examen. (La préparation, dans les classes supérieures, aux concours de l'X ou de l'E.N.S. ne paraît guère différer de cette perspective. Mais cette identification est en général niée, le problème est supposé faire appel à des qualités de haut niveau.

Puisque les enseignants s'intéressaient aux exercices, « il fallait s'intéresser aux exercices » et essayer de voir comment ils pourraient aider le maître à évaluer les acquisitions des concepts physiques enseignés.

Toutes ces considérations ont conduit à centrer la recherche sur l'utilisation des exercices tels qu'ils sont et non tels qu'ils pourraient être.

### 3 — Naissance de l'idée de trame

Les exercices commencent dès le début de la classe de seconde pour suivre l'élève jusqu'à la fin de ses études scientifiques. La recherche destinée à fournir une aide aux professeurs devrait donc être abordée de

(1) Nous sommes en 1972. Depuis, les travaux de la commission Lagarrigue ont permis aux professeurs de prendre conscience de la nécessité de modifier certains travaux.

manière non ponctuelle, ne pas porter sur un point précis du programme. Cette contrainte a conduit à prendre en considération que le contenu des exercices serait de toutes façons à exclure.

D'autre part, il est bien connu de tous les enseignants que les élèves éprouvent beaucoup de difficultés pour rédiger les exercices.

Ne serait-il pas possible que la rédaction de l'exercice fournie par l'élève livre à l'enseignant le retour souhaité sur son enseignement.

En utilisant la rédaction de l'exercice et non sa résolution comme moyen de détection, le caractère atemporel recherché serait obtenu. De même, le niveau d'intégration des concepts par l'élève pourrait être révélé, tout en restant indépendant des concepts objet des problèmes posés.

Puis une nouvelle idée est venue s'ajouter aux précédentes. L'outil à forger ne pourrait-il pas présenter un côté positif et être profitable à l'élève lui-même pour rédiger ses exercices, avant même d'être une aide d'analyse des réponses pour le maître en vue d'évaluer la compréhension de son enseignement.

Toutes ces perspectives ont conduit au projet de mettre au point une trame de rédaction. Ainsi serait annulé l'aspect déprimant de travaux qui mettent en lumière les manques de l'élève. Ceux-ci lui sont profitables certes, mais dans un second temps, et seulement si le maître tire parti des erreurs.

La trame, tout en jouant son rôle de détecteur, permettrait à l'élève de rédiger avec plus d'aisance, d'améliorer les travaux présentés à la correction et de systématiser les corrigés du maître.

## II. — ENQUETES PRELIMINAIRES

Pour esquisser la trame, il était nécessaire d'analyser des rédactions et leurs corrections. Deux types d'enquête ont été principalement utilisés :

### 1 — Interviews :

Une série d'interviews avec des correcteurs du baccalauréat a confirmé :

— La mauvaise qualité des rédactions des problèmes.

— Le tort causé aux élèves par des explications maladroites.

« *Il n'a rien compris.* »

« *Impossible de dire où il s'est trompé.* »

- L'ardent désir des enseignants que les élèves rédigent mieux (sans pouvoir leur faire préciser ce mieux).

## 2 — Etude de devoirs d'élèves

Un dépouillement systématique de centaines de copies d'élèves corrigées a permis de dégager quelques faits.

Côté maître :

L'enseignant fournit un travail considérable de correction. Il annote avec beaucoup de conscience les copies. Mais si il use beaucoup de feutre rouge, il fournit en fait peu d'aide effective pour que l'élève puisse améliorer sa rédaction à l'exercice suivant. Les mentions : « Mal dit », « Mal rédigé », « Rédaction inexistante », « Peu clair »... ne donne aucune indication précise à l'élève sur les modifications à apporter à ces habitudes de rédaction.

Côté élève :

Seules trois remarques principales seront relatées ici.

*Premier facteur : longueur*

Pour un même exercice la longueur de la rédaction varie d'un élève à l'autre. De la simple formule assortie d'une réponse numérique, au roman fleuve où l'élève se croit obligé de recopier une partie importante de son cours ou du livre, il peut aussi au passage recopier complètement l'énoncé de l'exercice en le paraphasant au besoin.

Mais au fait quelle longueur de rédaction le maître attend-il ?

*Deuxième facteur : explication justifiant l'utilisation d'une relation mathématique*

L'effort principal de l'élève semble d'arriver à pouvoir tracer sur sa copie les formules magiques :

$$V_A - V_B = Ri \text{ ou } F = my$$

Certains escamotent ce travail préliminaire.

D'autres utilisent un répertoire plus ou moins varié de « On a »... « On sait »... « Appliquons »... « Grâce à »...

Un grand nombre estime devoir faire une copie verbale de la relation utilisée.

« La force est proportionnelle à la longueur du fil, à l'intensité du courant qui passe dans le conducteur, à

*l'intensité de l'induction magnétique, au sinus de l'angle formé... »*

avant d'aboutir à  $F = iBlsin\alpha$

Ces textes lourds, difficiles à lire remplis d'erreurs (1 mot oublié par-ci, par-là) mettent en évidence des difficultés dans le codage entre l'expression verbale et la relation, mais sont peu utilisables (beaucoup d'oublis).

Un petit nombre fait preuve de plus d'imagination et rédige des textes introductifs à la relation, longs, souvent pénibles à suivre, filandreux, voire contradictoires.

L'effort visible fait par l'élève doit lui demander un temps précieux qui n'est pas en rapport avec le peu de renseignements fournis au maître. Beaucoup d'erreurs proviennent de la mauvaise utilisation de la langue française.

— « La pression exercée de la force dans la surface permet d'écrire  $p = \frac{F}{S}$ . »

*Troisième facteur : valorisation des mathématiques*

Tout un arsenal de phrases stéréotypées entoure les relations à traiter.

« Changeons de membre », « Effectuons les calculs », « Reportons », « Multiplions R par I », « Faisons le rapport entre... », « Le produit des extrêmes est égal au... »...

ou bien encore

« Transformons les kJ en J », « Traçons le cercle trigonométrique », « le sinus de l'angle 30° est... »

Tous ces défauts, toutes les difficultés coexistent dans une même classe et se retrouvent identiques dans les autres. Le modèle de la rédaction à fournir est donc très flou pour l'élève... et pour le maître ?

En résumé, la rédaction de l'exercice de physique se révèle :

- soit comme un devoir de français ;
  - soit comme un devoir de mathématiques.
- Mais où est la physique ?

## II. — ORIENTATIONS ASSIGNEES A LA TRAME

Un certain nombre de buts ont été déterminés avant de réaliser une ébauche de la trame.

1 — Offrir un cadre de rédaction précis qui permette à l'élève de présenter au mieux la solution de son exercice, sans oubli fâcheux, mais sans longueur inutile.

2 — Apporter au maître un certain nombre de réponses au sujet des représentations de ses élèves par rapport aux concepts enseignés.

3 — Améliorer la communication maître élève via l'exercice.

— Le maître suit mieux le déroulement de la pensée de l'élève et cerne plus aisément les causes d'erreurs.

— Le maître peut se montrer plus systématique dans ses corrections.

— L'élève comprend mieux les remarques du maître concernant ses erreurs ou ses oublis.

4 — Permettre autant que possible que l'activité imposée par la rédaction de l'exercice en utilisant la trame, soit le plus... « physique »... possible et non un exercice de mathématique.

A ce catalogue d'intentions, il faut ajouter un certain nombre d'hypothèses très hardies.

5 — La rigueur de la démarche demandée, aiderait-elle les élèves les plus faibles à résoudre les exercices en les amenant à se poser les questions utiles... avant d'aborder la rédaction ?

6 — L'intérêt que les enseignants prendraient à découvrir les causes d'erreurs, les difficultés relevées dans la connaissance des concepts... ne les conduiraient-ils pas à :

— Choisir des exercices plus intéressants pour obtenir de meilleurs contrôles ?

— Former des groupes pour élaborer des textes plus près du concret ?

— Rechercher à mettre en jeu des activités intellectuelles plus variées.

#### IV. — PREMIERS ESSAIS DE LA TRAME

Un premier projet de la trame fut conçu et essayé (2).

##### Essai 1

La première utilisation a été tentée avec des élèves de première et de terminale. La trame fut très bien acceptée, mais au cours du temps, il est apparu que certains élèves faibles s'y pliaient assez mal, et invoquaient qu'ils avaient réussi (ou raté) jusqu'à ce jour, sans cet effort de systématisation. Par contre, les élèves réputés « bons » l'acceptaient aisément. Ils en signalaient l'intérêt ? Certains ont du reste obtenu le maximum du score au baccalauréat C et D pour les problèmes.

(2) La trame sera présentée plus loin.

##### Essai 2

La trame fut alors proposée aux élèves de seconde. Les classes prirent beaucoup d'intérêt au travail. Mais là encore les résultats étaient assez décevants. Les « bons » assimilaient en une fois le processus, mais la majorité rendait des copies avec beaucoup de points sautés.

La trame profitait à ceux qui en avaient le moins besoin.

##### Essai 3

Pour éviter les oublis un nouvel effort fut tenté. Tous les exercices furent photocopiés sur des feuilles où les quatre parties principales de la trame étaient imprimées. Les élèves rédigeaient sur les feuilles elles-mêmes. L'expérience montra que les copies comportaient des blancs toujours aux mêmes endroits.

Certains enseignants décidèrent d'attribuer la 1/2 des points disponibles aux éléments absents et l'indiquèrent clairement sur les feuilles. Cette modification... douloureuse pour les élèves ne donna aucun résultat.

Les élèves n'arrivaient pas à dominer les difficultés par suite de la dispersion dans le temps de leurs efforts. Un oubli ne pouvait, au mieux, se corriger qu'à l'exercice suivant. Le renforcement positif apporté par la copie corrigée intervenait après un trop long délai. Quelques professeurs eurent l'idée d'organiser des séances d'entraînement, à la rédaction, mais devant le temps demandé, ils réclamèrent un photocopié à distribuer aux élèves.

Au lieu de prévoir le document demandé (trop passif pour l'élève), l'idée vint de réaliser un enseignement programmé du sujet qui permettrait à chaque élève de s'entraîner.

Puisque j'avais la chance de travailler à Paris VII, au laboratoire de l'O.P.E., l'ordinateur a pu être choisi comme support du programme.

#### V. — RECHERCHE PREPARATOIRE AU DIALOGUE SUR LA TRAME

##### 1 — Avec les enseignants

Pour essayer d'effectuer un travail critique de la trame avec les professeurs de physiques, certains acceptèrent de mener la recherche suivante :

Expérience 1 : Ils présentèrent à leurs classes un problème sur la pression d'un solide, en donnèrent la solution, puis demandèrent aux élèves d'exécuter une rédaction soignée sur copie.

Les copies obtenues ne correspondaient absolument pas à ce que les maîtres attendaient et ils proposèrent l'étape ci-dessous.



Expérience 2 : Les enseignants en vinrent à l'idée d'une solution-type et décidèrent d'en établir une sur un exercice qu'ils choisirent ensemble. Un très court exercice sur le travail d'une force devait servir de soutien à la copie modèle. Les résultats furent assez étonnants. (Voir les copies à la planche 1.)

Répétons qu'il s'agit d'un exercice de physique destiné à des élèves débutants de seconde. Il est certain que la formation des enseignants ne les moule pas dans une forme unique et rigide.

Aucune émotion n'apparut du reste, quand les copies furent étalées côte à côte.

Un des membres du groupe résuma la situation.

« Cette semaine j'ai rédigé ainsi, mais dans huit jours, ma rédaction serait toute autre. »

Il s'agissait, redisons-le d'une copie-modèle !

Si le modèle possède un coefficient aussi important de variabilité temporelle, l'élève moyen aura peut-être des difficultés à suivre les fluctuations.

Je n'aborderai pas ici les composants docimologiques dont pâtissent finalement les élèves qui se situent autour de la moyenne.

## 2 — Avec les élèves

Expérience 3 :

Les copies précédentes A, B, C, E mêlées à la version D rédigées suivant la première forme de la trame furent tapées, multipliées et proposées à 500 élèves de seconde B et C. Ils devaient les lire, noter pour chacune d'elles ce qu'ils appréciaient, rejettent, puis choisir la « meilleure copie » sans aucune autre suggestion. (Ils pensaient corriger des camarades.)

Remarquons deux facteurs négatifs :

- Expérience menée en février, l'influence des maîtres sur la rédaction a déjà jouée, dans certaines classes, l'ensemble des élèves portent leur choix sur la même version très courte.
- La mise en page faite par les enseignants accentuaient le facteur longueur (ainsi D a paru beaucoup plus long aux élèves, alors que D comporte moins de mots que la version B).

### Résultats :

(Voir planche 2)

Les élèves donnent des réponses variées, élaborées, motivées souvent très finement justifiées.

Les élèves savent comparer, analyser, choisir, expliquer les raisons de leur choix.

Les réponses pour chaque version étaient du reste assez longues. Souvent plus de 100 mots répartis sur 9 à 10 lignes (voir planche 2, réponses d'un élève).

Des élèves très faibles, qui n'auraient vraisemblablement pas pu faire l'exercice ont fourni des études très pertinentes. L'analyse des réponses a été intéressante et a permis de modifier certains points de la trame (voir analyse des résultats).

CHOIX DES COPIES					
%	A	B	C	D	E
Nombre	11	9	10	65	5
Double choix	2			15	

La version E est très sévèrement critiquée.

La version D modèle proche de la trame obtient 65 % des suffrages, auxquels il faut ajouter les 15 % qui la considèrent comme la copie la meilleure, mais la réserve aux devoirs à la maison, craignant sa longueur.

Notons aussi, car nous n'y reviendrons pas dans ce compte rendu que :

- l'absence des unités sur les formules est unanimement critiquée ;
- le mélange des calculs avec la solution est rejeté.

### Autres expériences :

Elles ont porté sur des points particuliers de la trame projetée.

Elles étaient destinées :

1) à rassurer les enseignants qui craignaient une rédaction figée ;

La rigueur n'exclut pas la diversité.

2) à fournir un catalogue des réponses possibles suffisant pour organiser l'analyse des messages de l'élève à l'ordinateur pour chacune des questions proposées.

## VI. — PRESENTATION DE LA TRAME

La trame comporte quatre étapes, la deuxième partie intitulée solution comprend sept points, l'application numérique seulement deux. (Voir planches 3 et 3'.)

La puissance d'un moteur supposée constante est le travail fourni par ce moteur pendant l'unité de temps.  
Le travail est donc donné par la relation

$$W_j = P_m \cdot t_j$$

Calculons la durée  $t$  du trajet  $L$ , effectuée par le camion à la vitesse  $V$ . Elle est donnée par la relation  $t_j = \frac{L}{V}$

$$d'où \text{ le travail } W_j = P_m \cdot \frac{L}{V}$$

Application numérique

$$L = 10^4 \text{ m.}$$

$$V = 45 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$$

$$P = 20 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$d'où \quad W = 2 \cdot 10^4 \cdot \frac{10^4}{12,5} = 16 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

$$W = 16.000 \text{ kJ}$$

V.E.R.S.I.O.N.B

Sur une route horizontale le travail de la pesanteur est nul (direction de la force perpendiculaire à celle du déplacement).

Soit 1)  $F$  = la force de traction du moteur qui est supposée constante, de direction horizontale, et est exprimée en Newtons.

2)  $d$  = le déplacement rectiligne, horizontal, exprimé en mètres.

3)  $M$  = le travail effectué exprimé en Joules

$$W = F \cdot d \quad (1)$$

La puissance d'un moteur est le travail effectué par unité de temps - L'unité est le watt.

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Des relations (1) et (2) nous tirons l'inconnue  $F$

$$F = \frac{P \cdot t}{d}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE

La vitesse est l'espace parcouru en 1 heure ou 3 600 s.

La puissance de 20 kW convertie en watts est égale à 20 000 W.

$$F = \frac{20.000 \cdot 3.600}{10^4} = 7.200 \text{ N}$$

$$45.000$$

Travail effectué pour un trajet de 10 km, ou 10 000 m.

$$W = F \cdot d$$

$$W = 7.200 \cdot 10.000$$

$$W = 72.000.000 \text{ J}$$

$$W = 72.000 \text{ kJ}$$

V.E.R.S.I.O.N.C

Le véhicule parcourt à vitesse constante 45 km en 1 heure ou 3 600 s., calculons la durée  $t$  du trajet de 10 km

$$t = \frac{3.600 \cdot 10}{45} = 800 \text{ s}$$

Si la puissance  $P$  développée pendant la durée  $t$  du trajet est constante, elle s'exprime en fonction du travail effectué  $M$  par

$$P = \frac{M}{t}$$

$$M = P \cdot t$$

En prenant  $P$  en kW et  $t$  en secondes on obtiendra  $M$  en kJ.

$$M = 20 \cdot 800 = 16.000$$

Le travail effectué pour un parcours horizontal de 10 km, est 16 000 kJ.

LE HÔTEUR D'UN CAMION DE 10 TONNES SE DEPLACANT SUR UNE ROUTE HORIZONTALE A 45 km/h DEVELOPPE UNE PUISSANCE DE 20 kW. QUEL EST LE TRAVAIL EFFECTUE POUR UN TRAJET DE 10 km ?

V.E.R.S.I.O.N.C

Par définition la puissance développée

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{travail effectué} \\ \text{temps mis pour faire ce travail}$$

$$W = P \cdot t \\ \text{ou } t = \frac{W}{P}$$

Il faut calculer la durée du trajet de 10 km.

$$t = \frac{10}{45} \cdot 3.600 = \frac{4}{5} \cdot 10^3 \text{ s}$$

Travail mis pour parcourir 10 km.

$$W = 20 \cdot 10^3 \cdot \frac{4}{5} \cdot 10^3 = 16 \cdot 10^6 \text{ joules}$$

Le poids du camion ne travaille pas : le déplacement étant horizontal.

# PLANCHE 1

V.E.R.S.I.O.N.D

a) Introduction : Le problème porte sur le travail d'une force se déplaçant parallèlement à son support.

b) Solution : Puissance provenant d'un travail  $M$

$$P = \frac{M}{t} \quad P \text{ puissance du moteur}$$

$$d'où M = P \cdot t \quad t \text{ temps mis pour accomplir le travail}$$

$$v = \frac{L}{t} \quad L \text{ longueur du trajet}$$

$$d'où t = \frac{L}{v}$$

$$M = P \cdot \frac{L}{v}$$

$$M = \frac{P \cdot L}{v}$$

$$M = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{45}$$

$$M = 44.444.444 \text{ J}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

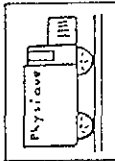
$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$



schéma

Et finalement :  $M = \frac{P \cdot L}{v}$  Conditions d'utilisation : Puissance constante (force constante)  
Déplacement rectiligne  
Vitesse constante

c) Application numérique :  $P = 20 \cdot 10^3 \text{ W}$

$$L = 10 \text{ km} = 10 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$v = 45 \text{ km/h} = \frac{45 \cdot 10^3}{3600} \text{ m/s}$$

$$M = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{45} = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

$$M = 44.444 \text{ kJ}$$

LA FORME SUFFIT À METTRE EN VALEUR LA DIVERSITÉ DES CONTENUS ( PEU LISIBLES ICI )

# PLANCHE 2

## VERSION A

C'est la version la plus complète des 5, tout en fournissant les explications nécessaires, et non pas superflues. Les formules sont clairement rédigées, les unités mises. L'application numérique est faite clairement et simplement.

C'est la meilleure version pour un devoir.

## VERSION B

Cette version est trop confuse.

Il y a trop d'explications qui finissent par rendre le devoir lourd et surchargé.

Le texte fait trop "texte de mathématiques": "des relations 1 et 2 nous laissent l'inconnue F".

La formule  $P = \frac{W}{T}$  est inutile, alors que les unités manquent dans toutes les autres formules.

## VERSION C

Cette version est la plus simple de toutes.

Elle est très bonne comme exercice chez soi, ou

à l'école, car les explications ne s'y trouvent pas. C'est surtout le résultat qui y est recherché.

Mais en temps que devoir cette version manque d'explications - on ne trouve presque que des formules.

Les unités manquent dans quelques formules.

## VERSION D

Cette version est aussi très bonne, mais quand on a du temps pour rédiger.

Le schéma par exemple ne sert presque à rien.

Le texte est bon dans ce qu'il comporte des parties différentes, mais il y en a trop. L'introduction et la conclusion sont superflues.

Alors que dans les formules elles-mêmes les explications manquent.

L'application numérique est assez confuse.

## VERSION E

Cette version manque d'explications vraiment rédigées.

C'est à dire que l'on a trop: phrase, formule, phrase, formule.

Chaque phase de la recherche n'est pas suffisamment mise en valeur.

Les unités sont mal exprimées.

Les résultats que l'on trouve dès le début: 3600... ne semblent pas trouvés par déduction, mais donnés dans le texte.

Il a un avantage cependant: il est court.

ANALYSE DES COPIES-MODÈLES  
PAR UN ELÈVE DE IIC.

# PLANCHE 3

EXEMPLE D'EXERCICE REDIGE SELON LA TRAME

Nom : Annie

Classe : 2<sup>ème</sup> C

TRAME

Un cheval tire une voiture en exerçant une force de traction de 600 N.

Il accomplit en 1 heure un travail de 2 400 kJ. Quelle est la distance parcourue ?

1) INTRODUCTION

1<sup>ère</sup> INTRODUCTION :

d'exercice porte sur le travail d'une force dont le support est parallèle à celui du déplacement.

2) SOLUTION

2<sup>ème</sup> SOLUTION :

Présentation de la solution

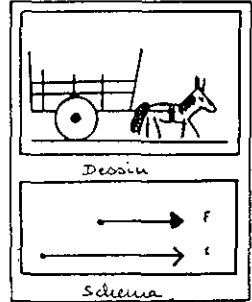
→ Travail  $W$  dans un déplacement  $l$ .

Relation

$$\rightarrow W = F l \cos \alpha$$

Explication des symboles

$F$  : intensité de la force  
 $\alpha$  : angle des supports de la force et du déplacement.



Figures

Conditions d'utilisation

→ Conditions d'utilisation { force constante  
 déplacement rectiligne

Recherche de l'inconnue

Unités

d'où  $l = \frac{W}{F \cos \alpha}$

3) APPLICATION NUMERIQUE

3<sup>ème</sup> APPLICATION NUMERIQUE :

$$\left\{ \begin{array}{l} W = 2400 \text{ kJ} = 2400 \times 10^3 \text{ J} \\ F = 600 \text{ N} \\ \alpha = 0 \text{ et } \cos \alpha = 1 \end{array} \right.$$

$$l = \frac{2400 \times 10^3}{600} = 4 \times 10^3 \text{ m}$$

4) INTERPRETATION

4<sup>ème</sup> INTERPRETATION : le trajet est de 4 km. Le résultat est plausible pour un cheval se déplaçant au pas pendant 1 h.

Remarque : la durée du trajet est ici une donnée inutile pour résoudre le problème.

# PLANCHE 3'

EXEMPLE D'EXERCICE REDIGÉ SELON LA TRAME

TRAME

Nom : MICHEL [REDACTED]

Classe : 2T

A la surface de la lune, un homme de 75kg a un poids de 118 N.  
Quelle est la valeur de l'intensité de la pesanteur de ce lieu ?

- 1) INTRODUCTION
- 2) SOLUTION
  - Présentation de la relation
  - Relation
  - Explication des symboles
  - Figures
  - Conditions d'utilisation
  - Recherche de l'inconnue
  - Unités
- 3) APPLICATION NUMERIQUE
- 4) INTERPRETATION

1<sup>o</sup> INTRODUCTION : l'exercice porte sur le champ de pesanteur lunaire -

2<sup>o</sup> SOLUTION :

Poids P d'un corps en un lieu où l'intensité de la pesanteur est g

$$P = mg$$

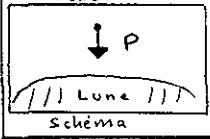
$\left. \begin{array}{l} m = \text{masse du corps} \\ g \text{ doit être le même pour tous les points de la masse} \end{array} \right\}$

Conditions d'utilisation

donc

$$g = \frac{P}{m}$$

$\left. \begin{array}{l} \text{N/kg} \\ \text{kg} \end{array} \right\}$



Dessin  
Schéma  
Figures

3<sup>o</sup> APPLICATION NUMERIQUE :

$$\left\{ \begin{array}{l} P : 118 \text{ N} \\ m : 75 \text{ kg} \end{array} \right.$$

$$g = \frac{118}{75} = 1,57 \text{ N/kg}$$

4<sup>o</sup> INTERPRETATION : Le champ de pesanteur de la lune est environ 6 fois plus faible que le champ terrestre (valeur moyenne 9,8 N/kg)

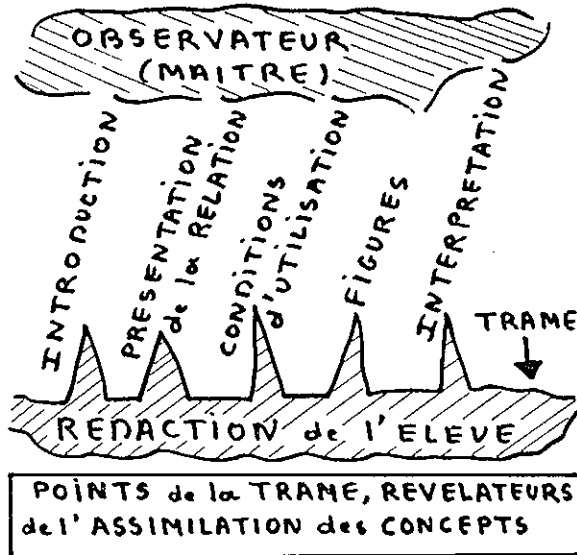
$$1,57 \times 6 = 9,42 \neq 9,8$$

La réponse trouvée est d'un ordre de grandeur vraisemblable -

La planche 3 présente un exemple d'exercice rédigé selon la trame.

La trame privilégie cinq moments où la physique affleure dans la rédaction de l'élève.

Indépendamment de la solution bonne ou mauvaise de l'exercice, le maître peut y trouver d'importants renseignements sur la démarche de l'enseigné.



Les explications concernant les cinq révélateurs des acquisitions, des concepts seront données plus loin avec les résultats.

Le désir que la trame puisse être présentée le plus vite possible aux élèves de seconde a conduit à puiser dans le stock d'exercices existant, les sujets les plus intéressants à traiter pour l'élève, c'est-à-dire ceux où il peut valablement interpréter la réponse. L'exercice le moins convaincant de la série a été volontairement choisi pour présenter la trame aux élèves (ce qui ne la met pas en valeur aux yeux du maître).

### Objectifs

Une série d'objectifs définis en terme de comportement, d'actions à réaliser par l'élève servant de contrôle des acquisitions a été établie. Ils ne sont pas donnés ici, car ils n'apportent rien au sujet.

### Réalisation du dialogue

La trame est présentée aux élèves en dialogue individuel à l'un des vingt terminaux de l'ordinateur de l'O.P.E.

Les enseignants disposent pour leurs classes de l'ensemble suivant :

1 — **Travail préparatoire** : exercices facultatifs. Le professeur décide de l'opportunité et peut choisir entre trois formules différentes.

2 — **Dialogue** : en séance spéciale par classe ou 1/2 classe. (20 pupitres.) Les classes de seconde C et T peuvent venir à partir de la fin décembre, celles de A et B à partir de mars.

Le dialogue comporte :

53 questions principales ;

20 questions de dérivation ;

12 questions facultatives portant sur 4 des points révélateurs ;

500 commentaires aux réponses ;

1 livret de 23 planches où l'élève trouve la présentation de la trame, les exercices. Il peut l'utiliser comme brouillon.

3 — **Epreuve de contrôle** : feuilles remises à l'enseignant comprenant un exercice à chercher et rédiger dans les quinze jours après la venue à l'O.P.E.

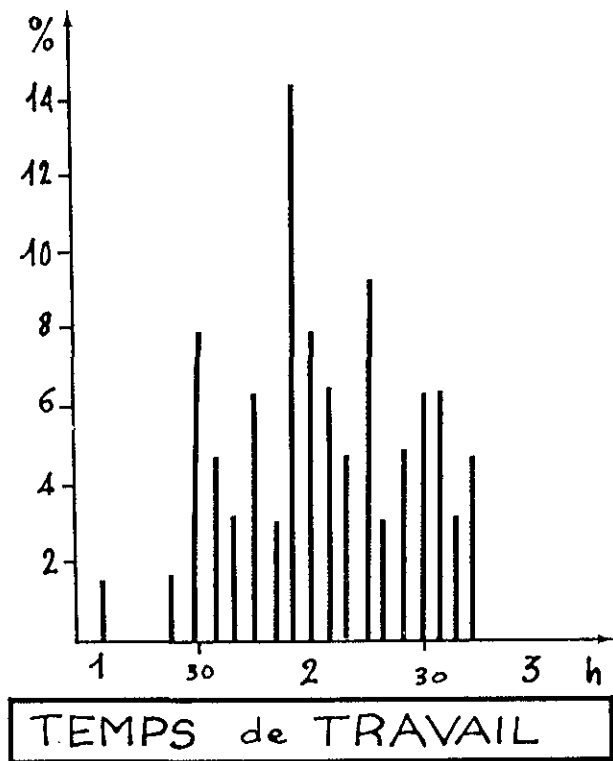
A l'heure actuelle près de 4 000 élèves sont venus au cours des 225 séances organisées. Près de 700 enseignants ont aussi étudié le dialogue.

Après les 200 premiers élèves, l'ensemble a été remanié pour obtenir une version type plus efficace. L'analyse des réponses est constamment améliorée quand le dépouillement des statistiques en montre la pertinence. (Dernière modification avril 77.)

### Temps de travail pour le dialogue :

Le temps nécessaire pour parcourir la trame diffère évidemment beaucoup d'un individu à l'autre.

Le graphique ci-dessous n'indique que le temps de réflexion de l'élève, le temps de frappe des questions et des commentaires ne figure pas.



Il faut aussi compter 3/4 h de présentation de l'ordinateur, de consignes pour utiliser le terminal et d'explications diverses.

Une séance demande donc un très net effort de concentration à l'élève, même si certains peuvent s'amuser de ce premier contact homme-machine.

#### Avis des élèves :

Très brièvement : 82 % considèrent le dialogue comme intéressant. Parmi les 18 % restant, 12 % mettent en avant que c'est bien, mais fatigant. Seuls 4 % font des remarques négatives : bruit, énervement...

## VII. — ETUDE DES RESULTATS

Les résultats obtenus ne sont analysés ici que pour mettre en valeur les cinq révélateurs des difficultés des élèves. Cela ne représente qu'une faible partie de tout ce qu'il est possible de tirer des états statistiques obtenus après chaque séance (cheminement individuel, étude des types de réponse, élimination des erreurs, influence

du sexe, de l'établissement scolaire, appel d'aide supplémentaire, etc.).

Pour ne pas compliquer, les résultats des travaux préparatoires, du dialogue et de l'épreuve de contrôle ont été regroupés dans chaque rubrique. La présentation a été choisie chaque fois pour donner l'essentiel sans redite.

Les résultats de l'épreuve de contrôle ne sont que des résultats quantitatifs globaux. Il était impossible de demander aux professeurs de recopier les copies. La feuille de statistiques à renvoyer était déjà une contrainte à laquelle 40 % d'entre eux se sont dérobés.

Certains résultats ne sont donnés que qualitativement.

En effet en énonçant que telle erreur n'obtient que 3 ou 2 % ne pourrait-on pas en conclure, qu'elle est de peu d'importance. Mais pour un des points révélateurs, la même erreur pour un même élève peut se produire à chaque exercice, c'est-à-dire 200, 250 fois dans sa carrière. Il est donc souhaitable de s'y arrêter.

### 1. Introduction

En proposant une introduction à son exercice, l'élève doit cerner le phénomène physique sur lequel porte l'énoncé et préciser, si il y a lieu, le cas particulier en jeu.

Exemples : « *L'exercice porte sur la loi de Joule* »... « *la loi d'Ohm* »... « *le travail d'une force électromagnétique* »... « *le travail d'un couple*, etc.

Cette introduction est importante. Elle oblige l'élève à trouver la classe de problème de son exercice. Elle renseigne le maître sur le phénomène retenu par l'élève. Le concept a-t-il été assimilé, ou une vague notion a-t-elle été retenue.

Le professeur peut au cours de son enseignement attirer l'attention des élèves sur les situations où le phénomène physique est en jeu. Il lui donnera la possibilité d'énoncer des introductions correctes, de préciser les cas étudiés...

### Travaux préparatoires

Dans les essais de rédaction de la trame, les introductions paraissent très difficiles à rédiger aux élèves, ce qui montre bien que le fond conceptuel de l'exercice est mal assimilé. Par contre, les enseignants estiment le révélateur fort intéressant quand il existe... tant son absence est déjà révélatrice.

Aucune trace d'introduction	75 %
Embryon	12 %
Introduction correcte	10

### Dialogue

Les élèves effectuent sept à huit questions sur le sujet de l'introduction avant d'aborder une épreuve test sur un exercice portant sur la pression d'un solide où il est intéressant de la réduire : une maison reposant sur des fondations de béton. L'introduction de l'exercice a du reste été nettement préparée avec un problème portant sur la même pression d'un solide : une statue de cheval sur un socle.

Réponses correctes	76 %
--------------------	------

Donc une nette amélioration des résultats.

L'étude des réponses incomplètes ou incorrectes des introductions est intéressante pour le maître.

### Difficultés à se dégager du réel

« L'exercice pose sur la pression d'une maison reposant sur des fondations. »

« Pression d'une maison sur du béton. »

Ici les élèves mettent en évidence les détails, les données les plus descriptives (en dépit des critiques déjà faites à ce sujet dans le cas du cheval sur son socle). Les caractères pertinents cèdent le pas au travesti du programme.

Pour ces élèves, la difficulté de voir le phénomène physique sur lequel est construit leur exercice, ne leur permet guère de résoudre l'exercice autrement qu'en « pêchant à la ligne » la bonne relation à utiliser.

Le passage d'une situation concrète au modèle physique qui l'interprète n'est pas perçu. Le maître pourra expliciter ce passage.

Le révélateur montre au maître l'élève empêtré dans les détails, il pourra l'aider à se dégager du réel, accumuler les exemples pour le faire arriver à généraliser et aboutir au concept.

Cette difficulté à cerner la classe de problèmes apparaît un peu plus loin dans une autre question du dialogue.

L'élève est amené à distinguer les exercices portant sur le travail de la force de pesanteur du cas général du travail d'une force.

Cinq textes sont proposés et l'élève doit choisir ceux qui sont analogues à l'exercice témoin d'un cheval tirant une charrette sur une route horizontale.

L'analogie entre le cheval et sa charrette, un camion et sa remorque de Fuel... n'est reconnue par un certain nombre d'élèves qu'en écrivant en face de chaque exercice

$$W = Ph \text{ ou } W = F \cos \alpha$$

avant de faire le tri.

Sans faire chercher de nombreux exercices, l'enseignant peut déjà habituer les élèves à reconnaître les problèmes d'une même classe.

### Difficultés à se dégager des données numériques

« L'exercice porte sur la surface d'une maison dont la pression est  $1,5 \cdot 10^5$  Pa. »

Un certain nombre d'élèves introduit dans leur introduction les données des calculs. Là encore le réci du texte masque plus ou moins le fond de l'exercice, et le maître pourra agir.

### Mathématisation de la situation

« Calcul de S en fonction de P et p. »

« Pression, calcul de la surface connaissant la pression et la force. »

L'élève ne peut retarder le moment d'utiliser les rassurantes formules.

L'enseignant pourra traiter physiquement le sujet et insister sur la place des mathématiques.

### Paraphrase

« L'exercice porte sur la transmission des forces. »

« L'exercice porte sur la surface d'appui d'un solide. »

L'élève prend grand soin de ne pas utiliser le mot pression. Mais là encore le révélateur permet au maître de cerner l'idée de pression (juste ou peut-être fausse).

### Incompréhension

« L'exercice porte sur la surface d'un solide. »

« Cas d'un solide reposant sur un corps résistant. »

« L'exercice porte sur une surface pour un solide connu. »



La notion de pression n'a pas été dégagée, mais l'exercice précédent a laissé la trace du terme solide ; il est très important que l'élève distingue si la pression en cause est celle d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz.

#### Copie de l'exercice

« Il faut chercher la surface pressée connaissant la pression exercée et l'intensité de la force pressante. »

Arrêtons ici l'analyse des réponses.

#### Epreuve de contrôle

Terme introduction citée	72 %
Oubli du terme	19
Terme incorrect	8
Introduction rédigée correcte	92 %
incorrecte	70 12

Les enseignants ont signalé l'intérêt pour eux de ces introductions.

## 2. Présentation de la relation

L'élève ne décrit pas le phénomène physique qui justifie la relation qu'il va utiliser (phénomène cerné dans l'introduction).

Ca manque était ressenti par beaucoup d'enseignants quand la trame avait été proposée pour la première fois, mais cette douleur s'est atténuée avec le temps.

L'élève présente la relation en mettant en évidence la grandeur qui lui permet de faire le pont avec la grandeur qu'il cherche.

Exemple :

Il pourra énoncer :

*ddp aux bornes d'un récepteur de résistance*

si il cherche la résistance intérieure du récepteur ;

*ddp aux bornes d'un récepteur parcouru par un courant I*

si le calcul de l'intensité lui est demandé ;

*ddp aux bornes d'un récepteur de f.c.e.m e*

si il a besoin de cette valeur e.

Pour présenter la relation

$$V_A - V_B = e + rI$$

#### Travail préparatoire

Les enseignants qui craignaient la rigidité de cette présentation peuvent se rassurer.

Dans des essais effectués avec des terminales C pour présenter une douzaine de relations, la diversité était au rendez-vous.

Exemple :

RELATION : $p = mg$	
Nombre d'abstentions	13 %
Nombre de réponses	87
Réponses différentes	60

Le corset semble donc être un tissu élastique, extensible en tous sens... donc fort confortable pour l'utilisateur.

#### Dialogue

L'apprentissage s'effectue plus ou moins rapidement suivant les élèves.

L'exercice final qui porte sur la présentation de la relation  $P = \frac{F}{S}$  avec S comme inconnue, donne lieu à un très joli exercice de style sur l'éventail des prépositions de la langue française.

« *Pression exercée... de, par, sur, contre, par rapport, à... la surface.* »

#### Epreuve de contrôle

Oubli de la présentation	58 %
Présentations correctes	21
Présentations incorrectes	21

Le point retenu présente donc des difficultés... et est donc un révélateur réel.

## 3. Conditions d'utilisation

L'énoncé des conditions d'utilisation demande à l'élève de distinguer entre l'équation mathématique et la relation physique qui a un domaine de validité dont il faut connaître les limites.

Il y a là un point de jonction important entre le langage mathématique, le réel et le modèle physique qui l'approche.

$$P = mg$$

soit, mais encore faut-il que l'intensité du champ de pesanteur soit constant en tous points de la masse  $m$ .

#### Travail préparatoire

Un exercice sur les conditions d'utilisation des formules de mécanique a été proposé à différentes classes de terminales C.

Dans la plus brillante d'entre elles, pour l'exemple ci-dessus  $P = mg$ , voici un petit échantillon des réponses.

« Solide quelconque. »

« Poids d'un corps en mouvement ou en arrêt. »

Mais un peu plus loin sur les copies, à l'occasion de la relation  $W = Ph$ , la lecture conduit à :

« Poids d'eau d'une chute ayant 4 mètres de hauteur. »

« Partie fixe sans trottement. »

« Charge accrochée à l'extrémité d'une ficelle qui passe autour d'une poulie pour être tirée par l'autre extrémité de la ficelle. »

La confusion avec les expériences sur l'énergie potentielle apparaît au lieu des termes poids constant - déplacement vertical.

#### Dialogue

Les conditions ne peuvent être inventées par l'élève et leur sont donc fournies sur une des planches de leur livret sauf pour la pression d'un solide où les conditions de normalité de la force sur la surface et l'uniformité de la répartition font partie explicitement de la définition donnée par les maîtres ou les livres. Les élèves ont quelques difficultés néanmoins à fournir les mots uniformément et normalement.

#### Exercice de contrôle

Conditions non données	47 %
Conditions présentées	53
Réponses correctes	35

Les enseignants ont été fort surpris, puis très favorables à l'explicitation des conditions d'utilisation à côté de la relation, mais il lui faudra les préciser chaque fois qu'il présentera une formulation mathématique à l'élève.

#### 4. Figures

Dans l'exercice des « copies modèles » demandé aux élèves, une seule copie D présentait sous le nom impropre de schéma le camion décrit dans le texte.

75 % des élèves critiquaient l'absence des schémas dans les autres copies.

15 % s'opposaient au schéma proposé dans la version B.

« Ce n'est pas un schéma, mais un dessin... »

« Pourquoi faire un schéma, les forces ne sont pas représentées. »

Ces remarques judicieuses ont conduit à séparer en deux figures la représentation en demandant :

- 1 dessin qui montre comment l'élève perçoit la situation ;
- 1 schéma où il présente le modèle physique sur lequel il raisonne.

Ces tracés sont l'occasion d'un codage du réel en langage physique.

#### Travail préparatoire

Dans des questionnaires portant sur des exercices de mécanique, l'accumulation des forces sur les schémas, la multiplicité des actions, des réactions, de leurs projections, amenant à la confusion au moment de la mise en équation, la non délimitation des systèmes a montré la pertinence de séparer le dessin et le schéma, et la nécessité de commencer tôt cet entraînement.

#### Exemple :

Exercice de représentation des forces dans un solide en équilibre.

Forces étrangères au système	51 %
Projection verticale non nulle	22
Oubli de la force de pesanteur	16
Projection horizontale non nulle	25

## Dialogue

Le dialogue n'insiste pas spécialement sur ce point, car il nécessiterait à lui seul un travail de recherche particulier et une mise en question sérieuse des systèmes de représentation des grandeurs physiques, des constants, des variables, des états, des repères, des systèmes clés, etc.

Les élèves effectuent deux petits exercices sur le sujet.

L'ordinateur, dans le cadre de l'expérience ne peut pas analyser directement les tracés. Ils ont été réduits au maximum.

## Epreuve de contrôle

Dessins absents	55 %
Dessins corrects	40
Dessins inadaptés	5
Schémas absents	23 %
Schémas corrects	67
Schémas faux	10

Les enseignants ont beaucoup apprécié la séparation dessin-schéma.

## 5. Interprétation

L'interprétation du résultat trouvé demande de confronter la réponse avec le réel.

Cette exigence impose au maître de choisir ses exercices de manière que les réponses numériques puissent être discutées par l'élève, que celui-ci dispose d'un certain nombre d'ordre de grandeur pour chacun des phénomènes étudiés ou qu'il puisse se le constituer.

## Travail préparatoire

1 — Dans le travail sur les « copies-modèles », les élèves avaient remarqué les interprétations des copies B et D.

Valorisation Copie B	65 %
Valorisation Copie D	80

2 — Dans les essais de la trame, l'étape est sautée à pied joint par près de 80 %.

Les réponses sont très succinctes :

« *Semble bon.* »

« *Juste.* »

« *Correct.* »

Mais la lecture des interprétations réellement tentées a toujours été passionnante, ont permis de mieux comprendre le déroulement de la pensée de l'élève, ont toujours été favorable à celui-ci même dans le cas où la réponse était erronée, où les interprétations étaient fausses... ou parfois très naïves.

## Dialogue

Cette dernière partie, la plus longue du dialogue, est celle qui intéresse le plus les élèves en dépit de la fatigue accumulée.

Le désir que les élèves puissent fournir des éléments d'interprétation a conditionné le choix de six exercices proposés dans le dialogue et les nombreuses questions partielles sur le sujet.

Les phénomènes choisis doivent permettre à l'élève de critiquer les réponses en faisant appel au bon sens, aux connaissances courantes (les élèves débutent en physique). Pour certaines questions des tableaux succincts donnent des ordres de grandeur usuels.

Tous les élèves notent que cette partie est la plus nouvelle pour eux. Dès le premier exercice, ils marquent un vif intérêt à la confrontation de la réponse avec la vie courante.

Ils arrivent fort bien à comparer, à juger.

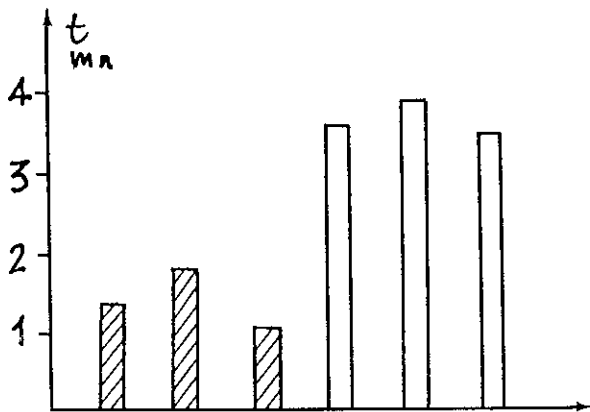
Les difficultés apparaissent quand les exercices suivants leur demandent de verbaliser.

— Les termes juste, correct, vraisemblable, l'expression ordre de grandeur... leur paraissent obscurs.

— Citer le cadre de référence où s'effectue la comparaison.

— Indiquer son jugement dans une ou plusieurs phrases.

Il faut en moyenne deux fois plus de temps.



INTERPRÉTATION :

VERBALISÉE

NON VERBALISÉE

**TEMPS - REPONSE**

Dans un des exercices, tout le vocabulaire utile (verbes, sujets, chiffres, adjectifs... est fourni) L'élève n'a donc qu'à organiser en un texte les 20 termes donnés.

Si certains élèves arrivent à des réponses bien élaborées du type :

« Le résultat trouvé ne convient pas. 500 W correspond à un appareil électroménager. La puissance d'une turbine se situe entre 1 000 KW et 100 000 FW. Réponse invraisemblable. »

La moyenne n'utilise que 4,7 mots (et encore la médiane n'est que de 4 et le mode de 3,5 mots). Nous sommes très loin des longs textes de critique des copies-modèles des professeurs.

L'exercice contrôle de cette partie du dialogue est une interprétation en texte libre du problème de la maison reposant sur des fondations de béton (l'élève a travaillé auparavant sur l'interprétation du cheval dressé sur son socle).

L'analyse des réponses est vraiment éclairante.

#### Répétition des résultats

« La surface des fondations de la maison doit être de 20 m<sup>2</sup>. »

#### Jugement sans aucune justification

« 20 m<sup>2</sup> pour une maison c'est peu, êtes-vous sûr de ne pas habiter dans une caravane. »

« La surface d'une maison courante oscille en effet autour de 20 m<sup>2</sup>. 20 m<sup>2</sup> est une réponse admissible. »

#### Jugement avec justification, portant sur une idée fautive des fondations

« Une pièce fait en général vers les 4 m<sup>2</sup> donc, il est possible qu'une maison fasse 20 m<sup>2</sup>. Le résultat est vraisemblable. »

« Il est peu probable que 20 m<sup>2</sup> soit la surface de fondation d'une maison, car la maison serait 50 fois plus grande que ses fondations. »

#### Jugement avec justification à déchiffrer

« Les murs ont une surface de contact de 20 m<sup>2</sup> (épaisseur 0,2), longueur = 100 m soit un périmètre de 100 m, carré de 25 m de côté, acceptable. »

« 5 = 20 m<sup>2</sup> = 10 m × 1 m de fondation. Vraisemblable. »

#### Jugement avec justification rédigée

« D'après le résultat, si on considère que des murs ont au plus 0,5 m d'épaisseur, la longueur (de fondation) est de 40 m au moins. Résultat plausible pour une maison normale ! »

De tout ceci, le maître peut vraiment tirer parti pour son enseignement. En particulier dans le cas présent, 80 % des élèves assimilent la surface des fondations à celles de la maison.

L'erreur n'est mise en évidence que par l'interprétation, le révélateur.

#### Epreuve de contrôle

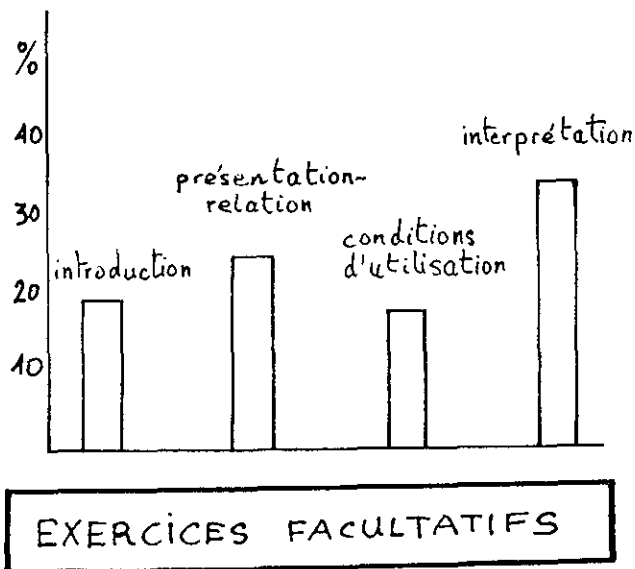
Terme interprétation cité	60 %
Oubli du terme	26
Terme incorrect	4
Interprétation rédigée correcte	72
incorrecte	10

Les enseignants ont beaucoup apprécié l'idée de faire interpréter systématiquement toutes les réponses.

Tous ceux qui ont corrigé les tentatives de leurs élèves ont été surpris par l'apport d'information obtenu. Mais ils ont tous aussi remarqué que le choix des exercices possibles était très limité.

### VIII. — EXERCICES SUPPLEMENTAIRES

Les élèves avant d'aborder les dernières questions du dialogue ont la possibilité, si il en ont le temps ou le désir, si la fatigue n'a pas eu raison de leur résistance, de demander une à quatre séries supplémentaires portant sur quatre des révélateurs.



L'interprétation sort triomphante. Les élèves semblent vraiment très ouverts à cette évaluation critique de leurs propres réponses. Ce résultat est très encourageant par rapport à la formation intellectuelle des sujets.

### IX. — CONCLUSION

#### Côté élève

La trame se voulait être une aide à l'élève faible ou moyen qui en général ne réussit que peu des exercices proposés.

Une rédaction claire, bien menée pourrait valoriser son travail, mettre en valeur son intelligence, même si il éprouve de grandes difficultés à faire les applications demandées.

Les applications malgré leur répétition, leur monotonie font appel à un certain traitement du texte de l'énoncé qui s'ajoute aux connaissances assimilées ou non.

Ce traitement qui permet de déshabiller le problème proposé de son déguisement pour retrouver le phénomène physique brut n'est pas automatisé, des blocages peuvent survenir à chaque nouveauté présentée. De toutes les façons, même si certaines indications sont données le traitement lui-même n'est pas enseigné, et peut-il l'être ?

Mais en ne faisant aucune hypothèse sur la manière dont un élève trouve ou pourrait trouver un problème, la trame se proposait uniquement de rationaliser la trouvaille, la découverte de l'élève pour lui permettre de mieux la communiquer au milieu extérieur : maître, élève, examinateur.

#### Côté maître

L'outil enseigné aux élèves est à la disposition des maîtres. Ceux-ci peuvent l'utiliser avec plus ou moins de profit par la suite. Mais tous les enseignants qui ont exigé de leurs élèves de rédiger selon la trame ont trouvé que le travail de correction était facilité, et qu'ils cernaient beaucoup mieux les notions mal assimilées. Certains ont même gentiment déclaré qu'ils pensaient aux révélateurs de la trame quand ils faisaient leurs cours.

Un enseignant remarque :

« Le maître sait que l'élève n'a pas pu, pas su se dégager ou intégrer la réalité ou la pseudo réalité du texte de son problème. »

Comme le dit le dialogue, la trame est une clé, chacun peut la placer dans la serrure si il le désire.

Nicole RICHE,  
Laboratoire de l'O.P.E.,  
Université Paris VII.

# C.E.S. COOPERATIF « JULES VALLES » DE LA RICAMARIE

Depuis plusieurs années (1967) à la demande de la municipalité de la ville de La Ricamarie (environ 14 000 habitants), près de Saint-Etienne (Loire), la section de la Loire de l'Office Central de Coopération à l'Ecole (OCCE) a travaillé à l'élaboration d'hypothèses pédagogiques visant à la création d'un Centre Educatif Coopératif (CEC) expérimental de plein exercice. Le CES n'est qu'une des composantes de l'édifice CEC dont l'architecture elle-même a été fonctionnellement réalisée en rapport avec les hypothèses pédagogiques. La population de La Ricamarie est composée à 78 % d'habitants issus du milieu social ouvrier.

## I. — QUELQUES POINTS ESSENTIELS DU PROJET :

### 1. Structure

La structure a été conçue pour éliminer tout cloisonnement et groupement déterminant a priori pour les formes d'enseignement, et éviter autant que faire se peut toute érosion des possibilités d'appropriation d'un savoir ultérieur.

Le CES se caractérisera, si les hypothèses sont respectées, par la structure suivante :

— Cinq unités de vie (UV) de 120 élèves regroupent chacune huit groupes de vie (GV) de 15 élèves. Chaque unité dispose d'un bâtiment propre, à l'intérieur duquel chaque GV dispose lui-même d'une salle qu'il aménage et utilise à son gré.

Il s'agit là du seul point fixe de la structure.

— Les élèves de chaque GC se répartissent en fonction de leurs intérêts, de leurs objectifs, de leurs besoins :

- soit dans les groupes d'enseignement (GE)
- soit dans les groupes d'intérêt (GI)

Le fonctionnement des GE et GI n'étant pas forcément dissocié.

## 2. Principes didactiques

Le principe vise à une valorisation de la fonction création de l'enfant par l'intermédiaire du GV coopératif.

Le GV donne à l'enfant l'occasion de l'expression d'un comportement social dans un contexte qu'il ne trouve pas dans un établissement scolaire habituel, voire dans son milieu familial. Le GV vise à susciter chez l'enfant une prise de conscience de l'inadéquation des stratégies précédemment acquises à répondre à une situation. Avec l'aide de l'adulte responsable du GV (qui n'est plus le professeur en tant que détenteur d'un savoir propre à sa discipline) doit se réaliser la prise en charge par l'enfant des diverses composantes des processus d'apprentissage à travers les activités, les contenus, l'explication de ses intérêts. Le GV est lui-même le lieu d'une partie de l'évaluation formative envisagée (carnet d'observation continue).

Le GV devient médiateur fondamental en ce sens que la créativité devient un acte conscient et volontaire.

En outre, c'est le lien qui permet aux conflits de s'exprimer et de trouver une solution optimale valorisante.

## 3. Méthodologie

La forme privilégiée d'enseignement est l'enseignement individualisé coopératif pris en charge par tout le groupe et à tous les niveaux. Il s'agit de faire réaliser une « course d'équipe » par le groupe qui n'abordera pas de nouvelle recherche avant que chacun de ses membres ait réalisé le contrat que le groupe s'était fixé (cette notion est à distinguer de la notion de travail et de recherche individuelle solitaire, qui non seulement ne sera pas exclue mais stimulée par la coopération).

Cela ne présuppose en aucune manière une quelconque homogénéité du groupe concernant les « niveaux » d'acquisition scolaire.

## II. — QUELQUES « PROBLEMES »

Sans refaire un historique qui demanderait trop de développements, la situation actuelle est la suivante :

Nous passerons sur les manœuvres subtiles mais coûteuses auxquelles il fallut avoir recours pour assurer la part de financement incombant à l'Etat en recourant à l'emprunt avant que ce financement n'arrive effectivement.

La dotation obtenue en personnel d'enseignement, bien que légèrement supérieure (environ 18 heures d'enseignement hebdomadaires) à la dotation ministérielle traditionnelle, est inférieure à notre demande (1 seul poste d'EPS contre 3 demandés, pas de poste en éducatifs artistiques, alors que ces disciplines sont revalorisées par le projet et tiennent un rôle fondamental dans l'émergence des intérêts). Son calcul a été effectué sur la base de 24 élèves par groupe, ce qui ne correspond ni à l'hypothèse, ni à l'architecture fonctionnellement liée à celle-ci où les salles, par leur superficie, ne peuvent accueillir qu'un maximum de 20 élèves ! Les nominations des candidats volontaires a été refusée en CAPN. Le ministère leur propose une délégation rectorale !

Le problème essentiel est bien sûr celui du statut de l'établissement. Alors que l'arrêté créant le CES comme établissement expérimental de plein exercice était prêt pour paraître au B.O. du 23 février 77, un blocage (un de plus !) est intervenu au niveau non plus maintenant du ministère de l'Education, mais de celui des

Finances et nous n'en sommes plus maintenant, alors que l'architecture forme un tout avec l'hypothèse pédagogique globale, qu'à des bruits des rumeurs d'un statut d'établissement « chargé d'expérimentation » ! Mais de quelle expérimentation ? Cette situation entraîne la plus grande incertitude sur le déroulement des nominations et les moyens alloués au CES et au CEC pour fonctionner.

## III. — QUELQUES DEMANDES

Il est important de ne pas aliéner les perspectives d'avenir. Aussi nous demandons que la Convention qui sera passée entre l'INRP et le CES ne se conçoive que comme une phase préparatoire au statut d'établissement expérimental de plein exercice. Cette convention devra être le fruit d'une étroite collaboration entre les groupes de travail (107 professeurs au total) et l'INRP.

En l'état actuel de la situation, l'absence totale de moyens nous amène à lancer un appel auprès de toutes les personnes et organismes intéressés par le champ d'expérimentation qu'offrira le CES. (Ecrire à la section de la Loire de l'OCCE). Merci d'avance !

Quoi qu'il en soit, dès la rentrée prochaine sera mise en œuvre la réalisation de monographies (ou chroniques) conduites simultanément dans des groupes expérimentaux du CES ou des classes de type traditionnel d'autres CES. Ces monographies auront pour but d'assurer une évaluation formative des enfants et une réinsertion immédiate dans leur cursus scolaire.

Alain DENIS,  
René DIMIER,  
I.R.E.M. de Lyon,  
O.C.C.E. de la Loire.

## Bibliographie

— Documents n° 1 - 2 - 3

1) Dossier « structure interne »

2) Pour un CES Coopératif

3) Stage pour un CES Coopératif

publiés par la Section de la Loire de l'OCCE, rue des Ovides,  
42100 Saint-Etienne.

— Autour du CES Coopératif de La Ricamarie. Tome 1. IREM de Lyon.

— Réflexions sur l'enseignement de la géométrie au CES de La Ricamarie.

Colloque Inter-IREM de Toulouse, 3-4 décembre 1976. IREM de Lyon.





## FICHES ANALYTIQUES



37.02  
DID

*Didactique des sciences et psychologie.* — Revue Française de Pédagogie, n° 45 (spécial), oct.-nov.-déc. 1978, 208 p.

Travaux de la table ronde organisée à Paris en mai 1977 par le C.N.R.S. et la Maison des sciences de l'homme, qui constituent un échantillon des recherches françaises dans cette nouvelle science qu'est la didactique.

37.02  
DID

*Didactics of sciences and psychology.* — In : Revue Française de Pédagogie, n° 45 (special issue), Oct.-Nov.-Dec. 1978, 208 p.

Results of the Round Table conference held in Paris on May 1977 by the « C.N.R.S. » (National Center for Scientific Research) and the « House of Human Sciences », which give a sample of French research in this new science named « didactics ».



37.02  
DID

*Didáctica de ciencias y psicología.* — In : Revue Française de Pédagogie, n° 45 (spécial), oct.-nov.-dic. 1978, 208 p.

Trabajos de la reunión organizada en París, mayo 1977, por el C.N.R.S. y la Casa de las Ciencias del Hombre, que constituyen una muestra de las investigaciones francesas en esta ciencia nueva que es la didáctica.

3702

ДИД

*Дидактика наук и психология.* — Ревью француз де педагожи, № 45 (специальный номер), окт. — ноябрь — дек. 1978, стр. 208

В этом номере представлены работы симпозиума, организованного в Париже в мае 1977 г. Национальным Центром Научного Исследования и Домом гуманитарных наук: они представляют собой экземпляр французских исследований в этой новой науке, дидактике.



**Les publications de l'I.N.R.P.**  
*(dont le catalogue gratuit vous sera envoyé sur demande)*  
 sont diffusées par les services de vente des  
**CENTRES RÉGIONAUX DE DOCUMENTATION PÉDAGOGIQUE**  
 et des

**Centres départementaux de documentation pédagogique**

- AIX-MARSEILLE**  
 75, rue Ségur, 13291 Marseille Cedex 2. Tél. : 37 40 39  
 Avignon  
 8, rue Frédéric Mistral, 84000 Avignon. Tél. : 86 49 19  
 Digne  
 C. F. S. Mercier-Lerrieux, 5, place des Cordeliers, 06000 Digne. Tél. : 31 03 87  
 Gap  
 2, avenue Fabrice du Fauch, 05000 Gap. Tél. : 51 30 84  
**Saint-Denis de la Réunion**  
 13, rue Jean Châtel, 97409 Saint-Denis de la Réunion. Tél. : 21 35 97  
**AMBIENS**  
 25, rue Général Lortie, 1, rue Faidherbe, B.P. 3043, 80000 Amiens Cedex.  
 Tél. : 62 01 03  
 Beauvais  
 22, avenue Victor Hugo, B.P. 301, 60030 Beauvais Cedex. Tél. : 445 29 30  
 Avenue de la République, 04000 Lez. Tél. : 23 29 02
- ANTILLES-GUYANE**  
 Guyenne  
 Boulevard de la République, B.P. 762, 97305 Cayenne. Tél. : 31 24 80  
**Fort-de-France**  
 Ecole normale des de la Martinique-Pointe-à-Pitre, route du Phare,  
 B.P. 269, 97200 Fort-de-France Cedex. Tél. : 71 48 04 et 72 25 38  
**Fort-de-France**  
 C. I. D. P. E. de la Martinique, B.P. 167, 97202 Fort-de-France. Tél. : 71 85 86  
**Pointe-à-Pitre**  
 Cité scolaire de l'Université, B.P. 378, 97162 Pointe-à-Pitre. Tél. : 82 09 85  
**BESANCON**  
 3, rue L. et M. Besançon, B.P. 1154, 25003 Besançon Cedex. Tél. : 82 10 90  
**Lons-le-Saunier**  
 2, rue Georges Loubat, Ecole normale, B.P. 324, 39015 Lons-le-Saunier.  
 Tél. : 24 26 25  
**BORDEAUX**  
 Lycée de l'Alsace Lorraine, 33075 Bordeaux Cedex. Tél. : 44 12 92  
**Agen**  
 150, rue Jean Jaures, 47000 Agen. Tél. : 66 59 86  
**Mont-de-Marsan**  
 Ecole du Peyrou, B.P. 4011, 49012 Mont-de-Marsan. Tél. : 76 43 11  
 3, avenue Mitterrand, B.P. 299, 40000 Pau Cedex. Tél. : 27 83 18  
**Périgueux**  
 Impasse de la République, 29, rue Alfred du Massat, 24016 Périgueux Cedex.  
 Tél. : 08 31 13  
**CAEN**  
 21, rue de Moncan Roy, 14034 Caen Cedex. Tél. : 81 08 60  
**Alençon**  
 Cité administrative, place Bonet, 61013 Alençon. Tél. : 26 66 80 (poste 314)  
**Saint-Lo**  
 Ecole Jules Ferry, rue de la 29<sup>e</sup> division, 50000 Saint-Lo. Tél. : 57 42 34
- CLERMONT-FERRAND**  
 15, rue d'Amboise, 63017 Clermont Ferrand Cedex. Tél. : 92 41 91  
 103, rue de la République, 63000 Clermont. Tél. : 48 60 26  
**Le Puy**  
 2, rue Montguyon, B.P. 132, 43012 Le Puy Cedex. Tél. : 09 26 82  
**Moulins**  
 2, rue Pope Guépinier, 43000 Moulins. Tél. : 44 05 91  
**CORSE**  
 8, cours Général Leclerc, B.P. 229, 20000 Ajaccio. Tél. : 21 07 68  
**DIJON**  
 Groupe universitaire de Montcaumon, Boulevard Gabriel, B.P. 403,  
 21043 Dijon Cedex. Tél. : 33 83 82  
**Macon**  
 Musée de l'Education, 57, rue de l'Horizon, 71000 Macon. Tél. : 38 71 77  
**Nevers**  
 118, rue Charles Roy, 58000 Nevers. Tél. : 61 45 98
- GRENOBLE**  
 11, rue du Général Clément, 38031 Grenoble Cedex. Tél. : 87 17 61  
**Anncy**  
 16, avenue de France, 68000 Annecy. Tél. : 57 37 36  
**Chambéry**  
 239, rue Pasteur, 73018 Chambéry. Tél. : 34 31 40  
**Valence**  
 26, avenue de l'École normale, B.P. 21 10, 26021 Valence Cedex. Tél. : 44 55 85  
**LILLE**  
 3, rue Jean Bart, B.P. 3359, 59013 Lille Cedex. Tél. : 57 78 07  
**Arras**  
 81, rue aux Ours, 59000 Arras. Tél. : 21 60 10  
**Valenciennes**  
 C. I. D. P. E. de la région, 1, rue du de Villars, 59300 Valenciennes Cedex.  
 Tél. : 46 27 81  
**LIMOGES**  
 25, rue des Arts, Carré, B.P. 61, Limoges Cedex. Tél. : 01 32 90  
**Tulle**  
 Rue Sylvain Corbier, B.P. 214, 19012 Tulle Cedex. Tél. : 26 32 88  
**LYON**  
 47, 49, rue Philippe de La Roche, 69316 Lyon Cedex 1. Tél. : 29 97 15  
**Bourg-en-Bresse**  
 6, rue Jules Ferry, 01000 Bourg-en-Bresse. Tél. : 21 21 36  
**Saint-Etienne**  
 16, rue Marcellin Allard, 42000 Saint-Etienne. Tél. : 25 20 91  
**MONTPELLIER**  
 Allée de la Citadelle, 34001 Montpellier Cedex. Tél. : 22 25 30  
**Carcassonne**  
 55, avenue du Docteur Henri Guibé, 11012 Carcassonne. Tél. : 25 25 02  
 Avenue de Pasteur, 31000 Toulouse. Tél. : 85 10 32  
**Nîmes**  
 10, Grand'Rue, 30000 Nîmes. Tél. : 67 85 13  
**Pérpignan**  
 Place Jean Moulin, 66020 Perpignan Cedex. Tél. : 34 00 10  
**NANCY**  
 39, rue de Metz, 54000 Nancy. Tél. : 52 86 14  
**Epinal**  
 Avenue Henri Sellier, 88026 Epinal. Tél. : 35 06 42  
**NANTES**  
 Chemin de l'Étabouement, B.P. 1001, 44036 Nantes Cedex. Tél. : 74 85 18,  
 74 86 20 et 74 86 21  
**Angers**  
 14, rue de la Juiverie, 49000 Angers. Tél. : 66 91 31 et 66 92 82  
**Laval**  
 25, rue de Mailleferrière, 53000 Laval. Tél. : 90 26 08  
**Le Mans**  
 31, rue des Maillets, 72000 Le Mans. Tél. : 85 43 70  
**NICE**  
 117, rue de France, B.P. 227, 06001 Nice Cedex. Tél. : 87 63 30  
 25, rue Notre-Dame-de-la-Rouvrance, B.P. 2219, 45012 Orléans Cedex.  
 Tél. : 62 24 90
- ORLEANS-TOURS**  
**Bourges**  
 4, rue Cléopâtre Brenly, 18000 Bourges. Tél. : 24 54 91  
**Chartres**  
 1, rue du 14-Juillet, 28000 Chartres. Tél. : 21 69 88  
**Tours**  
 1, rue Gutenberg, 37000 Tours. Tél. : 05 42 94  
**PARIS**  
 29, rue d'Alibi, 75200 Paris Cedex 05. Tél. : 329 21 64  
 Librairie "13, rue du Four, 75000 Paris. Tél. : 326 36 82  
**POITIERS**  
 6, rue Sainte-Catherine, 86004 Poitiers Cedex. Tél. : 41 34 83  
**Angoulême**  
 1, rue Vautour, 16017 Angoulême. Tél. : 92 16 60  
**La Rochelle**  
 Rue de Jarche prolongée, 17028 La Rochelle Cedex. Tél. : 34 13 82 et 34 04 05  
**Niort**  
 1, rue Jules-Ferry, 79009 Niort Cedex. Tél. : 24 82 65  
**REIMS**  
 47, rue Simon, B.P. 387, 51053 Reims Cedex. Tél. : 47 94 25  
**Châlons-sur-Marne**  
 Cité administrative, 51036 Châlons-sur-Marne. Tél. : 64 91 12 (poste 533)  
**Charleville-Mézières**  
 18, rue Voltaire, B.P. 27, 08109 Charleville-Mézières. Tél. : 57 51 58  
**Chaumont**  
 Ecole Robespierre, 20, rue Hocqueter, 52000 Chaumont. Tél. : 03 12 85 et 57 41 76  
**Troyes**  
 Adresse postale : inspection académique de l'Aube, services pédagogiques,  
 10025 Troyes Cedex  
 Implantation : école Michelet, 10, rue Saint-Martin-ès-Aires, 10000 Troyes.  
 Tél. : 22 28 00
- RENNES**  
 82, rue d'Antrain, B.P. 158, 35003 Rennes Cedex. Tél. : 36 05 76 et 36 10 15  
**Brest**  
 108, rue Jean Jaures, 29283 Brest Cedex. Tél. : 44 28 28  
**Saint-Brieuc**  
 30, rue de Brèveux, 22000 Saint-Brieuc. Tél. : 33 60 94  
**Vannes**  
 6, avenue de Lotteville-Tessigny, B.P. 110, 56008 Vannes. Tél. : 54 27 20  
**ROUEN**  
 Adresse postale : 2030X, 76041 Rouen Cedex  
 Implantation : 2, rue du Docteur Flauray, 76130 Le Mont-Saint-Aignan.  
 Tél. : 74 16 85  
**Rouen**  
 C. I. D. P. de la Seine Maritime, 2, rue du Docteur-Flauray, 76130 Le Mont-Saint-  
 Aignan. Tél. : 74 16 85  
**Evreux**  
 43, rue Saint-Germain, 27000 Evreux. Tél. : 38 00 91  
**STRASBOURG**  
 5, quai Zorn, B.P. 2 89 87, 67007 Strasbourg Cedex. Tél. : 35 46 13, 35 46 14  
 et 35 46 15  
**Colmar**  
 1, école normale, 12, rue Messimy, 68026 Colmar. Tél. : 23 30 51  
**TOULOUSE**  
 3, rue Regnaudin, 31069 Toulouse Cedex. Tél. : 62 54 54  
**Albi**  
 3, rue du Général Cartou, 81013 Albi Cedex. Tél. : 54 26 97  
**Auch**  
 Centre administratif, rue Bessy d'Angles, 39007 Auch Cedex. Tél. : 05 24 89  
 (postes 555 et 536)  
**Cahors**  
 Cité Besançon, rue de la France, 46016 Cahors Cedex. Tél. : 35 16 87  
**Foix**  
 31, rue avenue du Général de Gaulle, 09008 Foix Cedex. Tél. : 65 08 48  
**Montauban**  
 9, rue de la 1<sup>re</sup>, 82003 Montauban. Tél. : 03 51 18  
**Rodez**  
 (école normale d'instituteurs, 12, rue Sarrus, 12000 Rodez. Tél. : 68 13 53  
**Tarbes**  
 Rue Georges Magnouac, B.P. 205, 65013 Tarbes Cedex. Tél. : 03 07 18

Imp. Nat. 8 568 004 5 — C.P.P.P. n° 45636

Le directeur de la publication : R. Jacquenod.