

## LE NOUVEL "ASTER"

Jean-Pierre Astolfi

*Cette nouvelle revue Aster résulte de la transformation du bulletin interne aux équipes de didactique des sciences expérimentales de l'INRP. Elle vise à fournir aux enseignants engagés dans des innovations ou des actions de formation - ou simplement soucieux de repenser leur pratique - des outils didactiques utiles. Elle se propose d'éviter le cloisonnement trop étanche entre une perspective d'analyse scientifique et des préoccupations d'utilité professionnelle, cloisonnement qui menace constamment la didactique. Elle est ouverte à des collaborations extérieures à l'INRP.*

un bulletin de  
liaison

... dont la  
vocation  
s'élargit

des données pour  
les enseignants de  
sciences à la  
recherche d'outils  
didactiques

La nouvelle revue Aster, dont voici le premier numéro, se propose de publier régulièrement des travaux de didactique des sciences expérimentales afin d'en rendre disponibles pour un public nouveau les résultats, les méthodes et les problématiques. Jusqu'ici, un bulletin de liaison, portant le même nom, constituait le cadre privilégié de la communication et des échanges entre les enseignants associés à l'équipe de recherche de l'INRP. Au fil des années, il est apparu que ce bulletin à vocation interne avait tendance à déborder sa fonction première et, de fait, il nous a progressivement été demandé davantage par un public extérieur, cherchant à s'informer sur les problèmes de didactique des sciences. En proposant aujourd'hui cette formule élargie et renouvelée, nous espérons principalement être utile aux enseignants de sciences physiques et naturelles qui ont le souci d'une innovation dans leurs pratiques (par exemple, en fonction de leur intégration dans des équipes de rénovation) ainsi qu'aux formateurs, à la recherche des données récentes et des outils qui leur permettent de mieux fonder leurs actions.

Il nous semble que c'est là le public le plus naturel de la revue, étant données les caractéristiques de ses auteurs : une équipe de recherche étroitement associée

à un nombre important d'instituteurs et de professeurs.

un fonctionnement  
de la recherche  
"à double étage"

Notre souci d'une *interactivité* forte entre enseignants et chercheurs conduit assez naturellement à des textes susceptibles de satisfaire ceux qui sont engagés dans des *pratiques de formation* et qui ont le souci d'*innovations* pédagogiques bien étayées (et ce sont, dans un certain nombre de cas, les mêmes personnes). Pourtant, nous ne nous reconnaitrions pas sous l'étiquette de "recherche appliquée" car il nous semble que les travaux conduits avec ce souci de retombées en termes d'outils conduisent, *dans le même mouvement*, à des résultats suffisamment fondés pour intéresser les chercheurs en didactique, dont la communauté est en cours de structuration (1). Notre approche est plutôt caractérisée par l'idée d'un fonctionnement "à double étage" car ces recherches combinent deux finalités (l'une plutôt spéculative, l'autre plus opérationnelle) dont la compatibilité *n'est pas donnée d'emblée* mais qu'il faut construire cas par cas. Et ce partage ne recouvre pas, aussi simplement qu'on pourrait le croire, la distinction chercheurs-praticiens ; au contraire, il traverse souvent les préoccupations des mêmes acteurs :

- il serait faux de croire que les enseignants associés à la recherche ne sont sensibles qu'à une visée utilitariste. Plus souvent qu'on ne le dit, ils souffrent au contraire de l'enfermement dans lequel les confine la pratique, et apprécient la possibilité que leur offre la recherche d'un détour, d'une distanciation, d'une auto-observation critique.

- inversement, les chercheurs ne sont pas toujours mûs seulement par le repérage d'invariants didactiques. Il arrive qu'ils participent légitimement d'un projet de transformation auquel ils adhèrent, même s'ils y contribuent de façon plus indirecte qu'effective.

---

(1) Je renvoie par exemple à mes deux articles récents de la *Revue française de pédagogie* :

- "L'analyse des représentations des élèves, voie d'une différenciation de la pédagogie" (n° 68, 1984).

- "Produire des connaissances didactiques fiables et/ou des outils de formation ?" (n° 69, 1984).

Une découpe  
oblique

la cohérence de l'un  
est un "bruit" pour  
l'autre

En d'autres termes, la découpe pratique/recherche me paraît *oblique* par rapport à la découpe enseignants/chercheurs et, de plus, celle-ci peut varier dans le temps pour chaque acteur. Ce fonctionnement "à double étage" ne consiste pas en la recherche d'un simple "entre-deux" mutuellement acceptable (ni trop immergé, ni trop distancié), mais qu'il s'installe délibérément sur une *tension* qui lui est *constitutive*.

Michel Bataille explique que recherche et action sont situées sur deux bords entre lesquels on circule mais qui ne se confondent pas, chaque bord tendant à percevoir comme "bruit" ce qui fait la cohérence de l'autre (2). Il faut trouver des modalités d'organisation de la recherche telles qu'à ses différentes phases, et sans confusion des rôles, chacun trouve des réponses à ses préoccupations. Il faut établir une communication de qualité entre exigence scientifique et exigence professionnelle, sans renoncement ni de part ni d'autre. Car chaque exigence est susceptible d'irriguer l'autre au lieu d'être perçue comme "bruit".

En effet, l'enseignant, par les détours auxquels le conduit la recherche, peut ainsi entrevoir des modalités didactiques auxquelles, jusque-là, il ne songeait même pas (je pense notamment à tout ce qui contribue à modifier le regard qu'il porte sur les élèves, la "grille de lecture" avec laquelle il observe sa classe).

Et aussi, le chercheur, en raison de l'exigence qui lui est constamment rappelée de ne pas dissoudre sa signification globale de la recherche au profit d'un savoir ponctuel nouveau, est conduit à des réajustements dans les hypothèses et les modes d'organisation de la recherche.

Il faut tenter de combiner sans confusion, dans une même matrice, savoir et signification, ce qui permet d'échapper à la fois - selon la formule de Philippe Meirieu - à la recherche purement interprétative, souvent menacée d'esthétisme, et à l'empirisme individualiste, toujours tenté de projeter ses intentions en résultats et de projeter sur autrui l'origine de ses propres échecs (3).

---

(2) Michel BATAILLE : "Problématique de la complexité dans la recherche-action". Les *Dossiers de l'Education* n° 2. Université de Toulouse Le Mirail. 1983.

(3) Philippe MEIRIEU : "Les expériences éducatives nouvelles : praticiens et chercheurs". *Revue française de pédagogie* n° 68. INRP. 1984.

l'ouverture à des collaborations extérieures

L'équipe de recherche en didactique des sciences expérimentales de l'INRP (ESCIEX) assumera la maîtrise d'oeuvre de ce nouvel *Aster* pour y publier régulièrement des éléments issus de ses travaux. Mais elle a le souci, présent dès ce premier numéro, d'une ouverture à d'autres chercheurs afin, d'une part, d'élargir le panorama des résultats disponibles et, d'autre part, d'en faire un lieu de débats scientifiques à caractère didactique.

Parallèlement à cette revue, notre équipe poursuivra la publication d'ouvrages et de rapports de recherche comme elle le fait depuis de nombreuses années. Je ne peux ici en dresser le bilan d'ensemble publié par ailleurs (4) et il suffira de situer, à l'aide du schéma suivant, la diversité des domaines concernés. (5)

|                      |                                     | TYPES DE RECHERCHES  |   |  |
|----------------------|-------------------------------------|--|---|--|
|                      |                                     | Recherche de régularités, d'invariants.  | Recherches de signification.  | Recherches de faisabilité.   |
| BUTS DE LA RECHERCHE | Production de connaissances fiables | <u>Recherches MODELISANTES</u><br>Mise en évidence de lois, de processus reproductibles.   | <u>Recherches INTERPRETATIVES</u><br>Analyse de situations avec leur complexité ; souci d'en examiner différentes faces à l'aide de cadres théoriques variés. | <u>Recherches DESCRIPTIVES</u><br>Constitution de corpus sur la base d'innovations contrôlées ; établissement de typologies, de grilles d'analyse.                                   |
|                      | Définition d'actions didactiques    | <u>Recherches APPLIQUEES</u><br>Etude des modalités d'application aux situations pédagogiques ; traduction en termes d'ingénierie. | <u>Recherches ILLUMINATIVES</u><br>Exploration d'un choix raisonné, avec ses implications et ses conséquences.  | <u>Recherches DECISIONNELLES</u><br>Production d'instruments ouverts auxquels les enseignants peuvent référer leurs pratiques ; qui argumentent et régulent les prises de décisions. |
| Ce qui est central   |                                     | ◊<br>la question de la PREUVE  | ◊<br>la question du SENS  | ◊<br>la question du POSSIBLE   |

(4) Je renvoie à mon article publié dans le premier numéro (sous presse) des *Annales de didactique des sciences*, dans lequel je retrace l'évolution des recherches conduites, accompagnée d'une liste bibliographique relativement exhaustive.

(5) Ce schéma reprend, de façon sensiblement modifiée, un document de Jean CARDINET, in *La coordination de l'information dans le système éducatif*. Neuchâtel. IRDP. 1977.

**Nous chercherons plutôt, illustrant successivement les unes ou les autres de ces cases, à présenter un éventail diversifié de travaux de recherches, susceptibles d'être repris à des fins d'enseignement et de formation.**

**Jean-Pierre ASTOLFI**

**Responsable de l'équipe de didactique  
des sciences expérimentales de l'INRP.**

## UN INSTRUMENT D'ANALYSE DES MODELES IMPLICITES DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE CHEZ LES ENSEIGNANTS

**Anne Vêrin  
Brigitte Peterfalvi**

*Un instrument, le "Q-sort", est utilisé ici comme outil de prise de distance dans une démarche de recherche pour explorer la diversité relative des conceptions de l'enseignement scientifique et faire la part de ce qui relève de choix de valeurs à l'intérieur de questions de recherche.*

### I. RECHERCHE ET MODELE THEORIQUE

le modèle pédagogique théorique : construction théorique, outil d'analyse, outil d'innovation, outil polémique

Dans notre groupe de recherche sur la didactique des sciences expérimentales à l'INRP, une place centrale revient au modèle pédagogique théorique défini progressivement au cours des recherches antérieures et pris comme point de départ du travail dans la recherche que nous avons menée sur les procédures d'apprentissage autour des concepts d'énergie et d'écosystème. Il s'agissait, en référence à un modèle d'apprentissage constructiviste, d'essayer de mettre en oeuvre des activités pédagogiques cohérentes avec ce modèle et relevant elles-mêmes d'un modèle pédagogique théorique qui articule des activités de résolution de problème et des activités de structuration, et d'analyser les conditions de cette mise en oeuvre (1).

Il y a une ambiguïté dans le terme "modèle pédagogique", et selon les cas, il est pris dans un sens ou dans l'autre. Ces sens coexistent dans la recherche. C'est une *construction théorique* qui associe de façon cohérente plusieurs modes d'activité didactique, avec chacun leur propre logique, pour répondre à la double

---

(1) Equipe ASTER. *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. INRP, Collection Rapports de Recherche. Paris. 1985. N° 3. Voir en particulier chapitre 1. p. 7 et 8.

nécessité d'activités d'investigations personnelles qui fondent l'appropriation des connaissances et d'activités de structuration qui prennent en compte la distance séparant la connaissance scientifique des données empiriques.

C'est un *outil d'analyse*, de distanciation par rapport à des situations réelles de classe qui peuvent être lues à travers le "modèle". Cet outil s'applique à la réalité

pédagogique quelle qu'elle soit, bien que certaines situations donnent des informations plus pauvres que d'autres sur certains points. Ainsi un cours magistral nous renseignera avant tout sur l'organisation que l'enseignant donne au contenu. Pour analyser les représentations des élèves, comme cela apparaît nécessaire pour être cohérent avec le modèle d'apprentissage, il faut au minimum qu'ils parlent et il est préférable qu'ils agissent et qu'ils s'expriment sur leurs actions.

C'est un *outil d'innovation*, une option pédagogique particulière qui donne son orientation à l'action.

Alors que, dans le premier sens, on peut analyser n'importe quelle situation pédagogique à l'aide du modèle, ici le modèle permet de choisir les situations, les procédures pédagogiques que l'on veut développer, et à partir de là de rechercher les cohérences, de pointer les incohérences, de mettre en évidence les possibilités d'exploitation des situations... Il s'agit d'études de faisabilité. Par exemple, la nécessité d'activités de structuration étant acceptée - bien sûr parce qu'elle est argumentée théoriquement mais aussi parce qu'on adhère à ce choix -, il s'agit d'explorer les modalités de réalisation de ce type d'activités en relation avec les autres activités dans les conditions réelles de classe.

Il sert à l'expression argumentée de choix de valeurs. C'est un moyen d'emporter la conviction, l'adhésion de l'ensemble des participants à la recherche et, au-delà, de nos lecteurs... Cette intervention de choix de valeurs est sans doute plus évidente dans une recherche étroitement liée à l'action comme la nôtre, mais elle est présente dans toutes les sciences humaines où le chercheur peut essayer de dissocier au mieux de son analyse ses choix de valeur quant à l'objet étudié et aux postulats théoriques de départ mais il ne peut les éviter. Pourrait-on parler alors d'*outil polémique* ?

L'accord sur un modèle pédagogique comme construction théorique et outil d'analyse d'une part et comme outil d'innovation d'autre part est tout à fait indispensable pour qu'un travail de recherche en commun

l'analyse des modèles implicites de chacun est un élément de la démarche de distanciation nécessaire dans la recherche

puisse se mener. Il peut devenir un frein s'il devient une norme intangible du groupe à laquelle il devient nécessaire que tous fassent allégeance pour maintenir sa cohésion.

Tout groupe a tendance à se constituer des normes et à exclure de son discours toute remise en question de ces normes, un groupe de recherche comme tout autre. Mais la recherche doit sans cesse casser ces normes pour provoquer le recul, la distanciation qui font partie intégrante de la démarche scientifique. Elle le fait avant tout en établissement des modalités de fonctionnement où la confrontation et la discussion critique interne et externe sont favorisées. C'est dans cette optique que nous avons construit et utilisé un "Q-sort". Nous avons voulu créer dans la démarche de recherche une occasion d'explicitation des choix pédagogiques de chacun, de confrontation des divergences et des convergences et de regard critique sur le modèle pédagogique.

## 2. QU'EST-CE QU' UN "Q-SORT" ?

Le "Q-sort" est un instrument introduit à partir de 1935 par Stephenson, statisticien américain.

"Q" = "Qualities", "sort" = tri : on pourrait traduire par tri d'énoncés qualitatifs".

Cette technique est présentée avec de nombreux exemples dans le *Recueil d'instruments et de processus d'évaluation formative* (2) publié par le département de psychosociologie de l'éducation de l'INRP.

Empruntons donc à cet ouvrage quelques passages la décrivant :

"La technique consiste à proposer à des individus ou à un groupe (dont l'importance peut varier de quelques personnes à une soixantaine) le classement d'une série de propositions relatives à un ordre de préoccupation qui implique qualitativement chacun des participants (aspects divers d'une fonction, éthique professionnelle, conceptions philosophiques, recherche de modalités d'action, etc...).

le "Q-sort" - tri d'énoncés qualitatifs - conduit à dégager des attitudes individuelles et des choix de groupe

---

(2) *Recueil d'instruments et de processus d'évaluation formative*. Tome II. Département de psychosociologie de l'éducation. INRP. Paris. 1980.



La distribution des choix s'effectue selon une échelle de classement imposée ; celle-ci permet de ranger les propositions dans un certain nombre de piles, disposées en fonction d'une variable d'intensité de choix, de la plus forte adhésion au plus fort rejet (ou inversement).

Le dépouillement conduit à dégager une représentation statistique des attitudes individuelles et des choix de groupe dont l'analyse et l'interprétation sont demandées aux participants eux-mêmes".

"Pour sa part, Stephenson précise (3) : "Fondamentalement c'est une méthode qui permet à l'individu d'identifier pour lui-même, conformément à un cadre de référence, son attitude d'esprit par rapport à des thèmes, problèmes ou situations compliqués. Elle se préoccupe donc essentiellement de la subjectivité d'une personne telle que *cette personne* la décrit, et non pas des déductions que *nous* (psychologues ou spectateurs) pouvons faire concernant cette subjectivité. Toutes les mesures dans la Q. méthode sont centrées sur la personne - les échelles se trouvent en quelque sorte dans l'esprit même de la personne. Dans cette méthode on commence par fournir des données pour chaque cas isolé et ensuite on compare ces données à d'autres données. Cela commence par le modèle que la personne se forge pour elle-même et se poursuit par la comparaison avec les modèles fournis par les autres. Ces modèles sont ensuite soumis à l'analyse factorielle".

Le Q-sort est une technique souple, les objectifs auxquels il peut répondre sont multiples. Le plus généralement, l'intention est de faire prendre conscience à chaque membre d'un groupe de ses attitudes individuelles et de les comparer, de les situer par rapport à celles qui à partir de l'analyse statistique apparaissent comme étant celles du groupe dont il fait partie.

---

(3) STEPHENSON W. *The play theory of mass communication*. Chicago. London - The University of Chicago Press - 1968. page 5.

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 - Permettre aux élèves généralement sinon toujours de travailler dans des groupes de leur choix.  | 2 - Amener les élèves à une démarche de vérification que leurs idées soient justes ou fausses.  | 3 - Au cours d'une sortie, permettre aux élèves de recueillir ce qui leur semble important.   |
| 4 - Donner aux élèves des responsabilités pendant les heures de classe pour s'occuper des élevages, plantations ou du matériel.                                 | 5 - Faire un effort délibéré pour intéresser les élèves à un sujet ou un thème que vous aimeriez qu'ils poursuivent.                      | 6 - Poursuivre préférentiellement les sujets ou les thèmes suggérés par les élèves.   |
| 7 - Permettre à un élève ou à un groupe de faire un travail quand les autres font des choses tout à fait différentes.   | 8 - Permettre aux élèves de continuer une activité même si cela veut dire qu'ils ne feront rien d'autre pendant une assez longue période. | 9 - Laisser les élèves garder une idée fausse jusqu'à ce qu'ils découvrent eux-mêmes son inexactitude.                                |
| 10 - Quand les élèves ont une idée fausse, leur suggérer une expérience ou une observation qui démontrera son inexactitude.                                     | 11 - Utiliser les contradictions entre les idées émises par différents élèves pour les faire progresser.                                  | 12 - Encourager les élèves à imaginer et réaliser leurs propres expériences.  |
| 13 - Avant une sortie, établir collectivement avec les élèves les points à observer, les questions qu'on se pose, le matériel à recueillir.                     | 14 - Vérifier que les élèves généralement sinon toujours travaillent en groupe dont les élèves ont des niveaux différents.                | 15 - Quand on organise des activités par équipes, faire en sorte qu'il existe un problème commun à l'ensemble de la classe.           |
| 16 - Avant une sortie, dire aux élèves ce qu'ils auront à observer et récolter.   | 17 - Prévoir un temps pour permettre aux petits groupes de confronter leurs travaux.  | 18 - Il est important pour les élèves de pouvoir retrouver dans leurs manuels les notions qui ont été abordées en classe.             |
| 19 - Veiller à ce que les élèves prennent des notes (et fassent des schémas) sur leurs propres travaux.   | 20 - Faire en sorte que chaque activité aboutisse à un résumé écrit.  | 21 - Après une activité des élèves, regrouper, classer confronter les observations ou conclusions en leur proposant une organisation. |
| 22 - Aborder les notions selon un ordre logique et progressif.  | 23 - Aborder l'ensemble des notions du programme pour que les élèves puissent suivre l'année suivante.                                    | 24 - Passer aussi rapidement que possible du tâtonnement expérimental à une démarche scientifique rigoureuse.                         |
| 25 - Ne pas aborder de notions abstraites sans manipulations ou avant une approche plus concrète.   | 26 - Donner un cadre conceptuel aux élèves avant de les faire manipuler et expérimenter.  | 27 - Donner aux élèves un matériel qui soit particulièrement conçu pour eux et adapté à l'acquisition de notions précises.            |
| 28 - Orienter les activités de façon à ce que les élèves n'abordent que des problèmes qu'ils puissent résoudre. Ne pas les laisser s'engager dans des impasses. |   |   |

Ceci peut se faire de façon anonyme, chaque individu donnant une "feuille de réponse anonyme" pour l'exploitation statistique et gardant une "feuille de réponse personnelle" identique pour comparer son classement individuel à celui du groupe. Dans la situation qui nous intéressait, nous avons tenté de mettre l'accent, non pas sur l'appréciation individuelle par chaque participant de sa place par rapport à l'ensemble du groupe, mais sur les échanges, les discussions qui pouvaient résulter des différences interindividuelles dans les classements. Nous avons donc aménagé la situation de passation dans ce but.

### 3. CONSTRUCTION DE L'INSTRUMENT

Nous voulions un instrument permettant de différencier les attitudes pédagogiques et les procédures mises en oeuvre dans les classes, et en particulier les différents modes de structuration des connaissances. Nous avons pris comme point de départ un O-sort existant (4) que nous avons modifié, essentiellement en définissant des items concernant : le mode de prise en compte des représentations, différentes organisations du travail pouvant avoir des répercussions sur le mode de structuration des connaissances par les élèves, différentes places données à l'expérience, la place donnée au conflit cognitif à travers divers modes d'organisation des groupes.

28 propositions à classer, selon les conceptions que l'on a de l'enseignement scientifique

Nous ne pouvions pas tout traiter simultanément. Il nous a fallu éliminer certains domaines comme l'évaluation ou l'utilisation de documents pour que le questionnaire ne soit pas trop long. Pour les domaines retenus, nous avons conservé 28 items correspondant à des idées contrastées, en veillant à les formuler de façon toujours positive et si possible dans les termes mêmes de personnes les ayant émises, en puisant dans notre corpus de compte-rendus de classes.

---

(4) Q-sort sur les activités d'éveil à dominante scientifique, in *Recueil d'instruments et de processus d'évaluation formative*, op. cit., p. 691.

## 4. PROCEDURE UTILISEE POUR LA PASSATION

le classement a été effectué ici selon le degré d'adhésion au principe défini par chaque proposition et non par rapport aux pratiques réelles

La classification se fait à partir de petites fiches numérotées sur lesquelles figurent les items. Ces fiches sont à répartir en cinq piles échelonnées, depuis la pile des plus forts rejets jusqu'à la pile des plus fortes adhésions. Le nombre de fiches à mettre dans chaque pile est fixé d'avance et les feuilles de réponse sont construites en conséquence. Une fois le tri opéré, chacun doit reporter les numéros des items correspondant à chaque pile sur les feuilles de réponse, nous remettre la feuille de réponse anonyme pour un premier traitement statistique rapide et garder la feuille de réponse personnelle pour la discussion. Nous avons demandé que le classement soit fait en fonction de l'accord ou du rejet de principe avec les items, réservant à la discussion le repérage des écarts par rapport à la réalité, à ce que l'on estime possible de faire dans les conditions effectives d'enseignement et qui n'est pas toujours conforme à ce que l'on estime théoriquement préférable. En outre pour toute une partie des participants (les professeurs d'école normale), il n'était pas possible de répondre selon leurs pratiques réelles, étant donné qu'ils ne sont pas engagés directement dans l'action pédagogique avec les enfants. Les classements qui auraient été obtenus ainsi auraient été de nature différente pour les différentes personnes et auraient été plus difficilement comparables.

Propositions qui vous paraissent prioritaires

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | 2 |
|--|--|---|

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 7 |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|

Propositions neutres

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10 |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|

|  |  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  | 7 |
|--|--|--|--|--|--|--|--|---|

Propositions auxquelles vous n'adhérez pas

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | 2 |
|--|--|---|

FEUILLE DE REPONSE

---

En ce qui concerne l'organisation temporelle de la passation, on a d'abord demandé aux participants de se répartir par groupes d'une dizaine. Chacun devait effectuer son classement individuel des items. Puis il était demandé que chaque petit groupe se mette d'accord sur les deux plus forts rejets et les deux plus fortes adhésions. L'objectif de cette phase était de provoquer une explication par chacun de ses choix principaux et une discussion.

Enfin, tous ensemble, nous avons comparé les choix des différents petits groupes, confronté les raisons de ces choix et commencé à différencier les modèles implicites en présence.

## 5 . RESULTATS

Les éléments sur lesquels s'appuient nos interprétations sont les suivants :

- à partir des 65 réponses individuelles nous avons calculé un "score" moyen pour chaque item en attribuant un score à chaque choix selon la pile où l'item a été classé :

- + 2 : "propositions qui vous paraissent prioritaires"
- + 1 : intermédiaire
- 0 : "propositions neutres"
- 1 : intermédiaire
- 2 : "propositions auxquelles vous n'adhérez pas"

et en calculant la moyenne arithmétique des scores individuels pour chaque item.

De cette façon, nous avons déterminé les items qui ont recueilli le plus d'adhésion et ceux qui en ont recueilli le moins.

Nous avons représenté sur la grille de réponse la répartition des items selon les scores moyens qu'ils ont obtenus. A l'intérieur de chaque catégorie, les items sont ordonnés de gauche à droite du score le plus élevé au score le plus faible. Les traits obliques signifient un écart élevé entre les scores des items correspondants.

RESULTATS OBTENUS POUR L'ENSEMBLE DU GROUPE (N = 65)

T = total des scores  
m = moyenne

|         |      |      |      |      |       |      |      |       |       |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |       |       |      |
|---------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| Items . | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8     | 9     | 10   | 11   | 12   | 13   | 14    | 15   | 16    | 17   | 18    | 19   | 20    | 21   | 22    | 23    | 24    | 25   | 26    | 27    | 28   |
| +2      | 2    | 34   | 1    | 9    | 1     | 6    | 1    | 0     | 1     | 1    | 18   | 26   | 3    | 0     | 3    | 0     | 4    | 0     | 1    | 1     | 2    | 1     | 1     | 0     | 11   | 1     | 2     | 0    |
| +1      | 27   | 21   | 25   | 21   | 3     | 20   | 22   | 10    | 11    | 22   | 36   | 36   | 17   | 4     | 27   | 0     | 39   | 5     | 27   | 14    | 28   | 1     | 2     | 8     | 17   | 4     | 5     | 8    |
| 0       | 29   | 10   | 39   | 29   | 26    | 25   | 26   | 29    | 24    | 29   | 10   | 3    | 33   | 24    | 22   | 13    | 17   | 17    | 33   | 24    | 28   | 17    | 14    | 23    | 28   | 12    | 34    | 29   |
| -1      | 7    | 0    | 5    | 6    | 31    | 12   | 14   | 21    | 20    | 13   | 1    | 0    | 11   | 33    | 13   | 41    | 4    | 26    | 3    | 22    | 7    | 31    | 35    | 26    | 8    | 23    | 23    | 22   |
| -2      | 0    | 0    | 1    | 0    | 4     | 2    | 2    | 5     | 9     | 0    | 0    | 1    | 4    | 0     | 12   | 0     | 17   | 1     | 4    | 0     | 12   | 13    | 8     | 1     | 26   | 1     | 6     |      |
| T       | 24   | 88   | 20   | 33   | -34   | 16   | 6    | -21   | -25   | 11   | 71   | 88   | 10   | -37   | 20   | -65   | 43   | -55   | 24   | -14   | 25   | -49   | -57   | -34   | 29   | -68   | -15   | -26  |
| m       | 0,37 | 1,37 | 0,31 | 0,51 | -0,52 | 0,25 | 0,09 | -0,32 | -0,38 | 0,17 | 1,09 | 1,35 | 0,15 | -0,56 | 0,31 | -1,00 | 0,66 | -0,65 | 0,37 | -0,31 | 0,38 | -0,75 | -0,66 | -0,52 | 0,45 | -1,05 | -0,25 | -0,4 |

Propositions qui vous paraissent prioritaires

|   |    |
|---|----|
| 2 | 12 |
|---|----|

|               |    |   |    |    |    |   |
|---------------|----|---|----|----|----|---|
| <del>11</del> | 17 | 4 | 25 | 21 | 19 | 1 |
|---------------|----|---|----|----|----|---|

Propositions neutres

|   |    |   |    |    |              |    |    |   |   |
|---|----|---|----|----|--------------|----|----|---|---|
| 3 | 15 | 6 | 10 | 13 | <del>7</del> | 20 | 27 | 8 | 9 |
|---|----|---|----|----|--------------|----|----|---|---|

|    |    |   |               |    |    |    |
|----|----|---|---------------|----|----|----|
| 28 | 24 | 5 | <del>14</del> | 22 | 18 | 23 |
|----|----|---|---------------|----|----|----|

Propositions auxquelles vous n'adhérez pas

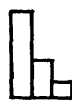
|    |    |
|----|----|
| 16 | 26 |
|----|----|

- Nous voulions également étudier le degré d'accord ou de désaccord du groupe à propos du classement de chaque item. Pour cela il nous fallait trouver un moyen de caractériser la dispersion des réponses.

La forme même des distributions des scores attribués à chaque item peut constituer un indicateur de dispersion assez intuitif mais suffisant pour notre propos. En regroupant les adhésions d'une part (scores +2 et +1), les rejets d'autre part (scores -1 et -2), nous obtenons, avec les classements en position "neutre" (score 0), trois possibilités de classement pour chaque item, dont la probabilité de choix est équivalente.

Nous retrouvons dans nos résultats trois formes de distribution des scores, qui correspondent à des degrés différents d'accord dans le groupe sur le classement des items.

La forme 1 correspond à des items pour lesquels il y a un accord majoritaire dans le groupe (adhésion majoritaire ou rejet majoritaire), avec une forte homogénéité des réponses.



items 2.11.12.17

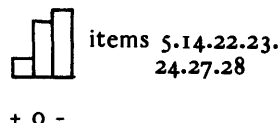
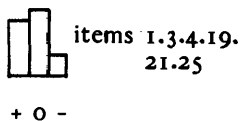
+ 0 -



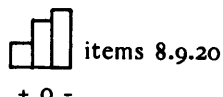
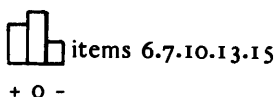
items 16.18.26

+ 0 -

La forme 2 correspond à des items pour lesquels les classements se répartissent majoritairement sur un des pôles et sur la position moyenne : l'accord est moins grand.



La forme 3 correspond à des items pour lesquels il y a des désaccords dans le groupe : les réponses sont réparties sur les trois possibilités de choix, avec une minorité importante (de l'ordre de 20 % des réponses) sur un des pôles positif ou négatif.



- Nous disposons par ailleurs des choix exprimés par chacun des huit petits groupes qui seront examinés dans la suite du texte par rapport aux réponses individuelles.

- Enfin les points de vue exprimés dans la discussion éclairent le sens donné aux propositions - dont certaines se révèlent être polysémiques - et donnent des explications aux choix qui ont été faits.

## 6 . LES PROPOSITIONS CHOISIES.

Le groupe a nettement classé en tête trois items :

(2) : "amener les élèves à une démarche de vérification, que leurs idées soient justes ou fausses"

(12) : "encourager les élèves à imaginer et réaliser leurs propres expériences"

(11) : "utiliser les contradictions entre les idées émises par différents élèves pour les faire progresser".

Les scores moyens obtenus par ces items sont nettement plus élevés que pour les autres. Ce sont également ces items qui sont classés le plus souvent en



première position et ils ne sont jamais classés en position négative, à une exception près pour l'item 11 : il y a donc une forte homogénéité des réponses. Les choix collectifs des huit groupes vont dans le même sens, sauf pour l'un d'entre eux.

Ce choix traduit un accord dans le groupe pour donner la priorité dans la formation scientifique à l'apprentissage d'une démarche expérimentale conduite par les élèves eux-mêmes, à partir de leurs propres idées, l'enseignant introduisant des exigences de confrontation (s'appuyant sur les conflits cognitifs) et de vérification et donc intervenant prioritairement sur la démarche intellectuelle des élèves, pour amener à la construction de connaissance.

on constate une forte homogénéité dans les choix positifs, qui correspondent au modèle constructiviste ; l'accent est mis plus sur la résolution de problèmes que sur la structuration des concepts

On retrouve là un reflet des discours tenus dans le groupe autour du modèle constructiviste. Il peut paraître évident que ces choix-là aient été faits. Notons cependant que, en conformité avec ce discours, on aurait pu faire d'autres choix et placer en priorité le souci de structuration par exemple, comme quelques-uns l'ont fait.

Le choix d'un des sous-groupes d'ailleurs est différent. Il place en priorité les items 6 : "poursuivre préférentiellement les sujets ou les thèmes suggérés par les élèves" et 13 : "avant une sortie, établir collectivement avec les élèves les points à observer, les questions qu'on se pose, le matériel à recueillir". On peut voir là un modèle pédagogique un peu différent où la priorité est de partir des intérêts des élèves et d'introduire des méthodes de travail, le rôle de l'enseignant étant de faciliter l'émergence de problèmes scientifiques par la mise en place d'activités fonctionnelles organisées collectivement.

Nous reviendrons sur ces points dans les paragraphes suivants.

L'item 17 : "*prévoir un temps pour permettre aux petits groupes de confronter leurs travaux*" vient en quatrième position dans la répartition moyenne pour l'ensemble du groupe, et on constate une forte homogénéité des réponses pour cet item également.

L'item 4 : "*donner aux élèves des responsabilités pendant les heures de classe pour s'occuper des élevages, plantations ou du matériel*" a le cinquième score pour l'ensemble du groupe mais les réponses sont réparties à peu près également entre la position favorable (+ 1 et + 2 réunis) et la position neutre (forme 2 de distribution des scores).

Cela s'explique probablement par le fait qu'il a une signification différente en biologie et en physique. En biologie, c'est une des conditions qui permettent de faire de la classe un milieu riche où peuvent se développer des activités fonctionnelles pour les élèves. En physique, il s'agit simplement de donner aux élèves libre-accès au matériel, et de les faire participer à sa gestion.

Il aurait été intéressant de savoir si les trente personnes qui ont classé cet item en position +2 ou +1 étaient des biologistes. Mais pour respecter l'anonymat, nous n'avons pas demandé de spécifier la discipline ni le niveau sur les feuilles de réponse. Si tel était le cas, cela donnerait une configuration différente des priorités pour les biologistes.

L'item 25 : *"ne pas aborder de notions abstraites sans manipulations ou avant une approche plus concrète"* vient ensuite dans le classement moyen. Comme l'item 4, il a été classé à peu près aussi souvent en position favorable et en position neutre. Mais là les différences d'opinion sont probablement liées aux niveaux scolaires concernés. Dans sa formulation absolue, c'est peut-être un principe que l'on peut adopter dans l'enseignement primaire, mais qu'il n'est guère possible de tenir dans le 1er cycle, et surtout dans le 2ème cycle de l'enseignement secondaire. Mais on peut le comprendre de façon moins absolue comme un principe selon lequel des manipulations ou une approche concrète préalables sont nécessaires pour faire saisir sur quelques cas le statut des notions abstraites, avant l'introduction d'autres notions : c'est le sens généralement adopté par ceux qui ont choisi cette proposition. Ils ont alors en même temps rejeté l'item 26 "donner un cadre conceptuel aux élèves avant de les faire manipuler ou expérimenter", en expliquant que c'est le principe général qu'ils rejettent, ce qui n'exclut pas l'adoption de cette pratique à certains moments.

Nous nous en tiendrons là pour ce paragraphe. Il serait fastidieux de passer en revue tous les items successivement, dans l'ordre de classement moyen. Nous avons retenu ici ceux qui se détachaient nettement, et ceux qui ont donné lieu à une discussion.

## 7 . LES PROPOSITIONS REJETEES

Examinons maintenant quels sont les items qui obtiennent le score négatif le plus élevé (nous dirons pour

faire court : les items rejetés, mais ils peuvent avoir été classés en dernière priorité parce qu'ils sont jugés secondaires ou spécifiques à certaines activités sans pour autant qu'il y ait toujours désaccord sur la proposition).

il y a moins d'homogénéité dans les rejets

Les rejets sont répartis sur un plus grand nombre d'items que les choix positifs, que l'on considère les scores pour l'ensemble du groupe ou les deux rejets exprimés par chaque sous-groupe après discussion. De plus cette discussion a amené une modification des choix négatifs. Cela vient peut-être de ce qu'un assez grand nombre d'items étaient rejetés de façon équivalente et que le classement des uns par rapport aux autres était assez aléatoire finalement.

L'item 26 : *"donner un cadre conceptuel aux élèves avant de les faire manipuler ou expérimenter"* a le score négatif le plus élevé, est le plus souvent rejeté individuellement (26 personnes l'ont placé en position - 2) et dans les choix des groupes.

Il semble y avoir là un large accord dans le groupe pour rejeter le principe d'une structuration préalable par le maître. Ceci complète ce que nous avons vu dans le paragraphe précédent : la majorité du groupe conçoit l'apprentissage de la démarche expérimentale à travers la réalisation d'expériences par les élèves à partir de leurs problèmes et la confrontation des résultats obtenus par les élèves pour les amener progressivement à une démarche expérimentale et à la construction de concept.

rejet de l'expérience simplement illustrative ou rejet de l'hétérostructuration ...

Ces expériences ne sont pas des illustrations ou des façons de s'approprier des connaissances données par le maître. Notons cependant que 5 personnes ont placé l'item 26 en position +2 ou +1. S'agit-il d'un autre modèle pédagogique, ou l'item a-t-il été compris de façon restrictive - comme certains l'ont dit dans la discussion ? Par exemple on peut estimer qu'il est nécessaire, avant que les élèves ne récoltent et n'étudient les petits animaux de la mare, de leur donner des informations sur les animaux les plus fréquents et on appellera cela "donner un cadre conceptuel aux élèves" mais sans leur faire un cours complet sur le mode de déplacement, d'alimentation, de reproduction de ces animaux, en laissant ouverte la possibilité qu'ils travaillent à partir des questions qu'ils se posent. La discussion de l'item 24 : *"passer aussi rapidement que possible du tâtonnement expérimental à une démarche scientifique rigoureuse"* (rejeté lui aussi en majorité, mais moins nettement) porte sur ces mêmes points. Est-ce que le "tâtonnement expérimental" est une activité scientifique ou

non ? Où commence l'activité scientifique ? Quand on s'occupe de l'alimentation des animaux d'un élevage ... qu'est-ce que le tâtonnement expérimental ? Deux visions s'opposent :

- l'activité est à l'origine de toute construction conceptuelle ; le concept "sort" de l'activité
- l'origine de certains concepts n'est pas dans une activité empirique.

Quelle place donner à la systématisation d'une méthode ? Donne-t-on un modèle de démarche à suivre qui relèverait seul d'une démarche scientifique ?

L'item 16 : *"avant une sortie, dire aux élèves ce qu'ils auront à observer et à récolter"* apparaît comme le deuxième rejet dans la majorité des classements individuels mais il n'est rejeté que par deux sous-groupes. On peut penser qu'il exprime un principe de même orientation que l'item 26, mais qu'il est classé en second lieu parce qu'il est moins déterminant de guider étroitement les élèves pour les sorties que pour les expériences. D'autre part les sorties ont une place différente dans l'enseignement selon les niveaux et les disciplines. Il est donc moins représentatif des propositions à rejeter et a donc été éliminé lorsque le sous-groupe n'avait la possibilité de n'exprimer que deux rejets.

L'item qui vient ensuite dans les classements défavorables est l'item 23 : *"aborder l'ensemble des notions du programme pour que les élèves puissent suivre l'année suivante"*.

Le terme de "notions du programme" évoque un corps de connaissances organisées que le maître doit transmettre, le terme "suivre" implique que les élèves doivent assimiler de façon passive les notions présentées par le maître. C'est probablement cette connotation d'hétérostructuration et de transmission de connaissances par un exposé du maître qui a fait rejeter cette proposition. Mais il n'a pas été choisi comme un des deux items rejetés par les sous-groupes. Est-ce que cela veut dire qu'à la discussion, cet item n'est pas jugé représentatif des rejets du groupe ? Si l'on remplaçait les mots "notion du programme" par les mots "objectifs", ce qui laisserait ouverte la démarche d'acquisition suivie, la proposition exprimerait le souci de faire acquérir par les élèves un certain nombre d'objectifs de connaissances jugés minimum et déterminés à partir du programme et ne serait sans doute plus rejetée par la majorité.

... rejet de l'enseignement linéaire au profit d'une construction progressive des connaissances

Le score négatif qui vient en 4<sup>ème</sup> position est celui de l'item 18 : *"il est important de pouvoir retrouver dans les manuels les notions qui ont été abordées en classe"*.

Cette proposition a suscité une vive discussion. La plupart des participants la rejette comme caractéristique d'un enseignement linéaire - où par exemple les expériences sont prévues à l'avance selon l'ordre du manuel - ne laissant aucune place à une démarche de tâtonnement et de construction progressive des connaissances par les élèves à partir de leurs représentations et de leurs démarches. Ils rejettent aussi l'utilisation du manuel comme recours à l'autorité, qui évite de réfléchir, de se poser des questions et de chercher à vérifier ses idées.

Mais quelques-uns défendent avec force l'utilité du manuel comme ouvrage de référence, en particulier pour les élèves de milieu défavorisé pour qui c'est souvent, disent-ils, le seul livre qu'ils ont. Il est important en conséquence de faire en sorte qu'ils puissent s'en servir, et qu'ils puissent situer ce qu'ils ont fait par rapport à une construction déjà faite.

L'item 22 vient ensuite dans le classement d'après les scores moyens : *"aborder les notions selon un ordre logique et progressif"*. Il a été classé en -2 ou -1 par 43 personnes.

Mais certains ont défendu cette proposition et la discussion qui a suivi pose un problème intéressant. Si on comprend "aborder" comme "l'enseignant aborde la présentation des notions" (ou même "aborde le travail sur les notions", ce qui laisse une place plus grande pour l'activité des élèves), en y associant l'item 26 par exemple, cet item définit une pédagogie de l'hétérostructuration et c'est pour cela qu'il est rejeté. Mais si, au lieu de l'ordre de présentation des notions, on comprend l'ordre de structuration des notions - si l'on traduit "aborder" par "aborder la structuration", alors, disent certains, il faut retenir cette proposition, car si l'on peut prendre comme point de départ de l'activité des thèmes très différents (par exemple élevage d'un animal, visite d'une pisciculture, observation d'un milieu, recherche documentaire), et suivre l'itinéraire spontané des élèves dans l'acquisition de notions, les composantes d'un concept (comme par exemple celui de reproduction) ne peuvent être structurées que dans un certain ordre. Il y a d'après eux un ordre obligatoire d'acquisition des concepts - comme celui que Piaget a défini pour l'acquisition des cadres opératoires de la pensée - qui permet quelques

itinéraires différents mais pas n'importe lesquels. C'est ce que nous cherchons à mettre en évidence quand nous construisons des trames conceptuelles, et il est utile que l'enseignant les connaisse car il n'arrivera pas à faire structurer par les élèves le concept d'élimination avant celui de nutrition, la poussée d'Archimède si la notion de masse volumique n'est pas acquise.

Sommes-nous d'accord avec cette conception ? Est-ce que le corollaire est qu'il existe et qu'il nous faut découvrir la progression propre aux élèves, progression autre qu'une progression logique du plus simple au plus complexe (ce qui nous paraît simple est souvent le produit d'une abstraction et représente l'aboutissement d'un long processus d'analyse pour les élèves), mais progression unique suivant le même ordre pour tous les élèves quand même ? C'est une vraie question posée à la recherche.

#### 8 . LES PROPOSITIONS POUR LESQUELLES ON RELEVE DES DESACCORDS IMPORTANTS DANS LE GROUPE.

Les propositions pour lesquelles la dispersion des réponses est assez élevée (forme 3 de distribution des scores) - au sujet desquelles une minorité non négligeable du groupe a un avis différent de la majorité - apparaissent dans la position neutre de la répartition moyenne des items pour l'ensemble du groupe.

Il n'est pas toujours facile de comprendre pourquoi ces items ont été classés de façon différente selon les réponses et ce que recouvrent ces désaccords apparents. Certains se révèlent ambigus, ou contiennent deux éléments : le sens donné à l'item se précise quand on sait à quels autres items il a été associé et à quels autres items il a été opposé dans la réponse. L'analyse des corrélations entre items nous permettrait d'avancer des interprétations plus étayées. Nous ne les avons pas calculées dans le cadre de cette étude. Nous indiquerons donc ici simplement quels sont ces items, quel jugement le groupe porte sur eux, et quelles options peuvent recouvrir les différents choix exprimés.

Trois items portent sur l'insertion des travaux d'élèves ou de petits groupes dans l'activité de la classe :

(15) : *"quand on organise des activités par équipes, faire en sorte qu'il existe un problème commun à*

*l'ensemble de la classe"*

(7) : "permettre à un élève ou à un groupe de faire un travail quand les autres font des choses tout à fait différentes"

(8) : "permettre aux élèves de continuer une activité même si cela veut dire qu'ils ne feront rien d'autre pendant une assez longue période".

Le groupe a plutôt tendance à privilégier le travail sur un problème commun à la classe et au contraire à rejeter l'item 8, mais les variations sont importantes. Est-ce parce qu'il y a réellement désaccord sur le fond ? Est-ce parce que les items sont interprétés différemment ? Au cours de la discussion, plusieurs sens ont été donné à "problèmes communs" (item 15) :

accent sur la démarche d'investigation personnelle ou sur le rôle moteur des conflits socio-cognitifs

- activité commune à la classe
- réalisation commune à mener ensemble
- question abstraite amenée par les élèves ou par l'enseignant ou par les programmes.

Le but recherché est chaque fois différent.

Dans tous les cas, l'item 7 peut être compatible avec l'item 15 ou contradictoire, selon le degré d'ouverture ou de définition des "problèmes communs".

L'item 8 également peut être compris comme compatible avec 15 - et dans ce cas il est plutôt perçu comme l'opposé de 23 : on donne la priorité dans l'enseignement scientifique à la conduite d'une démarche expérimentale complète permettant une structuration collective de certains concepts, même si toutes les notions du programme ne sont pas étudiées. Ce choix (+ 8 + 15 - 23) est surtout adopté pour l'école primaire.

Ou il peut être compris comme le contraire de 15 : priorité est donnée au projet collectif de la classe par rapport au projet individuel, parce qu'il permet de s'appuyer sur les conflits socio-cognitifs pour faire progresser la construction des concepts.

On voit que les interprétations différentes données aux items traduisent bien des choix différents. C'est la discussion collective qui a permis d'explicitier ces interprétations et de clarifier les choix.

Deux items dans cette catégorie décrivent des modes d'intervention différents des enseignants sur les représentations des élèves :

(10) : "quand les élèves ont une idée fausse, leur suggérer une expérience ou une observation qui démontrera son inexactitude"

(9) : "laisser les élèves garder une idée fausse jusqu'à ce qu'ils découvrent eux-mêmes son inexactitude".

En général, on préfère amener les élèves à une démarche de vérification de leurs idées (2) ou utiliser les contradictions entre leurs représentations (11) pour les faire progresser. On donne une priorité moins grande à une intervention plus directe où l'enseignant suggère lui-même aux élèves des actions possibles (10) et on rejette par contre la non-intervention (9). Mais les variations des choix exprimés pour les items 9 et 10 plus particulièrement reflètent des options différenciées :

intervenir plutôt sur  
l'attitude des élèves et  
leur démarche intellec-  
tuelle ou plutôt directe-  
ment sur leurs activités

10 peut être compris comme une des modalités de réalisation du principe 2, cela a été dit. Dans ce cas, 2 veut dire : intervenir non seulement sur l'attitude des élèves et leur démarche intellectuelle, mais aussi sur leurs activités (par exemple amener les élèves à peser les piles neuves et les piles usées, pour ébranler la représentation prévisible de pile réservoir d'une certaine quantité d'électricité-substance).

10 peut être rejeté et 9 jugé prioritaire. Cela peut correspondre à une option de ne pas intervenir sur la démarche elle-même de vérification.

9 peut être jugé équivalent à 11. Ce sont les conflits entre les représentations des élèves et ce qu'ils peuvent observer ou obtenir comme résultats à leurs expérimentations (9) et entre leurs représentations et celles des autres (11) qui les font progresser.

L'item 9 a été rejeté par deux petits groupes. Il semble que dans ce cas il ait été compris comme l'opposé de 10 et de 11 et représentatif d'une pédagogie de laisser-faire où le maître ne se donne pas le droit d'intervenir dans la démarche des élèves.

Sur l'item 6 "poursuivre préférentiellement les sujets ou les thèmes suggérés par les élèves", qui se rattache à cette catégorie de préoccupations, il y a également des différences dans les réponses, ce qui confirme qu'il y a des positions variables dans le groupe sur cette question.

On relève enfin des divergences importantes pour l'item 13 : "avant une sortie, établir collectivement avec les élèves les points à observer, les questions qu'on se pose, le matériel à recueillir", rejeté par 12 personnes (nous avons vu que les sorties avaient une place différente selon les niveaux d'enseignement et



les disciplines), et pour l'item 20 : "faire en sorte que chaque activité aboutisse à un résumé écrit", qui porte sur l'écrit comme activité de structuration mais ne précise pas la façon dont est élaboré le résumé (enseignant, petit groupe d'élèves, production collective ?) et reste donc ambigu sur le mode de structuration impliqué.

## 9 . PHYSIONOMIE GENERALE DES REPONSES

Les réponses au Q-sort consistent en une organisation des items entre eux. Certains groupes d'items sont jugés prioritaires, d'autres rejetés.

En analysant les choix faits pour les différents groupes d'items significatifs de choix de modèles pédagogiques (dans le sens d'outils d'innovation), on peut aller plus loin dans l'analyse de la physionomie générale du groupe. En soi cette description n'a qu'un intérêt anecdotique, mais, renvoyée au groupe de recherche, elle facilite la distanciation critique qui fait partie de notre démarche de recherche et elle pose de nouvelles questions théoriques concernant le modèle pédagogique.

les réponses au Q-sort renvoient à des questions théoriques sur le modèle pédagogique

*A - Les items 3 + 7 + 8 + 9 relèvent d'une conception non-directive s'ils sont associés et choisis en priorité : les élèves ou groupes d'élèves choisissent le sujet sur lequel ils travaillent, la durée de leur travail, l'enseignant n'intervient pas pour rectifier leurs idées fausses ou les orienter autrement.*

Or ces items obtiennent tous un score moyen (ni adhésion, ni rejet) et ils suscitent des divergences d'opinion. Cette conception n'est pas caractéristique du groupe.

*B - 2 + 10 + 11 associés relèvent d'une conception selon laquelle l'enseignant intervient à partir des représentations des élèves pour les mettre en contradiction (en jouant sur le conflit socio-cognitif) ou pour leur faire acquérir une attitude scientifique sans que soit défini par ces items le degré d'auto ou d'hétérostructuration (par exemple l'attitude scientifique est-elle un modèle donné et à suivre et intérioriser, se construit-elle petit à petit et comment). Si on y ajoute 27 et 28, l'enseignant intervient au départ pour restreindre le champ des activités des élèves dans une direction qui lui paraît plus fructueuse.*

Si on ajoute 12 et 25, l'accent est mis sur la méthode expérimentale. Le choix moyen du groupe est favorable à cette conception (forte adhésion à 2 et à 11,

score moyen pour 10 - voir la discussion à ce sujet plus haut). Priorité est donnée à l'intervention de l'enseignant sur la démarche expérimentale (12 et 25) et non sur le guidage des contenus (27 et 28 sont classés dans les positions négatives ou neutres, ainsi que 5, 22, 23).

*C - 2 + 19 + 20 + 24 associés donnent la priorité à l'intervention de l'enseignant sur l'apprentissage d'une méthode de pensée.*

Dans le groupe, 2 et 19 rencontrent une forte adhésion : l'enseignant impose des règles méthodologiques qui visent à faciliter l'autostructuration méthodique. Par contre il y a une majorité de rejet (mais avec dispersion des réponses) pour 20 et 24 où les règles méthodologiques visent à l'application par les élèves d'un modèle imposé de démarche, présumé être plus efficace : ces propositions sont rejetées justement pour des raisons d'efficacité. Si l'on veut apprendre aux élèves une méthode de pensée, on ne peut pas faire l'économie des tâtonnements et s'éloigner trop de la démarche réelle des enfants sous peine de n'apprendre que des mécanismes dénués de sens pour eux.

*D - Les items 16 + 22 + 23 + 26 + 27 + 28 relèvent d'un modèle d'apprentissage par hétérostructuration, ainsi que 10 et 18 s'ils sont associés à ces items. Les sorties, les observations et les expériences sont programmées par l'enseignant en fonction de représentations à rectifier et de notions à acquérir. La plupart de ces items sont rejetés, sauf 27 et 10 qui sont classés comme neutres dans la répartition moyenne, et la dispersion des résultats est relativement faible - excepté pour 10 (qui est ambigu et prend un sens différent selon qu'il entre dans le regroupement B ou dans ce regroupement-ci).*

*E - Les items 11 + 14 + 17 + 13 + 21 + 15 mettent l'accent sur le rôle du groupe classe dans l'émergence de conflits cognitifs utiles à la progression des élèves. La majorité du groupe attribue un rôle important au conflit socio-cognitif, plutôt suscité en fin d'activité semble-t-il (adhésion à 11.17.21).*

Les opinions sont plus variables en ce qui concerne le travail en équipe (13 et 15 neutres - 14 rejeté). Quel est le rôle de la communication dans le petit groupe, et entre les petits groupes, quel est le rôle des observations, des expériences etc... ? Le Q-sort ne permettait pas d'exprimer de choix sur ce point.

## 10. PROFILS PEDAGOGIQUES

la cohérence des différentes options peut être mise en relation avec les objectifs de la formation scientifique selon les niveaux d'enseignement

Les grandes tendances de réponses à ce Q-sort ne rendent pas compte de la cohérence des différentes options présentes dans le groupe. A titre d'exemple de l'étude différentielle que l'on pourrait conduire à partir de cet instrument, voici l'analyse de deux réponses individuelles, dont on peut faire l'hypothèse que l'une est caractéristique de l'enseignement en lycée et l'autre de l'enseignement à l'école primaire. Deux profils pédagogiques différents qui relèvent tous les deux d'un même modèle théorique constructiviste, dont la recherche a à explorer les implications pour chacun des ordres d'enseignement.

Réponse 1 :

|    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| 11 | 2  |    |    |    |    |    |    |   |    |
| 15 | 26 | 22 | 23 | 10 | 24 | 20 |    |   |    |
| 18 | 13 | 12 | 28 | 3  | 27 | 1  | 19 | 5 | 21 |
| 23 | 14 | 4  | 16 | 6  | 8  | 17 |    |   |    |
| 9  | 7  |    |    |    |    |    |    |   |    |

La priorité est donnée ici à une intervention de l'enseignant qui guide les élève dans une démarche expérimentale (11.2.15.26.25.10.24) et dans l'acquisition de connaissances (15.26.22.25.10.20). Sont considérés comme moins importants ou rejetés : la priorité à l'initiative des élèves pour déterminer les activités (6,7,8,9) ou à l'inverse l'imposition étroite par l'enseignant (16,14,23) de composition de groupe ou de contenu.

Réponse 2 :

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12 | 13 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1  | 3  | 4  | 11 | 6  | 15 | 17 |    |    |    |
| 24 | 27 | 28 | 9  | 10 | 2  | 25 | 21 | 20 | 19 |
| 26 | 16 | 7  | 18 | 22 | 14 | 23 |    |    |    |
| 5  | 8  |    |    |    |    |    |    |    |    |

Ici l'accent est mis sur l'initiative des élèves (12.1.3.6) et l'intervention de l'enseignant porte sur l'exigence de définition de problèmes (13.15), l'utilisation du conflit cognitif (11.17) dans le cadre d'une démarche expérimentale (11.17) où les activités fonctionnelles sont considérées comme importantes (13.3.4). L'articulation des activités des élèves avec un problème commun à la classe est jugée importante (choix de 15.17.11 rejet de 8.7). Le guidage de l'enseignant dans le contenu des activités (5.23.22.18.16.26) ou dans la composition des groupes (14) est considéré comme secondaire ou rejeté.

Si nous avons surtout parlé des convergences dans le groupe, nous avons relevé chemin faisant certains points de divergences que l'on peut renvoyer soit à des choix de valeurs, soit à des objectifs pour la formation scientifique et à des conditions qui diffèrent selon qu'on considère l'école primaire, le collège ou le lycée, soit à des questions théoriques sur les processus d'apprentissage. C'est précisément à faire ce tri que peut servir un instrument comme le Q-sort.

Anne VERIN  
Brigitte PETERFALVI

Equipe de didactique des  
sciences expérimentales.  
INRP.

## SUR LA NOTION DE CONTRAT DIDACTIQUE

Anne-Marie Drouin

Les notions de contrat et de transposition didactiques sont actuellement centrales en didactique des mathématiques. Dans quelle mesure sont-elles spécifiques de ce domaine ?

Quelles adaptations sont nécessaires pour pouvoir les "transposer" à d'autres disciplines ?

Sans prétendre apporter de réponse élaborée, le texte qui suit rend compte de discussions et commentaires dans le cadre de l'équipe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP.

Contrat et situation didactique.

Une répartition implicite des rôles.

Pour clarifier le sens des interrogations qu'a suscitées la notion de contrat didactique il est nécessaire de rappeler brièvement comment elle est présentée dans les textes de Brousseau et Chevallard (1).

Chevallard signale (*Remarques ...* p. 14) que c'est Brousseau qui le premier a développé la notion en didactique des mathématiques. Brousseau fait émerger la notion de contrat didactique de celle de *situation didactique*, elle-même incluse dans une "théorie des situations" qui permet de prendre en compte "comme objet principal les conditions du milieu qui rendent nécessaires et plausibles les comportements des sujets et les manifestations des connaissances" (*Gael*, p. 13).

L'analyse d'une situation permet en effet de mieux cerner, au-delà des contenus cognitifs pris en eux-mêmes, ce qui se passe entre le maître et les élèves, les attentes réciproques, le mode d'apparition des énoncés des uns et des autres, leur raison d'être, leur influence sur le choix des contenus ... "Dans toutes les situations didactiques, le maître tente de

(1) Ont été plus particulièrement discutés les textes suivants :

- Yves CHEVALLARD. *Remarques sur la notion de contrat didactique*. Exposé devant le groupe "Inter-IREM-Université". Avignon, janv. 1983.
- Guy BROUSSEAU et J. PERES. *Le cas Gael, étude d'un enfant en difficulté en mathématiques*. IREM de Bordeaux. 1981.
- Guy BROUSSEAU. *Les objets de la didactique des mathématiques*. Séminaire de la 2e école d'été de didactique des mathématiques. 1982.

faire savoir à l'élève ce qu'il veut qu'il fasse mais ne peut pas le dire d'une manière telle que l'élève n'ait qu'à exécuter une suite d'ordres (...) Ainsi se négocie un "contrat didactique" qui va déterminer explicitement pour une part, mais surtout implicitement, ce que chaque partenaire va avoir à charge de gérer". (*Les objets...*, pp. 32-33). Autrement dit, dans toute situation didactique il demeure nécessairement une part d'implicite que l'élève a à charge de décoder, aidé pour cela par le maître mais aidé seulement.

Un contrat est toujours déjà là, qui se manifeste à l'occasion de ses ruptures.

Or, dit Brousseau, le contrat ne se révèle que lors de ses ruptures, ruptures inévitables car il s'agit d'un contrat en grande partie implicite, et intenable. C'est cet aspect du contrat que Chevallard souligne dans ses *Remarques*, transposant l'analyse rousseauiste du *Contrat Social* sur le plan pédagogique, pour insister sur le fait que le contrat "est toujours déjà là", car ses clauses n'ont été énoncées nulle part, et sont pourtant universellement violées. Ainsi c'est quand une règle du jeu n'est pas respectée et qu'il y a rupture, que le contrat devient apparent à l'observateur. (*Remarques ... pp. 11-12*)

Ruptures et anomalies.

La rupture du contrat, son viol, se manifeste, dit Chevallard, dans des situations où l'on peut constater des "anomalies" de fonctionnement du système, lesquelles apparaissent alors comme une réponse à la rupture de contrat de l'un des partenaires. Ainsi le point de départ de la réflexion de Chevallard est l'"anomalie" constatée par des enseignants de Grenoble dans le comportement d'enfants qui, à un problème impossible à résoudre (déduire l'âge du capitaine de la longueur du bateau), donnent néanmoins une solution (2) : selon Chevallard il y a eu rupture de contrat de la part des adultes qui n'auraient pas dû poser de tels problèmes et ont induit un tel comportement aberrant chez les enfants. La position des deux auteurs semble diverger dans le degré d'ouverture accordé au contrat. Brousseau en effet parle d'un contrat qui se renégocie à chaque fois. D'où la notion d'*obsolescence didactique* qu'il introduit pour pointer l'obligation implicite de

---

(2) Equipe Élémentaire de l'IREM de Grenoble. "Quel est l'âge du capitaine ?". *Bulletin de l'APMEP* n° 323, avril 1980, pp. 235-243.

Le contrat implicite est-il général ou spécifique ?

l'enseignant à renouveler ses cours, le contrat changeant au fil des années (cf. *Les objets ...* pp. 34-35). Chevallard, par contre, dans sa critique des enseignants de Grenoble, semble faire allusion à un contrat implicite de l'école en général, qui fonctionnerait comme modèle du contrat didactique, et où les rôles du maître et des élèves seraient comme définis d'avance.

Les élèves ne sont pas des savants (Chevallard).

## LE LIEN ENTRE CONTRAT DIDACTIQUE ET TRANSPOSITION DIDACTIQUE

De fait, un des points forts de la thèse de Chevallard repose sur l'idée que dans l'expérience de Grenoble ce sont les enseignants qui ont rompu le contrat, en attendant des élèves une tâche non prévue : discerner la pertinence des données d'un problème. Or, dit-il, il n'est pas prévu dans le rôle des élèves qu'ils aient à juger de la pertinence des données. Ce travail est celui du maître ou du savant ; l'élève, lui, ne peut avoir une démarche de savant, "dût-on le déplorer" (*Remarques ...* p. 30). Il semble ainsi que pour Chevallard, le contrat, bien que fragile et constamment violé, soit relativement simple et stable dans ses principes, assignant un rôle bien différent au maître et à l'élève, car il ne s'agit pas pour l'élève de reconstituer un savoir, d'inventer des solutions, mais simplement de reconnaître à travers les données d'un problème, la structure du comportement qu'on attend de lui.

Le rapport au savoir est paradoxal (Brousseau).

Quant à Brousseau, il souligne le paradoxe présumé par le contrat didactique qui "s'appuie fondamentalement sur l'idée qu'il existerait un mécanisme producteur de la connaissance *nouvelle*, par simple exercice de connaissances *anciennes* (...). Alors que la connaissance est essentiellement l'inverse : l'intervention du sujet établissant un ordre là où il n'en voyait pas, ou relevant l'inattendu dans un ordre déjà établi." (*Les objets ...* p. 33).

Il faut un contrat pour répondre aux difficultés de la transposition didactique.

Quoi qu'il en soit, il apparaît que le processus d'acquisition de connaissances a une complexité telle qu'il impose la présence d'un contrat qui puisse préciser "le rôle conventionnel de la connaissance, de l'apprentissage, de la mémoire" et de fait, ce contrat "véhicule une sorte de *théorie de la connaissance, naïve*" (*Les objets ...* p. 35). On peut alors parler d'une "épistémologie scolaire" qui, selon Brousseau, peut ne pas être un obstacle à un bon enseignement

même si elle est fautive, "mais cette épistémologie scolaire, conjuguée à l'illusion de transparence des faits d'enseignement (cf. Chevallard) constitue un obstacle redoutable à l'émergence de la didactique scientifique" (*Les objets ...* p. 36).

Au total, quand il devient objet d'enseignement, le savoir est d'emblée transformé (cf. aussi le texte de Guy Rumelhard : *Le processus de dogmatisation*). Et la nécessaire transposition didactique, supposant un autre rapport au savoir que celui des savants, ne pourrait se passer d'un contrat qui définisse des rôles spécifiques à chacun.

### ANALYSE CRITIQUE DE LA NOTION DE CONTRAT DIDACTIQUE

. *Peut-on, doit-on changer de contrat ?*

Chevallard fait appel à la notion de contrat didactique pour légitimer une situation de dissymétrie constitutionnelle entre le maître et l'élève :

La dissymétrie maître/élèves est-elle constitutive de tout contrat ou de certains contrats ?

- il n'est pas question de changer de contrat sous peine de détruire les élèves en tant que tels, et c'est "placer trop haut la barre" (*Remarques ...* p. 18) que de les amener à juger de la pertinence des énoncés.

- il n'est pas question d'explicitier le contrat sans risque de désordre, puisque le contrat ne fonctionne que parce qu'il est implicite, et la réflexion sur le contrat ne peut se faire que de l'extérieur, dans la "noosphère" (*Remarques ...* p. 7).

On peut être étonné des conclusions que Chevallard tire de son analyse de l'expérience de Grenoble.

L'idée que dans une telle situation on ne récolte que ce qu'on a semé (à savoir des réponses stéréotypées et non critiques) pourrait conduire non pas à justifier le contrat qui a engendré de telles réponses (et à ne voir la "faute" que dans la rupture de ce contrat par les adultes) mais bien plutôt à tenter de renouveler le contrat en prenant d'autres bases qui permettent, sans qu'il y ait rupture de contrat, d'inciter les élèves à réfléchir sur la pertinence des données d'un problème. Ceci ne voulant pas dire que l'élève soit considéré d'emblée comme un savant, mais au moins comme un "savant en herbe" (3).

---

(3) cf. Evelyne CAUZINILLE-MARMECHE, Jacques MATHIEU, Annick WEIL-BARAIS, *Les savants en herbe*. Berne. Peter Lang. 1983.



Et vouloir s'en tenir au premier type de contrat, c'est oublier que les élèves ont déjà en tête des processus de résolution de problèmes, qui sont plus ou moins efficaces, mais qui sont le signe de la capacité des enfants à inventer des solutions et non à se contenter d'appliquer les seuls schémas appris ou attendus. (4)

. *De la clarification du contrat*

La transparence est une illusion ...

Chevallard insiste sur le fait que la part d'implicite est nécessairement grande tant que l'on reste à l'intérieur du contrat. Pour lui, comme on l'a vu, vouloir clarifier le contrat de l'intérieur est impossible dans la mesure où la transparence est une illusion, et aussi parce qu'à vouloir trop clarifier le contrat on le disqualifie.

Brousseau quant à lui estime que l'enseignant doit avoir au moins en tête les termes du contrat, pour en maîtriser les ruptures au moment où le besoin s'en fait sentir. Donc le contrat doit être clair au moins pour l'enseignant. Peut-il l'être aussi pour l'élève ?

Le contrat doit-il demeurer, parce que cela serait dans sa "nature", fondamentalement implicite ? Ou n'y a-t-il pas des types de contrats qui pourraient ne pas s'effondrer à l'explicitation ?

... mais pour la maîtrise d'une démarche, une explicitation semble nécessaire.

Chevallard ne parle que de contrats portant sur le contenu. Effectivement, dans ce cas, si le maître "dit" quelque chose, il dit "tout". On peut également penser que dans des situations de structuration, l'enjeu est de voir si un concept précédent étudié est réinvesti : si le maître dit ce qu'il attend cela revient à ce qu'il donne un mode d'emploi ... On est là dans un contrat où le maître est dominant, et qui est proche de la situation d'évaluation. Une évaluation dans laquelle l'élève ne sait pas qu'il est évalué, ce qui confirmerait le caractère dissymétrique du contrat.

Mais peut-être existe-t-il des situations d'apprentissage où le contrat est explicitable : expliciter par exemple une démarche de vérification dans une expérience

---

(4) Cf. Marie-Noëlle AUDIGIER et Jean-Claude GUILLAUME (coord.), *Comment font-ils ? L'écologiste et le problème de mathématiques*, Coll. Rencontres Pédagogiques, n° 4, INRP. 1984.

est pour les élèves le moyen de maîtriser cette démarche pour la réinvestir dans d'autres situations, y compris dans d'autres disciplines. On n'est plus alors en situation d'évaluation, mais de clarification de démarches et compétences "transversales" aux disciplines, dont le but est de donner aux élèves le moyen de maîtriser l'acquisition de leur propre savoir.

. *De l'extrapolation de la notion de contrat en mathématiques, à d'autres disciplines.*

La notion de contrat didactique, il convient de le rappeler, est issue d'une discipline particulière, les mathématiques. Le problème est alors de savoir s'il est possible de l'étendre à d'autres disciplines sans en changer le sens. On a pu voir dans ce qui précède que lorsque le contrat apparaissait explicitable, les exemples qui venaient à l'esprit concernaient d'autres disciplines que les mathématiques, ou d'autres compétences que les compétences purement disciplinaires. Est-ce à dire que la didactique des mathématiques serait plus "fermée" ?

Mais des recherches comme celles rassemblées dans *Comment font-ils ?* montrent des exemples où la fermeture du contrat est absente. Mais y-a-t-il bien là encore un contrat didactique ? Ou doit-on dire que dès que l'on quitte, à l'intérieur de la classe, le terrain de l'implicite, on quitte par là-même le terrain du contrat didactique et que l'on passe sur un autre terrain, celui d'un "contrat" d'un autre ordre, que l'on pourrait appeler "pédagogique", c'est-à-dire ne portant pas sur la discipline dans sa structure même, mais sur la démarche pédagogique en général, ou sur les opérations et démarches "transversales" attendues des élèves. Ce type de contrat pourrait alors être explicité sans être anéanti ...

. *Contrat didactique et contrat pédagogique ?*

Y aurait-il donc une distinction à faire entre un contrat didactique et un contrat pédagogique, le premier dépendant de la discipline et orienté par la nécessaire transposition didactique, le second définissant de façon plus générale les rapports entre maître et élèves. Si cette distinction entre contrat didactique et contrat pédagogique s'avérait pertinente, on pourrait se demander si ce que recouvre le terme de contrat didactique ne désigne pas tout simplement les impératifs de la transposition didactique, ou l'analyse de la matière en tant qu'elle peut être accessible à des élèves.

Même en mathématiques le contrat n'est pas toujours "fermé".

Le contrat didactique ne recouvre peut-être rien d'autre que les impératifs de la transposition didactique.

. *Contrat didactique et épistémologie scolaire.*

C'est bien cela qui est sous-jacent derrière le terme d'*épistémologie scolaire* tel qu'il est utilisé par Brousseau.

Le savoir "enseignable" est plus une redécouverte qu'une véritable découverte.

Le contrat didactique ne serait rien d'autre que l'application d'une épistémologie particulière, où le savoir est non plus le "savoir savant", mais le savoir "enseignable", et où les règles de vérité ne seraient plus celles de la découverte mais celles d'une redécouverte, garanties par le savoir déjà éprouvé, et où les démarches peuvent plus facilement être assimilées à des rites, renouvelables certes mais non totalement imprévisibles, et toujours conduits en dernière instance par le maître.

Par nature, le contrat ainsi défini ne pourrait être moins dissymétrique (c'est le maître qui détient les règles épistémologiques), ni plus "ouvert", (on ne peut aller dans n'importe quelle direction). Si bien qu'à la limite, faire jouer aux enfants le jeu de la découverte ("on va chercher ensemble") va être rapidement ressenti comme une duperie : les élèves savent bien qu'il existe un savoir constitué et qu'ils ont peu de chance d'être assez dotés de génie précoce pour le modifier, ni d'assez de temps pour le reconstituer. Une telle remarque justifierait la position de Chevallard sur ce que l'on doit et peut attendre d'un élève : non qu'il soit un savant en miniature, mais un apprenant.

. *Réduire l'écart ?*

Il est bon de cerner ce qui est explicitable ...

Il reste que se contenter d'un tel constat ne peut être satisfaisant. On peut faire l'hypothèse que c'est par une plus grande maîtrise des éléments d'une situation que des progrès pourront être attendus, et ainsi tenter de réduire la part d'implicite qui existe dans toute situation pédagogique, sans pour autant tomber dans le mythe de la transparence. Plus précisément, il ne s'agit pas tant de réduire ou d'accepter l'implicite de façon globale que de tenter de faire apparaître ce qui, sans contradiction, est explicitable.

... pour réduire l'écart du savoir savant au savoir scolaire.

Par ailleurs, on peut faire aussi l'hypothèse que l'écart entre le savoir savant et le savoir scolaire peut, non pas certes être supprimé, mais au moins être réduit. Une telle position suppose une prise en compte des démarches et des représentations des élèves pour les orienter vers une appropriation progressive de méthodes et de savoirs qui ne défigurent pas le savoir et les méthodes des savants. Le pari est de faire de la transition autre chose qu'une trahison.

Ces deux orientations sont actuellement celles de

Faire de la transposition  
autre chose qu'une  
trahison.

l'équipe de didactique des sciences de l'INRP. La volonté de construire des trames conceptuelles, issues d'une analyse approfondie de la matière à enseigner et d'une prise en compte des représentations, de telle sorte que ces trames soient modulables par niveau d'enseignement, est un des moyens de rester vigilant vis-à-vis de l'illusion d'une transparence didactique, sans pour autant dénier aux élèves la possibilité de construire leur savoir.

Une telle démarche ne va pas sans paradoxes et comporte des pièges. Des textes comme ceux de Chevallard ou de Brousseau ont le mérite de les pointer, et d'inciter à affiner les hypothèses mais non d'y renoncer.

Anne-Marie Drouin

Lycée de Corbeil - Equipe de  
didactique des sciences  
expérimentales - INRP

### Quelques références complémentaires

. *Sur le contrat didactique* :  
BROUSSEAU Guy. "Quelques conduites déterminantes en didactique des mathématiques". *Perspectives de réussite au-delà des insuccès scolaires*, tome 3. Colloque de Bordeaux. 1983.

. *Sur la transposition didactique* :  
RUMELHARD Guy. "Le processus de dogmatisation", *Actes des premières journées sur l'éducation scientifique*. Chamonix. 1979.

MARTINAND Jean-Louis. "La référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires". *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*. (La Londe les Maures, 1983) Paris. CNRS. 1984.

CHEVALLARD Yves, JOHNSUA Marie-Alberte. "Un exemple d'analyse de la transposition didactique : la notion de distance". *Recherches en didactique des mathématiques*, vol 3, n° 1, 1982, pp. 159-239.

CHEVALLARD Yves. *La transposition didactique ; du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble. La Pensée Sauvage. 1985.

PERRET-CLERMONT Anne-Nelly, BRUN Jean, CONNE François, SCHUBAUER-LEONI Maria-Luisa, "Décontextualisation, recontextualisation du savoir dans l'enseignement des mathématiques à de jeunes élèves". *Interactions didactiques*, n° 1. Université de Genève et Université de Neuchâtel. Juillet 1982.

## QUELQUES REPRESENTATIONS A PROPOS DE LA PHOTOSYNTHESE

Guy Rumelhard

*Dans le cadre des programmes antérieurs un séminaire a été consacré aux représentations à propos de la photosynthèse.*

*S'appuyant sur trois types d'analyses, celle de réponses d'élèves obtenues à partir de questionnement en classe, celle d'études historiques faites dans une optique épistémologique, celle de manuels scolaires, ce travail tente de dégager certaines difficultés qui peuvent se présenter dans l'appropriation des concepts de la photosynthèse. Quelques propositions sont discutées, dans une perspective interdisciplinaire, pour surmonter ces obstacles et résistances.*

Rédigé dans le cadre des programmes scolaires antérieurs, ce travail (1) est toujours d'actualité non seulement parce que ce chapitre d'enseignement existe dans le premier cycle, et, de manière renouvelée, dans le second cycle, mais surtout parce que les concepts, les techniques, et la méthodologie expérimentale utilisés ont une valeur éducative qui dépasse largement le cadre strict de la photosynthèse. L'ensemble des savoirs impliqués correspondent grosso modo à ce qui était établi ou admis vers 1930 environ. Ils forment une unité suffisamment cohérente pour délimiter une coupure qui se justifie toujours, pédagogiquement du moins. La connaissance et la compréhension du rôle du NAD, de l'ATP, de la photolyse de l'eau, de la phosphorylation oxydative implique d'autres concepts et d'autres techniques de "chimie physique" (potentiel d'oxydo-réduction, équilibres chimiques, énergie libre, .... chromatographie à deux dimensions, "espions" radioactifs, spectrophotométrie,....) dont l'acquisition demeure problématique.

---

(1) Ont participé de manière régulière ou occasionnelle à ce séminaire INRP : Françoise DEGORSAS, Michèle DUPONT, Jacques DEWAELE, André GIORDAN, Gabriel GOHAU, Victor HOST, Michèle MAISONHAUTE, Pierre MITON, Colette PIERRARD, Maïtena RONCIN, Martine RUMELHARD.

## I. REPRESENTATIONS ET CONCEPTIONS "PREMIERES" DES ELEVES.

### I.1. Finalité du travail.

En dix ans les notions de représentation individuelle et sociale des élèves et leur utilisation en pédagogie sont devenues plus familières. L'idée essentielle consiste à admettre qu'il ne suffit pas, au cours du travail d'enseignement, de se centrer sur la "clarté" du discours scientifique énoncé par l'enseignant (ou découvert par l'élève). Le travail pédagogique ne se résume pas à rechercher les meilleurs moyens pour "rendre ce savoir évident", et pour susciter "l'intérêt" des élèves.

importance de la connaissance des représentations des élèves

On peut donner un statut positif non pas tant aux erreurs des élèves, qu'à la nécessité d'errer quand on s'approprie un savoir, à l'existence de résistances liées à ce que nous nommerons "représentations". En un certain sens, les questions mises en forme et résolues par les savants sont entièrement neuves. Mais elles ne naissent pas dans le vide, et le problème auquel elles correspondent avait bien souvent reçu des réponses pratiques, "magiques" ou idéologiques. L'élève participe au moins en partie à ce savoir socialisé et l'on peut supposer que le savoir scientifique y sera confronté, conduisant à des difficultés : obstacle, déviation de la compréhension, acceptation trop aisée de certaines connaissances, etc...

Toutes les difficultés rencontrées par les élèves ne relèvent pas de ce type d'analyse, bien évidemment, mais l'attention portée à ce type d'obstacle met en lumière ce qui, dans le discours de l'élève n'était bien souvent considéré que comme une "erreur" et donc à ce titre, simplement relevé comme "faux", c'est-à-dire "censuré", mais non analysé.

les élèves véhiculent-ils des représentations pour un savoir sans préalable comme celui de photosynthèse ?

On objectera que, sur certains sujets, tels la "croissance" par exemple, il est facile d'admettre qu'il existe dès la plus jeune enfance des connaissances, un vocabulaire et un vécu affectif qui créent une surdétermination, mais dans le cas de cette étude : la photosynthèse, nous serions dans un domaine qui ne tombe pas sous le sens commun et pour lequel il n'y a donc pas de préalable. Nous espérons montrer qu'il n'en est rien. (cf. bibliographie en fin d'article).

## 1.2. Notions essentielles sur la photosynthèse.

Pour se faire mieux comprendre, rappelons quelques notions essentielles. A propos des végétaux se pose la question de l'origine des éléments qui constituent la matière organique dont ils sont formés : carbone, oxygène, hydrogène, azote, sels minéraux. Pour les végétaux "verts", l'origine de C,H,O trouve une réponse dans les mécanismes de la photosynthèse.

. Pour l'essentiel, la fabrication de corps organiques du type glucide, se fait à partir du gaz carbonique de l'air (plantes aériennes), et de l'hydrogène de l'eau, la lumière étant la source d'énergie.

Une équation :

d'une équation  
bilan ...



traduit traditionnellement le *bilan* des gaz et des matières. Ce type de réaction étant de sens contraire au sens "spontané" qui est celui de l'oxydation du glucose (dans une flamme, en présence d'oxygène), elle nécessite un apport énergétique approprié.

On a pu hésiter, au début du siècle, et pendant de nombreuses années, sur le statut exact de cette équation : traduisant un bilan, traduisait-elle également un mécanisme intime ? Le premier produit formé est-il du glucose ? L'oxygène dégagé provient-il du gaz carbonique comme le laisse supposer le nombre d'atomes de l'équation telle qu'elle est équilibrée .

aux mécanisme  
biochimiques

. Les connaissances les plus récentes éclairent très nettement le statut de cette équation qui ne traduit qu'un bilan et non pas un mécanisme. En ce sens, il est toujours indispensable à l'enseignant de connaître les savoirs les plus récents dans la mesure où ils éclairent de manière récurrente les savoirs plus anciens, mais sans les rendre nécessairement caduques. Dans le cas présent, au contraire ils en délimitent la portée exacte. Ceci ne plaide pas nécessairement pour l'enseignement de ce savoir très récent, car, toute culture étant l'appréciation d'un devenir, le savoir récent souffre souvent de ce manque de perspective.

Les données récentes peuvent se résumer de la manière suivante :

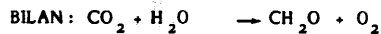
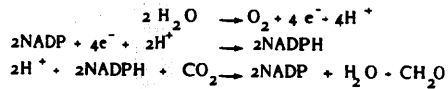
- une étape de "photolyse" de l'eau en trois éléments. De l'oxygène qui se dégage sous forme gazeuse, de

l'hydrogène "activé" qui va constituer le NADPH<sub>2</sub>, deux électrons qui vont remplacer ceux "arrachés" à la chlorophylle par les photons.

- une étape au cours de laquelle deux électrons de la chlorophylle sont arrachés et activés une première fois, sous l'action des photons. Repris par des transporteurs, l'énergie liée à ces électrons permet la synthèse d'ATP. Activés une seconde fois grâce à un second ensemble de pigments chlorophylliens captant les photons, ces électrons participent à la formation du NADPH<sub>2</sub>.

- une étape qui ne nécessite pas la présence de lumière, au cours de laquelle l'hydrogène transporté par le NADP se combine au gaz carbonique pour former un "sucre", l'énergie étant fournie par l'ATP.

Les trois équations suivantes peuvent traduire ces événements.



Cette direction de recherche entraîne essentiellement vers la *physique*, mais les problèmes d'anatomie ne sont pas absents, paradoxalement peut-être, dans la mesure où la théorie chimiosmotique de formation de l'ATP, le fonctionnement des pigments chlorophylliens comme "antenne collectrice" conduisent à étudier la disposition des molécules le long des membranes des organites cellulaires (concept de compartimentation).

Mais si l'on souhaite suivre une autre direction de la recherche en Biologie, celle qui s'intéresse à la *variété* des productions photo-synthétiques, à leur *variation* selon les facteurs du milieu, les savoirs résumés par la première équation peuvent pour l'essentiel suffire. Nous sommes alors conduits vers les études réalisées en milieu agricole d'une part, et en *écologie* d'autre part.

### 1.3. Tests réalisés et analyse des réponses.

Nous avons posé successivement, par écrit, et avant le cours, plusieurs questions, en évitant les retours en arrière, lors de la rédaction des réponses. L'enquête a été menée dans huit classes de première ou de terminale, soit au total 240 élèves. Nous espérons ainsi,



par cette première méthode, analyser certaines représentations ayant un caractère suffisamment collectif.

. Premier test :

un test aux questions graduées qui s'interpellent l'une ... l'autre

*I - Comment les plantes se nourrissent-elles ? D'où tirent-elles leurs substances nutritives ? Sous quelle forme celles-ci sont-elles puisées ? En quoi ce mode de nutrition se distingue-t-il de celui de l'homme ?*

*II - On entend dire parfois qu'une plante verte vicia l'air d'un appartement pendant la nuit, mais qu'elle le purifie au contraire le jour. Qu'en pensez-vous ? Comment expliquer un tel effet ? Quel peut en être l'intérêt pour la plante ?*

*III - Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, le chimiste Van Helmont (1577-1644) fit l'expérience suivante : il planta un jeune saule pesant 5 livres dans une caisse contenant 200 livres de terre. Il arrosa régulièrement la terre. Au bout de 5 ans, le saule pesait 169 livres, alors que la terre n'avait pratiquement pas changé de masse (perte 2 onces). Van Helmont en conclut que l'eau s'était changée en substance végétale.*

*Que pensez-vous de cette interprétation ? Si vous ne l'approuvez pas, quelle autre solution proposez-vous ? Dans l'un et l'autre cas, cela modifie-t-il votre réponse aux deux premières questions ?*

*IV - Beaucoup plus tard, le chimiste Priestley écrivait : "j'ai eu le bonheur de trouver par hasard une méthode de rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles et la respiration des animaux et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein : c'est la végétation. Le 16 août 1771, je mis un plan de menthe dans une quantité d'air où une chandelle avait cessé de brûler et je trouvais que le 27 au soir du même mois une autre chandelle pouvait y brûler parfaitement bien. Les plantes, bien loin d'affecter l'air de la même manière que les animaux, produisent les effets contraires et tendent à conserver l'atmosphère douce et salubre lorsqu'elle est devenue nuisible en conséquence de la vie ou de la respiration des animaux".*

*Interprétez dans le vocabulaire actuel le texte de Priestley.*

*2 - Plus tard on découvrit que le phénomène ne se déroulait qu'à la lumière et seulement pour les organes verts ; qu'il y avait corrélation entre ce phénomène*

et l'augmentation de poids des plantes.

- Que vous apportent ces résultats ? En quoi modifient-ils vos réponses aux questions précédentes ?

. Analyse des réponses au premier test.

Nous ne développerons pas, dans le cadre de cet article, les détails de la grille d'analyse utilisée, ni le mot à mot des 240 réponses. Nous dégagerons seulement les grandes lignes qui semblent présenter une certaine constance.

*Question 1*

. Pour la majorité des élèves la plante verte trouve sa nourriture dans le sol, par l'intermédiaire des racines.

les gaz de l'air ont un rôle, ... mais la plante ne paraît pas pouvoir les utiliser

. L'air comme source de matière "nutritive" n'est jamais évoqué, ou plus exactement, lorsque la possibilité d'échanges gazeux est décrite, ce qui est rare, les réponses sont vagues ou ambiguës : échange d'air, échange de  $CO_2$  et d' $O_2$ . L'ambiguïté tient à la confusion avec la respiration, en sorte que, dans les cas les plus précis, l'air absorbé est l'oxygène. La question suivante montre que dans leur esprit les problèmes d'échanges gazeux et de nutrition sont parfaitement indépendants.

. La nature des éléments nutritifs puisés dans le sol n'est pas souvent évoquée avec précision.

On cite le plus souvent l'eau et les sels minéraux sans plus. Quelques élèves ajoutent : des produits décomposés, des déchets, des petites particules, des particules microscopiques, des sucs, des bactéries, des particules vivantes, et (cité sur le même plan) du carbone ou de l'azote (à l'état pur ?), du phosphate.

Autrement dit il n'existe pas pour eux de problème de la nutrition organique des plantes. L'eau et les sels minéraux suffisent au besoin à la vie de la plante. D'où proviennent le carbone et l'azote ? La question n'est pratiquement pas posée. On remarque des propositions du type vitaliste (particules vivantes) ou préscientifique.

. L'importance de la lumière, ou du soleil sont évoqués, mais lorsque le rôle en est précisé, c'est au mieux pour apporter la "chaleur". Le problème de l'énergie nécessaire aux synthèses n'est pas posé.

### Question II

. En dehors du fait que certains élèves ignorent le mot "vicié", pour la plupart d'entre eux les plantes sont *malsaines* à cause du rejet de  $\text{CO}_2$  et non pas à cause de la privation d' $\text{O}_2$ . Ils proposent d'ailleurs rarement d'autres solutions : rejet de substance toxique, etc...

le  $\text{CO}_2$  aurait  
mauvaise presse

. Quant à la *nature des échanges gazeux* le jour puis la nuit et à leur changement, les réponses sont plus variées. Certains ne parlent que des échanges diurnes, ou que des nocturnes, d'une manière partielle ou rarement complète. Il n'est donc pas possible de savoir comment ils envisagent les changements. L'alternance est parfois expliquée en termes de simple variation d'intensité (moins de  $\text{CO}_2$  le jour, ou moins d' $\text{O}_2$  la nuit) et le plus souvent en termes d'inversion des échanges, mais là encore l'inversion peut être seulement partielle (rejet de  $\text{CO}_2$  la nuit, rejet d' $\text{O}_2$  le jour).

. En aucun cas *l'intérêt de ces échanges* n'est relié au problème précédent à savoir en particulier l'origine du carbone dans les plantes. On évoque, très rarement il est vrai, que le  $\text{CO}_2$  puisse se décomposer et fournir l'oxygène qui se dégage, mais le devenir du carbone n'est pas précisé.

Il semble bien que l'on rencontre ici *un obstacle important* : un être vivant a besoin de respirer, il a besoin d'oxygène, mais il n'a besoin ni de carbone, ni d'azote.

*Deuxième obstacle* : les idées largement répandues sur la "pollution" en particulier par les gaz résultant des combustions et des échappements de voitures font percevoir le  $\text{CO}_2$  comme gaz essentiellement nocif et dangereux (confondant en cela avec l'oxyde de carbone) et donc *incapable* de jouer un rôle positif.

### Question III

Les réponses à cette question sont les plus intéressantes et surtout les plus surprenantes.

. Très rares sont les élèves qui acceptent l'interprétation de Van Helmont et donc admettent que *l'eau puisse se transformer* en substance végétale. Sans toujours proposer d'autres solutions, beaucoup refusent même explicitement cette idée. Il faut noter ici que cette question posée à partir d'une expérience historique très ancienne facilite l'expression de

réponses opposées à l'auteur. Face à une expérience actuelle, les élèves auraient certainement cherché à justifier l'hypothèse proposée, se conformant en cela à l'autorité de la vérité scientifiquement établie.

. Très rares également sont les élèves qui tentent de chiffrer l'accroissement de masse du saule. Les réponses demeurent qualitatives.

. Parmi les solutions proposées, on trouve : les sels contenus dans la pluie, les substances dissoutes dans l'eau, l'apport de poussières. Quand l'air est cité (cas de redoublants) il n'est pas toujours précisé qu'il s'agit du  $\text{CO}_2$

. Mais, plus étonnant, on propose la transformation de l'eau en sels, ou en énergie, ou bien on attribue à l'eau un "pouvoir générateur" du sol. On accuse aussi le soleil (parfois combiné à l'eau), ou l'énergie, mais agissant comme facteur de croissance, donc sans apport de masse.

. En aucun cas (sauf doublants) le bois fabriqué n'est compris comme substance "organique" contenant carbone, hydrogène, oxygène pour l'essentiel. Dans certains cas, la croissance n'a aucune réalité matérielle : "l'arbre a simplement grandi, mais il n'a pas fabriqué du bois à partir d'eau de pluie." Quand, enfin, la photosynthèse est accusée, c'est comme synthèse ex nihilo.

qu'est-ce qu'un  
arbre qui grandit ?

On comprend que, même si le problème de la nécessaire source des éléments constituant les corps organiques existait dans leur esprit, à partir du moment où l'on ne se préoccupe pas de *conservation de la masse* et où l'on admet les transmutations "à basse énergie", ainsi que la croissance immatérielle, ou la fabrication "de novo", tout devient possible. Au mieux, certains s'étonnent de la croissance de l'arbre (il devrait mourir) et posent donc ce problème de la croissance.

#### Question IV

Cette question est censée apporter des informations susceptibles au besoin de remettre en cause leurs interprétations. Ils sont, en tous les cas, sollicités explicitement dans ce sens, la distribution successive des questions aux élèves éliminant la possibilité d'une interférence des réponses.

une stabilité des expli-  
cations précédentes

. Rares sont les élèves qui ont vu un *gain de carbone*, ou qui établissent une corrélation entre l'augmentation de masse et l'absorption de  $\text{CO}_2$ . Certains

aboutissent cependant à cette conclusion et supposent même que l'oxygène rejeté provient du  $\text{CO}_2$ . La plupart du temps les problèmes d'échanges gazeux et de nutrition restent séparés, ou reliés d'une manière très vague : "les échanges gazeux facilitent le développement de la plante".

. Le lien entre ces échanges gazeux et le fait qu'il s'agit de plantes vertes est souvent noté sans plus.

. La nécessité de lumière est moins souvent notée, et son rôle n'est pas précisé. On ne voit pas à quoi elle peut servir. Si transformation de matière il y a, elle se fait sans nécessité d'apport d'énergie.

D'une manière plus générale les informations apportées n'amènent que rarement les élèves à modifier leurs affirmations. Ils ne voient qu'une confirmation ou une explicitation de leurs affirmations précédentes. Certains y parviennent dans le sens attendu (accroissement attribué primitivement uniquement aux sels, et attribué au carbone en fin d'exercice) mais cette remise en cause amène aussi à des "régressions" d'interprétation (élève ayant vu l'apport massique et qui, après coup, font intervenir la lumière à la place de l'eau : lumière qui apporte du poids, lumière comme aliment).

• Deuxième test :

Il s'agit ici de l'observation d'un montage expérimental : une plante verte est enfermée dans un bocal clos en verre de volume assez petit (1 à 2 litres). Elle pousse sur un sol neutre (vermiculite) et on lui a fourni au départ de l'eau contenant des sels minéraux. Quel sera le devenir de ce montage ?

• Analyse des réponses au deuxième test.

Les réponses ne fournissent pas d'éléments nouveaux, mais confirment ce qui a déjà été noté .

La plante ne peut vivre très longtemps dans ces conditions à cause du manque de sels minéraux qui vont s'épuiser. C'est le facteur qui est cité le plus souvent en premier. Vient ensuite l'asphyxie par manque d'air, ou manque d'oxygène.

L'évolution de ce système est complexe bien évidemment, mais, même si l'on s'adresse à un groupe d'élèves ayant déjà étudié la photosynthèse, il est rare que l'on cite en premier le manque de  $\text{CO}_2$  dont la quantité est pourtant extrêmement faible dans ce système clos.

un repère des  
obstacles révélés par  
les tests précédents

#### 1.4. Conclusions d'ensemble.

. Il existe dans leur esprit un *problème de respiration*, lié à un vécu bien évident, et aisément transposé aux plantes, ce qui implique une certaine compréhension de l'unité du monde vivant. Mais cette fonction est isolée dans l'organisme, ou plus exactement la respiration perçue uniquement comme échanges gazeux *n'a pas de fonction* à remplir dans l'organisme. Par ailleurs ce problème surdéterminé distord la compréhension des échanges gazeux "chlorophylliens".

Il faut certainement chercher la racine de cette difficulté dans une certaine façon d'enseigner le vivant comme juxtaposition de mécanismes sans liens entre eux, en insistant sur les "résultats" et non sur les "problèmes".

. Il existe également un *problème de croissance* compris comme augmentation de masse. Mais la source de cette augmentation est volontiers réduite aux sels minéraux, et à l'eau comme solvant, non comme source de matière. La source des éléments propres aux composés organiques ne pose pas question.

. Une résistance profonde se manifeste pour admettre :

- que l'eau puisse se transformer en bois  
- et, a fortiori, que l'air puisse constituer une source de matière végétale et donc de bois.

Si les deux premiers obstacles sont vraisemblablement liés aux modalités de l'enseignement actuel, le troisième est certainement de nature "épistémologique".

. L'intervention des *idées reçues* empêche l'appréciation exacte du rôle du CO<sub>2</sub> de l'air (rejet d'un déchet, pollution).

. L'absence de comparaison *quantitative* empêche ici de poser le problème de l'apport massique.

. On a également vu apparaître quelques difficultés liées à une forme de vitalisme ("régénération du sol"), et à l'anthropomorphisme (inversion des échanges gazeux attribuée à l'homme).

. L'absence de nécessité d'un apport énergétique découle vraisemblablement de l'absence de l'idée de synthèse organique, c'est-à-dire de fabrication des éléments spécifiques à l'être vivant par transformation d'éléments puisés dans le milieu extérieur. Il n'y a pas ici de "réaction chimique".

Nous insisterons plus particulièrement sur les *obstacles au transfert d'une discipline à une autre* mis en évidence par cette étude. Les principes physico-chimiques essentiels (conservation de la masse,...) ne fonctionnent pas. On peut proposer plusieurs hypothèses pour expliquer cette difficulté :

les difficultés  
du transfert

- blocage dû au *statut institutionnel des "disciplines"* conçues comme des mondes séparés, avec des langages différents, des programmes non cohérents, et donc vécues par les élèves comme des cloisonnements étanches.

- les principes sur lesquels nous prétendons nous appuyer ne sont pas véritablement acquis dans leur domaine d'origine. Le physicien obtient-il le même résultat lorsqu'il se pose des questions similaires à celles-ci à propos des transformations entre liquides et gaz.

- un concept doit non seulement être élaboré dans une discipline pour être appliqué dans un autre domaine, mais en fait être *élaboré dans plusieurs domaines différents* pour être réellement acquis. Il n'est d'ailleurs pas évident que les disciplines traditionnelles constituent les maîtres d'oeuvre privilégiés ou prioritaires pour tel ou tel concept.

- il est aussi possible qu'avec un enseignement dans lequel on consacre quelques minutes aux principes de base, à moins même qu'ils ne restent implicites, et *l'essentiel du temps aux mécanismes et aux résultats*, les concepts n'aient jamais été réellement élaborés.

Ces remarques conduisent à penser que les relations entre disciplines peuvent se vivre non pas tant sur le principe de "l'application" ou de "l'outil", mais bien plutôt sur le mode de la collaboration dans l'élaboration commune de certains concepts dont il serait souhaitable d'établir une liste.

## 2. LES OBSTACLES HISTORIQUES

### 2.1. Intérêt de l'étude historique

Il ne s'agit pas, dans un travail de didactique, de faire oeuvre d'historien des sciences. Nous souhaitons simplement utiliser quelques données historiques pour confronter notre étude précédente et surtout définir à quelles conditions et comment la perspective historique peut être utilisée dans notre cas précis.

d'une histoire  
commémoration  
à une histoire  
filiation

Il faut bien cependant admettre que la plupart des historiques que l'on trouve dans les manuels de biologie végétale (2) nient en fait toute perspective historique réelle. Il s'agit de la *commémoration des découvertes* qui ont acquis une valeur éternelle et qui s'enchaînent linéairement dans le temps sans obstacles, ni déviations ou retour en arrière. Ce qui plane sur cette conception du progrès de l'esprit humain, c'est le mirage *d'un état définitif du savoir*. La vérité est soustraite au devenir.

Sans développer plus avant cette critique, il nous a fallu tenter de reconstituer les éléments d'une histoire de la physiologie végétale qui prenne en compte une véritable épistémologie, et dans ce domaine les travaux sont peu nombreux.

A quoi peut donc servir cet historique si ce n'est un musée des erreurs de la raison humaine ? On peut admettre, avec G. Canguilhem qu'il "peut être profitable de chercher les éléments d'une conception de la science et même d'une méthode de culture dans l'histoire des sciences entendue comme une psychologie de la conquête progressive des notions dans leur contenu actuel, comme une mise en forme de généalogies logiques et, pour employer une expression de M. Bachelard, comme un recensement des "obstacles épistémologiques" surmontés !". A partir d'un tel historique on peut donc rechercher les idées premières, les conceptions qui ont été combattues, condition préalable à une bonne compréhension des phénomènes.

Il ne s'agit pas de rechercher ensuite la présence de ces *mêmes difficultés* chez les élèves actuels, qui bien évidemment ne peuvent être considérés comme les contemporains intellectuels de tel ou tel savant du passé. Il faut cependant noter que certaines difficultés historiques peuvent persister sous une forme apparemment identique pour raisons partiellement différentes. Certaines observations "premières" peuvent demeurer et conduire à des difficultés au moins en partie identiques. Mais surtout, ce travail historique



est une indication sur des difficultés que nous ne soupçonnons plus actuellement et qu'il est profitable de comprendre pour en déceler la présence éventuelle, même modifiée.

## 2.2. Points de repère dans l'histoire de la nutrition végétale.

Une histoire positiviste fait "apparaître" le problème de la photosynthèse au 18<sup>e</sup> siècle avec l'observation de Ch. Bonnet. Or depuis Aristote, sinon même avant, il existe des explications pour le problème de la nutrition végétale. Les théories d'Aristote dominèrent jusqu'au milieu du 17<sup>e</sup> siècle : la plante reçoit du sol une nourriture toute élaborée.

"Ce que la terre est aux arbres, l'estomac l'est aux animaux, ... une terre fumée est chaude en hiver, de même le ventre" disait Hippocrate. Pour Aristote, les végétaux se nourrissent d'aliments digérés par la terre. La plante est un animal dont les racines sont les "veines lactées".

VAN HELMONT, au début du 17<sup>e</sup> siècle, fait une expérience qui "montre" que les plantes se nourrissent d'eau et non de "terre", ou plus exactement, selon ses termes, qui montre que l'eau se transforme en terre.

Cl. PERRAULT étend aux végétaux le concept de circulation.

MALPIGHI reconnaît la feuille comme organe assimilateur, en l'identifiant au poumon des animaux qui transforment le sang noir en sang rouge (1671)

MARIOTTE (1679) imagine que les principes des plantes sont des recombinaisons de principes plus simples tirés du sol.

STEPHEN HALES (1727) s'intéresse aux mouvements d'eau dans les plantes. Il affirme que la plante se nourrit d'air. Son argument est que la fermentation et la distillation sèche produisent de l'air, donc la plante se nourrit d'air.

Ch. BONNET immerge des feuilles de vigne et observe le dégagement gazeux au soleil. Mais il nie le rôle des feuilles, car séchées, elle montrent le même dégagement en eau aérée.

PRIESTLEY (1771) observe le dégagement d'oxygène : "la plante déphlogistique l'air vicié par les animaux" Il conclut que la "respiration" des végétaux est de nature inverse de celle des animaux.

INGEN-HOUSS (1779) montre que ce dégagement se fait à la lumière avec des plantes vertes. La nuit, les plantes vicient l'air comme les animaux.

SENEBIER (1782) reprend l'observation de Bonnet : les plantes ne dégagent des bulles qu'en présence de lumière et de gaz carbonique. (Il faut noter que, à cette époque, la lumière apporte sa "force vive"). Il faut situer à cette époque les importants travaux de LAVOISIER (1776) qui, jetant les bases d'une véritable chimie, ont permis de nombreux travaux.

TH DE SAUSSURE (1804) considère le carbone du gaz carbonique comme fixé par la plante. Il fait un bilan de matière et montre que l'accroissement de matière dépasse la masse de carbone fixé. Il fait intervenir l'eau et les sels minéraux.

TREVIRANUS (1835) dans son ouvrage de physiologie, sous l'influence des idées vitalistes, ignore totalement les travaux précédents : les plantes se nourrissent de matière vitale provenant de la décomposition des êtres vivants. Il sépare la matière organique et l'inorganique. Il nie la nutrition minérale. Pour lui les sels ne sont que des stimulants.

MEYEN (1838) reconnaît le rôle nutritif des sels, mais ignore la décomposition de l'acide carbonique qui produit selon lui une quantité de carbone trop faible. Il s'en tient aux apparences et néglige de calculer les masses. Les végétaux se nourrissent d'humus. Il soutient cette vieille idée qui s'appuie sur la pratique des agriculteurs. Il faut noter que les chimistes KOLBE (1825) et WOHLER (1828) ont entre temps démontré, en synthétisant respectivement l'acide acétique et l'urée, qu'il n'y a pas d'opposition fondamentale entre le monde minéral et le monde organique.

LIEBIG (1848) montre que la végétation produit de l'humus au lieu de le détruire. Il tente de ruiner ainsi la théorie de l'humus, mais il trouve un adversaire inattendu en De Saussure qui continue de défendre cette théorie pour la source d'azote.

C'est BOUSSINGAULT (1851-55) qui fera la démonstration expérimentale que l'azote est fourni sous forme minérale, et ceci avec une expérience simple mais que personne n'avait pensé à faire : cultiver sur sol purement minéral. (Liebig se contentait de varier la qualité de l'humus).

Avec cette méthode des cultures sur milieu synthétique, le rôle des divers éléments minéraux fut précisé : travaux de RAULIN, VILLE, SACHS, KNOP,... puis de MAZE (1915) pour les oligo-éléments.

Pendant cette même période, on essaie de dissocier les deux types d'échanges gazeux mis en évidence et de les mesurer. CL. BERNARD utilise les anesthésiques et un courant gazeux continu, GARREAU dissocie les phénomènes grâce à la baryte, BONNIER et MANGIN établissent un quotient des gaz en air confiné (mais ils le trouvent variable) ; MAQUENNE et DEMOUSSY et d'autres auteurs établissent que le quotient est égal à 1 et ne varie pas.

SACHS lie l'assimilation à la chlorophylle et aux chloroplastes. Il montre que le carbone est fixé par les feuilles sous forme d'amidon.

On fait donc, à cette époque, un bilan des gaz et des matières suffisamment correct.

Quant au mécanisme biochimique, il faudra attendre l'utilisation du carbone radioactif et de la chromatographie pour l'élucider. Ceci explique que, pendant près de 70 ans, la théorie de l'aldéhyde formique comme premier produit formé ait pu survivre sans être ni confirmée, ni infirmée, malgré de nombreux travaux.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de description des principales étapes des découvertes au XX<sup>e</sup> siècle, accompagnée d'une analyse des difficultés et obstacles surmontés. Un travail reste ici à faire. Nous ne pouvons que marquer ici sommairement quelques étapes :

- dissociation du phénomène en deux phases : des réactions photochimiques d'une part, et des réactions non photochimiques.

- d'un côté donc, analyse de l'utilisation de l'énergie lumineuse par les molécules (travaux de Planck, Einstein, ...). Développement du concept de "photolyse" de l'eau, et séparation du dégagement d'oxygène d'avec la réduction du gaz carbonique. Notion de photooxydation de l'eau et formation de NADPH<sub>2</sub>. (travaux de Hill, et de Arnon, ...).

- parallèlement on montre que la carboxylation ne doit pas se faire par l'intervention directe de lumière. Une enzyme intervient. La carboxylation se fait par fixation sur une molécule acceptrice.

- puis les deux phénomènes sont réunis et articulés : les éléments nécessaires à la réduction du CO<sub>2</sub> sont fournis par NADPH<sub>2</sub> et l'ATP.

- l'ensemble de ces événements est situé dans les chloroplastes, où l'on distingue deux systèmes photochimiques disposés en série, et coopérants grâce à une

chaîne de transporteurs : le schéma "en Z".

### 2.3. Conclusions et remarques

. Le problème de la nutrition des plantes forme bien, au départ, un problème global, dans lequel on a progressivement distingué le problème de la source de carbone, celui de la source d'azote, puis celui de la source d'éléments minéraux.

. Les échanges gazeux liés aux plantes vertes n'ont été reliés au problème de l'origine du carbone que tardivement (De Saussure)

. Il est important de constater que la théorie de l'humus, dérivée des théories d'Aristote, a pu dominer et persister jusqu'en 1840 environ, en dépit des découvertes antérieures, et même être soutenue par De Saussure, malgré ses travaux sur le carbone.

Parmi les obstacles on peut noter :

. Au 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècle, le modèle *animal* joue un rôle déterminant. La circulation de la sève comparée à celle du sang, la feuille comparée au poumon, les vaisseaux du bois comparés par Malpighi à des trachées d'insectes, etc... empêchent la compréhension de la physiologie végétale. Il ne s'agit pas cependant d'un obstacle en soi, car cette méthode de comparaison par analogie, s'appuyant sur une certaine conception de l'unité du monde vivant a eu par ailleurs une certaine efficacité.

. Les *démonstrations quantifiées* jouent un rôle très important pour faire progresser la compréhension. L'expérience de Van Helmont, le travail de De Saussure en sont des exemples. De même Hales démontre l'absence de circulation de sève par un raisonnement quantitatif identique à celui d'Harvey pour la circulation sanguine. Il lui suffit d'inverser les données. On peut proposer l'idée de circulation sanguine, car peu d'aliments entrent par rapport à la quantité de sang. Or, beaucoup de liquide entre et sort par rapport à la masse de sève, il n'y a donc pas de circulation. A contrario, Meyen néglige l'apport de carbone par le gaz carbonique à cause de son faible volume apparent qu'il néglige de mesurer. La mesure n'est cependant pas une panacée, et le critère absolu de la scientificité. Elle permet ici, de séparer nettement les facteurs et de leur attribuer un rôle précis. Dans d'autres cas, un raisonnement qualitatif peut suffire.

des obstacles répertoriés  
dans l'histoire des  
sciences

. L'influence du *vitalisme* retarde ici la prise de conscience de l'intérêt des expériences de De Saussure, en séparant organique et inorganique. Le vitalisme n'a jamais, il est vrai, fourni de concepts permettant une expérimentation. Il n'en a pas été pour autant, dans toutes les circonstances, une théorie inefficace et rétrograde.

. Les *pratiques agricoles* courantes renforcent, dans ce cas, la théorie de l'humus, et constituent un obstacle. Mais bien évidemment, toutes les pratiques agricoles (ou autres) ne jouent pas ce rôle.

. *Le sens commun*, enfin, forme obstacle, en refusant d'admettre que l'air est pesant, puisse nourrir et former du bois.

### 3. LE DISCOURS PSEUDO-DEMONSTRATIF

#### 3.1. Notre discours est-il clair ?

Si l'on prétend analyser les représentations premières des élèves et comprendre en quoi elles interfèrent avec le discours des enseignants, rien n'empêche de le faire avec modestie car nous ne sommes jamais sûrs d'avoir nous-même évacué et critiqué nos propres représentations. Notre discours est-il clair et transparent pour nous-même ? Certainement pas. Les discussions au sein de notre séminaire pourraient en porter témoignage. On objectera que l'analyse de nos propres insuffisances n'a pas de valeur exemplaire. Nous avons donc préféré présenter l'analyse critique de quelques manuels scolaires sur quelques points précis. A quoi peut bien servir de dénigrer ou de mettre l'accent sur les "imperfections"? Nous postulons que certaines difficultés ayant un caractère non pas "accidentel", mais relativement "systématique" peuvent former un ensemble manifestant des représentations cohérentes et résistantes particulièrement dans le domaine épistémologique. Il devient alors nécessaire de s'y intéresser avec un regard différent. Elles peuvent expliquer certaines difficultés des élèves.

les enseignants  
véhiculent-ils des  
représentations ?

L'examen du *discours explicatif* en biologie fait à travers le contenu des manuels scolaires du secondaire et du supérieur conduit rarement à émettre des critiques sur le plan des connaissances. *L'erreur* de connaissance est certainement l'aspect auquel le monde universitaire et les enseignants sont le plus attentifs. C'est en tous cas le reproche le plus fréquemment entendu,

et celui considéré comme le plus infâmant. Il faudrait analyser les racines de cette attitude, ses côtés efficaces, ses aspects stérilisants, et confronter ceci aux objectifs de l'enseignement scientifique.

Mais, assez curieusement, les fautes de raisonnement à propos des expériences commentées n'obéissent pas à la même exigence. Sur l'exemple de la photosynthèse nous étudierons deux expériences : le dégagement gazeux des plantes aquatiques et l'expérience de Sachs.

### 3.2. Le dégagement gazeux des plantes vertes.

On peut faire de nombreuses critiques aux expériences proposées pour "mettre en évidence" et mesurer les divers dégagements gazeux de plantes aériennes ou aquatiques. Nous ne retiendrons ici que deux points : la composition du gaz recueilli à partir des plantes aquatiques d'une part, et la façon dont ce phénomène est relié au problème de l'assimilation.

#### Campan, Paniel. Hachette. 1ère D.1966.

Pour les auteurs de ce livre il s'agit de "mettre en évidence" le dégagement d'oxygène dont on annonce a priori qu'il est lié à l'activité assimilatrice de la plante. On ajoute cependant que "en période d'assimilation active, c'est-à-dire le jour, l'atmosphère interne de la plante (qui se dégagera sous forme de bulles après section) est constituée par 80 % d'oxygène et 20 % d'azote". Mais les deux expériences proposées demeurent qualitatives et ne s'intéressent qu'à l'oxygène. Il s'agit ici simplement d'en reconnaître l'existence grâce à deux réactifs dit caractéristiques. Un peu plus loin (p. 320) on réaffirme que le dégagement d'oxygène sous forme de bulles gazeuses est un phénomène sensible qui traduit d'une manière concrète les variations d'intensité de l'assimilation lorsque les conditions varient. Cette circonstance facilite l'analyse de l'influence de certains facteurs sur l'assimilation chlorophyllienne". Suivent la description de plusieurs expériences dans lesquelles on fait varier divers facteurs : taux de  $\text{CO}_2$ , lumière, etc... On note les variations concomitantes du dégagement gazeux sous forme de bulles. Et de conclure : "les résultats expérimentaux que nous venons d'analyser montrent qu'il est possible de suivre les variations de l'activité assimilatrice d'une plante en mesurant le volume de ses échanges gazeux. Cette mesure permet d'évaluer

l'intensité de l'assimilation. Celle-ci se définit comme étant la quantité (...) d'oxygène dégagé en un temps donné par unité de poids ou de surface foliaire".

On peut se poser quelques questions :

- en quoi a-t-on *démontré* que le dégagement gazeux est lié à l'activité assimilatrice ? On l'affirme au début, on le réaffirme à la fin, et entre temps on s'appuie sur cette affirmation pour "montrer" autre chose.

- les expressions "dégagement gazeux sous forme de bulle" et "dégagement d'oxygène" deviennent progressivement équivalentes. On passe de l'une à l'autre sans se poser de question, tout en ayant affirmé que l'oxygène ne représente qu'une certaine proportion du mélange gazeux. Il est vrai que l'on s'est bien gardé de le montrer. Car enfin rien ne permet de penser que cette proportion reste constante dans le mélange en fonction des diverses conditions. C'est d'ailleurs l'inverse qui se produit.

#### Camefort et Gama. Cours Oubr Sc. Exp. 1958.

L'auteur étudie successivement (p. 322) "les échanges gazeux entre un végétal vert exposé à la lumière et le milieu extérieur", puis (p.323) "la synthèse de glucides par les végétaux chlorophylliens exposés à la lumière". Il conclut ensuite péremptoirement (p.326) par la classique équation "qui rend compte de façon globale de la photosynthèse". Il a simplement oublié d'affirmer ou de montrer, ce qu'il fera dans le chapitre suivant, que "les échanges gazeux sont directement liés à la photosynthèse, et leurs variations expriment fidèlement les variations de l'activité photosynthétique".

Quant au gaz dégagé "qui rallume une allumette ne présentant plus qu'un point en ignition, c'est de l'oxygène". Belle conclusion à partir d'un seul essai non quantitatif, qui évite donc de se demander s'il ne s'agit pas d'un *mélange* gazeux, et si sa composition ne pourrait pas *varier*.

#### Vincent-Vuibert. Ière D ou Term. C - 1966.

L'auteur affirme "que les manifestations extérieures de la nutrition carbonée (sont) les échanges gazeux". On sait donc d'emblée d'où vient ce gaz et l'intérêt de son étude.

Quant aux bulles qui se dégagent, "il est facile de vérifier que ce gaz est de l'oxygène : il provoque l'inflammation d'une allumette ne présentant plus

qu'un point rouge". L'affirmation est maintenue malgré une expérience quantitative qui montre que le gaz est "absorbé presque intégralement par le pyrogallate de potassium". Si ce n'est pas en totalité, que représente le reste ?

Cours Oria. Hatier. (Livre de documentation à l'usage des professeurs).

Dans ce livre, les auteurs notent comme difficulté de "la méthode des bulles" le fait qu'il y ait toujours en proportions variables un peu d'azote et de gaz carbonique. Mais examinant cette question sous l'angle des défauts de la méthode, ils estiment que la parade est impossible au lycée.

Ils n'envisagent pas que cela puisse présenter une difficulté au niveau du raisonnement et des conclusions que l'on fait sur cette expérience.

Or, la parade est parfaitement possible. L'étude est même réalisable d'une manière simple par les élèves eux-mêmes. A. Causon qui l'un des premiers a proposé un montage simple réalisable en classe pour l'étude de ce dégagement gazeux a publié la technique qu'il a utilisée pendant de nombreuses années, ainsi que les résultats obtenus avec ses élèves. On trouve également dans le projet anglais Nuffield "A. Level" une description détaillée de la microburette mise au point par Audus en 1955 et qui permet également cette étude.

Dans l'optique d'une étude quantitative, non pas comme but en soi, mais pour affiner le raisonnement, on comprend que ce genre de recherche sur la mise au point d'appareils simples mais corrects utilisables par les élèves a une importance considérable. Les travaux sont très rares dans ce domaine. Mais si l'on note que les deux difficultés soulevées se retrouvent d'une manière constante dans de nombreux manuels français ou étrangers, anciens ou modernes, du secondaire ou du supérieur, on comprend aussi à quelle résistance on se heurte.

3.3. L'expérience de Sachs et ses variantes.

Sans remonter au travail original de Sachs (1865) on trouve une description suffisante des expériences dans le livre 1ère D Bordas, coll Ch. Désiré. En quelques mots, Sachs prélève sur une feuille de Tournesol



(*Hélianthus annus*) grâce à un emporte pièce, sur une feuille exposée au soleil, un disque le matin et un disque le soir. Ces disques sont séchés à l'étuve à 105° jusqu'à un poids constant ( poids sec ) Le poids sec le soir est toujours supérieur à celui du matin. La différence correspond à 2 g par m<sup>2</sup> de feuille et par heure. Il obtient le même résultat en détachant une feuille et en trempant le pétiole dans l'eau.

Le choix de cette deuxième expérience permet l'analyse d'une méthode quantitative portant cette fois sur les masses de matière formée et non sur les gaz. De nombreuses méthodes de ce type sont encore utilisées en agriculture et en écologie (cf. bibliographie).

On trouve dans les manuels une expérience réalisable et souvent faite en classe par les élèves. Elle dérive de l'expérience précédente mais est réalisée sur le Géranium, ou diverses autres feuilles. Cette expérience est en général décrite seule comme expérience de "mise en évidence" des synthèses chlorophylliennes, mais elle présente deux caractéristiques : d'une part elle n'est pas quantitative, d'autre part elle présente souvent une erreur grave par absence de témoin. Qu'on en juge sur cet exemple.

Cazalas, Delattre. Hachette. Cours Oubré seconde de M'.

"Choisir trois feuilles bien saines sur un pied de Géranium. Laisser la première telle quelle. Envelopper la seconde de papier noir. Découper un cercle dans le cache qui recouvrira la troisième. Placer la plante au soleil ou sous une forte source lumineuse plusieurs heures. Cueillir les trois feuilles en les repérant d'une, deux, trois encoches marginales. Les fixer immédiatement à l'eau bouillante. Les décolorer à l'alcool chaud, dans un bain marie pour éviter un accident par inflammation des vapeurs d'alcool ; sortir les feuilles de l'alcool lorsqu'elles sont devenues transparentes et les plonger dans le réactif iodo-ioduré. La première bleuit ; la seconde jaunit ; et la troisième ne bleuit qu'à l'endroit du cercle éclairé.

L'amidon étant la seule substance organique bleuisant au réactif iodo-ioduré, l'expérience prouve bien son élaboration dans les feuilles exposées à la lumière".

Or, en l'absence de *témoin préalable*, c'est-à-dire l'étude d'une feuille maintenue à l'obscurité pendant 12 heures environ, on comprend que l'on devrait ici conclure exactement l'inverse de ce qui est dit, c'est-à-dire à la disparition de l'amidon. Dire que

l'expérience prouve l'élaboration d'amidon est quelque peu abusif.

On trouvera un peu plus loin dans ce même texte la conclusion suivante : "une substance organique, l'amidon, se forme à la lumière, dans les feuilles ; il y a donc un passage du carbone minéral, celui du gaz carbonique absorbé, au carbone organique, celui de l'amidon élaboré". La présence d'un "donc" laisse supposer que la liaison entre les échanges gazeux et les synthèses se déduit, mais comment, avec quels arguments, par quel raisonnement ?

Dans la plupart des manuels la mise en relation des échanges gazeux et des synthèses n'est pas expliquée, ni justifiée. Les deux études sont simplement juxtaposées. Or, la relation n'est pas évidente.

Une telle étude devrait être étendue à un plus grand nombre de manuels étrangers, ainsi qu'à des manuels plus anciens. Par ailleurs, depuis cette étude, de nouveaux manuels sont parus dans le premier cycle, reprenant ces mêmes expériences. Par contre, dans le second cycle, un nouveau mode de présentation tend à séparer les expériences du discours général pour les disposer en encadré hors texte. Postulons que cette nouvelle méthode donnera un statut différent aux expériences dans le discours démonstratif.

### 3.4. Conclusions.

le statut des expériences :  
preuves ou illustrations  
ou bases d'une redécouverte  
ou faire valoir  
d'une théorie

Pour qu'apparaissent et se répètent avec une telle fréquence de telles fautes de raisonnement, de telles contradictions, il faut vraiment que l'attention soit portée ailleurs. Il faut trouver une explication. On doit se trouver face à une résistance fondamentale. En fait, si des enseignants ont soutenu une lutte polémique pendant de longues années pour introduire des expériences dans leurs cours et surtout sous forme de travail pratique, le statut de ces expériences n'est pas clairement admis. Le discours de l'enseignant n'est plus un pur et simple exposé de résultats juxtaposés sans liens. Il se veut démonstratif, et ce sont essentiellement les expériences qui jouent ce rôle de preuve. Mais les expériences jouent également le rôle d'illustration, ou de simple faire valoir à la théorie, quand elles ne servent pas de base à une "redécouverte" des notions.

Tous ces rôles sont contradictoires et il faudra élucider ce point, mais c'est un préalable indispensable :

de prendre conscience qu'une grande partie du discours de l'enseignant est pseudo-démonstratif. Les arguments sont esquissés, les expériences amorcées, rarement discutées à fond. La pseudo-conclusion tombe plaquée. On peut faire des constatations analogues dans la plupart des chapitres.

. Pour éviter de telles fautes on peut proposer deux premières solutions :

deux solutions pour lever les obstacles précédemment inventoriés

- développer l'aspect *quantitatif* des expériences proposées. Les deux autres perspectives adoptées ont montré l'importance de la prise en compte du quantitatif, non pas comme signe de la scientificité, mais pour préciser le raisonnement, et séparer les facteurs. Au niveau pratique du travail des élèves, le quantitatif coûte souvent cher en matériel de laboratoire. Dans les deux exemples analysés il n'en est rien. Le travail est possible avec du matériel simple, mais cela demande *beaucoup de temps*. Il faudra donc faire un choix en fonction de l'objectif primordial que l'on assigne à l'enseignement scientifique.

- analyser par *quel raisonnement* la liaison a été faite historiquement entre les échanges gazeux et les synthèses. Et surtout analyser *quel est le statut de ce raisonnement*.

Si l'on accepte de considérer l'intérieur de la plante comme une "*boîte noire*" puisque l'on n'a aucun moyen de savoir ce qui se passe à l'intérieur, on peut cependant faire un *bilan global* des entrées, des sorties, et des facteurs agissants. On peut alors proposer un raisonnement qualitatif tel que celui-ci : "lumière et chlorophylle sont indispensables à la synthèse de l'amidon comme à l'accomplissement des échanges gazeux chlorophylliens. On peut donc penser que synthèse et échanges gazeux ne sont que deux aspects d'un même phénomène".

On ne trouve ce raisonnement pourtant assez simple, et que l'on pourrait préciser un peu plus, que dans un seul manuel scolaire.

On peut aussi proposer un *raisonnement quantitatif* qui consiste à mettre en regard les éléments du bilan en masse des gaz et des matières à la fois en valeur absolue et en proportion, tel qu'il était réalisé vers le milieu de XIX<sup>e</sup> siècle. Ce bilan complète le raisonnement précédent, le précise et permet d'introduire la classique équation de la photosynthèse qui n'est pas uniquement qualitative.

Une conscience claire de ce mode de raisonnement implique que l'on ajoute la phrase rituelle : "tout se passe comme si...". Autrement dit on ne peut rien dire du mécanisme intime. Comprendre ceci éviterait de présenter comme une vérité déduite de l'équation la conclusion suivante : "l'oxygène rejeté par les plantes provient de la décomposition du gaz carbonique." Il est vrai que cette affirmation a été longtemps présentée comme une vérité, dans la mesure où l'on était incapable de l'infirmier. On trouve une telle affirmation dans certains manuels jusqu'en 1963 bien que le contraire ait été démontré depuis longtemps.

En fait cette équation ne joue pas tant le rôle d'*explication* que celui d'une *hypothèse* qu'il faut soumettre à l'expérience. Mais les expériences sont demeurées longtemps hors de portée de la recherche scientifique.

Au cours du progrès des connaissances, deux techniques ont tout d'abord permis d'analyser les réactions chimiques se réalisant dans "la boîte noire" : l'utilisation des isotopes radioactifs comme espions, l'analyse chromatographique à une puis deux dimensions. On démontre ainsi "aisément" que le carbone provient du gaz carbonique de l'air, tandis que l'oxygène provient de l'eau, contrairement à ce que l'on pourrait penser ! Si l'on se centre uniquement sur "les derniers résultats" du savoir, on peut penser que ces nouvelles techniques rendent caduques les études antérieures. Commençons d'emblée par le carbone radioactif. Si l'on souhaite au contraire insister sur la démarche de progression du savoir scientifique par rectifications successives, l'occasion est ici fournie de présenter un premier résultat de savoir, avec son statut épistémologique précis, puis de montrer en quoi il demeure "vrai", et en quoi il est "rectifié".

et si les élèves retenaient les raisonnements tout autant que les faits ... qu'y gagneraient-ils dans le cas de la photosynthèse ?

en quoi il est "rectifié".

. Prenant conscience du caractère non pas fortuit, mais systématique de ce genre de faute relevant non seulement de la logique, mais aussi de la compréhension de ce qu'est une explication scientifique, on peut renverser le point de vue et se demander *quel effet produit sur les élèves la pratique d'un tel raisonnement*. Car n'en doutons pas, ces raisonnements sont manipulés pendant les travaux pratiques, appris et récités. Il suffit d'examiner des copies pour s'en convaincre. Et quand le détail des connaissances factuelles disparaît peu à peu de la mémoire ne reste-t-il pas dans l'esprit ces modes de "démonstration".

Bel exemple au total, de l'abîme qui sépare les objectifs "intentionnels" (au sens de la bonne intention) que les enseignants fixent à leur enseignement ("former l'esprit rationnel", le sens de l'analyse...) et la réalité.

#### 4. INTERDIRE OU DECONSTRUIRE.

Il est temps de se demander quel intérêt pratique peut avoir cette brève étude, qu'est-ce que cela va modifier dans notre travail de classe. Si l'on considère l'attitude la plus habituelle des enseignants, les savoirs "premiers" des élèves sont, la plupart du temps, purement et simplement délaissés. Cependant, au cours des interrogations écrites ou orales, ils prennent le statut "d'erreur" ou plus exactement de "faute" puisqu'une valeur morale est attachée à l'erreur. Ces connaissances fausses sont "corrigées" (au sens de recevoir une correction !) c'est-à-dire interdites. Mais interdit ne signifie pas disparu, et le discours premier de l'élève peut donc subsister soit à l'état délaissé, soit refoulé et inconscient. Il y a donc toute chance de le voir réapparaître.

Faire apparaître les représentations "spontanées" n'est qu'une étape. Il faut aussi tenter de les "déconstruire".

de l'expression à la prise en compte des représentations dans l'enseignement

. il peut suffire de faire prendre conscience de ces obstacles pour que l'élève sache les éviter. Commencer par exemple le cours par un questionnaire du type de celui proposé, et discuter collectivement des réponses apparues pour mettre le doigt sur les difficultés.

. une attitude complémentaire consiste à prêter attention aux théories devenues fausses, quand

elles ont une valeur exemplaire. La théorie de l'humus comme source des matières carbonées, azotées et minérales est une théorie très résistante qui s'appuie sur le sens commun et les pratiques agricoles les plus générales encore actuellement. Le monde universitaire développant des interdits pour toute explication devenue fausse, l'erreur étant pourchassée avec vigueur, elle n'est donc, non seulement plus enseignée, mais pas même citée dans les manuels. Et c'est ainsi que les expériences citées dans le cours *changent de statut*. Réalisées initialement pour réfuter une théorie fausse, elles ne servent plus qu'à "prouver" la théorie actuellement retenue. Il est vrai que ce changement a également d'autres racines dans une conception positiviste de la science. Il est vrai aussi que des expériences telles les cultures sur milieu liquide inventées par Boussingault ont permis de "prouver" la nécessité de tel ou tel ion particulier. Même si elles réfutent d'une manière simple la théorie de l'humus, elles ont surtout fonctionné comme source de connaissance. Ce double statut est très clair, mais il ne facilite pas la compréhension.

En prenant donc le temps de faire surgir ces théories fausses et de les réfuter, on rétablit à la fois les expériences dans leur fonction épistémologique correcte, et on contribue à une meilleure acquisition des notions et théories. On contribue également à changer l'attitude face à "l'erreur", même si, nous ne le nions pas, les théories devenues fausses, sont fausses "pour toujours". Peut-être que cette attention permet au contraire de le mettre clairement en évidence.

##### 5. PERSPECTIVES INTERDISCIPLINAIRES

Nous souhaitons que notre attitude de départ apparemment "disciplinaire" ne soit pas au bout du compte incompatible avec une attention interdisciplinaire. Qu'en est-il exactement ?

. La problématique choisie nous a amené à porter une attention spéciale aux élèves, à leurs représentations, leurs modes de pensée, en un mot à valoriser ce qu'ils disent, à *les valoriser*. Et cette attitude ne se fragmente pas en fonction des circonstances.

. L'analyse critique des manuels, et l'historique conduit à penser que les errements des élèves sont également les nôtres. Ceci peut conduire à repenser l'idée que les enseignants se font de la différence

qui existe entre eux et les enseignés. Nous ne sommes pas fondamentalement *autres*. Il existe des points d'identité. Or, l'altérité est un postulat de base de l'enseignement. S'il existe une identité elle est niée. La coupure est construite. La distance nous la voulons grande, nous la creusons nous-même.

. L'idée de transfert trouve ici un point d'application sur un point précis et demanderait un examen commun avec les "physiciens".

. Nous avons rencontré un exemple de *raisonnement "en boîte noire"* dont on peut supposer qu'il se retrouve ailleurs, avec peut-être des modalités différentes.

. Nous avons buté sur un obstacle qui ne nous semble pas spécifique : le fait que les connaissances viennent en réponse à une question, à un problème, et que par ailleurs ce problème ait une "existence" dans l'esprit des élèves. Autrement dit attacher une importance à *l'existence d'une problématique* au début du cours.

. L'attention aux représentations erronées, et le soin apporté à les déconstruire nous semble également pouvoir trouver un écho dans d'autres disciplines.

Certains collègues pourront enfin trouver dans notre travail des points de rencontre que nous n'avons pas soulignés. C'est ce que nous souhaitons.

Guy RUMELHARD

Lycée Condorcet. Paris.  
Equipe de didactique des  
sciences expérimentales. INRP

## BIBLIOGRAPHIE

Sur l'analyse pédagogique des représentations, on trouvera une bibliographie détaillée dans :

- Aster (Equipe de recherche). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris. INRP. 1985.
- RUMELHARD G. Représentation de la génétique dans l'enseignement. Berne. Peter Lang. 1986.

Plus spécialement sur la photosynthèse, il existe des études, actuellement non publiées, réalisées dans l'enseignement agricole. Institut National de Recherches et d'Applications Pédagogiques (INRAP. DIJON).

Pour la mise à jour scientifique :

COSTES C. (éd.) *Photosynthèse et production végétale*. 2ème éd. Paris. Gauthier-Villars. 1978.

BERKALOFF A., BOURGUET J., FAVARD P. et N., LACROIX J.C., *Biologie et physiologie cellulaires*. Tome III. Paris, Hermann. 1981.

LEHNINGER A. *Bioénergétique*. Paris. Ediscience. 1969.

MAZLIAK P. *Physiologie végétale*. Paris. Hermann. 1974.

ALLFREY V.G., MIRSKY A.E. How cells make molecules. *Scientific American*, Sept. 1961. p 74-82.

ARNON D.I. The role of light in photosynthesis. *Sc. Am.* Nov. 1960. pp. 104-109.

BASSHAM J.A. The path of carbon in photosynthesis. *Sc. Am.* Juin 1962. pp. 88-100.

RABINOVITCH E.I. GOVINDJEE R., The role of chlorophyll in photosynthesis. *Sc. Am.* 1965. pp. 74-83.

LEVINE R.P. The mechanism of photosynthesis. *Sc. Am.* Déc. 1969. pp. 58-70.

GOVINDJEE R. The absorption of light in photosynthesis. *Sc. Am.* Dec. 1974. pp. 68-80.

JOLIVET E. Les voies de la photosynthèse et la productivité. *La Recherche* n° 69. 1976. pp. 668-671.

DOUCE R., JOYARD J. Le chloroplaste. *La Recherche* n° 79. 1977. pp. 527-537.

JOLIOT P., JOLIOT A. La photosynthèse. *La Recherche* n° 88. 1978. p. 331-338.



HINKLE P.C., Mc CARTY E. Comment les cellules fabriquent l'ATP. *Pour la Science* N° 7, Mai 1978 pp. 35-53.

MILLER K. La membrane photosynthétique. *Pour la Science* n° 26 Déc. 1979. pp. 27-39.

JOYARD J., FARINEAU J. Structure et fonction des chloroplastes, in *Actes du Colloque du Centenaire de l'Ecole Normale Supérieure de St Cloud*. 1982.

PRIOUL J.L. Facteurs limitant la photosynthèse in vivo, in *Actes du Colloque du Centenaire de l'Ecole Nationale Supérieure de St Cloud*. 1982.

(Ces deux articles contiennent une bibliographie détaillée).

BJORKMAN O., BERRY J. 1973. High - efficiency photosynthesis. *Sc. American*. Octobre 1973. pp. 80-93.

#### Sur l'histoire des Sciences.

*Histoire et Nature*, Numéro spécial n° 5 - 6. 1974-75. (Introduction bibliographique à l'histoire de la Biologie p. 110).

On trouvera des extraits de textes originaux dans :

GOHAU G. *Biologie et Biologistes*. Paris. Magnard. 1978.

HILLMAN WS. *Papers in plant physiology*. New York. 1970.

Pendant longtemps la principale référence fut le livre de J. SACHS, traduit en français sous le titre *Histoire de la Botanique*, (Paris 1892), malgré des erreurs et des partis pris.

On trouvera dans TATON R. *Histoire Générale des Sciences*. Paris. PUF. 1957 les principaux points de repère.

DELAPORTE F. *Le second règne de la nature. Essai sur les questions de la végétalité au XVIII<sup>e</sup> siècle*. Paris. Flammarion. 1979.

BUGLER G. Un précurseur de la Biologie expérimentale : EDME Mariotte. *Revue d'Histoire des Sciences*. Juil. Sept. 1950.

REED H. J. *INGENHOUSZ plant physiologist*. Waltham 1949.

SCHILLER J. H. *DUTROCHET, le matérialisme mécaniste et la physiologie générale*. Paris. 1975.

Sur les travaux pratiques.

CAUSIN A. in *L'information scientifique*. Nov. 1949.

CAUSIN A. Etude pratique du rejet de gaz à la lumière par les plantes aquatiques. *L'information scientifique*. 1974. pp. 219-239.

LASCOMBES G. *Manuel de travaux pratiques de physiologie animale et végétale*. Paris. Hachette. 1968.

BALDY C.M. Analyse de la photosynthèse du Maïs dans les conditions naturelles par une méthode gravimétrique. *Oecologia Plantarum*. 6, 1971. pp. 101-114.

SESTAK Z. *Plant photosynthetic production. Manual of Methods*. Dr W. Junk, The Hague.

BALDY C.M. 1973. Contribution à l'étude de la photosynthèse apparente du blé. Application des méthodes gravimétriques en conditions naturelles. *Oecologia Plantarum* 8, 1973. pp. 247-262.

On peut également consulter les travaux non publiés, réalisés sous la direction de Mme BRACHET à l'Université Paris Sud (Orsay, Bât. 431).

**PSYCHANALYSE ET DIDACTIQUE :**  
**A PROPOS DES REPRESENTATIONS ET DE LA CAUSALITE**

**Alain Kerlan**

*La psychanalyse interpelle le didacticien par sa méthode d'investigation des représentations psychiques. Les représentations des élèves sont en effet au centre des préoccupations de la didactique des sciences expérimentales. Toutefois, la méthode psychanalytique procède d'une conception générale de l'activité mentale et du fonctionnement de l'appareil psychique. Ce que la psychanalyse peut proposer, c'est peut-être moins un modèle méthodologique qu'un cadre conceptuel et théorique. La problématique relative aux représentations des élèves permet de l'éprouver.*

*Quelle conclusion qu'on en tire, l'approche psychanalytique interdit du moins d'ignorer que la pensée scientifique naît, s'éduque et s'instaure au sein d'une activité psychique globale à laquelle elle ne cesse pas d'appartenir.*

L'intérêt de la pédagogie pour la psychanalyse, si abondamment et si diversement illustré, découle très logiquement de l'importance décisive que la théorie freudienne accorde à l'éducation.

Que la didactique, à son tour, rencontre la psychanalyse, on ne peut s'en étonner. Encore faut-il, pour que la rencontre soit féconde, ne pas se satisfaire de réponses toutes faites. Plusieurs décennies de diffusion et de vulgarisation de la théorie psychanalytique, d'inévitables généralisations et approximations, pourraient imposer de fausses pistes.

C'est pourquoi il importe, avant toute autre réflexion, de restituer quelques-uns des concepts et des principes spécifiques de la théorie et de l'investigation psychanalytiques.

Cette exigence concerne en premier lieu le concept de *représentation*. L'analyse et la prise en compte des représentations des élèves dans un processus éducatif constituent en effet l'une des préoccupations majeures

une théorie des représentations dépend d'une théorie de l'appareil psychique

la pensée causale elle-même doit être située dans l'activité psychique globale

de la recherche en didactique des sciences expérimentales. La psychanalyse n'est-elle pas précisément une méthode d'interprétation des représentations individuelles et collectives ? Ne constitue-t-elle pas un modèle d'analyse des représentations ? Sans aucun doute. A condition d'ajouter qu'une représentation ne se réalise pas seulement dans des "idées", mais aussi dans des "comportements", qu'une représentation dispose d'un "investissement" variable, que son fonctionnement dépend du registre psychique dans lequel elle s'exprime etc... Autant dire que développer ce point supposerait qu'on présente un tableau général de la psychanalyse, et plus particulièrement de la conception freudienne de *l'appareil psychique* ... On peut au moins en rappeler les aspects qui éclairent le plus directement *l'activité mentale*.

Certes, la pédagogie ne commence vraiment qu'avec l'attention portée à la *pensée de l'élève*, au processus qu'elle met en oeuvre pour organiser, comprendre, expliquer, bref pour accéder à une *pensée causale*. Reste que la pensée causale elle-même participe d'une activité mentale complexe : comment se forme et fonctionne, et que signifie, l'intérêt pour la recherche des causes pour cette causalité qui, comme le dit Lacan, "cause, cause toujours" ? Quel statut accorder aux différentes formes de causalité dont témoignent les explications et les productions des élèves en situation d'apprentissage ? Quels intérêts psychiques recouvre la "volonté de causalité" ? (1) C'est bien en tant que produits, témoins, traces de *l'activité mentale totale* (de l'élève) que les représentations s'imposent au pédagogue.

Bref, il convient avant tout d'exposer succinctement, à l'aide de quelques exemples empruntés à la littérature freudienne, les concepts clés de la théorie de l'appareil psychique, de montrer en quoi consiste le *travail* du psychanalyste, l'originalité de *l'investigation* psychanalytique des phénomènes psychiques. Rêves, lapsus et actes manqués, symptômes, trois domaines dans lesquels il faudrait bien entendu puiser et qui devraient permettre de définir la spécificité

---

(1) Bien entendu, ces questions invitent aussi le pédagogue à interroger sa propre volonté d'assigner des causes aux représentations enfantines ...

épistémologique d'une démarche scientifique (?) appliquée aux faits et aux significations humaines, par opposition ou comparaison à cette démarche dans le champ des sciences de la nature.

#### LE REVE AUX EPINARDS

Ce rêve, exemplaire dans sa banalité et son incohérence, est analysé dans un ouvrage où Freud propose une version abrégée de sa "Science des Rêves" (2). Voici le texte manifeste du rêve, ce que le rêveur, Freud lui-même a pu en noter :

"Une réunion à table - ou à table d'hôte. On sert des épinards. Mme E.L. est assise auprès de moi et toute tournée de mon côté. Elle me passe familièrement la main sur le genou. Je fais un geste pour écarter sa main. Alors elle me dit : "Vous avez toujours eu de si beaux yeux !" Et je distingue confusément quelque chose qui ressemble à un dessin représentant deux yeux, ou bien aux verres d'une paire de lunettes".

Son interprétation repose sur la *technique de libre association des idées*. Le rêveur est invité, à partir de chacun des éléments du rêve, à dire, exprimer toutes les idées et images qui se présentent à son esprit, aussi "curieuses" ou incongrues lui sembleraient-elles. Il s'agit donc de renoncer à toutes les critiques qui d'ordinaire passent au crible les idées qui surgissent à la conscience, et ne laissent passer que ce qui est "socialement utile", ou encore de laisser libre cours aux associations involontaires, en écartant la censure secondaire. En effet, libre ne signifie pas indéterminé : c'est au contraire les déterminismes des chaînes d'idées ainsi associées qui permettront d'approcher la signification du rêve.

il faut postuler que toute activité psychique a un sens

Bien entendu, cette technique relève d'un postulat : que toute activité psychique - et donc le rêve - a un sens.

Donc, chaque partie du rêve va donner naissance à une chaîne d'idées et d'images, un épais tissu de relations qui très vite se recourent. L'analyste découvre derrière le contenu manifeste un complexe de pensées

---

(2) Sigmund FREUD. *Le rêve et son interprétation* (1901) Paris. Gallimard. coll. Idées. 1969. p. 16 et 59.

et de préoccupations, de souvenirs et de sentiments, de désirs et de frustrations, bref une vie psychique et affective d'une grande richesse, en rapport très étroit avec la vie du rêveur. Ce complexe, Freud l'appellera le contenu latent du rêve. Il présente une caractéristique essentielle pour l'interprétation. Certaines idées, certaines images, reviennent fréquemment, quel que soit le départ de la chaîne où elles sont produites. Cette insistance est la marque du sens du rêve. Les représentations du contenu latent convergent vers un noeud unique où "pointe" le sens du rêve.

Le texte de Freud contient les principales idées obtenues par associations. Ainsi l'unité "Réunion, table d'hôte" rappelle-t-elle d'abord un incident récent :

"Comme je quittais une petite réunion en compagnie d'un ami, celui-ci offrit de prendre une voiture et de me déposer chez moi. "J'aime assez, ajouta-t-il, l'invention du taximètre. On le suit des yeux, on s'occupe, on se distrait..." Quand nous fûmes en voiture et que le cocher eut disposé la vitre de manière qu'on pût lire le chiffre : 60 heller, je repris la plaisanterie : "A peine avons-nous pris place et nous voici endettés. Le taximètre en voiture, c'est comme la table d'hôte, on s'y sent devenir avare et égoïste à force de songer à la dette qui augmente. Elle grandit trop vite, on a peur de ne pas en avoir pour son argent. A table d'hôte aussi, j'ai toujours cette préoccupation un peu comique de ne pas laisser le compte s'établir à mon détriment". Et je citai, sans grand à-propos je l'avoue, deux vers de Goethe :

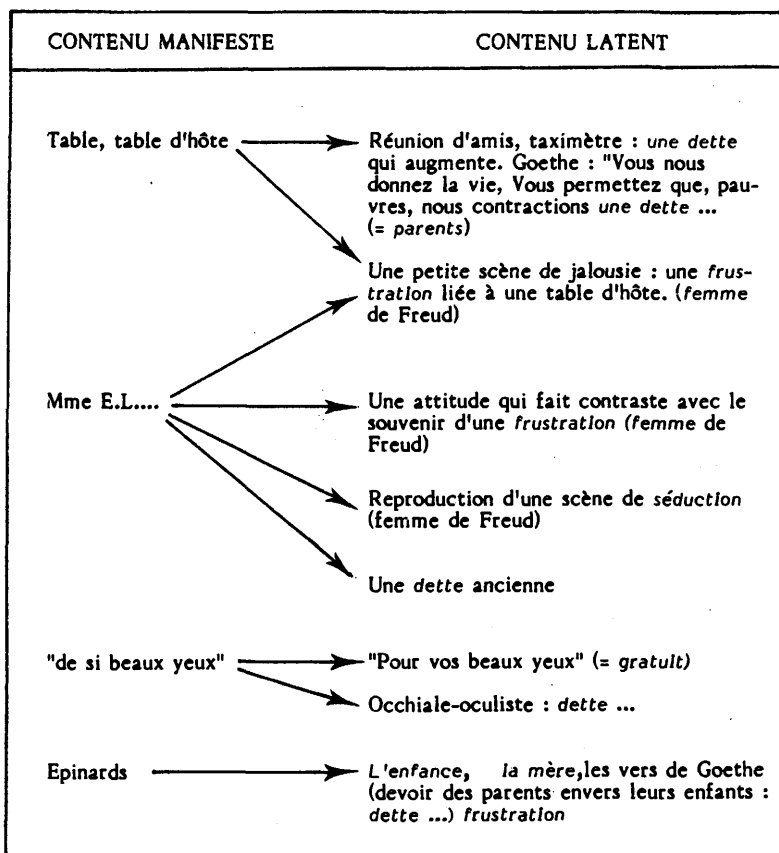
Vous nous donnez la vie,  
Vous permettez que, pauvres, nous contractions  
une dette..."

Vers qui seront aussi retrouvés dans la chaîne des associations partant ... des épinards. "La mention de ce mets rattache, à l'image de mon petit garçon, celle de ma propre enfance. -"Estime-toi heureux d'avoir des épinards", disait ma mère, qui désapprouvait mes manières, "bien des enfants seraient trop contents d'être à ta place !" Ceci me ramène aux devoirs des parents envers leurs enfants et les paroles de Goethe ... rapprochées de ce qui précède, prennent un sens nouveau"(3).

---

(3) cf. Sigmund FREUD. Op. cit. p. 17 à 21.

Le tableau ci-dessous représente schématiquement ce que l'investigation a exhumé.



Freud ne livre pas jusqu'au bout l'analyse de son rêve. L'essentiel est qu'apparaissent lisiblement les recoupe-  
ments des idées associées, autour de l'idée de dette  
et de frustration, et qu'un désir d'ordre infantile soit  
sous-jacent.

#### FORMATION ET DEFORMATION DU REVE.

Ce que révèle la technique de libre association, c'est  
la richesse d'une vie psychique sous-jacente, dont elle  
permet de prendre conscience: elle tire au jour, un peu  
comme en tirant sur un fil on peut dérouler toute la  
pelote, un entrelac de préoccupations nourries de la  
vie du rêveur, et plonge fort loin dans cette vie psy-  
chique et affective.

Mais alors, pourquoi le rêve (= contenu manifeste) ?  
Pourquoi ce texte laconique et souvent incohérent,  
confus, mêlant des images et des mots, plutôt que ce  
réseau de préoccupations sous-jacentes (= contenu  
latent) ? La réponse du psychanalyste sera que le rê-  
ve est précisément la transformation du contenu man-  
ifeste. Le rêve est un mécanisme, un travail psychi-  
que qui porte sur les préoccupations du dormeur et les  
transforme en un contenu mental différent, différé.  
Comprendre, expliquer le rêve, ce sera démonter ce  
mécanisme, cette transformation.

l'analyse des représen-  
tations du rêve conduit  
à distinguer au sein  
de l'appareil psychique  
des systèmes différents

*La théorie de l'inconscient* trouve ici sa place et sa  
raison d'être. Impossible de rendre compte de la for-  
mation du rêve comme activité mentale à part entiè-  
re sans distinguer au moins deux systèmes psychiques,  
deux régimes de pensée : le système conscient/pré-  
conscient, et le système inconscient. Seront précon-  
scientes, ou appartenant au système conscient/précon-  
scient les représentations qui demeurent susceptibles  
de parvenir à la conscience ; ainsi les pensées latentes  
du rêve, obtenues par libre association. La conscience,  
dans cette perspective, c'est tout simplement la par-  
tie éclairée d'une activité psychique qui reste le plus  
souvent ignorée, mais n'a pas besoin de la conscience  
pour exister ; ou encore la conscience n'est que le  
sommet de l'iceberg. Le caractère conscient vient  
s'ajouter au travail psychique en lui-même fort élaboré.  
Les lapsus et les actes manqués, toute cette "psy-  
chopathologie de la vie quotidienne" en témoignent  
abondamment.

Par contre, et par définition, une représentation in-  
consciente est *maintenue à l'écart de la conscience*,  
écartée de la conscience, interdite d'accès à la



une représentation écartée (refoulée) alimente une activité psychique intense

conscience. L'inconscient, dit Freud, est dynamique. Et surtout : aussitôt qu'une représentation est rejetée ou maintenue dans l'inconscient, elle ne cesse d'agir, elle accède à une sorte de présent permanent. L'inconscient ignore le temps comme il ignore la logique. Le désir infantile refoulé garde ainsi chez l'adulte ses entières exigences dans l'inconscient, et "cherchera" toutes les occasions de se manifester.

Ces quelques rappels sommaires sont nécessaires à la description du processus d'élaboration du rêve. Schématiquement on peut distinguer trois étapes :

|              |  |
|--------------|--|
| CONSCIENT    | 1) Des préoccupations subsistent pendant le sommeil. L'absence de conscience en effet ne signifie nullement la fin de l'activité mentale.  |
| PRECONSCIENT | 2) Les restes diurnes sont élaborés par le travail pré-conscient. Les représentations s'associent, glissent de l'une à l'autre avec une aisance que ne connaît pas la conscience ; s'élabore un véritable entrelac d'idées et de souvenirs, une sorte de toile d'araignée.   |
| INCONSCIENT  | 3) Un désir refoulé "cherche" à s'exprimer. Il va capter la pensée latente, parce qu'il exerce une attraction sur tout ce avec quoi il peut établir des liaisons, des associations. Dès lors, les pensées latentes sont transformées, travaillées jusqu'à ce qu'elles expriment sous ce "déguisement" et sous une forme méconnaissable pour la conscience, le désir refoulé. C'est le texte manifeste. |

### LE TRAVAIL DU REVE

Enfin, la théorie du rêve dégage les procédés propres à l'inconscient, que retrouveront aussi bien la théorie des lapsus que celle des névroses. Ce sont les principes de la pensée inconsciente. Ils sont à l'oeuvre dans l'élaboration de toute représentation que ne "cadrent" pas les seules règles de la pensée consciente.

La condensation rend très bien compte d'une opposition très frappante. A la richesse et à la complexité du réseau des pensées du rêve (contenu latent) répond la pauvreté, la laconisme du rêve (contenu manifeste) qui se satisfait de quelques images. C'est qu'un travail de condensation a assemblé plusieurs souvenirs, plusieurs idées en une seule image,

les représentations inconscientes sont élaborées selon des processus psychiques spécifiques ...

superpose les différents éléments de plusieurs représentations de manière à faire apparaître en l'accentuant le point commun, un peu comme la superposition de plusieurs portraits photographiques dessine les lignes générales du visage humain. Dans le rêve de la table d'hôte, "quelque chose qui ressemble à un dessin représentant deux yeux, ou bien aux verres d'une paire de lunettes" renvoie en même temps à une coupe ancienne, "Occhiale", à un ami oculiste, à une conversation relative à une malade ...

Très souvent, ce sont les ressources métaphoriques du langage qui seront mises à contribution, quitte à recourir aux jeux de mots les plus "épais" : analysant un rêve très simple d'apparence - dans lequel il vient de réaliser une monographie botanique - Freud aboutit à des associations d'idées dans lesquelles il est question de sa rencontre avec le Professeur Gärtner (= jardinier en allemand), de sa florissante jeune femme, de sa malade Flora ... (4)

La condensation est donc un processus métaphorique. D'où Lacan peut conclure, comme des autres procédés, on va le voir, que l'inconscient est structuré comme un langage.

. *Le déplacement* s'apparente, lui, à la métonymie, autre figure classique de rhétorique. Il y a déplacement quand l'accent, l'intérêt d'une représentation se détache d'elle pour passer à d'autres représentations originellement moins intenses mais reliées à la première par une chaîne associative. Dans le rêve de la table d'hôte, la représentation la plus proche du désir du rêve n'est présente que de manière presque anodine, sous la forme d'un plat d'épinards, tandis que l'attitude de Mme E.L. occupe exagérément toute la scène. Les épinards sont la partie qui désigne le tout (métonymie, exemple : "cent voiles entrèrent au port ...").

. *La figuration concrète*, sous formes d'images, trouve également des ressources dans la langue, notamment en prenant au pied de la lettre les expressions figurées. "Dépasser quelqu'un de la hauteur d'une tour" s'exprimera bien entendu dans l'image d'une

---

(4) Sigmund FREUD. *L'interprétation des rêves* (1900) Paris. PUF. 1967.p. 245.

... qui utilisent abondamment les ressources du matériau linguistique pour fabriquer des images

tour (5). Les pensées du rêve subissent ainsi une sélection et une transformation qui les rendent susceptibles d'être représentées en images, surtout visuelles : ainsi une image visuelle, le dessin de deux yeux, traduit un réseau d'idées et de préoccupations.

. *L'élaboration secondaire*, enfin, permet de donner au rêve une allure plus acceptable, en le présentant sous la forme d'un scénario un peu plus cohérent et compréhensible selon les règles de la logique que la juxtaposition d'images qui doit être son premier visage. Le récit du rêve poursuit le travail du rêve...

## LA METAPSYCHOLOGIE

La métapsychologie freudienne coordonne en une théorie générale de l'appareil psychique les faits et les concepts élaborés (6). Le modèle retenu peut être décrit de trois points de vue. Le point de vue *topique* distingue plusieurs lieux, plusieurs "instances" de l'appareil psychique : conscient, préconscient, inconscient, ou dans la seconde topique, Ça, Moi et Surmoi. Le point de vue *dynamique* s'attache bien sûr à décrire la vie conflictuelle de l'appareil psychique.

Mais la vie psychique peut aussi être décrite selon "l'énergie" psychique en jeu : c'est le point de vue dit *économique*. Cet aspect de la métapsychologie est essentiel pour que l'explication psychanalytique du rêve et plus largement de l'inconscient soit satisfaisante.

une représentation ne doit pas être confondue avec l'énergie psychique qui s'y trouve investie (affect)

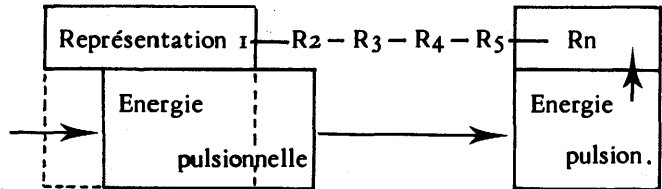
Et il faut tout d'abord poser une distinction capitale. Dans toute représentation mentale, il faut distinguer selon Freud *la représentation elle-même*, ou l'idée, et qui n'est en soi que "trace", "empreinte", de *l'énergie psychique* investie dans cette représentation ("*l'affect*"). Distinction capitale, car elle rend compte des différents régimes de la représentation, consciente, préconsciente, inconsciente : chaque système (chaque instance) est caractérisé par l'emploi de l'énergie psychique.

---

(5) Ibid p. 294

(6) Sigmund FREUD. *Métapsychologie*. Paris. Gallimard. 1969.

En effet, le refoulement qui maintient certains contenus psychiques à l'écart de la conscience porte très précisément sur la représentation, et non sur l'énergie de la pulsion qui *doit* être déchargée. C'est pourquoi l'énergie, l'affect lié originairement à une représentation, va se déplacer le long des chaînes associatives, jusqu'à se fixer sur une représentation associée, même la plus lointaine et la plus anodine. Dans le rêve, un plat d'épinards acquiert une intensité affective d'abord liée à un désir d'enfance ...



Ce processus est à la base de la condensation et du déplacement. Dans l'inconscient, l'énergie se déplace librement pour obtenir la décharge psychique la plus directe (énergie libre). La condensation, c'est l'exemple de l'intensité de toute une suite de pensées accumulées sur un seul élément représentatif.

Dans le système conscient/préconscient, l'énergie est au contraire "liée". Des mécanismes d'inhibition, de contrôle empêchent que la charge affective, pulsionnelle, se promène inconsidérément dans l'appareil psychique, vers la décharge la plus rapide. Ces *processus secondaires* (ceux de l'inconscient sont dit *primaires*) se mettent en place progressivement. Dans l'enfance, les processus primaires ont donc une plus grande présence.

Le point de vue économique se rapporte donc à l'hypothèse selon laquelle les processus psychiques consistent en la *circulation* et la *répartition* d'une énergie. Il permet de comprendre comment conscient/préconscient et inconscient communiquent, comment les contenus psychiques entrent en résonance. Lacan compare le psychisme à la fameuse surface obtenue en joignant les deux extrémités d'une bande de papier à laquelle on a au préalable imprimé une torsion : un mobile qui se déplacerait sur cette surface serait tantôt "à l'intérieur", tantôt à l'extérieur", sans jamais "changer" de face ...

Il faut enfin et à nouveau souligner l'importance extrême du langage. Tout se passe en effet comme si l'énergie se déplaçait le long de la chaîne des

la mobilité de l'affect assure une liaison entre l'inconscient et le conscient

signifiants.

SIGNOR ..... ELLI.

Je n'emprunterai à la théorie des lapsus, actes manqués, oublis etc... bref à ce que Freud appelle la psychopathologie de la vie quotidienne qu'un exemple destiné à montrer comment on retrouve dans ce nouveau champ d'investigation les grandes lignes d'analyse de la théorie des rêves.

Il s'agit d'un cas très banal d'oubli d'un nom propre, avec noms de substitution. Banal, mais riche d'enseignements si l'on fait avec Freud cette réflexion que puisque je "sais" que les noms qui se présentent à l'esprit ne sont pas celui que je recherche et que j'ai "oublié", il faut bien que d'une certaine manière je sache "quelque part" et d'une façon assurée ce que j'ai oublié : comment savoir autrement que les noms de substitution ne sont pas le "bon" ?

L'exemple est emprunté à la "Psychopathologie de la vie quotidienne".

"Le nom que je m'efforçais en vain de me rappeler était celui du maître auquel la cathédrale d'Orvieto doit ses magnifiques fresques représentant le "Jugement dernier". A la place du nom cherché, *Signorelli*, deux autres noms de peintres, *Botticelli* et *Boltraffio*, s'étaient imposés à mon souvenir, mais je les avais aussitôt et sans hésitation reconnus comme incorrects. Mais, lorsque le nom correct avait été prononcé devant moi par une autre personne, je l'avais reconnu sans une minute d'hésitation". (7)

L'analyse de l'oubli procèdera comme pour le rêve, en exhumant les pensées sous-jacentes et associées, dont on comprendra alors qu'elles aient pu perturber le discours conscient (8). L'oubli, c'est la manifestation des préoccupations inconscientes dans le discours conscient, en raison des liaisons établies entre les représentations. Ici, le nom de *Signorelli* se trouve pris, par le jeu des associations sous-jacentes, dans un complexe

les liaisons qui s'établissent entre ses représentations peuvent troubler le comportement et la conduite du sujet

---

(7) Sigmund FREUD. Psychopathologie de la vie quotidienne. (1901). Paris. Payot. Coll. PBP. 1972. p. 6.

(8) Lire l'analyse que propose FREUD, op, cit. p. 6 et suivantes.

affectif que Freud aurait, pour plusieurs raisons intimes, préféré oublier : le nom subit le sort de la chaîne à laquelle il appartient. Quant aux noms de substitution, il faut constater que si le premier refoule le bien ce que Freud refusait de se rappeler (dans BotticELLI, c'est la partie délicate de SignorELLI qui est gommée, puisque c'est précisément ce mot "Signor", qui oriente la chaîne) le second dit tout de même ce qui ne voulait pas l'être (BolTRAFFIO fait allusion à la ville de TRAFOL, liée aux préoccupations refoulées). Le tableau suivant tente de résumer l'analyse.

Ce qui ne laisse pas de nous interroger dans l'analyse que propose Freud, c'est bien le rôle tout à fait considérable joué par le langage, par la chaîne signifiante, le matériau verbal des représentations.

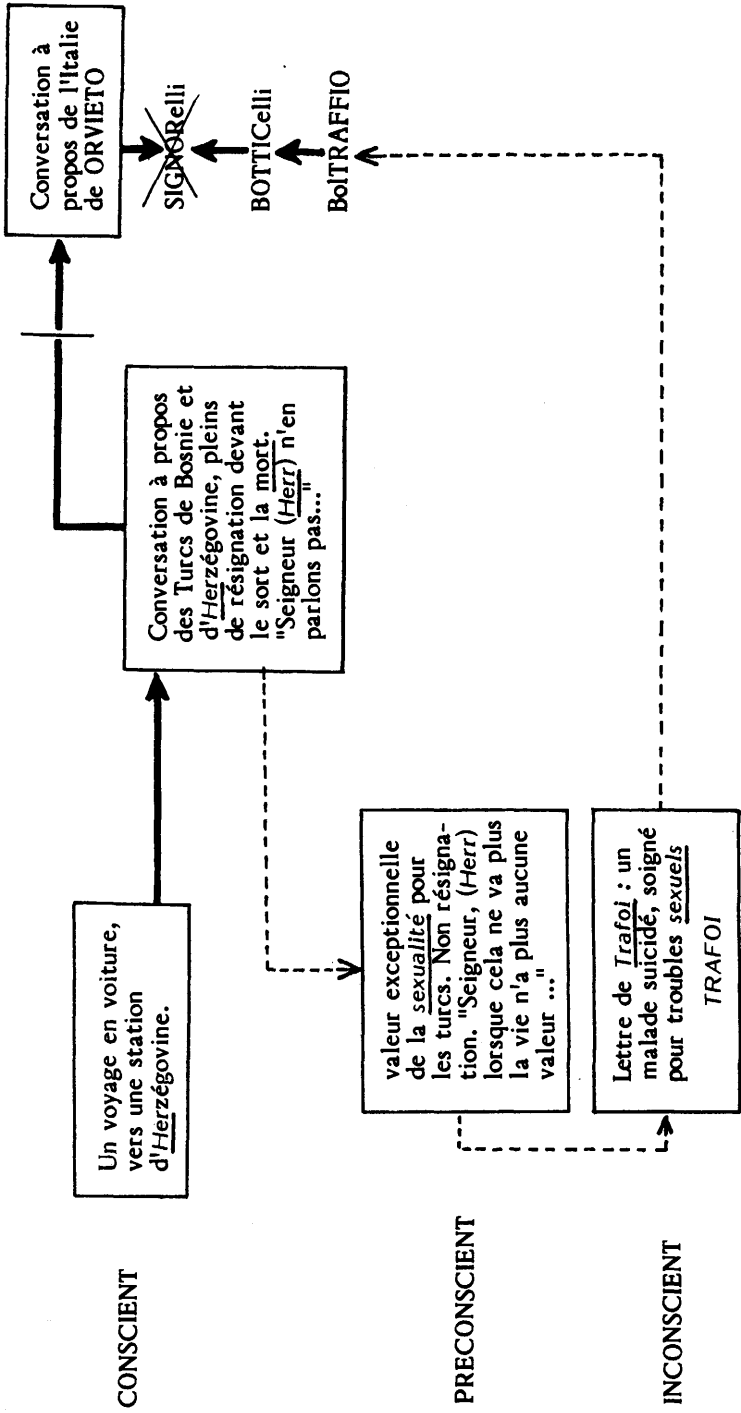
Tout se passe comme si le langage possédait deux faces, une face "externe" sociale, celle de la communication ordinaire, recherchant l'univocité, où la signification, et, donc "l'énergie", est à peu près stable, fixée par des règles et des conventions, des habitudes, des codages ; et une face "interne", gigantesque, tournée vers l'intimité, partie invisible de l'iceberg, où le langage se fait privé, polysémique, ouvert à toute sorte d'effets signifiants, assonances, métaphores, métonymies ... et où les affects peuvent circuler, se déplacer avec une aisance stupéfiante. L'oubli, c'est le moment où la face interne du langage se retrouve en surface.

#### CONSIDERATIONS EPISTEMOLOGIQUES

La prudence la plus élémentaire veut que je m'en tienne ici à quelques remarques ; l'épistémologie de la psychanalyse et plus généralement des sciences humaines pose en effet de redoutables problèmes . (9)  
Il faudrait en effet s'interroger sur la validité d'une démarche scientifique appliquée aux faits et aux significations humaines, et même sur la possibilité d'une science du singulier, comme le diraient les philosophes, puisque c'est bien ce rêve-ci, le rêve de cet

---

(9) cf. Gilles-Gaston GRANGER. *Pensée formelle et sciences de l'homme*. Paris. Aubier. Montaigne. 1960.



NB. SIGNOR (italien) et HERR (allemand) ont bien entendu approximativement le même sens.

individu singulier qu'il s'agit de comprendre et d'expliquer, et non le rêve en général (du moins ne veut-on pas s'en tenir à cette généralité).

Il me semble cependant que la théorie du rêve, comme celle des actes manqués, des symptômes et des névroses etc... permet assez aisément de comparer la démarche psychanalytique aux autres démarches "scientifiques".

Et d'abord pour constater qu'en psychanalyse les faits ne sont pas donnés, mais bien "*construits*", "*produits*" méthodiquement. Ou encore que la psychanalyse substitue à la phénoménologie immédiate un nouveau découpage des phénomènes. Le rêve-objet de la psychanalyse n'est pas le rêve immédiat, tel qu'il se donne à la conscience, et tel que l'ont interprété aussi bien toutes les "clés" des songes que les réductions mécanistes. La technique de libre association des idées produit l'objet sur quoi va porter le travail d'analyse, de même qu'en physique la méthode construit l'être scientifique.

Ainsi, du contenu manifeste au contenu latent se mettent en place les procédures d'une "réduction scientifique" et s'opère le passage des significations vécues aux significations objectives, un nouveau découpage des phénomènes, du "donné", où peut s'accomplir leur objectivation.

on ne peut pas faire  
l'économie d'une  
épistémologie de la  
psychanalyse

Du rêve comme donné au rêve comme concept, il y a non seulement méthode, mais conceptualisation et théorisation. La métapsychologie dessine l'édifice théorique le mieux à même de rendre compte avec un minimum d'hypothèses des faits établis. De ce point de vue, l'inconscient est d'abord le concept de base nécessaire à l'explication la plus efficiente des faits psychiques ; et son efficacité se mesure aux progrès qu'il permet dans la maîtrise théorique et pratique du champ investi.

En résumé, l'épistémologie de la psychanalyse devrait faire apparaître la légitimité "scientifique" d'une démarche dont la rigueur n'est pas de l'ordre de la pensée formelle, comme voudrait l'atteindre la psychologie expérimentale ou le behaviorisme en empruntant aux sciences exactes leur appareil méthodologique, mais relève d'une logique du contenu, recherchant l'adéquation de la méthode et des concepts au genre de précision qui est propre à l'objet.



## LA CAUSALITE

Qu'en est-il du type de causalité à l'oeuvre dans l'explication psychanalytique des phénomènes psychiques ? Il suffit de se demander par exemple quelle est "la cause" du rêve, ou du lapsus pour pressentir que la réponse sera nécessairement de plusieurs niveaux.

La refoulé est-il "la cause" du rêve ? Un désir infantile est-il cause du rêve de la table d'hôte, de cette suite d'images et de phrases que le dormeur trouve au réveil ? Y-a-t-il passage du désir aux épinards, de la culpabilité du médecin au nom oublié de Signorelli ? En un certain sens oui : il y a bien rêve, oubli, lapsus... "parce que" un désir, une représentation inconsciente s'est emparé du matériel psychique préconscient et l'a transformé. Mais en un sens non, si l'on s'en tient à la version mécanique de la causalité, dont l'idée de traumatisme est la version psychanalytique. Comme l'écrivait G. Bachelard, reprenant sur ce point Cuvier, "le choc ... a donné la racine même de la doctrine de la causalité .... Et l'on peut se demander si la notion de causalité dépasse l'instruction que donnent les intuitions naïves du choc" (10). Sur le terrain des phénomènes psychiques, le choc devient un traumatisme passé dont les effets se prolongent aujourd'hui dans les caractéristiques mentales et affectives. Il est clair que cette version fait tout simplement l'économie de la théorie, de l'appareil conceptuel mis en place par la psychanalyse ... et se prive ainsi des moyens de comprendre les temporalités spécifiques de l'appareil psychique : elle confond le temps physique et le temps psychique.

la causalité psychique  
doit être analysée spécifiquement

En vérité, tout comme la biologie, la psychanalyse fait éclater la notion classique de causalité telle qu'elle s'est forgée sur le modèle des phénomènes physiques, et en manifeste l'insuffisance (11). Des quatre types de causes que distinguait Aristote, "les intuitions naïves du choc" qui demeurent à la base de la doctrine courante de la causalité ne considèrent que la *cause efficiente*. Il faudrait aussi considérer la "cause

---

(10) Gaston BACHELARD. *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris. PUF. 1951. p.85.

(11) cf. Georges CANGUILHEM. *La connaissance de la vie*. Paris. Vrin. 1967 et *Etudes d'histoire et de philosophie des Sciences*. Paris. Vrin. 1968.

*finale*" si l'on rend compte de l'économie psychique dans le rêve, la "cause matérielle" pour intégrer à l'explication les déterminations liées à la nature des restes diurnes ou du matériel psychique préconscient, et enfin, et surtout, la "cause formelle", qu'on appellerait en termes modernes cause structurelle, ou structurale, pour bien souligner que les phénomènes mentaux que la psychanalyse étudie ne peuvent être cernés sans recourir à la métapsychologie, c'est-à-dire à la théorie générale des systèmes Conscient/Préconscient et Inconscient.

S'il faut répondre brièvement à la question de la nature de la causalité en psychanalyse, c'est ce dernier point qu'il convient de souligner. *La causalité psychanalytique est d'abord une causalité structurale.* On a pu apercevoir en passant, au moins succinctement, comment le modèle linguistique a pu fournir des concepts opératoires (Lacan : "l'inconscient est structuré comme un langage"). Le psychanalyste cherche à "expliquer" (12) un phénomène psychique en repérant les élaborations qu'il subit dès lors qu'il est soumis aux lois de l'inconscient, qu'on peut très simplement comparer à un champ. Le travail d'interprétation de l'analyste au cours de la cure psychanalytique le montre bien. Freud le comparait volontiers à celui d'un archéologue. Comme lui, l'analyste est confronté à des couches de sédiments de plusieurs époques qui se sont succédées. Dans les propos, les récits et les silences de son patient, dans le dit et le non-dit, il découvre quelques éclats à partir desquels il devra reconstruire le vase. Toutes sortes d'hypothèses sont alors possibles. Seule la théorie psychanalytique lui permettra de proposer à son patient, le moment venu, les éléments d'analyse qui aideront peut-être ce dernier à "reconstruire" son passé. Tout comme la reconstruction d'un vase à partir d'un seul éclat suppose que soit investi dans ce travail un ensemble de connaissances organiques.

---

(12) Encore convient-il de ne pas oublier que l'objectif est moins d'expliquer que de guérir...

## PSYCHANALYSE ET ANALYSE DES REPRESENTATIONS

De tous les obstacles épistémologiques que Gaston Bachelard avait distingués dans ses études de la mentalité préscientifique (13), il est bien légitime que l'*obstacle verbal* retienne particulièrement l'attention des pédagogues. L'obstacle verbal procède d'une extension abusive des images familières, il est en place aussitôt qu'une image ou un mot constituent toute l'explication. Bachelard examine un cas particulièrement instructif, celui de l'éponge, "ce pauvre mot d'éponge" qui permet d'exprimer les phénomènes les plus variés". (14) "La matière commune est une espèce d'éponge pour le fluide électrique" pouvait ainsi écrire B. Franklin (15). Les recherches de l'équipe de didactique des Sciences de l'INRP sur les représentations de l'écosystème chez les élèves fournissent avec la notion de "*chaîne*" alimentaire un exemplaire très probant d'obstacle verbal, que nous avons intitulé quelquefois l'obstacle "meccano", en hommage à ce jeu bien connu... L'analyse des séquences de classes dont nous disposons permet de suivre à la trace les entraînements purement verbaux ou formels qu'induit le mot (et l'image de la) "chaîne".

Du point de vue psychanalytique, ce que nous avons vu être le rôle du langage dans l'élaboration des rêves et des manifestations des processus primaires invite à faire l'hypothèse que l'obstacle verbal doit souvent recevoir un renforcement inconscient ; la pensée verbale s'ouvre aisément aux jeux de la métaphore et de la métonymie, de la condensation et du déplacement, lesquels, il faut le rappeler, caractérisent les processus inconscients. Cette hypothèse assigne une première tâche à une analyse des représentations enfantines d'inspiration psychanalytique : suivre les glissements métaphoriques et métonymiques dans les discours et les autres expressions des élèves.

Et d'ailleurs, la fameuse "émergence des représentations" semble bien souvent recherchée dans une sorte

---

(13) Gaston BACHELARD. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris. Vrin. 1938.

(14) Ibid p. 73

(15) Ibid p. 75

une séquence centrée sur les représentations peut être analysée comme texte manifeste où affleure un texte latent

d'application implicite de la technique psychanalytique de libre association des idées. L'élève à propos d'une notion ou d'un problème lié à la notion est invité à faire part de ses "hypothèses" explicatives ou de ses idées, un peu comme le patient ou le rêveur reçoivent la consigne de confier ce qui leur vient à l'esprit "à propos" de tel aspect du rêve ou de telle caractéristique du symptôme ; du moins dans certaines circonstances certains élèves pourront-ils comprendre ainsi la consigne scolaire. L'obstacle verbal, la prise que le langage offre aux préoccupations inconscientes et latentes, sont de telles circonstances. Je crois que le psychanalyste n'hésiterait pas à dégager, dans les comptes rendus de classes que nous analysons, les éléments d'un *texte latent* collectif, dont la représentation ou la notion discutée serait le *texte manifeste*. Il faut en effet se souvenir que la technique de libre association a précisément pour but de rendre le discours plus "perméable" à l'inconscient et au latent... J'ajouterai que ce qui a rapport à la vie et au corps sollicite plus fortement l'affectivité et l'imagerie (= les fameux fantasmes) primitives.

Bien entendu ce texte latent d'une séquence de classe n'est pas le tout de la séquence ; c'est un texte interrompu, marqué de silences et d'abandons, dont les fils se font et se défont parmi les préoccupations explicites et implicites du groupe-classe (incluant le maître), au gré des circonstances et de l'insistance des préoccupations latentes ; peut-être même ne concerne-t-il directement que quelques élèves : il n'en possède pas moins une valeur collective que marque bien la dérive des représentations à l'ensemble du groupe.

Dans le schéma suivant, j'ai essayé de retenir d'un compte rendu de classe (16) quelques éléments du texte latent repris de loin en loin par les élèves. Ce procédé élimine les "cadrages" des discours que constituent le projet du maître et sa conduite de la classe, ainsi que le projet et le statut de l'élève "qui cherche à comprendre". Il s'agit assurément d'un artifice, mais qui n'a d'autre but que de souligner, quand il

---

(16) Catherine LAGET. Françoise GUILLOCHIN.  
Etude des relations alimentaires dans le milieu forestier. Document INRP- Sciences. 1983.

affleure, un travail psychique qui, précisément, débordé la situation d'apprentissage et les caractéristiques des processus secondaires.

- Isabelle : "Il y en a un qui mange l'autre  
 ...  
 Gilles : "Chacun a ses risques. Il doit faire attention."  
 ...  
 Abdellah : "Que mange le ver de terre ?"  
 ...  
 Gilles : "Il a des dents ?"  
 ...  
 Élèves : "La terre , les vers de terre ..."  
 ...  
 Gilles : "Elles mangent de la viande" (les plantes)  
 ...  
 Katia : "Comme les araignées" (à propos des plantes carnivores)  
 ...  
 Robert : "Oui, si jamais on enterre une pomme à côté des racines d'un arbre, eh bien, si on revient le lendemain, il n'y aura plus de pomme ... C'est les racines ..."  
 ...  
 Marlène : "Une fois en colonie, il y avait un oiseau mort ... Il y avait de la ... blanche dessus ..."  
 ...  
 X. : "Sur la viande pourrie aussi."  
 ...  
 X. : "Ce sont des asticots qui mangent les animaux morts".  
 ...  
 Marlène : "Nous aussi quand on est mort ..."

Ces quelques prélèvements opérés dans le texte latent qui se fraie son chemin dans les méandres du discours de la classe font apparaître des procédés expressifs très comparables à ceux du rêve :

. *condensations* ou *glissements métaphoriques*, changements sémantiques par lesquels un signifiant abandonne le signifié auquel il est habituellement lié pour un autre, en vertu d'une comparaison implicite.

le "travail des représentations" n'est pas sans rappeler le travail du rêve : condensations et déplacements y ont leur part...

... tout comme l'attraction que peuvent exercer les préoccupations archaïques

Ici, le vers semble se charger progressivement d'une double imagerie de la terre, terre nourricière et terre corruptrice, terre-vie et terre-mort, dont il assure la jonction. Rien d'étonnant si la condensation (et la mé-taphore) entretient la confusion des règnes, puisque c'est précisément sa fonction que d'établir, au profit des représentations "refoulées", les liaisons nécessaires à leur expression. Le "ver de terre" du texte latent renvoie à une double série d'images comme dans le rêve de la table d'hôte "quelque chose qui ressemble à un dessin représentant deux yeux" accomplit le tour de force de désigner à la fois (= condenser) un ami oculiste, un vase, une malade, une expression linguistique ("le mauvais oeil") ... (voir aussi dans la classe l'image "araignées").

. déplacements ou glissements métonymiques, changements sémantiques par lesquels un signifiant abandonne le signifié auquel il est habituellement lié pour un autre avec lequel il se trouve dans un rapport de contiguïté (la partie pour le tout). Dans le texte retenu, les métonymies sont particulièrement nombreuses, elles paraissent assurer l'essentiel de la circulation du latent, la fluidité des propos. La relation alimentaire, dont les élèves ont une perception fortement "orale" conduit aussitôt à l'idée de "risques" (faire attention), et sans doute la mort est-elle le risque suprême ; les vers amènent bien sûr l'idée de viande, la terre celle d'enterrement et de mort... On pourrait presque réduire le texte à ces seuls glissements métaphoriques tantôt divergents, tantôt convergents.

Il faut aussi remarquer que les procédés métaphoriques et métonymiques (ainsi que la figuration concrète d'une idée, procédé très fréquent de la représentation enfantine, mais qui dépend toujours en dernière analyse d'une condensation ou d'un déplacement) deviennent particulièrement nombreux ou fortement "chargés" dès que l'investigation s'approche des zones où peuvent s'établir des liens avec les thèmes et les fantasmes à fortes résonances inconscientes : l'oralité, la mort, la sexualité ... En poursuivant l'analogie entre le rêve et la représentation, on peut risquer l'hypothèse que dans certaines circonstances de la recherche des élèves, une préoccupation inconsciente, archaïque, s'empare des propos, des images, des idées, et dès lors, ces propos, ces images, ces idées, bref le travail des élèves n'est plus guidé par un souci même élémentaire d'objectivité, mais obéit aux lois du système psychique qui l'a investi, en profitant des liaisons établies

entre le préconscient et l'inconscient. Dans l'exemple retenu, l'insistance des pulsions orales et des pulsions de mort pourrait s'être emparé des réflexions sur les "relations alimentaires" pour trouver une issue verbale (ou une "décharge"). L'analyse des oublis (cf Signorelli) et des lapsus fournit un canevas également pertinent : tout comme l'oubli s'explique si l'on tient compte des deux "faces" du langage, de la masse de préoccupations latentes, et dont la pointe s'enfonce dans l'inconscient, qui est constamment accrochée aux propos et aux préoccupations explicites (l'iceberg), ainsi les irrptions, parfois débordantes, d'un texte latent collectif dans les réflexions des élèves pourraient témoigner des multiples interférences des chaînes signifiantes (17).

"Toute culture scientifique", affirmait Gaston Bachelard, "doit commencer par une catharsis intellectuelle et affective" (18). C'était dans son esprit la fonction d'une "psychanalyse de la raison", de la pensée pré-scientifique et scientifique. Psychanalyser la raison pour l'aider à rompre avec la mentalité pré-scientifique : pour Bachelard, la connaissance objective est nécessairement une *rupture*, dans l'ordre de la connaissance (19). En terme d'une psychanalyse plus freudienne que ne l'est celle des propos de Bachelard, il me semble opportun de recourir à la métapsychologie pour distinguer deux systèmes de pensée :

---

(17) Je constate à la relecture qu'un aspect du "travail" du rêve devrait être mieux pris en compte que je ne l'ai fait : il s'agit de *l'élaboration secondaire*. En effet, ne peut-on penser, dès lors qu'une représentation inconsciente, fantasmatique, etc... a été sollicitée, que la préoccupation de l'élève sera de donner à ses pensées, à ses propositions, une allure acceptable pour la conscience (dans le cadre scolaire) ?

(18) Gaston BACHELARD op. cit. p. 18.

(19) Il faudrait "dialectiser" ce propos, puisque la connaissance est aussi une erreur rectifiée, ce qui souligne une continuité... J'insiste à dessein sur l'aspect rupture.

. Dans le *premier système*, règne le principe de plaisir, les lois d'organisation des représentations sont celles des processus primaires - condensation et déplacement -, l'énergie pulsionnelle circule "librement" en établissant toutes sortes de liaisons entre les représentations ; ce système ignore le principe de contradiction et le temps.

. dans le *second système*, le principe de plaisir cède au principe de réalité, les lois de la pensée logique s'imposent, l'énergie pulsionnelle "liée", inhibée, empêche que les représentations passent constamment l'une dans l'autre. Ce second système est celui des processus secondaires, il est dérivé et se met en place progressivement.

une pensée objective ne peut S'INSTITUER que dans le cadre des processus secondaires ...

Si la pensée objective peut être dite pensée "liée", liée non seulement par les règles de la logique, par une visée qui substitue (veut substituer) l'évidence rationnelle à la satisfaction intime, mais aussi par un corps de concepts et de théories objectivant, et en fin de compte par le corps social que Bachelard nomme "la cité scientifique", il faut remarquer que la pensée immédiate et la représentation "initiale", "préscientifique", présentent les caractères propres d'un système d'énergie "libre" : les glissements métonymiques et métaphoriques y foisonnent.

Je dois aussi noter que les obstacles épistémologiques recensés par Bachelard peuvent souvent être perçus comme des effets métaphoriques ou métonymiques : métaphore bien sûr, l'obstacle verbal (mais aussi métonymie) ; l'obstacle substantialiste marque une forte tendance au déplacement ; l'obstacle animiste mêle la métaphore et la métonymie etc .. Et la libido dont Bachelard veut montrer qu'elle imprègne "l'inconscient scientifique" renvoie à la métaphore originelle, celle du sexe (20).

Faut-il conclure que la pensée "préscientifique" est d'abord une modalité psychique ouverte au latent ? La question me semble au moins mériter d'être versée au dossier de l'analyse et de la pédagogie des représentations. Entre les deux pôles du "lié" et du "libre" pourraient être repérées bien des difficultés propres à la pédagogie et aux didactiques. Ils ouvrent largement l'espace des polémiques dans ce domaine.

---

(20) Ibid p. 183 et sq. Ch.X "Libido et connaissance objective".



Ainsi, il est possible de distinguer, dans les enregistrements de séquences que nous analysons, des discours relevant nettement du premier système, des processus primaires, (système à tendance "libre"), et des propos qui illustrent le second système, les processus secondaires (système à tendance "liée"). La prédominance de ce second registre psychique me semble presque toujours en rapport avec trois facteurs :

- . la formulation d'un problème qui donne prise à des démarches objectivantes ;
- . l'existence d'un projet de recherche (projet du maître, projet de l'enfant), et plus largement d'un projet éducatif (éduquer/apprendre) ;
- . la définition de *statuts* (du maître, mais aussi de l'élève "qui se comporte en élève").

En somme, ces trois facteurs, conjoints ou non, pourraient jouer un rôle important dans la "liaison" des représentations, dans "l'inhibition" de l'écoulement libre, des glissements métaphoriques et métonymiques (j'ai employé plus haut le terme de "cadrage" des représentations).

Faut-il répéter qu'il ne s'agit en tout ceci que d'hypothèses, que de fournir quelques-uns des éléments de ce que pourrait être un point de vue psychanalytique sur le problème des représentations ?

#### PSYCHANALYSE ET ANALYSE DE LA NOTION DE CAUSALITE.

Quelques remarques seulement sur ce dernier point, qui demanderait une investigation autrement rigoureuse.

Une épistémologie trop naïve rangerait sans la moindre hésitation la "volonté" de causalité, la quête des causes du côté des procédures rationnelles d'objectivation du réel, du côté des déterminations objectives ; bref, en termes de métapsychologie, du côté des processus secondaires, du "système lié". Et, de fait, l'évolution des capacités explicatives et de la notion de causalité chez les enfants semble bien être parallèle aux mouvements de décentration qui marquent selon Piaget les étapes du développement de l'intelligence. Pourtant, aussi bien le questionnement spontané des jeunes enfants que leur inventivité sur le terrain du "Pourquoi ?" montrent à l'évidence que la

... mais les processus  
primaires ne sont pas  
étrangers à sa  
CONSTITUTION

recherche des "causes", le souci de lier le différent, se manifestent bien avant que s'élaborent les structures opératoires, que se mettent en place les relations telles que le réel pourra être perçu et expérimenté comme un réseau complexe de causes et d'effets. De nombreux auteurs l'ont dit et répété : "la question infantine n'a pas forcément une portée intellectuelle" (21). J'imagine que la contribution du psychanalyste serait ici de nous rappeler que l'intérêt pour "la causalité", sur le plan de la pensée symbolique, commence avec l'intérêt de l'enfant pour tout ce qui concerne l'origine, la naissance et la sexualité. Aussi, loin que les différents types de causalité ou l'explication développés chez les enfants ne mettent en oeuvre que les processus secondaires, il est très vraisemblable qu'une analyse méthodique y décèlerait les infiltrations des processus primaires ; on peut même avancer que de toutes les investigations intellectuelles, la recherche des causes, en raison de ses arrières-plans et de ses origines affectives, reste particulièrement ouverte aux préoccupations latentes.

Le fait que l'investigation causale soit l'une des voies les plus fréquemment empruntées pour "l'émergence" des représentations donne à ces considérations un relief pédagogique particulier ; quelquefois les résultats dépassent nos "espérances", et l'inventivité verbale des élèves dans cette quête est telle qu'on serait en droit de se demander si elle n'est pas poursuivie à vide pour elle-même, pour le plaisir et le bénéfice que procure son seul exercice...

Un premier principe de l'analyse de la causalité et des régimes d'explication chez les enfants pourrait donc être de situer l'investigation causale dans l'économie globale du système psychique, des systèmes Conscient/Préconscient et Inconscient et de repérer comment certaines formulations, certains modes d'explication portent les traces d'une élaboration selon les "lois" de l'inconscient, relèvent des processus métaphoriques et des processus métonymiques. Au total, les types de causalité pourraient faire l'objet d'une analyse comparable à celle des représentations.

---

(21) Cf. Louis LEGRAND. *Psychologie appliquée à l'éducation intellectuelle* (1961). Paris. Nathan. 1980.

Par exemple, le finalisme, l'explication par la fin, procédé fréquent chez les enfants, comporte une dimension métaphorique assez évidente, tout comme la causalité de type magique. *"L'explication enfantine ne cherche pas (d'emblée) l'objectivité. Elle vise plus simplement à reconstituer l'univers familier que l'étonnement a pu perturber un instant"* écrit Legrand (22). Or, c'est précisément la caractéristique du système primaire, régi par le principe de plaisir que de rechercher la voie la plus directe de la satisfaction ; le glissement de l'énergie pulsionnelle le long des chaînes signifiantes, la plasticité des condensations et des déplacements permettent à l'appareil psychique de se "décharger" de ses tensions. Le recours à la toute-puissance, dont le sentiment a de profondes racines fantasmatiques, referme par la voie psychique la plus "économique" l'univers un moment entamé.

Les théories sexuelles infantiles fourniraient, me semble-t-il, un second angle d'analyse. Il faut en effet noter que s'il existe un domaine dans lequel l'enfant se livre à une recherche relativement "autonome" et "spontanée" des causes, c'est sans doute celui de la sexualité. Si l'on écarte les explications de toute évidence fournies par les adultes, il demeure un ensemble de thèses qui fournissent peut-être *les modèles* des conceptions causales. "L'authenticité" de ces thèses ne peut bien sûr faire l'objet d'une démonstration ; ce qui emporte cependant la conviction, c'est qu'elles empruntent leurs arguments à des stades de la sexualité infantile.

Il y a ainsi des théories "orales", qui empruntent à la phase orale : idée que les bébés se font en s'embrassant sur la bouche, et plus généralement toutes les idées qui expriment une survalorisation du thème fantasmatique de l'incorporation. L'enfant explique son origine en recourant aux caractéristiques de la phase la plus archaïque de la sexualité, celle qui domine la première année de la vie et alimente l'inconscient de ses images motrices passives et actives et de leurs dérivés fantasmatiques.

Egalement des théories "anales", liées par leurs thématiques aux caractéristiques de la phase anale de l'évolution libidinale : idée de la naissance par l'anus,

---

(22) Ibid p. 131.

on peut faire l'hypothèse que la causalité s'enracine aussi dans des structures psychiques archaïques

plus généralement par un orifice (expl. l'oreille, dans la mythologie), conception agressive du coït, conceptions qui témoignent bien de la différence actif/passif, opposition/soumission dont l'enfant fait l'expérience au cours de la phase anale.

Théories phalliques aussi, qui attribuent tout pouvoir au seul organe mâle, règne symbolique du phallus...

De ces trois types de théories sexuelles infantiles, ne peut-on inférer *trois types de causalité*, trois structures explicatives archaïques, bien souvent impliquées dans les explications enfantines, et plus particulièrement lorsque les représentations sollicitées possèdent une forte charge fantasmatique ?

. Le modèle "oral" de la causalité, forgé sur les archétypes de l'incorporation, trouverait dans la notion de "chaîne alimentaire", le plus souvent abordée sous l'angle de la relation "qui mange qui", "qui est mangé par qui", une formulation fortement inductrice ; la notion de chaîne alimentaire pourrait même être un exemple "d'obstacle oral" comme l'éponge est chez Bachelard un modèle d'obstacle verbal.

. Le modèle "anal" ou *actif/passif* me paraît particulièrement s'illustrer dans ce que Piaget appelle la "causalité perceptive". Les travaux de l'équipe de recherche en didactique des sciences de l'INRP, notamment autour du concept d'énergie (mais aussi de l'idée d'écosystème) peuvent en fournir des exemples. Il s'agit bien d'une "causalité impliquant un contact matériel, un action par continuité qui peut se constituer en chaîne d'actions mécaniques successives" (23). Elle trouve dans les intuitions du choc un terrain d'élection.

---

(23) Selon les termes de Brigitte PETERFALVI. Compte-rendu des journées de Saint-Prix. Janvier 1983. Document interne INRP - Sciences.

. Le modèle "phallique" enfin ou "symbolique" accorde la toute puissance à "une cause unique" ; on peut en trouver une autre réalisation dans l'idée d'un premier moteur à l'origine du mouvement...

Je répèterai une fois encore que tout ceci n'est qu'hypothèses ; je suis cependant persuadé que ces modèles ou ces archétypes causaux possèdent dans l'histoire des sciences de la pensée "préscientifique" des illustrations convaincantes.

Alain KERLAN  
Ecole normale de Vesoul.



## ENERGIE ET MOUVEMENT

### REPRESENTATIONS A PARTIR DE L'ETUDE DE JOUETS MOBILES

Jacqueline Agabra

*L'analyse des comptes rendus de séquences de classe de l'école élémentaire qui visent à introduire la notion d'énergie à partir de jouets mobiles montre que, dans ce contexte, les enfants produisent des représentations pour expliquer. Ils décrivent ainsi préférentiellement les mécanismes à l'aide de chaînes cinématiques, même si parfois ils citent la source d'énergie. Persuadés que la persistance d'un mouvement implique le contact permanent avec l'agent causal, ils construisent un modèle hydraulique qui réduit l'électrique au mécanique. Ils utilisent aussi la notion d'élan qu'ils apparentent à un capital de force ou d'énergie, sans que toutefois les idées d'interaction ou de transfert soient nécessairement présentes.*

Les comptes rendus de séquences de classes que nous avons choisi d'analyser - et qui portent sur les niveaux très différents du cycle préparatoire et du cycle moyen - partent d'un matériel pratiquement identique : des jouets mobiles, mécaniques et électriques. Ils visent à préparer, à introduire ou à tenter de réinvestir la notion d'énergie. Il est bien sûr évident que les objectifs ne sont pas les mêmes au CP et au CM. Notre étude ne porte pas sur le choix qui a été fait, ou qu'on aurait pu faire des objectifs. Nous nous sommes intéressés à dégager des réponses des élèves les représentations sous-jacentes (presque toujours implicites), à essayer d'en déceler les origines et ainsi à montrer la difficulté de la construction du concept d'énergie. Car ces représentations sont vivaces et subsistent bien au delà de l'école élémentaire.

#### 1. JOUETS MOBILES AU COURS PREPARATOIRE.

Dans cette séance, les enfants ont pour consigne d'observer par groupes un certain nombre de jouets mobiles et d'essayer de comprendre "comment ça marche". Cette recherche est relativement courte (10 mn) car depuis dix jours, le maître a disposé sur une table les jouets, laissant toute liberté aux enfants pour les manipuler.

Notre analyse porte sur le dialogue maître-élève et plus particulièrement sur les réponses des enfants à propos de trois jouets, les trois premiers de la liste.

Le matériel mis à disposition comprenait :

- une moto électrique
- une moto à ressort
- une voiture à roues libres
- une voiture à friction
- une voiture - "fusée" à roue unique servant de volant lancé par l'intermédiaire d'une languette de plastique dentelée ;
- une voiture à ressort et à clé
- une voiture à ressort qui se "remonte" en faisant faire un va-et-vient à la voiture
- un chariot à hélice et élastique
- un bateau à réaction, à eau
- une locomotive à ressort et à clé.

Dans les comptes rendus des séances, les réponses des enfants sont notées  $E_1$ ,  $E_2$  ... sans qu'on puisse les attribuer nominalement, et celles du maître  $M_1$ ,  $M_2$ ...

### 1.1. La moto électrique

- E1 Elle ne veut plus avancer !*
- E2 Ce sont les piles, elles sont mal mises*
- E3 Le courant électrique passe par le tube, il va là, il fait avancer cette petite roue qui fait avancer la grande*
- M1 Pourquoi ?*
- E4 La petite roue va dans l'autre sens. Elle recule.*
- M2 Pourquoi ça change de sens ?*
- E5 Parce que le bouton le fait tourner dans l'autre sens.*
- E6 Un bouton le fait tourner dans un sens et un bouton le fait tourner dans l'autre sens.*
- M3 Elle marche grâce à quoi cette moto ?*
- E7 Grâce au courant*
- M4 Où est-il ce courant ?*
- E8 Dans les piles*
- M5 Que pourrait-on faire pour être sûr qu'elle marche grâce au courant, cette moto ?*
- E9 Il faudrait enlever les piles et après essayer de la faire marcher*
- E10 Elle pourra jamais marcher sans les piles.*



la métaphore  
hydraulique du  
"courant"

Dès l'entrée les élèves parlent de "courant électrique". Le mot "courant" qui fait partie du vocabulaire scientifique porte la marque de l'analogie à partir de laquelle s'est construite l'électrocinétique. La métaphore hydraulique est si forte qu'elle fonctionne ici totalement, avec un *modèle explicatif de type "irrigation"*, sans aucune notion de circuit (E3). On voit ici émerger une représentation mécaniste des effets du courant électrique provenant de la pile (E8)

*REPRESENTATION : Modèle "irrigation" du courant électrique. Le courant électrique est un fluide qui s'écoule dans une "canalisation" et permet d'obtenir des effets à une certaine distance de la "source" (les piles).*

Nous allons préciser ce que l'on peut entendre par "une certaine distance".

la nécessité d'une  
action causale

Les enfants ressentent la nécessité d'une explication causale : grâce à une succession d'actions de contact ordonnées spatialement et temporellement, le mouvement d'une pièce, d'un fluide se transmet à une autre pièce (E3).

Pour eux, seul le mouvement peut produire le mouvement, tout au moins, nous le verrons plus loin, dans un mécanisme technologique. On retrouve ici la *conception aristotélicienne du "moteur"* :

- . le repos étant un état ou une privation n'a pas besoin de cause qui en explique la persistance.

- . le mouvement étant un processus, une actualisation continue ne peut se passer de cause. Si on supprime cette cause, le mouvement cesse.

Cette cause est baptisée "moteur" et elle doit être conjointe au mobile mû. Si on supprime le moteur - ou de même si on sépare le "moteur" du mobile - le mobile s'arrête car Aristote n'admet pas d'action à distance. Toute transmission implique un contact : ainsi il n'en existe que deux formes possibles : actions - pression et traction.

Le modèle explicatif proposé (on pourrait le vérifier dans la suite de la séance sur d'autres réponses) est très proche.

REPRESENTATION : Chaîne causale du mouvement.  
 - un mouvement non naturel, comme il est perçu dans un mécanisme comme celui de la moto, exige pour sa durée l'action continue d'un "moteur", c'est-à-dire d'un autre mobile - ici le fluide électrique - et conjoint au premier mobile.

le courant est le "moteur" de la roue

C'est ainsi que les enfants expliquent l'entraînement des roues ; toutes les pièces qui bougent, dans le mécanisme de mouvement "non naturel" doivent être mues par quelque chose qui se meut antérieurement et qui est en contact avec la pièce considérée. Le courant est ainsi le "moteur" de la petite roue, qui devient elle-même le "moteur" de la grande roue. L'enfant ne peut concevoir qu'il existe un "espace vide" comme il le trouverait dans un moteur électrique entre le stator et le rotor.

le modèle d'entraînement hydraulique réduit entièrement l'électrique au mécanique

. La chaîne cinématique ainsi décrite est plutôt imaginée à partir d'éléments mécaniques visibles et de la représentation que l'élève se fait du courant, sur la base d'un modèle d'entraînement hydraulique : un fluide en mouvement pousse une roue et la fait tourner (E3). D'ailleurs les élèves ne cherchent pas à affiner leur observation pour voir ce qui se passe réellement entre la pile et les roues. Il est frappant à cet égard, qu'aucun ne parle d'un moteur électrique au sens courant du terme (ni n'en cherche un).

De même un enfant signale bien le rôle du bouton, mais celui-ci est plutôt doté d'un pouvoir que d'une fonction, et il ne cherche pas non plus à savoir comment agit ce bouton.

On peut résumer ainsi la représentation de la production et de l'entretien du mouvement dans un véhicule électrique :

REPRESENTATION : Les effets mécaniques du courant électrique.  
 Réduction totale de l'électrique au mécanique.

source de fluide en mouvement → organes de transmission → mouvement recherché  
 fluide en mouvement dans des canalisations → en contact avec le fluide.

d'une source sort de l'eau en mouvement

Nous venons de voir qu'en présence d'un mouvement "non naturel" les enfants cherchent un "moteur" (au sens aristotélicien) c'est-à-dire un objet mu antérieurement, et en contact avec le mobile considéré. Par contre, ils ne se posent aucune question en ce qui concerne la cause du "courant" électrique et la métaphore hydraulique fonctionne complètement : d'une source sort de l'eau en mouvement, c'est dans la nature des choses. Comme le disait Aristote, il y a des corps mus *par accident*, qui dépendent pour se mouvoir d'autres êtres qui se meuvent, et il y a les autres qui se meuvent *par essence*, d'un "mouvement naturel".

La recherche de la cause d'un mouvement s'arrête ainsi en présence d'objets ou de corps qui sont perçus comme pouvant avoir un mouvement naturel : la pierre qui tombe, l'eau qui sort de la source et, par analogie directement issue du vocabulaire commun, le "courant électrique".

*REPRESENTATION : Le fluide électrique a un mouvement naturel : il s'écoule d'une source (les piles).*

Nous allons maintenant essayer de préciser comment est perçu le rôle des piles. Les piles, "sources" de courant dans l'analogie hydraulique, sont peut-être vues comme des réservoirs. Mais on peut se demander aussi si la réponse (E8) n'est pas induite par la question du maître (M4) :

M4 - Où est-il, ce courant ?

E8 - Dans les piles.

La distinction entre source et réservoir repose sur la connaissance courante :

. une source produit indéfiniment (plus ou moins...) ce qu'elle produit : source d'eau, d'électricité (le secteur).

. un réservoir contient un fluide qui s'épuise et il faut remplir le réservoir.

dans la pile, de l'électricité est au repos, comme un réservoir contient de l'eau

Les enfants perçoivent une distinction entre une pile et la prise du secteur. Que contient la pile ? Sans aucun doute pour les enfants, de l'électricité au repos comme un réservoir contient de l'eau.

## 1.2. La moto à ressort

- E1 C'est la clé qui la fait fonctionner.
- M1 Pourquoi elle avance ?
- E2 Parce que la clé fait rouler les roues.
- M2 Y a-t-il un autre jouet qui ressemble à cette moto ?
- E3 Oui, la locomotive.
- M3 Et comment avance-t-elle cette locomotive ?
- E4 Grâce à la clé.
- M4 L'autre jour quelqu'un m'avait dit que cela marchait grâce à la clé. Qu'est-ce qu'on a fait ?
- E5 ..... ?
- M5 Que peut-on faire ? Si cela marche grâce à la clé, si on enlève la clé normalement ça ne devrait pas marcher.
- E6 Oui, Oui.  
C'est fait.
- M6 Alors ?
- E7 (Gilles) - Oui, c'est avec un bouton qu'elle va en avant ou en arrière.
- M7 Qu'est-ce qui se passe, écoutez ! (Il tient la locomotive en l'air et les roues s'arrêtent rapidement de tourner). Alors ?
- E8 On tourne la clé en arrière, alors quand on l'enlève ça va en avant et quand c'est fini ça s'arrête. Quand le fer ne tourne plus, elle s'arrête.

Nous avons vu dans l'étude de la moto électrique - c'est-à-dire d'un véhicule qui "marche tout seul" - que l'enfant cherche normalement l'origine du mouvement, la cause dans le véhicule lui-même.

On peut rapprocher les réponses données à propos, d'une part de la moto électrique, d'autre part de la moto à ressort.

### Moto électrique

- E2 - Ce sont les piles
- E7 - Grâce au courant

### Moto à ressort

- E1 - C'est la clé qui la fait fonctionner
- E4 - Grâce à la clé.

Ce type de réponse est naturel et constant.

Il est tout aussi normal que les élèves ne parlent pas du rôle de la main, la discontinuité temporelle induisant une discontinuité dans la chaîne causale.

l'explication du mouvement, c'est la clé...

Aucun ne reprend l'idée d'une chaîne causale, sur le modèle d'une chaîne cinématique de transmission de mouvements dans le mécanisme. Peu de choses sont visibles de l'extérieur de cette voiture... à part la clé. L'explication est toute trouvée : c'est la clé !

... plutôt perçue comme origine que comme cause

Par un jeu de questions-réponses, le maître essaie de susciter une observation plus précise. D'autres organes sont mentionnés, mais sans mise en rapport les uns les autres. On peut dire qu'ils sont à tour de rôle tenus pour plus ou moins "responsables" du mouvement sans trouver pour autant leur place dans une chaîne causale. Dans cette optique, la clé ou le bouton (E7) sont plutôt perçus comme "origines" du mouvement que comme "causes", ou comme éléments d'une chaîne causale (on pourra rapprocher la réponse E7 d'une autre très semblable fournie pour la moto électrique (E5)).

Il apparaît que les enfants ne sont guère préoccupés par le "comment ça marche". Ils se contentent de constater que ça marche, sans doute se satisfaisant de l'idée que "c'est étudié pour". Ceci est peut-être lié au type de travail demandé, un exercice d'observation qui n'est motivé ni par un problème pratique, ni par la résolution d'un problème scientifique. Tout à la fin, l'un d'eux remarque la présence du volant d'inertie, lorsque le maître soulève la voiture (E8). C'est la seule tentative de recherche d'explication. Mais l'enfant ne fait aucune relation entre le fer et la clé.

La nécessité de contact entre le corps en mouvement et son "moteur" qui était apparue à propos de la moto électrique ne se manifeste aucunement ici. La pensée causale est encore très embryonnaire.

1.3. La voiture à roues libres.

M1 Alors comment elle avance celle là ?

E1 Grâce à la main. La main sert de moteur.

Un enfant la pousse et la lance

M2 Regardez bien encore.

M3 Quand la voiture est passée devant moi, la main de William était-elle sur la voiture ?

E2 Non !

M4 La voiture avançait ?

E3 Oui.

M5 Pourquoi ?

E4 C'est le moteur de la voiture la main, on la pousse et puis elle s'en va.

M6 La main était-elle sur la voiture ?

E7 Non, mais on la pousse.

M7 Alors elle avançait grâce à quoi ?

E8 Aux roues. Aux roues qui la fait avancer !

M8 Oui, mais regarde là, elle a bien des roues et elle n'avance plus !

E9 Oui, mais la main... (inaudible).

E10 Oui dans un moment elle s'arrête.

M9 Il y a deux façons pour la faire avancer.

Lesquelles ?

Un enfant la pousse.

Pas d'autre idée des enfants.

Le maître la prend et la pousse en la tenant.

M10 Qu'est-ce qui se passe ?

E11 Tu la tiens tout le temps !

M11 Et là (il lance la voiture).

E12 Tu lances la voiture.

E13 Une fois tu la tiens toujours et une fois tu la lances.

E14 Les roues ralentissent.

E15 Il faut pousser vite pour pas qu'elles s'arrêtent.

E16 Oui elles n'ont plus d'élan.

E17 L'élan de la voiture ....

- M12 Avec quoi on lui donne l'élan ?  
 E18 Avec la main.  
 M13 Ne pourrait-on pas la faire avancer sans la main ?  
 E19 Si avec le pied !  
 M14 Oui mais sans la toucher ?  
 E20 Non.  
 M15 En soufflant dessus !  
 M16 Pourtant vous l'avez fait pendant la récréation.  
 - .....  
 M17 Quand est-ce que la voiture de papa peut avancer sans le moteur et sans la pousser bien sûr.  
 E21 Avec les roues, avec le volant.  
 E22 En la mettant dans une pente.  
 C'est fait en posant la voiture sur la table et en l'inclinant.  
 M18 Alors qu'est-ce qui se passe là ?  
 E23 Ça fait rouler les roues, la pente, ça la fait glisser.  
 E24 Ça la pousse.  
 E25 Elle prend son élan pour descendre avant de rouler.

Ici, l'origine du mouvement est bien perçue comme extérieure au véhicule, car ce véhicule ne se meut pas seul :

E1 Grâce à la main, elle sert de moteur.

c'est à propos d'un véhicule qui n'en contient pas que les enfants prononcent le mot "moteur"

Curieusement, c'est à propos d'une voiture qui n'en contient pas, qu'est prononcé pour la première fois le mot moteur. Est-ce parce que là, il n'y a rien dans la voiture qui paraisse susceptible de la mettre en mouvement, et qu'au contraire dans le cas d'un véhicule "automobile" il va de soi - donc ce n'est pas la peine d'en parler - qu'il contient un "moteur" ? C'est-à-dire quelque chose "étudié pour, qui a le pouvoir de "la faire avancer et de la maintenir en mouvement. Dans la voiture à roues libres, le "moteur" est sorti du véhicule et les enfants jugent nécessaire d'en parler.

Le mot "moteur" n'a pas la signification précise que nous lui attribuons en technologie : "quelque chose"

ce mot n'a pas le sens  
que nous lui attribuons

qui transforme du travail électrique en travail mécanique ou de la chaleur en travail mécanique. C'est "l'automoteur" d'Aristote dont nous avons déjà parlé à propos de la moto électrique. "C'est ce qui se meut soi-même ... et qui constitue la cause et le principe du mouvement". Cette notion chez les enfants inclut plus ou moins la source d'énergie elle-même, particulièrement lorsqu'elle est interne au véhicule. C'est ainsi que pour beaucoup, la condition suffisante pour qu'un véhicule électrique avance est la présence d'une pile.

REPRESENTATION : Il y a *indistinction* entre *moteur* et *source d'énergie*.

Dans le cas où, volontairement, on retire la main et on lance la voiture, les enfants, pressés de répondre par le maître, cherchent, comme pour tous les autres véhicules "automobiles", la cause du mouvement à l'intérieur du véhicule. Ils citent n'importe lequel des organes qui bougent, qui tournent et qui pourraient jouer le rôle de "moteur".

M7 Alors, elle avançait grâce à quoi ?

E8 Aux roues, aux roues qui la font avancer.

M17 Quand est-ce que la voiture de papa peut avancer sans moteur et sans la pousser bien sûr ?

E21 Avec les roues, avec le volant.

La demande "grâce à quoi" est ambiguë. Tous les organes cités sont bien sûr nécessaires et c'est aussi grâce à eux que le mouvement est possible. Mais le maître comme on va le voir, voudrait que le rôle de la main, source d'énergie, soit mis en avant.

Pour cela, il fait marcher successivement la voiture de 2 façons :

- . en la poussant avec la main posée dessus,
- . en la lançant, la main abandonnant le véhicule.

la notion d'élan  
apparaît ...

La notion d'élan apparaît (E16 - E17). Et un dialogue au cours d'une deuxième séance fournit des indications complémentaires.



M - Que fait la main ?

E - elle pousse la voiture.

M - et pourquoi elle s'arrête ?

E - parce qu'elle a plus la main qui pousse

E - elle s'arrête parce qu'elle a plus d'élan.

On voit s'exprimer une représentation qui a prévalu jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle chez les scientifiques eux-mêmes.

**REPRESENTATION** : *Mise en mouvement et entretien d'un mouvement.*

Il faut une force pour créer et entretenir un mouvement. Il ne peut y avoir de mouvement qui dure sans une force appliquée de manière permanente au véhicule et le mouvement dure aussi longtemps que dure la force.

Cette force peut être produite de deux façons  
- soit par un agent visible, de manière continue : c'est le cas de la main qui tient la voiture et le fait avancer.

- soit par une action concentrée dans le temps mais passagère qui permet de stocker un "capital de force" : c'est le cas où la main lance la voiture.

De cette façon, l'action *permanente et en quantité juste suffisante pour faire avancer* est remplacée par une action *brève mais plus intense* qui se trouve en quelque sorte stockée dans le véhicule, lorsque l'action a cessé, sous forme d'un "capital de force" (voir le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, de L. Viennot pour l'usage de ce terme). Ce capital est utilisé peu à peu pour avancer jusqu'à ce que le véhicule ait utilisé tout le capital de force disponible.

Cette notion, baptisée "élan" par les enfants, tient tout à la fois de la force et de l'énergie. On peut penser toutefois, compte tenu des expériences premières de poussée et de traction de jouets et d'objets, que cette notion est au départ beaucoup plus enracinée dans celle de force, intuitivement construite à partir de l'idée d'effort, d'action de la main.

... qui peut être vue comme un "capital de force" stockée quand on lance un véhicule

Mais examinons la suite du dialogue. A la question du maître :

M12 Avec quoi on lui donne de l'élan ?

Un enfant répond :

*E18 Avec la main.*

Il désigne l'organe agissant. Pour le maître, est certainement sous-jacente l'idée d'un transfert de quelque chose de la main à la voiture, et la question est très inductrice de ce transfert par l'emploi du verbe "donne". Si l'enfant a effectivement l'idée d'un transfert l'élan s'apparentera plus nettement alors à l'énergie.

Nous allons essayer de préciser les diverses origines et par suite les divers sens que peut avoir le mot élan pour les enfants, à partir de quelques exemples.

A propos de la voiture en haut d'une pente, un élève dit :

*E15 Elle prend son élan pour descendre avant de rouler.*

De même dans un autre dialogue relatif à la construction du concept d'énergie au CE1, on obtient les réponses suivantes à propos d'un pistolet à ressort :

*E1 Le ressort prend son élan et pousse la flèche quand on appuie sur la détente.*

*E2 Quand je le charge, le ressort prend de l'élan.*

*E3 Quand il est serré, il ne peut plus rien faire. Il a pris de l'élan. C'est comme si tu tenais avec une force. C'est comme une force qui tient le ressort. Le ressort c'est comme s'il voulait se débattre et redevenir grand.*

**M** Quand le ressort a-t-il de l'élan ?

*E4 Quand la flèche est dedans (ressort serré).*

On peut essayer de comprendre l'origine de ces utilisations diverses de la notion d'élan par l'origine tout à fait anthropomorphique de l'expression "prendre son élan" et qui ne sous-entend aucune idée de transfert, ni d'interaction.

- "Prendre son élan" c'est courir pendant un certain temps pour, par exemple, sauter ensuite. C'est accumuler un capital de "quelque chose" qui n'est pas donné par l'extérieur mais qui provient du "sujet" lui-même : il prend en quelque sorte son élan sur lui-même (il y a transformation d'Énergie cinétique en Énergie potentielle au moment du saut) et il l'utilise ensuite en un temps très bref.

courir pour "prendre son élan"...

La notion de transfert n'est pas manifeste.

- C'est aussi se ramasser comme un chat, au pied du mur qu'on veut franchir. C'est sans doute cette image qui colle le mieux avec le ressort tendu ou la voiture en haut de la côte.

... ou se ramasser comme un chat ?

La configuration tassée, ramassée, permet de stocker une quantité de "quelque chose" qui servira soit à acquérir de la vitesse, soit à franchir un obstacle (il y a ici transformation inverse d'énergie potentielle en énergie cinétique).

Dans ce cas non plus la notion d'un transfert de quelque chose n'est pas évidente.

Pour résumer :

- dans le premier cas : l'élan croît comme  $\int v dt$  sans qu'aucune question soit soulevée sur la durée de l'action la cause du mouvement,

- dans le second cas : l'élan n'est guère formalisable. On peut seulement dire que plus on est ramassé, comprimé ou "plus la pente est haute", plus l'élan pris sera grand.

Ni dans l'un, ni dans l'autre, on ne voit apparaître l'élan comme produit par un transfert.

*En conclusion*, on peut répéter que la pensée causale est encore embryonnaire. Pour certains, elle se réduit à un principe actif, résidant dans les choses. Par décentration, l'activité du sujet, premier principe causal, se trouve déléguée sous une forme plus ou moins anthropomorphique aux objets eux-mêmes. Les mises en relation causales sont incomplètes, sauf pour certains enfants qui élaborent des chaînes causales complexes.

D'autre part, nous avons vu qu'il y a totale réduction des phénomènes électromécaniques à des phénomènes mécaniques. De ce fait, la nécessité d'un moteur électrique ne s'impose pas, la pile ayant un rôle double de moteur - source d'énergie.

L'utilisation de la notion d'élan, polysémantique, est courante.

## 2. JOUETS MOBILES AU COURS MOYEN

Les élèves de la classe que nous allons maintenant envisager, avaient abordé l'année précédente la notion d'énergie, à partir d'une petite centrale hydraulique.

*Matériel mis à disposition*

- le girojet mis en mouvement en tirant sur une tige de plastique dentée
- le turbojet mis en mouvement grâce à de l'air comprimé par une pompe
- la voiture à réaction (avec un ballon que l'on gonfle)
- la voiture électrique à ultra sons
- le tank radioguidé.

### 2.1. Jouets purement mécaniques :

Ce sont le girojet, le turbojet et la voiture à réaction.

Pour le girojet, la majorité des réponses sont de type :

- E1 *L'énergie vient de la main. La main tire la tige qui a des dents. Les dents font rouler la roue dentée.*
- E2 *Quand on tire la tige souple, la main fournit de l'énergie. Les dents de la tige entraînent les dents de la roue à dents qui est attachée à la roue motrice, donc qui la fait tourner.*
- E3 *On prend la tige dentée dans la main. On l'enfonce dans un carré exprès qui rejoint la roue motrice et quand on tire dessus, la tige dentée rejoint les dents de la roue motrice. Alors l'engrenage se ferme et la moto ou la voiture part. Cette énergie provient de la force de la main et non de la tige dentée car si on la laisse dans le carré il ne se passe rien.*

Pour le turbojet, les réponses sont de ce type, sauf une qui parle d'énergie :

- E1 *Quand on pompe, l'air passe par un tuyau qui sort dessous la voiture et fait tourner une turbine qui fait tourner les deux roues avant.*
- E2 *C'est une pompe qui fait passer l'air dans le tuyau qui passe par le trou et qui fait tourner*

*la turbine et les roues avant,*

- E3 Sébastien pompe et l'air passe dans un tuyau. Ce tuyau envole l'air dans la turbine qui fait tourner les roues avant, puis la voiture part.

Pour la voiture à réaction, toutes les réponses sont de ce type, sauf également une qui parle d'énergie:

- E1 On gonfle le ballon. Après on lâche la voiture. Le ballon se dégonfle et entraîne la voiture.  
 E2 On gonfle le ballon placé sur la voiture et quand le ballon se dégonfle, l'air qui s'échappe sert à faire avancer la voiture.  
 E3 Quand on souffle dans le ballon ça le gonfle. On lâche la voiture, on enlève son doigt. L'air sort et ça fait avancer la voiture.

pour les jouets  
mécaniques ...

Nous observons d'abord que pour expliquer le fonctionnement de ces jouets, les enfants ne parlent pratiquement jamais de la source d'énergie dans les exemples 2 et 3, bien qu'ayant déjà approché cette notion l'année précédente. A l'inverse, la main comme source d'énergie est presque toujours citée dans l'exemple 1.

Pourquoi de façon si tranchée, deux catégories de réponses ? Examinons de plus près les principes de fonctionnement de ces véhicules et surtout ce que les enfants en perçoivent par l'observation superficielle des mécanismes.

... l'enfant peut percevoir  
sa main ...

. Pour mettre en mouvement le girojet, on lance un volant, en tirant rapidement sur une bande de plastique dentelée qui engrène sur une roue dentée, solidaire du volant. Il y a bien évidemment transfert d'énergie de l'utilisateur au volant sous forme de travail exercé par la main et stockage d'énergie dans le volant sous forme d'énergie cinétique.

... comme source  
d'énergie initiale

Mais aucun élève, et pas seulement dans les réponses que nous avons reproduites n'a remarqué le volant. Une fois lancée, la voiture paraît "livrée" à elle-même, comme le serait une simple voiture à roues libres ! C'est donc dans les mêmes termes qu'ils décrivent son fonctionnement ! (voir à ce sujet l'analyse des réponses au CP - paragraphe 1.3). Le rôle de la main y est perçu comme essentiel, comme étant à l'origine du mouvement et elle est citée comme source d'énergie. Là où les enfants du CP employaient le mot élan,

ils réinvestissent simplement le terme énergie vu l'année précédente.

. les deux autres véhicules : *le turbojet et la voiture à réaction*, utilisent de l'air comprimé. Il est évident pour les enfants que ces voitures se servent du mouvement de l'air pour avancer et c'est en ces termes qu'ils décrivent leur fonctionnement. Le rôle initial de l'utilisateur qui doit comprimer cet air ignoré, la voiture trouvant "en elle-même", lorsqu'on la lâche, sa source de mouvement.

Dans tous les cas, pour ces jouets mécaniques, les enfants se limitent à une tentative de description de la chaîne de transmission de mouvement, comme une succession d'actions orientées suivant la chaîne causale (comme par exemple, pour le turbojet la réponse E2).

mais il n'a jamais conscience de l'existence d'une chaîne énergétique

Revenons sur les réponses concernant le premier véhicule, le girojet. Nous pouvons dire que même dans ce cas, où les enfants parlent de la main comme source d'énergie, il n'y a aucune conscience de l'existence d'une chaîne énergétique. La source d'énergie est "à part". Elle doit être là, mais elle ne s'intègre pas au reste :

E - *L'énergie vient de la main. La main tire la tige qui a des dents ; les dents font rouler la roue dentée.*

On a donc une description qui place en tête la source d'énergie, puis poursuit avec une chaîne cinématique comme le font dans certains cas des élèves plus jeunes.

Que devient l'énergie ? Est-elle consommée quelque part pour obtenir un effet ? Est-ce même une quantité ? Il faudrait davantage d'informations pour saisir la représentation sous-jacente.

Dans la suite de la séance, le maître en est arrivé à poser des questions sur les voitures à roues libres, comparons les réponses données au CM à celles du CP sur le rôle de la pente dans le mouvement de ces voitures.

Élan ou énergie : les mots font-ils la différence ?

Au CP, les réponses sont de ce type :

- E1 C'est la pente qui lui donne de l'élan  
E2 La pente fait de l'élan à la voiture

Au CM (après une première approche de l'énergie l'année précédente):

- E1 en la plaçant en haut d'une pente, l'homme fournit de l'énergie.  
E2 Plus la pente est raide, plus la voiture va vite, plus elle a d'énergie.

Il apparaît que le mot énergie a remplacé le mot élan. Mais peut-on dire pour cela que la notion d'énergie, dans ce cas précis, est correctement sinon construite, du moins amorcée ?

énergie et mouvement sont liés dans l'esprit des enfants ...

Comme nous l'avons remarqué par ailleurs dans l'analyse d'une séance relative à la visite d'une petite centrale, pour les enfants, énergie et mouvement sont liés et, au repos, les enfants ont du mal à imaginer qu'un système puisse posséder de l'énergie. La voiture en haut de la pente (en réalité le système terre-objet) ne leur semble pas avoir d'énergie, mais elle en acquiert en tombant. En tout cas, celle-ci augmente. Ce sont les termes mêmes des enfants. La réponse du CM "en plaçant (la voiture) en haut d'une pente, l'homme fournit de l'énergie", ne contredit pas ce que nous affirmons. Dans la logique décrite, il est normal que l'homme fournisse - dépense (?) - de l'énergie pour placer la voiture en haut de la pente. Cela ne dit pas que, dans cette configuration, la voiture (ou plutôt le système terre-objet) a de l'énergie. De même l'air comprimé dans le réservoir ou le ballon n'a pas d'énergie ; il fait du mouvement en sortant, donc de l'énergie.

Citons encore un autre travail effectué en classe de cinquième :

"Les enfants ont construit des maquettes et ont essayé de voir ce que devenaient les véhicules plus ou moins chargés. Ils ont été surpris de voir qu'ils ne remontaient jamais plus haut que leur point de départ.

A une autre séance nous nous sommes posés le problème de savoir si au démarrage, en haut de la côte le véhicule possédait de l'énergie ? La discussion a été longue, houleuse et certains n'ont jamais pu admettre qu'il en possédait".

... ce qui rend la notion d'énergie potentielle très difficile à comprendre

La notion d'énergie potentielle est donc particulièrement hors du champ de représentations des enfants, tout au moins en apparence. Encore que l'élan, comme nous l'avons signalé, soit tantôt plus ou moins proche de la notion d'énergie cinétique (course avant un saut), tantôt de la notion d'énergie potentielle (chat au pied d'un mur) et que ce soit plutôt le mot énergie lui-même qui fasse obstacle.

## 2.2. Véhicules électriques

*Voiture télécommandée :*

- E1 *Si on enlève les piles de la boîte-antenne on ne peut plus la guider.*
- E2 *Si on enlève les piles du tank, il n'avance plus.*
- E3 *Le moteur et les piles s'associent pour faire avancer le tank.*
- ... *Puis plus tard dans la séance.*
- E4 *L'énergie électrique fait tourner le moteur.*

la différenciation du rôle de la pile-source d'énergie et du moteur s'amorce

Comme nous l'avions remarqué au CP, pratiquement tous s'arrêtent à la seule présence des piles pour expliquer le fonctionnement. Un seul signale (E3) la nécessité de l'association piles-moteur. Cette idée se précise par différenciation des rôles (E4). Les piles sont alors considérées comme source "d'énergie" ou peut-être seulement comme source de "courant". Déjà au CP, on peut voir se dessiner cette idée :

- M - *Quand est-ce que ce moteur électrique va s'arrêter de tourner ?*
- E - *Quand ça touchera plus.*
- M - *Et si je laisse toujours la pile ?*
- E - *Quand il n'y aura plus de courant dans la pile.*

## EN CONCLUSION

. Au CM, même après avoir amorcé l'année précédente la notion d'énergie, les enfants continuent à décrire préférentiellement des mécanismes à l'aide de chaînes cinématiques de transmission du mouvement.



- . La source d'énergie, si elle est citée, a un statut "à part" et n'induit pas la notion de chaîne énergétique.
- . La discrimination entre les rôles de la pile, source d'énergie (ou de courant) s'amorce.
- . La notion d'énergie potentielle est totalement hors de portée des élèves de cet âge, par suite du lien très fort qu'ils établissent entre énergie et mouvement.

Jacqueline AGABRA

Ecole Normale de Bonneuil  
Equipe de didactique des sciences  
expérimentales - INRP



## CHALEUR, TEMPERATURE, CHANGEMENTS D'ETAT

Annie Laval

*Le premier objectif de ce travail était de rechercher comment les enfants entrant en classe de 6e conçoivent les phénomènes physiques intervenant dans leur vie quotidienne, ainsi que l'influence ultérieure de l'enseignement sur ces idées préalables. Les enquêtes menées dans ce but auprès des élèves de collège sont rapportées dans une première partie.*

*Ensuite compte tenu des résultats précédents, des propositions sont faites sur la façon d'adapter la pédagogie à l'état d'esprit des enfants. Quelques essais d'enseignement ont permis de mieux cerner les points de résistance et de tester les notions qui sont accessibles aux élèves des premières années du collège (1).*

### I. ENQUETE AUPRES D'ELEVES DE COLLEGES.

#### I.1. Interactions calorifiques.

Au cours de l'étude du premier thème : interactions calorifiques, entre corps à températures différentes, sans changement d'état, nous avons envisagé plusieurs niveaux d'appréhension du phénomène :

- existence d'une relation entre la température d'un corps et celle de son environnement : les deux températures initialement différentes tendent vers une valeur commune.

---

(1) Cet article rend compte d'une partie du travail d'un groupe de professeurs de sciences physiques enseignant dans les collèges de l'académie de Limoges. Cette étude a été effectuée dans le cadre de l'INRP et coordonnée par l'Inspection générale des sciences physiques. Elle porte sur les représentations préalables des notions de chaleur, température et changements d'états chez les élèves de collège. La recherche a donné lieu par ailleurs à la publication de *Chaud... froid... pas si simple* INRP. Coll. Rencontres pédagogiques. 1985. n° 3.

- existence d'une action réciproque entre le corps et son environnement : cette double action fait évoluer la température de chaque corps vers une valeur commune intermédiaire.

- explication de l'interaction, par le transfert de chaleur, du corps dont la température est la plus élevée, vers le corps dont la température est la plus basse.

#### . Interaction avec l'air

##### - Températures de différentes matières

L'examen des réponses à un questionnaire où l'on proposait de comparer les températures de différentes matières (lait, laine, polystyrène, bois) à celle de l'air, montre que 20% seulement des enfants entrant en 6e ont attribué la température de l'air à toutes les matières.

un grand nombre d'élèves entrant en 6e pensent que la température est une qualité propre à chaque matière

Donc 80% des enfants ne comprennent pas la généralité du phénomène d'équilibre thermique ; la majorité pense que le lait est froid et la laine chaude. Et si les autres matières, bois, polystyrène, obtiennent de meilleurs résultats (température égale à celle de l'air pour 50% des élèves) les phrases explicatives montrent que cette réponse exacte ne fait pas référence à l'équilibre thermique avec l'air mais qu'elle est plutôt le résultat de l'embarras devant la question que se posent les enfants : le bois, le polystyrène sont-ils chauds ou froids ?

Ainsi un grand nombre d'enfants entrant en 6e pensent que la température est une qualité propre à la matière. Les températures particulières qu'ils attribuent sont surtout fonction de la sensation éprouvée à leur contact : "la laine est chaude", "le carrelage est froid". Mais il sont aussi influencés par la situation, ou l'usage le plus fréquent de ces matières : "le lait est froid parce qu'il vient du réfrigérateur, le polystyrène est froid parce qu'il sert à conserver les glaces".

Il semble aussi que certains élèves admettent l'équilibre thermique avec l'air pour des matières qui leur paraissent passives, neutres et au contraire le refusent pour d'autres matières auxquelles ils attribuent un rôle actif. Ainsi suivant les cas, une matière serait source de chaleur ou de froid, elle s'adapterait aux changements de température ou au contraire s'y opposerait : "le lait ne chauffe que sur le feu" écrit un enfant.

On constate d'ailleurs une grande confusion dans le langage ; les expressions "la laine est chaude", "la laine tient chaud", "la laine contient de la chaleur" apparaissent comme synonymes, alors que ces phrases recouvrent en fait des notions différentes : température, source de chaleur, pouvoir isolant, capacité calorifique.

Il y a fort à faire pour démystifier ces propriétés apparemment si complexes. Cependant avant toute chose il faut absolument faire comprendre que, contrairement aux autres grandeurs, la température n'est pas une propriété de la matière, mais est relative à l'environnement.

*- Refroidissement d'un objet dans l'air*

Dans cette deuxième enquête nous avons posé des questions sur le refroidissement de divers objets :

- . un couvercle retiré d'une casserole contenant du lait bouillant,
- . de la crème au chocolat,
- . un morceau de fer à 300 degrés,
- . un morceau de fer à 30 degrés.

beaucoup d'élèves de 6e pensent que le refroidissement d'un objet est son retour spontané à sa "propre température normale"

Notre but était de tester la compréhension de l'équilibre thermique dans un contexte non plus statique mais dynamique. De plus les explications fournies par les enfants sur le mode de refroidissement permettent de mieux connaître leur représentation de la température.

Tout d'abord on constate que peu d'enfants voient la généralité du phénomène, il y a autant de phénomènes différents que d'objets qui se refroidissent. Toutefois on peut tenter de regrouper ces explications très diverses autour de quelques idées principales :

- un objet se refroidit car, soustrait à l'action de la source chaude, il tend à reprendre sa propre température "normale" ;
- un objet se refroidit parce qu'il perd de la vapeur ou de la chaleur, toutes deux confondues avec de la buée, c'est-à-dire avec une matière visible ;
- un objet se refroidit à cause de sa différence de température avec l'air, encore faut-il qu'elle soit importante : 25% des enfants disent que le fer à 30 degrés ne se refroidit pas.

En bonne logique (mais les réponses ne sont pas toutes cohérentes) seuls les enfants attribuant le refroidissement

à l'action de l'air peuvent aboutir à l'équilibre thermique, ils ne sont finalement que 20% à tirer cette conclusion dans toutes les situations.

Il convient donc d'étudier cas par cas les idées qui ont orienté les réponses.

. La cause principale du refroidissement du couvercle est la suppression de la source chaude, il tend donc vers sa température normale. L'attention particulière portée à l'ébullition du lait et au dégagement de "vapeur" a éclipsé le rôle de l'air. Aussi 23% seulement des réponses indiquent une température finale égale à celle de l'air.

. Pour la crème la cause principale du refroidissement est l'action de l'air. Mais les propriétés particulières, épaisseur et consistance de la crème, présence du plat, ont joué aussi un rôle important, d'où finalement 36% des réponses indiquant l'équilibre thermique avec l'air.

. Quant au fer à 300 degrés, il obtient de meilleurs résultats. S'il est encore parfois question de perte de vapeur ou de "température normale", le rôle de l'air est cependant prépondérant, d'abord à cause de la différence flagrante de température, ensuite à cause de la plus grande sobriété de la situation proposée, et de l'absence d'expérience personnelle, donc de préjugés. Dans ce cas près de 50% des enfants concluent à un équilibre thermique final avec l'air. Cependant même les élèves qui pensent que l'air agit sur la température de l'objet n'envisagent pas une action réciproque, ils considèrent que la température de l'air reste constante.

*. Interaction entre un solide et un liquide. Refroidissement ou réchauffement d'un objet dans l'eau.*

Pour tester réellement, chez les élèves entrant en 6e, la faculté de concevoir l'idée d'interactions calorifiques entre matières en présence, nous avons remplacé l'air par de l'eau. En effet les enfants n'attribuent vraiment le caractère de matière qu'à ce qu'ils voient, c'est-à-dire aux solides et aux liquides, c'est pourquoi les relations entre les objets et l'air ambiant sont mal perçues.

Nous avons proposé des situations dans plusieurs domaines de température :

- cuillère chaude dans de l'eau froide
- oeuf froid dans de l'eau à la température de la

les élèves n'envisagent pas une interaction calorifique entre l'air et l'objet

l'égalisation des températures de l'objet et de l'eau est bien perçue par les élèves

cuisine

- fer bien chaud dans de l'eau chaude

Pour 70% environ des enfants, l'existence de la relation objet-eau est bien perçue, puisqu'ils concluent qu'un long moment plus tard, les températures sont devenues égales. (Plongée dans l'eau, la matière semble perdre sa "température normale").

Mais les explications du processus d'égalisation des températures montrent deux types de réponses :

- soit les deux températures évoluent vers une température intermédiaire, ce qui implique l'existence d'une action réciproque (30% des réponses environ)
- soit une seule température évolue vers l'autre, l'action est donc, là, à sens unique.

L'interaction étant constatée, peut-on l'interpréter par le concept de chaleur, grandeur qui se conserve en passant d'un objet à température plus élevée à un autre plus froid ? Cette question est très difficile pour les enfants de 6e car il leur faut admettre l'existence d'une grandeur non matérielle, totalement abstraite qui n'est accessible qu'à travers les facteurs dont elle dépend.

pour beaucoup d'élèves  
seule la température  
de l'objet varie

Dans ces conditions, il ne semble pas que, même lorsqu'il est cité, le transfert de chaleur puisse être une réelle justification des variations corrélatives de températures. Un élève affirme même : *"la cuillère se refroidit parce que la chaleur passe dans l'eau, mais pour autant ne fait pas réchauffer l'eau" !*

Dans le deuxième type de réponse, l'eau est considérée comme un milieu à température constante (comme l'air dans le questionnaire précédent). Certaines phrases explicatives sont cependant moins catégoriques, les enfants disent que pour que la température de l'eau varie il faudrait y plonger un objet plus gros ou dont la température serait très différente.

*. Evolution des idées sur les interactions calorifiques en classe de 4e.*

la persistance de l'idée  
d'une "température normale"  
en classe de 4e  
est préoccupante

Notre recherche s'est poursuivie par une enquête semblable en classe de 4e, afin de suivre l'évolution des représentations des interactions calorifiques et de localiser les points de résistance dans la construction du concept de chaleur.

Dans leurs réponses au 1er questionnaire les élèves de 4e continuent, comme les élèves de 6e, à attribuer une température propre à chaque matière placée depuis longtemps dans une pièce ; cet flot de résistance est préoccupant. Par contre l'analyse des deux autres groupes de situations est bien meilleure qu'en 6e, la température "normale" cède du terrain à l'équilibre thermique avec l'air et le transfert de chaleur qui n'était pas évoqué en 6e est parfois utilisé pour expliquer les variations corrélatives des températures de l'eau et de l'objet qui y est plongé. Donc une ébauche de l'idée de la conservation de la chaleur apparaît dans ce type d'interaction.

### 1.2. Changements d'états.

La poursuite de la recherche sur les concepts de température et de chaleur dans les classes du collège nous a conduit à étudier, dans ces mêmes classes, les changements d'état de la matière.

Nous avons d'abord proposé aux élèves de 6e et 5e un questionnaire ouvert. Il avait pour but de rechercher quelle conception se fait spontanément l'enfant entrant en 6e du changement d'état, quels aspects du phénomène le frappent en premier lieu. Puis les mêmes questions posées aux élèves de 5e devaient nous permettre de suivre l'évolution des idées précédentes et de voir dans quelle mesure l'enseignement aide à vaincre les difficultés de compréhension.

Nous avons constaté que les enfants de 6e s'intéressent surtout aux objets et aux circonstances particulières de tel ou tel changement d'état. En revanche, les élèves de 5e sont capables de percevoir une transformation générale à travers des faits particuliers. Mais les uns et les autres ont des difficultés à comprendre la relativité des états de la matière et même à admettre la réalité du changement d'état.

Ensuite, nous avons proposé aux élèves de 5e un questionnaire plus directif afin d'obtenir des résultats chiffrés. Ce questionnaire est essentiellement un sondage sur les phénomènes thermiques du changement d'état que les élèves avaient très rarement évoqués dans leurs réponses au questionnaire précédent. Cette abstention laissait supposer des difficultés de compréhension que le deuxième questionnaire a confirmées.

L'étude des résultats de ces questionnaires nous a permis de mieux cerner les différents problèmes qui se posent aux enfants. Nous les décrivons ci-dessous par ordre de difficulté croissante.



. *Notion de transformation*

la notion de transformation physique se construit progressivement de la 6e à la 5e

La première étape de la compréhension du phénomène de changement d'état est le passage de l'idée concrète de matière au concept abstrait de transformation. Les élèves de 6e disent le plus souvent que le gel est de la glace, alors que pour la majorité des élèves de 5e, le gel est une transformation et la glace le résultat de cette transformation. Mais l'obstacle n'est pas pour autant complètement franchi car comme, dans l'expérience quotidienne, le changement d'état n'est que provisoire par suite du retour spontané de la matière à la température ambiante lorsqu'on cesse de la chauffer ou de la refroidir, les enfants ont tendance à négliger le changement d'état et à penser que chaque matière possède un "état normal", absolu, l'état dans lequel elle se trouve à la "température normale". Ainsi, le plomb resterait un solide même lorsqu'il est fondu et l'eau gelée serait toujours classée parmi les liquides ...

Il faut donc d'abord arriver à faire comprendre que la transformation est bien réelle et à distinguer la permanence de la matière et la relativité de son état, lié à la température.

. *Température de changement d'état, réversibilité.*

Lorsque les élèves ont compris la notion de passage à un état différent il subsiste encore des difficultés pour l'étude du palier de température et de la transformation inverse.

le palier de température de changement d'état étonne les élèves de 6e et 5e

L'invariance de la température pendant le changement d'état est un phénomène difficile à admettre - on chauffe et la température ne s'élève plus - la cause et l'effet ne varient plus dans le même sens. Aussi les enfants ont tendance à écarter ce phénomène qui les gêne et à ne pas considérer la transformation en train de s'opérer mais plutôt son résultat. Ainsi, la vaporisation n'est pas reconnue dès le dégagement des premières bulles de vapeur mais plus tard lorsque le volume de liquide aura notablement diminué.

C'est sans doute aussi pourquoi les enfants ont du mal à admettre que la transformation inverse se produise à la même température. On leur parle de faire fondre ou solidifier du plomb, mais eux ne s'intéressent pas à l'étape de la transformation mais seulement à son résultat : le plomb liquide ou le plomb solide auxquels ils n'attribuent pas la même température.

Des difficultés importantes apparaissent donc pour saisir les modalités de la transformation, c'est-à-

dire le passage par l'équilibre réversible  
liquide  $\rightleftharpoons$  solide caractérisé par une température  
constante.

Mais la première étape de la compréhension fondée  
sur des constats de température doit pouvoir être  
atteinte en 6e et 5e pour peu qu'on s'y attarde.

. *Chaleur et température.*

Par contre, il paraît tout à fait illusoire de tenter de  
distinguer chaleur et température à l'aide de la notion  
de changement d'état. Si en bonne logique le fait que  
la température reste constante rapproché du fait que  
l'on apporte de la chaleur est une façon de distinguer  
ces deux notions, cet argument n'est pas accessible  
aux enfants. En effet, ils ne dominent pas suffisam-  
ment le phénomène pour relier les deux faits. Sur ce  
point, ils font des réponses confuses ou contradictoires  
et si on lit parfois "la chaleur sert à faire fondre ou à  
faire évaporer", il s'agit là d'une réponse de bon sens,  
liée au constat de la disparition du solide ou du liquide,  
mais sans relation avec le palier de température.

L'idée de la nécessité d'un  
apport de chaleur pour  
provoquer la fusion ou  
l'ébullition est absolument  
étrangère aux élèves de  
6e et 5e

Une des rares fois où un rapprochement a été fait, la  
réponse de l'élève montre la difficulté à dominer tous  
les aspects du phénomène : "La chaleur n'a servi à rien,  
car les chaleurs sont les mêmes sur les figures 1 et 2"  
(début et poursuite du changement d'état). Ce rappro-  
chement au lieu d'éclairer la différence entre chaleur  
et température, l'obscurcit car l'existence d'une cha-  
leur latente est tout à fait étrangère à la pensée de  
cet enfant de la classe de 5e qui a pourtant étudié les  
changements d'état l'année précédente. D'ailleurs, his-  
toriquement la notion de chaleur latente est une des  
plus tardives à avoir été perçue dans le domaine des  
échanges thermiques.

Dans ces conditions, au lieu de vouloir présenter la  
différence entre chaleur et température à l'occasion  
de l'étude des changements d'état, il faudrait au con-  
traire faire comprendre cette différence par d'autres  
moyens et seulement ensuite aborder le problème  
difficile de la chaleur latente.

## 2. ESSAIS PEDAGOGIQUES

Les résultats précédents montrent que les enfants  
possèdent déjà à leur entrée en classe de 6e des idées  
sur les notions que l'on va leur enseigner. Ces idées  
sont souvent positives mais aussi floues, parcellaires  
et parfois en contradiction les unes avec les autres.

L'enfant qui arrive au collège a donc déjà sa propre vision des phénomènes physiques rencontrés dans sa vie quotidienne, vision parfois fort éloignée de celle du physicien.

L'enseignement doit en tenir compte : d'abord parce qu'il serait dommage de ne pas exploiter ce savoir, mais surtout parce que, si l'on ne greffait pas la connaissance scientifique sur les connaissances spontanées de l'enfant, on construirait alors un édifice qui, bien que logique, serait sans aucune prise sur le réel et laisserait intacts certains préjugés tenaces. Une telle formation scientifique serait purement scolaire et inopérante pour la compréhension de l'environnement et la conduite de la vie quotidienne.

Nous avons dans cet esprit tenté quelques essais pédagogiques, nous relatons ci-dessous notre démarche pour un enseignement en classe de 6e des notions de chaleur et température d'une part, et de changements d'états physiques d'autre part.

### 2.1. Enseignement des notions de chaleur et température en classe de 6e.

Dans cette progression nous nous sommes proposés d'introduire la différence entre chaleur et température et de montrer que la température d'un objet est le résultat de son interaction avec son environnement.

Les résultats de la recherche nous ont convaincus que les changements d'état physique ne permettaient pas d'introduire la distinction entre chaleur et température, aussi avons-nous tenté de mettre en évidence le concept de chaleur par d'autres moyens. Des opérations de chauffage de quantités différentes de liquides par des sources de chaleur permanentes variées nous ont paru une approche possible du concept de chaleur à travers les facteurs concrets dont il dépend.

Par ailleurs, nous avons vu que les enfants attribuent une température propre à chaque matière sans relation avec la température ambiante. De plus nous avons constaté qu'un équilibre thermique en train de se réaliser, donc une interaction dynamique, était mieux perçu qu'une situation statique. Enfin si le milieu ambiant est un liquide (donc visible) il est plus facilement pris en compte. Aussi procédant par difficulté croissante nous avons présenté successivement aux enfants :

- . l'interaction entre deux liquides à températures différentes (situation dynamique) ;
- . l'interaction entre une matière chaude (ou froide) et l'air (situation dynamique) ;
- . la température de différentes matières en équilibre thermique avec l'air (situation statique).

A partir de ces réflexions nous avons bâti la progression suivante :

- . Première leçon : Présentation des thermomètres à liquide

- . Deuxième leçon : sources de chaleur

- *But et méthode*

Dans cette leçon, on se propose de chauffer des liquides avec une source de chaleur permanente (thermo-plongeur, bec de gaz, lampe à alcool) et d'étudier les variations de température du liquide. Cette situation est donc simple puisqu'on s'intéresse seulement à la température du liquide et à la chaleur qu'il reçoit, l'action réciproque du liquide sur la source n'apparaissant pas.

L'objet de cette leçon est une approche du concept de chaleur à travers les différents facteurs dont il dépend, d'où une étude de la température finale du liquide en fonction :

- du volume du liquide
- du temps de chauffage
- de la nature de la source
- ou de la quantité de combustible
- de la nature du liquide (eau, huile).

L'intérêt de cette démarche, outre l'approche de la notion de chaleur est d'amener les élèves à dégager ces différents facteurs et à les faire varier un à un.

On pourra compléter les expériences par un inventaire des sources de chaleur utilisées pour le chauffage domestique et par une discussion sur la relation entre la quantité de combustible utilisé et la taille de la maison à chauffer.

- *Résultats*

Les élèves manipulent bien les facteurs de l'expérience et font le plus souvent des pronostics exacts sur la température finale. Mais leurs explications privilégient les facteurs temps ou vitesse de chauffage : "la casserole où il y a moins d'eau chauffe plus vite", "l'huile chauffe plus vite que l'eau".

En général, les élèves n'emploient pas le mot chaleur, ils cherchent une relation directe entre les facteurs accessibles à la mesure. Leur réflexion porte donc uniquement sur des notions concrètes.

Le concept de chaleur que les élèves s'efforcent de contourner n'est pas globalement dominé, cependant

il est sous-jacent à leurs raisonnements puisque ceux-ci aboutissent à des résultats exacts. Il est donc sans doute utile de commencer en classe de 6e une approche expérimentale de ce type, mais en se bornant à l'étude des grandeurs concrètes. Cette démarche serait reprise et prolongée dans les classes ultérieures pour atteindre la notion abstraite de quantité de chaleur échangée.

*Troisième leçon : Interaction entre deux liquides à température différente.*

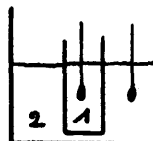
- *But et méthode.*

On met en présence deux liquides à température différente, sans les mélanger, car les enfants de 11-12 ans croient, en grande majorité, que la température du mélange est la somme des températures initiales. De plus on évite ainsi la confusion entre transfert de matière et transfert de chaleur.

Le petit récipient contenant le liquide 1 est plongé dans le grand récipient contenant le liquide 2.

On mesure la température de chaque liquide.

La situation est ici plus complexe car on considère la température des deux corps et les actions réciproques qu'ils exercent l'un sur l'autre.



Le but est de montrer - l'équilibre thermique final  
- l'interaction entre les deux corps  
- le transfert de chaleur.

Des expériences dans plusieurs domaines de température seront effectuées pour montrer la généralité du phénomène.

On peut compléter par l'action d'un solide à 100° sur de l'eau à différentes températures initiales.

- *Résultats*

L'équilibre thermique final à une température intermédiaire entre les 2 températures initiales n'était pas évident a priori, il frappe beaucoup les enfants, c'est la notion la plus facile à acquérir.

Le transfert est perçu. Mais transfert de quoi ?

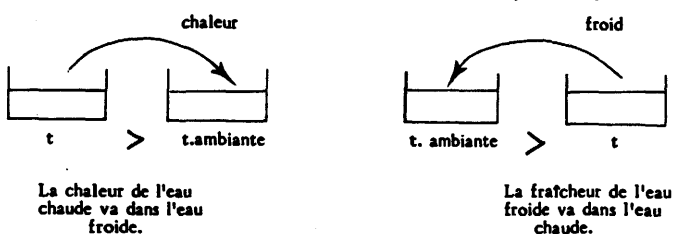
Transfert - de chaleur le plus souvent "la chaleur de l'eau chaude traverse le verre et réchauffe l'eau froide"

mais aussi - de froid "la fraîcheur de l'eau froide va dans l'eau chaude"

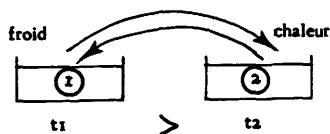
- de température "la température du flacon est passée dans le bocal"
- de matière chaude ou froide (vapeurs, mélanges fictifs d'eau) "l'eau chaude se transmet dans l'eau froide qui se réchauffe"  
"l'eau froide s'est mélangée à l'eau chaude".

Ces dernières phrases montrent la difficulté de concevoir un transfert d'autre chose que de matière.

Mais pour les élèves qui ont acquis une vision plus abstraite du phénomène de transfert il apparaît une difficulté pour l'interprétation des deux variations de température. Ils imaginent deux transferts symétriques.



Et donc, l'idée d'interaction conduit certains élèves à envisager le double échange de "chaud" et de "froid".



La chaleur cédée par ① sert à élever la température de ②. Mais les élèves ne comprennent pas bien que corrélativement le corps ① qui perd de la chaleur se refroidit. Aussi ajoutent-ils du froid pour expliquer la baisse de température de ①.

Cette apparition du froid qui était rarement rencontrée dans les enquêtes préliminaires a-t-elle un aspect tout à fait négatif ?

On peut penser au contraire qu'elle est la marque d'une réflexion personnelle des enfants, montrant que la leçon a eu un impact certain et que cette difficulté apparue au grand jour peut être discutée.

Il apparaît donc deux étapes dans la compréhension de ce phénomène.

- Existence d'une interaction : les deux températures varient et la température finale est la même
- Explication de l'interaction par la transmission de chaleur

pour un même transfert

|   |  |
|---|--|
| } | gain de chaleur par l'un des corps, sa température croît   |
| } | perte de chaleur par l'autre corps, sa température décroît |

La 1ère étape, résultat concret d'expériences, peut être facilement franchie en 6e. Dans la 2e étape les élèves peuvent comprendre séparément les deux implications:

gain de chaleur → température croît  
 perte de chaleur → température décroît

Mais ils n'arrivent pas à dominer ces deux propositions ensemble.

C'est-à-dire que l'interaction vue sous l'angle du transfert de chaleur est difficile en 6e. Cette 2e étape pourrait être réservée aux classes ultérieures. Finalement nous nous sommes bornés à des constats de température qui montrent que dans tous les cas la température la plus élevée décroît en même temps que la température la plus basse croît, les deux tendant vers une température intermédiaire commune.

*Quatrième leçon : Interaction entre un liquide et l'air qui l'entoure*

*- But et méthode*

Dans un premier temps on laisse refroidir (ou réchauffer) un liquide chaud (ou froid) dans l'air de la pièce. Attention ! cette expérience est très longue, il faut prendre très peu de liquide et un récipient large.

Ensuite on montre l'interaction liquide-air en plaçant un liquide très chaud dans un volume d'air limité dont on observe alors le réchauffement.

*- Résultats*

Les élèves voient bien l'analogie avec les situations étudiées au cours des leçons précédentes et, dans ce contexte, abandonnent l'idée d'un retour vers la

température "normale" au profit de l'établissement d'un équilibre thermique entre le liquide et l'air.

. Cinquième leçon : *Température de différentes matières dans une pièce.*

- *But et méthode*

A l'aide des thermomètres habituels pour les liquides et de thermomètres à cristaux liquides pour les solides, on montre que toutes les matières de la pièce ont la même température, à l'exception du corps humain, du radiateur ... qui sont des sources de chaleur.

- *Résultats*

Pour les liquides, la leçon précédente a bien préparé les élèves et leurs pronostics sont en général exacts. Pour les solides (surtout laine et carrelage) leur surprise est totale. Et le "choc" psychologique paraît propice à la mémorisation du phénomène. En comparant le thermomètre posé sur la laine à celui posé sur la main, on explique que la main est une source de chaleur, et que la laine n'en est pas une.

Quelques élèves amorcent même une explication "Ce n'est pas la laine qui est chaude mais le doigt qui la réchauffe quand il est posé dessus". Cependant il semble qu'il faille en rester là en 6e, car une leçon sur isolants et conducteurs qui semblait la suite logique a donné de mauvais résultats. En effet, les élèves sont ramenés vers l'idée de propriétés thermiques propres à chaque matière et de là, hélas, à leur attribuer une température propre.

Nous pensons donc qu'en 6e, il faut se limiter au constat de l'égalité des températures des corps placés dans une même pièce qui paraît bien acceptée par les enfants et remettre à plus tard l'explication des sensations.

## 2.2. Enseignement de la notion de changement d'état physique en classe de 6e.

Nous avons vu précédemment que la notion d'états physiques différents pour une matière et le passage d'un état à un autre posaient des problèmes aux enfants. Il nous a donc paru indispensable de s'attacher à ces difficultés avant d'aborder les phénomènes thermiques liés aux changements d'états.



Nous n'avons pas de progression originale à proposer; en effet nous avons repris l'exposé traditionnel des changements d'état en 6e mais en multipliant les exemples et lui donnant des objectifs un peu différents.

Nous avons insisté sur les points suivants :

- . Toutes les matières peuvent avoir plusieurs états suivant leur température ;
- . L'état dans lequel se trouve la matière à la température ambiante n'a aucun caractère particulier ;
- . La transformation a lieu en sens inverse quand on inverse le transfert de chaleur ;
- . La température du changement d'état d'un corps pur est la même pendant toute sa durée, elle est caractéristique d'une substance (il est nécessaire de prendre plusieurs exemples pour montrer que les valeurs  $10^{\circ}$  et  $100^{\circ}$  ne sont valables que pour l'eau) ;
- . Dans le cas de la fusion-solidification, les deux transformations inverses se font à la même température.

Par contre, nous avons renoncé à envisager la chaleur latente de changement d'état et donc à montrer la différence entre chaleur et température.

Remarque : nous avons étudié les changements d'état faisant intervenir des gaz (vaporisation-condensation) mais nous pensons qu'ils ne sont pas totalement compris en 6e à cause de la difficulté présentée par l'état gazeux.

### 3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail tente d'apporter une meilleure connaissance des idées préalables des élèves et de leur influence sur l'acquisition des notions scientifiques au collège. Cet inventaire révèle un capital d'idées à exploiter, mais aussi des préjugés à combattre. Aussi nous semble-t-il que l'enseignement en sixième et cinquième devrait avoir pour objectif principal la valorisation des connaissances spontanées des élèves en les clarifiant et les coordonnant.

Les enquêtes que nous avons menées ont montré que l'enfant recherche autour de lui des repères, c'est-à-dire ce qui, dans son environnement, se conserve ou au contraire se modifie. Le physicien qui a les mêmes préoccupations peut aider l'enfant à combler ce besoin, en dégageant les notions scientifiques sous-jacentes, et en rectifiant les choix lorsqu'ils sont erronés.

A l'issue de cette étude nous proposons une réflexion sur les objectifs que l'on pourrait raisonnablement donner à l'enseignement en 6e et 5e, dans les domaines sur lesquels nous avons travaillé.

. La notion de température qui dans l'enseignement traditionnel paraît aller de soi, dès que l'on a introduit l'usage du thermomètre, demanderait au contraire qu'on s'y attarde, sous peine de voir persister des idées erronées en contradiction avec l'enseignement ultérieur de la chaleur, concept qui se construit alors à côté des préjugés initiaux et ne les corrige pas.

Nous avons vu précédemment que les enfants attribuent à chaque matière une température "normale" particulière vers laquelle revient spontanément sa température lorsqu'on supprime l'action d'une source chaude ou froide. Par ailleurs, en dehors de cette température normale, les enfants classent les températures d'un objet en deux autres catégories : l'objet est chaud ou froid. Ces deux qualificatifs qui s'opposent, prennent un sens absolu (et non relatif : plus chaud que ... ou plus froid que ...).

Il faut montrer que la température d'un objet est le résultat de son interaction avec son environnement

Il conviendrait donc, en sixième, de montrer que la température d'un objet est le résultat de son interaction avec son environnement et non une propriété particulière de la matière qui le constitue, et que l'ensemble des températures d'un corps forme une série continue sans catégories particulières.

Dans ce but, des expériences d'interactions calorifiques entre corps à températures différentes (sans changement d'état) seraient réalisées par les élèves de sixième.

D'abord, nous suggérons l'interaction entre deux liquides - sans les mélanger . Si l'un des liquides est chaud et l'autre froid, l'interaction sera bien admise en vertu de la prétendue opposition entre le "chaud" et le "froid" qu'elle risque de renforcer. Aussi est-il indispensable d'opérer dans des domaines variés de température en insistant sur l'interaction entre deux corps "chauds" (ou froids) de façon à montrer que dans tous les cas la température la plus élevée décroît en même temps que la température la plus basse croît, les deux tendant vers une température intermédiaire. Ce constat serait l'un des objectifs du programme de sixième.

Ceci étant accepté, on envisagerait l'interaction entre un objet et l'air environnant dans le but de montrer que cet objet n'a pas de température propre et que contrairement aux sensations qu'ils provoquent, tous les objets d'une pièce sont à la même température, égale à celle de l'air.

une approche de la notion de chaleur peut être faite en classe de 5e au cours d'expériences d'interactions calorifiques

. La notion de chaleur trop abstraite pour les enfants de 11 ans ne serait pas explicitement au programme de la classe de sixième. Cependant des opérations de chauffage de quantités différentes de liquide (et de liquides différents) par des sources de chaleur variées permanentes permettraient une approche de la notion abstraite de chaleur à travers les facteurs concrets dont elle dépend. On se bornerait, en sixième, à des relations qualitatives entre ces grandeurs concrètes et l'on veillerait simplement à l'emploi correct des mots chaleur et température.

La notion de chaleur serait introduite en cinquième en reprenant d'une part les opérations de chauffage et, d'autre part, les expériences d'interaction dans le but de montrer que les variations de température observées peuvent s'interpréter globalement par un transfert de chaleur, grandeur qui se conserve dans les expériences envisagées.

Ainsi, les mots chaleur et température pourraient être distingués, en considérant les propriétés différentes de ces deux grandeurs.

Il faut d'abord montrer que l'état physique d'une matière ne lui est pas propre mais qu'il est lié à sa température. Le palier de température peut ensuite être étudié

. *Changement d'état* : l'idée que toutes les matières peuvent posséder des états différents, liés à leur température, n'est pas évidente pour les enfants de sixième qui ont plutôt tendance à considérer que l'état dans lequel se trouve chaque matière à la température ambiante a le statut particulier d'"état normal". Ce préjugé est le premier à combattre en s'appuyant sur des exemples expérimentaux variés.

Il convient de noter que l'idée de la matière à l'état gazeux présente des difficultés qui ne seront pas entièrement surmontées en sixième. En effet, les enfants ont beaucoup de mal à envisager quelque chose qu'ils ne voient pas.

La généralité du phénomène de changement d'état ayant été étudiée, on fera ensuite constater l'existence du palier de température au cours d'expériences réalisées par les élèves avec des matières bien choisies.

En cinquième, on pourra compléter l'étude des changements d'état faisant intervenir des gaz.

L'étude de la chaleur latente du changement d'état, complètement étrangère aux idées des enfants, sera exclue de la sixième et de la cinquième, elle sera abordée plus tard, après que la notion de chaleur ait été introduite autrement.

Annie LAVAL

Lycée - Collège "Limosin"  
Limoges.

**POSSIBILITES ET OBSTACLES A PROPOS  
DE L'UTILISATION D'UN SYSTEME LOGO**

**Jean-Luc Zimmermann  
Christian Nidegger  
André Giordan**

*L'introduction de micromondes au sein des écoles primaires, de machines et de langages nouveaux, nécessite une vigilance extrême quant à la construction du savoir chez les enfants et aux stratégies de formation à mettre en place. Une première phase de recherche réalisée en condition d'apprentissage permet d'objectiver les obstacles rencontrés et d'aboutir à des réflexions, des propositions techniques et pédagogiques sur l'utilisation de l'outil informatique.*

Notre laboratoire est engagé depuis 4 ans dans la recherche d'environnement et de stratégies pédagogiques permettant de transformer les conditions habituelles d'enseignement dans le but explicite de favoriser la construction du savoir scientifique par les élèves eux-mêmes.

Aussi les travaux sur le langage Logo ont suscité tout de suite l'attention soutenue de notre équipe de recherche. Nous pensions trouver dans les conceptions développées notamment par S. Papert, une certaine convergence avec nos propres travaux, enrichie des énormes possibilités que propose la micro-informatique. Nous n'avons pas voulu cependant en rester à des paroles généreuses, en didacticiens confrontés quotidiennement aux difficultés des apprentissages ; nous avons essayé de mettre en place une série de moyens pour voir si les résultats obtenus pouvaient être à la hauteur de nos attentes. Autrement dit nous avons tenté de tester si Logo avait toutes les vertus qu'on lui prêtait.

C'est un résumé des résultats obtenus lors d'une première phase de recherche - une seconde est en cours - que nous présentons ici. Nous les ferons suivre de quelques considérations pour tenter de pallier aux difficultés mises à jour, car si en effet on peut mettre en évidence un certain nombre d'intérêts et d'apports formateurs, les résultats observés sont loin, pour diverses raisons, notamment conjoncturelles, des propositions généreuses mises en avant par les nombreux zélateurs de Logo, d'où l'intérêt de les répertorier,

les catégoriser et les caractériser afin de proposer des procédures, des situations de remédiations.

## 1. METHODOLOGIE

quand des enfants de  
5-12 ans dialoguent  
avec une tortue

Les élèves (5-12 ans) travaillent sur la machine par groupes de deux pour une séance hebdomadaire de 45 minutes. Au départ, il était prévu que l'expérience durerait au moins une année. En réalité la motivation des enfants fait qu'elle se poursuit sans discontinuer depuis deux ans.

La première séance était consacrée à une brève introduction. Nous demandions à l'enfant d'imaginer le dialogue qu'il pourrait avoir avec la tortue afin qu'elle se déplace à l'endroit désiré. Ensuite, il leur était proposé d'élaborer un projet librement choisi de figures ou de micromondes. Les enfants avaient à leur disposition un classeur contenant des informations sur la mise en marche de l'ordinateur, l'utilisation des disquettes, quelques éléments du langage ainsi que quelques aides didactiques. Les difficultés rencontrées par les élèves pour maîtriser la notion d'angle (en particulier sa mesure en degrés) nous ont conduits à construire un "rapporteur-tortue".

Lors de ces séances, les deux animateurs se partageaient alternativement les rôles de "facilitateur" et d'observateur.

## 2. RESULTATS ET COMMENTAIRES

des apprentissages  
facilités mais ...

L'intérêt des élèves pour ce nouveau type d'activités est manifeste, les élèves peuvent rester sur la machine plus d'une heure, ce qui est remarquable quand l'on connaît le peu d'attention existant pour d'autres travaux. La richesse et la qualité des communications élève-élève, élève-machine, élève-animateur sont également à mettre en avant. Un certain nombre d'apprentissages sont également observables (valeurs numériques, paramétrage des procédures, relations dans les figures).

Toutefois nous ne voulons pas développer plus en avant ces aspects, largement décrits par ailleurs, nous souhaitons plutôt mettre l'accent sur les obstacles rencontrés, car la plupart des acquisitions n'ont pu se réaliser que grâce aux investissements annexes des expérimentateurs. De même, la nouveauté de cette pratique pour les élèves, la conviction d'activités pionnières pour les enseignants, bref l'effet Pygmalion ont dû largement contribuer à faciliter ces apprentissages.

... des difficultés en plus

En fait, l'utilisation de Logo dans un contexte pédagogique présente un nombre certain de difficultés. Nous pouvons en distinguer trois grands types :

- celles qui concernent la manipulation de la machine (mise en marche, clavier, écran, disquette, etc.)
- celles qui découlent des contraintes imposées par l'implantation du langage Logo sur des microordinateurs du commerce, (affectation des touches, structure des messages, éditeur, etc.).
- celles qui proviennent de l'utilisation de la géométrie de la tortue et qui sont essentiellement conceptuelles et procédurales.

manipuler c'est délicat

### 2.1. Obstacles liés à l'utilisation d'un microordinateur.

L'utilisation de microordinateurs du commerce en vue d'une activité pédagogique avec des jeunes enfants (5-12 ans) pose de nombreux problèmes. En effet, déjà la "simple" mise en marche du système demande une dizaine de choix et de manipulations à effectuer dans un ordre bien précis ! Après 18 mois d'expérimentation, il n'y a que quelques groupes qui sont capables de mener à bien rapidement cette première étape. Il leur faudra encore s'habituer à utiliser un clavier composé de lettres majuscules et de signes "bizarres" auxquels on n'accède que par des manipulations à caractère plutôt ésotérique. Enfin nous ne parlerons pas de la nécessité de sauvegarder "l'espace de travail" sur une disquette à la fin de chaque séance, afin de pouvoir le "ramener" au début de la séance suivante.

### 2.2. Obstacles liés aux logiciels

Malgré nos efforts de traductions et d'adaptations, nous constatons que pour les enfants, les messages de l'ordinateur restent aussi sibyllins que s'ils étaient écrits en anglais. Les causes sont multiples, analysons par exemple le message :

lire et comprendre un message: que d'obstacles à franchir !

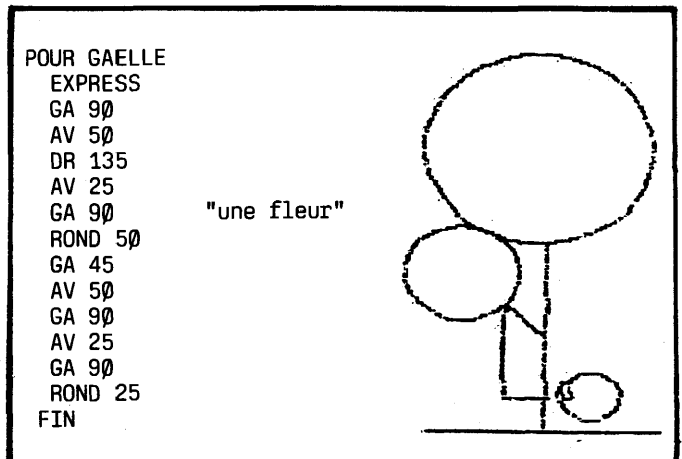
DROITE 9Ø  
 AVANCE 1Ø  
 NE SAIT PAS COMMENT AVANCE 1Ø

D'abord, la lecture d'un texte écrit en caractères "majuscules-informatiques" est très difficile pour de jeunes enfants. Ensuite, le texte du message apparaît sur l'écran à la suite de la dernière instruction tapée, il décale d'une ligne vers le haut les lignes

précédentes ce qui fait que les enfants différencient mal ce message des autres instructions. Quant au texte du message, le moins qu'on puisse dire est que son sens n'est pas particulièrement évident ! De même, les messages de l'ordinateur sont souvent imprégnés d'un langage psycho-informatique inhabituel à l'enfant, comme ces exemples que nous extrayons des différents Logo :

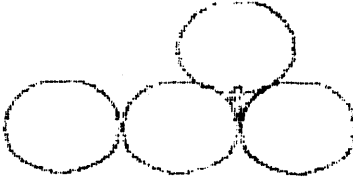
```
FICHER INEXISTANT
AVANCE EST UNE PRIMITIVE
AVANCE EST UN PRIMITIF LOGO
ERREUR ENTREE/SORTIES
X N'A PAS DE VALEUR NIVEAU 1 LIGNE 10 DE MAISON
... etc.
```

exemples de travaux  
réalisés par les  
élèves.





|            |                          |
|------------|--------------------------|
| POUR SACHA |                          |
| LP         |                          |
| GA 90      | "Les anneaux olympiques" |
| AV 50      |                          |
| DR 90      | (8 ans)                  |
| PP         |                          |
| ROND 50    |                          |
| DR 90      |                          |
| LP         |                          |
| AV 50      |                          |
| GA 90      |                          |
| PP         |                          |
| ROND 50    |                          |
| DR 90      |                          |
| LP         |                          |
| AV 50      |                          |
| GA 90      |                          |
| PP         |                          |
| ROND 50    |                          |
| AV 20      |                          |
| GA 90      |                          |
| ROND 50    |                          |
| FIN        |                          |



The diagram shows the five Olympic rings arranged in their standard pattern: three rings in the bottom row and two rings in the top row, with the top ring overlapping the two rings below it.

### 2.3. Obstacles conceptuels

la spatialisation: une  
autre difficulté

Ces divers obstacles pris en compte et dépassés, un autre type de difficultés surgit avec acuité, il concerne la maîtrise des relations spatiales et géométriques qui définissent le mouvement de la tortue. Ces problèmes de représentations sont de tout type. Pour ne citer que les plus prégnants, il y a d'abord la verticalité de l'image par rapport au brouillon de l'élève situé sur la table. Il y a la notion d'angle et sa grandeur : que signifie "DROITE 90", c'est-à-dire l'angle droit pour ces élèves et encore plus "DROITE 60" ou "DROITE 45", surtout lorsqu'il s'agit de prendre en compte l'angle complémentaire, ce qui perturbe encore plus les élèves qui ont des rudiments de géométrie habituelle.

Il faut ajouter que la maîtrise des relations angulaires, spatiales et géométriques au sens traditionnel du terme est redoutable dans cet environnement, d'autant plus que se pose alors, pour un non-informaticien, une question d'écriture des procédures, excessivement formalisée dès que l'on sort des traditionnels carré, triangle ou maison.

### 3. APRES LOGO ... LOGO ?

Logo oui...

avec des enseignants  
bien formés

Ainsi, dans l'état actuel des systèmes étudiés, nous pouvons remarquer que la convivialité de Logo n'est pas résolue. Cela est important à mettre en avant lorsqu'on a pour souci de généraliser ces activités. Actuellement, ces obstacles sont gommés, du moins partiellement, par l'intervention d'une tierce personne compétente en la matière. Il est donc difficile de déterminer la part prise par l'adulte dans les productions que réalisent les enfants. Les observations que nous avons faites semblent montrer qu'elle serait loin d'être négligeable. Certes, ces fonctions sont du ressort de l'enseignant mais seront-elles forcément énoncées avec autant de compétence par l'enseignant non prévenu. Cet aspect est nettement corroboré par un certain nombre d'observations effectuées chez des enseignants débutants qui se désespèrent ou se débattent au travers de multiples difficultés décrites au point 2.

Dès lors, notre travail avec les enfants nous suggère un certain nombre de qualités que devrait posséder un matériel réellement utilisable dans l'enseignement, mais surtout il nous fait entrevoir un certain nombre de recherches à entreprendre pour développer la formation des enseignants de base.

#### *\* Modifications à apporter au matériel*

un clavier  
mieux  
adapté

des périphériques  
multipliés

Dans la mesure du possible, il faudrait éviter que l'enfant ait à utiliser le clavier original de l'ordinateur : on pourrait envisager un clavier particulier comportant un plus grand nombre de touches plus maniables, correspondant aux lettres dans l'ordre alphabétique, aux principaux mots du vocabulaire primitif et aux touches de contrôle. On éviterait ainsi l'affectation multiple d'une seule touche.

De plus, il est dommage de se limiter à l'utilisation du clavier pour communiquer avec l'ordinateur, on pourrait expérimenter d'autres dispositifs comme des manettes de jeu, des tables à digitaliser, des écrans sensitifs, des souris, des commandes directes à la voix, ou encore des commandes traçant sur un écran divisé en "fenêtres", une pour les commandes une pour le dessin, etc... Ces mêmes remarques s'appliquent également aux organes de communication vers l'extérieur de l'ordinateur. Au traditionnel moniteur vidéo, dont la lecture reste difficile, même pour nos enfants saturés de télévision, il conviendrait d'adjoindre des dispositifs tels que tables traçantes ou imprimantes, des synthétiseurs de voix, sans oublier ... des robots comme la tortue de sol.

une sauvegarde aisée

De même, pour simplifier la conservation des travaux entre deux séances de travail et pour éviter l'utilisation de disquettes magnétiques dont la manipulation se révèle difficile pour de jeunes enfants, on peut envisager par exemple le recours à des systèmes de mémoire que l'enfant n'a pas à manipuler, comme des disques durs à grande capacité. Il faudrait également veiller à ce que les procédures permettant de conserver un travail soient les plus simples possibles.

des messages  
décriptables

\* *D'un point de vue graphique*, les messages de l'ordinateur devraient être composés de caractères différents de ceux utilisés pour taper des instructions (par exemple en vidéo inversé) et pour faciliter la lecture, les messages devraient être écrits en minuscules accentuées, avec la ponctuation nécessaire. Il serait intéressant de disposer de plusieurs jeux de messages adaptés à l'âge de l'utilisateur. Si FICHER INEXISTANT constitue une information suffisante pour un adulte ou un adolescent désirant "programmer" en Logo, un enfant comprendra certainement mieux : "je ne trouve pas BATEAU sur ta disquette".

un langage plus  
performant

Ces modifications semblent réalisables, même pour des logiciels Logo destinés aux microordinateurs de la génération actuelle. Pour des machines plus puissantes, il serait souhaitable d'accroître la convivialité, en adjoignant à Logo un système d'analyse des messages transmis par l'enfant (système-expert). En effet dans les Logo étudiés, si un enfant fait dix fois de suite la même manipulation inadaptée, l'ordinateur lui retourne dix fois le même message. On ne peut vraiment pas dire qu'il y a dialogue entre l'enfant et la machine. Un système d'analyse permettrait à l'ordinateur de mettre progressivement l'enfant sur la voie d'une solution plus adaptée. Ce système nous semble d'ailleurs plus à même de réaliser la condition d'apprentissage réciproque enfant-machine tel que le conçoivent les créateurs de Logo.

créer des micromondes  
à contenus  
spécifiques

\* *Quant à l'univers de la tortue géométrique*, le plus souvent mis en avant, est-il vraiment le micromonde le plus adéquat ? En effet, c'est une question qui se pose aujourd'hui avec acuité, surtout si l'on a pour finalité d'introduire les élèves à la culture informatique par le biais des concepts et des opérations adaptées, par exemple, à l'analyse ou à l'exécution d'une tâche. Le nombre de difficultés rencontrées à la fois en font, en fait, un terrain trop escarpé pour démarrer ce type d'apprentissage. Des micromondes plus favorables sont à élaborer, on pourrait trouver des solutions plus appropriées dans des micromondes

construire des  
instruments d'évalua-  
tion et établir les  
conditions d'une  
remédiation

plus restreints, avec des contenus spécifiques de logique, de physique ou de biologie, etc... que les enfants pourraient explorer à leur guise. Un certain nombre sont en cours de construction et d'évaluation dans notre laboratoire.

*\* C'est d'ailleurs sur ce dernier aspect que nous souhaitons insister en conclusion. Il est aujourd'hui nécessaire de ne pas se limiter à fabriquer des langages, des matériels, des micromondes. Certes cela constitue une première étape indispensable, mais elle s'avère rapidement insuffisante. Il est également souhaitable de construire des instruments d'évaluation adaptés aux objectifs visés. Il est en effet nécessaire d'objectiver au plus vite les possibilités et les contraintes des divers systèmes en rapport avec les apprentissages des élèves. D'une part cela permettrait, bien sûr, de dépasser les affirmations des diverses chapelles trop promptes à s'enthousiasmer, ainsi que la tendance à la "nouveau pour la nouveauté" qui risque de reproduire les mêmes déboires constatés lors de l'introduction des diverses pédagogies actives ou même de l'audiovisuel. Mais d'autre part cela fournirait aux enseignants un certain nombre d'outils pour leur propre formation. Ces études leur permettraient en particulier de mieux analyser les difficultés inhérentes à chaque environnement et par là à envisager plus facilement des conditions de remédiations ou d'autres possibilités.*

C'est d'ailleurs ce qui ressort le plus nettement de ce travail : un environnement, un didacticiel, du langage ne se construisent pas a priori, ils s'adaptent en contact direct avec le public auquel on veut s'adresser, ici les élèves de l'école primaire. Cela peut sembler évident, pourtant les producteurs, les éditeurs de matériels informatiques semblent encore trop souvent l'ignorer.

Il est vrai que des recherches spécifiques sont à développer à ce propos, en particulier on connaît encore mal les structures d'accueil, les procédures utilisées par les élèves ainsi que leurs conceptions face aux langages employés ou aux contenus abordés.

Jean-Luc ZIMMERMANN  
Christian NIDEGGER  
André GIORDAN

Laboratoire de Didactique et  
d'Epistémologie des Sciences.FAPSE.  
Université de Genève.

## SUR LA CARACTERISATION DES OBJECTIFS DE L'INITIATION AUX SCIENCES PHYSIQUES

**Jean-Louis Martinand**

*Cet article est principalement constitué de larges extraits du texte de synthèse rédigé par Jean-Louis Martinand, pour présenter les lignes de force de sa thèse d'état soutenue en mai 1982 à l'Université d'Orsay.*

*A partir de ses pratiques d'innovation et de recherche conduites dans trois domaines :*

- *l'élaboration d'un enseignement sur les techniques de fabrication pour les élèves de 13 - 14 ans.*
- *une réflexion sur la notion d'élément chimique en 5ème*
- *l'approche de la notion de dureté en 6ème,*

*il dégage deux notions-clés pour la didactique des sciences physiques : celle de pratiques sociales de référence et celle d'objectif-obstacle.*

La recherche en didactique des sciences et techniques en est à ses premiers développements. Ses objets, ses notions, ses méthodes et ses produits sont donc en évolution rapide, l'exploration abordant de multiples problèmes. Si l'on peut voir se dessiner quelques domaines et démarches privilégiés, il n'est pas possible d'en fixer dès maintenant les caractéristiques pour l'avenir. Dans ces conditions, une recherche ne s'inscrit pas forcément d'abord dans une lignée commandée par les sujets d'étude ou les techniques, mais se trouve insérée dans un réseau de besoins et de préoccupations beaucoup plus vaste, qui va de la réflexion sur la science aux innovations dans son enseignement. Il nous paraît donc nécessaire d'examiner de ce point de vue les circonstances qui conditionnent notre propre travail.

### RECHERCHE DIDACTIQUE ET RENOVATION DES ENSEIGNEMENTS.

#### *. La rénovation des contenus.*

Dans les années 70, un important mouvement de rénovation de l'enseignement des sciences physiques et de la technologie a touché les lycées, les collèges et l'école primaire. Il s'est traduit par la modernisation et la refonte des contenus enseignés et l'introduction beaucoup plus précoce d'une initiation scientifique et

technique, dès le Cycle préparatoire sous forme d'activités d'éveil et, en 6ème et 5ème, avec les sciences physiques.

deux finalités de  
l'initiation scientifique

A ces niveaux de l'enseignement un débat fondamental émerge de la comparaison des tendances internationales de cette rénovation, révélant deux buts très différents de l'initiation scientifique : développer la personnalité des enfants à travers des activités scientifiques (comme dans *Sciences de 5 à 13 ans pour l'Angleterre*) ou réaliser une première formation scientifique pour acquérir des connaissances précises (comme dans les unités de physique pour l'école moyenne conçues à Kiel en Allemagne). Ces deux tendances plus ou moins compatibles se retrouvent dans les propositions du Groupe de travail de la Commission Lagarrigue, par exemple avec les "modules" d'initiation aux sciences et techniques en 4ème et 3ème (astronomie, chimie, électronique, photographie, polymères, automatismes, techniques de fabrication). La volonté d'en faire la synthèse est à la base des travaux et publications de l'équipe de recherche en didactique des sciences de l'INRP, comme le n° 74 de la collection *Recherches Pédagogiques* dont nous avons assuré la coordination (1).

l'intérêt de la notion  
d'objectif

Mais l'existence même de ces deux tendances impose de prendre en compte à la fois des aspects pédagogiques ou même psychologiques et sociologiques et les contenus scientifiques, lorsqu'on propose une initiation scientifique pour des enfants que les professeurs de sciences, et spécialement les physiciens, n'ont pas l'habitude d'avoir devant eux. En effet, les enseignants de lycée ou d'université raisonnent surtout en termes de programmes : quels sont les sujets d'étude ? les notions principales ? les enchaînements de l'exposé ? Ici, il est nécessaire de l'interroger beaucoup plus concrètement : qu'est-ce que les enfants vont faire ? sur quels problèmes vont-ils travailler ? avec quels appareils ? selon quels raisonnements ? sur quelles connaissances vont-ils déboucher ? comment pourront être formulées ces connaissances ? qu'est-ce qui va changer dans leurs attitudes vis-à-vis du monde physique ?

---

(1) "Activités d'éveil scientifique à l'école élémentaire III : Initiation physique et technologique". Coll. *Recherches pédagogiques* n° 74. Paris. INRP. 1974.

sciences de l'éducation  
et "sciences pour  
l'enseignement"

. *La constitution des didactiques*

En France, les recherches sur l'éducation restent sous-développées. Les "sciences de l'éducation", qui ne sont assez souvent que la juxtaposition de disciplines traditionnelles (psychologie, sociologie, économie, histoire, philosophie) s'intéressant à un objet trop longtemps négligé, sont de création récente et fragile. Surtout, elles ne répondent pas totalement et directement au besoin de recherches pour l'enseignement, que les crises du système éducatif et les actions de rénovation appellent de manière urgente. Parmi ces recherches pour l'enseignement, qu'on peut qualifier de *recherches pédagogiques*, la rénovation des disciplines scolaires exige des études approfondies et concrètes pour améliorer les contenus et les méthodes, et constituer des *didactiques de ces disciplines* (ou des *méthodologies*, comme on dit souvent à l'étranger) moins doctrinales et plus expérimentales.

La recherche en didactique des sciences physiques rentre dans ce cadre. Il ne s'agit donc pas de science appliquée au sens où ce serait simplement de la physique ou de la psychologie appliquées à l'enseignement. L'analogie la meilleure consiste à la penser à l'instar des sciences pour l'ingénieur, telles qu'elles sont maintenant reconnues dans les Instituts de recherches ou à l'Université. Dans notre cas, il s'agit de *sciences physiques pour l'enseignement* qui sont construites peu à peu par des physiciens, à partir des sciences physiques fondamentales et appliquées, et en fonction des contraintes imposées par l'école, par l'enfant, par les maîtres, par les finalités de l'éducation. Comme les sciences pour l'ingénieur ont à tenir compte des contraintes de la production, dans leurs concepts, dans leurs méthodes et dans leurs sujets de recherche.

Un exemple tiré de notre travail sur les activités d'éveil illustrera ce que nous entendons par "physique pour l'enseignement". Au Cycle préparatoire un enfant de six ans sait peu de chose sur l'évaporation de l'eau ; c'est un succès à cet âge de lui permettre de comprendre, après des activités scolaires diverses, que du linge qui sèche ne subit pas la même transformation que l'eau qui s'évapore. Lorsqu'il a assimilé cette distinction, il est facile de lui faire employer des mots différents (au départ il dit et pense que l'eau "sèche"). Ce peut donc être un objectif du cycle préparatoire que de l'amener à cette distinction. Or le savoir sur lequel on débouche ne fait pas partie de la "physique" telle qu'on l'imagine d'après son histoire et son état

construire une  
physique pour le  
maître

présent, mais il doit être exploré, formulé, maîtrisé totalement à ce niveau par la maîtresse de la classe. Cette *physique pour le maître*, il faut la construire de manière systématique et rigoureuse. Plus que de physique appliquée ou même applicable, très différente d'une psychologie de la connaissance du monde physique chez les enfants même si elle doit en utiliser les données, il s'agit d'une physique particulière qui s'élabore en s'investissant dans l'enseignement. On pourrait parler d'une *physique "impliquée"* dans l'enseignement.

L'expérience des modules d'initiation aux sciences et techniques du Groupe de travail de la Commission Lagarrigue montre le même besoin de développer des recherches pour construire la science pour l'enseignement, à un autre niveau de formation. Proposer des contenus originaux et modernes, se libérer du dogmatisme (celui qui impose de ne "dire aux enfants que des choses qui ne seront jamais remises en question"), explorer des cheminements nouveaux (sans croire à l'existence d'une "voie royale"), impose que les essais puissent être discutés, analysés de manière rationnelle. Il faut expliciter les buts dans une forme qui permette la communication, préciser ce qu'on doit pouvoir observer, être prêt - soit à l'avance par des études préalables objectives et approfondies, soit en cours d'essai - à déceler les difficultés des enfants ou des maîtres, mettre sur pieds un dispositif pour apprécier les résultats et prédire des évolutions ultérieures. Ces tâches demandent des moyens intellectuels et matériels, présentent des exigences de généralité et d'objectivité qui sont celles de toute recherche : elles sont de la recherche. Et l'histoire récente de l'apparition des recherches didactiques montre que ce sont ces tâches qui ont déterminé de petits groupes de scientifiques à "faire le saut" pour fonder des équipes de recherche didactique et former des chercheurs (enseignements de troisième cycle).

#### BUTS ET METHODES D'INVESTIGATION.

• *Origine et nature des problèmes.*

rendre les objectifs  
utilisables

Nous avons cherché à préciser les caractéristiques qui permettraient de rendre utile aux maîtres et maniable par eux un tableau des objectifs pour un projet d'enseignement de l'ordre du trimestre. Au-delà de la mode des "pédagogies par objectifs" et du "langage des objectifs" qui ne pénètrent pas réellement l'enseignement (sauf dans les essais de programmation, liés ou non à l'emploi d'ordinateurs), nous souhaitons trouver comment faire des objectifs un *instrument utilisable*.



Une condition essentielle pour cela est qu'ils soient peu nombreux. Notre proposition consiste à exprimer en termes d'objectifs certaines capacités ou attitudes que l'on cherche à développer et qui correspondent à un moment donné à des difficultés (obstacles) que les élèves peuvent franchir : ainsi la distinction objet/substance qui permet aux enfants du CP de comprendre que si le linge sèche, l'eau s'évapore.

Associant la connaissance des obstacles et la définition des compétences visées, cette conception est à l'arrière plan des exemples que nous présentons.

initiation aux techniques de fabrication

Le premier est une tentative volontaire d'introduction aux *techniques de fabrication mécaniques en 4ème*. L'idée centrale était de faire construire en classe par les élèves des objets assez complexes comme un compresseur à membrane ou un moteur électrique. Pour cela, ils disposaient de petites machines-outils transformables (tour, perceuse, fraiseuse ...), et de dessins et documents pour la fabrication. Le but était de faire connaître les grands modes de fabrication (usinage, pliage, fonderie ...), de se représenter et de comprendre le fonctionnement des machines et d'aborder des problèmes scientifiques (matériaux, géométrie ...) ou industriels.

notion d'élément chimique

Le second exemple d'innovation trouve son origine dans les difficultés des professeurs pour enseigner la *notion d'élément chimique en 5ème*. C'est une situation assez typique de la recherche didactique, où l'institution prend des décisions sans que les conditions de réalisation en soient assurées. La recherche est alors nécessaire pour les faire passer dans les faits (ou les critiquer) ; elle contribue à la définition de l'objectif de connaissance fondamental du programme de 5ème. On peut remarquer à ce propos que l'élaboration de l'objectif est indissociable de celle du contenu dont elle n'est qu'un aspect, et que les programmes sont toujours très insuffisants pour apporter une réponse.

notion de dureté des matériaux

Enfin, le troisième exemple est un essai d'activités sur la *dureté des matériaux en 6ème*. De manière assez paradoxale, la propriété de dureté est complexe pour le physicien qui a tendance à s'en désintéresser, (malgré le renouveau des travaux sur la plasticité), mais elle est utile au mécanicien, et se révèle très facilement accessible aux enfants. La question que nous nous sommes posée ici est la suivante : si l'on cherche à laisser aux enfants le maximum d'initiative

pour inventer des dispositifs, comparer les matériaux entre eux, formuler leurs résultats (comme dans un thème d'étude des activités d'éveil), comment le maître pourra-t-il aider les enfants à progresser vers une idée objective de la dureté ?

. *Principes et démarches de travail*

une recherche-  
action

Par ses problèmes et sa manière de les aborder, notre travail se situe évidemment du côté des "recherches-actions", c'est-à-dire de recherches qui s'articulent de manière très étroite avec des actions d'innovation ou de formation des maîtres.

la double signification  
des résultats

Notre ambition a été avant tout de chercher une adéquation entre les problèmes posés par l'innovation sans en pervertir les orientations pédagogiques, et les démarches de l'investigation sans en atténuer la rigueur scientifique. C'est pourquoi notre travail n'est pas seulement un rapport sur quelques cas, même typiques. Il se veut aussi une recherche, de deux façons complémentaires. La première repose sur la double signification des réponses que nous apportons. On peut certes les interpréter comme des *propositions concrètes*, étayées sur des enquêtes plus ou moins approfondies, mais qui ne sont que des orientations de principe mieux explicitées de l'action d'innovation. Ainsi apparaissent la description des contenus ou le tableau des objectifs de l'initiation aux techniques de fabrication, le projet sur la dureté des matériaux ou l'analyse de la notion d'élément. Mais on peut les interpréter aussi comme des *énoncés abstraits et réfutables* selon un tout autre point de vue : "si les contraintes sont les suivantes, alors il est possible d'enseigner telle notion, mais à certaines conditions ...". Par exemple : "si les réactions chimiques disponibles sont limitées à une liste définie, si les raisonnements sont du type qualitatif, si auparavant les élèves ont pu comprendre les changements d'état physique des substances, alors il est possible de présenter sans incohérence la notion d'élément chimique de la manière suivante ...".

La démarche est alors très différente : la proposition n'est pas unique, mais insérée dans un ensemble de possibles, les méthodes d'analyse sont beaucoup plus générales et tendent vers une certaine formalisation (ici l'analyse de la matière qu'on pourrait aussi appeler "épistémologie appliquée").

Nous savons combien les recherches-actions sont

souvent criticables, et critiquées. Mais elles nous paraissent irremplaçables dans des cas comme ceux que nous avons étudiés ; et nous pensons avoir contribué dans la mesure de nos moyens à les rendre plus scientifiques. Il reste à faire maintenant un bilan des acquis obtenus.

## PROPOSITIONS POUR L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE

exigences contradictoires pour les publications de recherche

. *Matériaux pour la formation des maîtres.*  
 Nous voulons faire au préalable une remarque. On pose souvent la question : à qui s'adressent des publications de recherche en didactique ? A ce propos les chercheurs sont souvent sommés de satisfaire à des *exigences contradictoires* : être lisibles par n'importe quel enseignant, et être au niveau "international". Mais par qui un tel travail est-il vraiment lisible ? L'expérience montre qu'un enseignant isolé, sauf cas exceptionnel d'innovateur ou de "chercheur qui s'ignore", n'est pas capable de "pénétrer" dans une recherche avec sa manière de poser les problèmes, son minimum d'abstraction, de références, de techniques. Aussi les publications sont-elles destinées avant tout aux autres chercheurs d'abord, ou à des groupes qui ont le temps et les moyens de les étudier, c'est-à-dire soit des équipes d'innovation, soit des groupes de formation initiale et continue.

C'est le cas typique du numéro 74 de la collection *Recherches pédagogiques*, consacré à l'initiation physique et technologique à l'école primaire : il a été utilisé dans les écoles normales pour les stages d'élèves-instituteurs et de "recyclage". Ce type de travail a été un document de base pour inventorier avec les formateurs de façon systématique les buts possibles d'une initiation, les niveaux des acquisitions, les domaines d'étude. En bref, pour construire une image des contenus selon l'esprit des activités d'éveil.

un exemple de "science pour l'enseignement"

L'étude sur la définition de l'élément chimique en 5ème est un exemple d'approfondissement nécessaire de telles propositions sur un sujet précis. Elle montre comment la notion peut *fonctionner* au niveau de la 5ème : que permet-elle d'affirmer, ou de nier, à propos des corps et de leurs réactions ? comment se rattache-t-elle à l'idée de conservation de la substance dans les changements d'états physiques ? comment peut-on symboliser les éléments ? quels sont les rapports entre les noms d'éléments et les symboles ?

un exemple de  
démarche d'analyse

quelles sont les relations entre les "manipulations" qu'on peut exécuter sur eux et les propriétés des réactions chimiques ? ...

L'étude de l'essai sur la notion de dureté apporte à la formation, à propos d'un sujet très simple, des suggestions générales pour une démarche d'analyse. Nous avons en effet essayé de rassembler ici la plupart des points de vue utilisables pour éclairer la connaissance des difficultés du sujet, la prise de décision sur les démarches pédagogiques et les contenus enseignés, les interrelations complexes entre tous les aspects de l'action didactique envisagée. Nous y appliquons aussi les idées sur les objectifs dégagées au cours même de notre travail (comparaison avec des pratiques réelles, relations entre notions et manipulations, rattachement des objectifs aux obstacles).

C'est ainsi que nous montrons l'apport de l'histoire des sciences et de l'étude des différentes élaborations conceptuelles ou imaginaires, par exemple poétiques, à la représentation qu'un maître doit avoir pour interpréter ce que font et disent les enfants, et pour guider leur travail.

. *Principes pour la rénovation des contenus*

Au fond, c'est sur ce plan que se situent les grands problèmes de notre travail, et la démarche adoptée pour en exposer les résultats. Nous les rappellerons ici sous la forme de six "principes".

idée de comparer à  
des pratiques de  
référence

\* Le premier a été développé à propos de l'essai d'initiation aux techniques de fabrication mécaniques et appliqué à l'essai sur la dureté. Il consiste à comparer de manière systématique les activités, les situations, les matériels, avec leurs éléments correspondants dans des pratiques dont on veut donner une image réaliste à travers l'enseignement. Nous avons appelé *pratiques sociales de référence* de tels termes de comparaison. Lors de décisions ou discussions sur les programmes scolaires, les interlocuteurs ont souvent implicitement, à l'esprit, l'image des pratiques qu'ils connaissent et qu'ils tendent à privilégier (recherche scientifique, action politique, activités domestiques par exemple). En explicitant ces fondements, les choix de contenus, la reconnaissance des oppositions concret-abstrait, seraient grandement clarifiés ; car ils ne sont pas absolus, mais relatifs à une pratique privilégiée.

La notion de pratique de référence est un guide d'analyse descriptif qui permet ensuite de faire des choix. Dans une perspective de généralisation, on voit qu'on peut faire appel à des pratiques de référence variées :

- recherche scientifique
- ingénierie
- production industrielle ou artisanale
- activités domestiques
- activités culturelles ou idéologiques, politiques.

Il y a d'ailleurs une pratique sociale que nous avons oubliée dans notre liste : celle d'enseignement. Que devient l'enseignement quand il est à lui-même sa propre pratique de référence ? Un tel risque d'enfermement n'est pas une illusion, et la recherche didactique actuelle n'en est pas exempte : des controverses sur la résolution de problème (choix des problèmes et des situations) le montrent bien.

Mais la notion de pratique de référence attire notre attention sur différents points .

- D'abord l'importance et l'attention qu'il faut accorder aux "référénts empiriques" et à leurs relations avec le savoir : le matériel des activités domestiques, les problèmes qui s'y rapportent ne sont pas les mêmes que ceux de la recherche. Il n'est pas évident de passer d'une pratique à une autre, même si on peut penser que les concepts vont rester vrais sinon adéquats dans l'un et l'autre cas.

- Plus profondément, il faut rapporter aux pratiques de référence les problèmes de l'"abstrait" et du "concret" : le concret n'est que le *familier* dans une pratique de référence et reste souvent de l'abstrait pour une autre ; c'est ce qu'avait montré Langevin de manière lumineuse il y a cinquante ans. (1)

---

(1) "Ce n'est pas seulement la notion d'objet qui, primitivement abstraite, nous est devenue familière par l'usage depuis un passé lointain ; nous voyons dans notre expérience récente, des notions très abstraites et difficilement assimilables au début, se colorer de concret à mesure que se formait l'habitude, qu'elles s'enrichissaient de souvenirs et d'associations d'idées.  
"Je citerai des notions comme celle du potentiel, par exemple. Dans ma jeunesse, il n'en était d'abord pas question ; puis, on a commencé d'en parler avec beaucoup de prudence. (suite page 150).

- Il semble difficile de rapporter des activités scolaires à plusieurs pratiques de référence simultanées. Certaines conditions de cohérence des activités sont donc liées au choix d'une référence dominante, sinon exclusive.

A un autre niveau, on peut se demander si le métier d'enseignant ne requiert pas une double maîtrise : celle de la pratique de référence privilégiée par les programmes (et qui n'est pas forcément la recherche) et celle de la transposition didactique.

. Enfin du point de vue de l'apprentissage les questions de motivation et de signification sont certainement liées pour une part à la distance entre pratiques de référence et pratiques familières aux élèves. Une recherche en cours montre que les connaissances d'unités et ordres de grandeur révèlent intelligence ou incompréhension, selon qu'on les rapporte à la pratique physicienne ou aux pratiques familières dans lesquelles elles sont fonctionnelles.

---

Le premier qui l'a introduite dans l'enseignement était mon prédécesseur Mascart au Collège de France, il s'était fait railler, en particulier par l'abbé Moigno qui rédigeait un journal scientifique, *Le Cosmos*, où Mascart était traité de "Don Quichotte" et de "Chevalier du potentiel". Aujourd'hui, nous avons reçu la culture nécessaire et nous sommes habitués. Quand on parle de la différence de potentiel entre deux bornes électriques, nous sentons de quoi il s'agit ; nous avons associé cette idée à un nombre suffisant d'expériences intellectuelles ou physiologiques pour avoir coloré de concret ce qui était primitivement défini de manière abstraite par une intégrale prise le long d'un parcours entre deux points d'un champ. L'ouvrier électricien sait très bien que cette notion d'une grandeur qui se mesure en volts, correspond au fait qu'il peut être secoué s'il se trouve toucher les bornes dans les conditions favorables, ou bien au fait qu'une lampe mise entre les deux bornes rougira, s'éclairera ou sautera et qu'un voltmètre placé dans les mêmes conditions déviara. Il est tellement familier avec les manifestations concrètes de la différence de potentiel qu'il désigne celle-ci du nom familier de "jus". Cela prouve que la notion a cessé d'être abstraite pour lui".  
P. LANGEVIN. *La notion de corpuscules et d'atomes*, p 45-46. Paris. Hermann. 1934.

assurer la cohérence  
entre connaissances et  
expérience

\* Le second principe abordé à propos des notions d'élément chimique et de dureté, concerne les connaissances nécessaires aux maîtres pour "faire la classe" (la "science pour l'enseignement"). Nous avons surtout insisté précédemment sur les caractères spécifiques de l'initiation scientifique à l'école primaire et au collège. Certains pensent d'ailleurs qu'il ne s'agit pas de science (physique, chimie ...) mais "d'éducation à la pensée rationnelle". En réalité on a pu facilement se rendre compte à propos des deux exemples cités que ce qui est en question est bien d'ordre scientifique : il s'agit dans une visée éducative à long terme, d'explicitier et formuler un premier principe de conservation ou d'invariance (élément chimique) ou de mettre au point, sur un cas complexe, les éléments fondamentaux du mesurage et de la construction des grandeurs (dureté). Dans cet esprit, il est nécessaire de contrôler le mieux possible la cohérence entre le niveau de définition et de fonctionnement des concepts, le domaine de manipulation offert aux enfants, et les raisonnements qu'ils peuvent faire. Nous avons insisté tout particulièrement sur les rapports entre "niveau de formulation" du concept et "domaine d'investigation expérimentale" car leur comptabilité nous paraît être une condition pour la compréhension des élèves.

interdépendance entre  
contenus, démarches et  
objectifs

\* Le troisième principe est une contestation des idées de la "pédagogie par objectifs". Il n'est pas question de refuser les objectifs eux-mêmes, avec tout ce que peut donner leur formulation précise et concrète pour aider le travail des maîtres, mais tout ne passe pas par eux. Il est illusoire de penser qu'il suffirait d'abord de les rédiger pour que tout en découle : sujets d'étude, types d'activités, style du maître, etc... Des choix de finalités générales telles que le développement de l'autonomie des enfants (essai sur la dureté, ou initiation aux techniques de fabrication), imposent des démarches pédagogiques avant les objectifs de connaissance ou de savoir faire : ceux-ci vont en dépendre, et il faut qu'il n'y ait pas de contradiction, comme nous avons pu en constater la possibilité lors de l'essai d'initiation aux techniques de fabrication. En réalité, *il y a interdépendance entre contenus, démarches et objectifs*. Dans une action de rénovation il est donc nécessaire de prendre en compte ensemble toutes ces composantes de l'action didactique. On peut penser que les échecs de certaines réformes peuvent être attribués au fait qu'un élément a été étudié de manière isolée (par exemple le "programme") sans examen approfondi de ses relations avec les autres.

rattacher les objectifs  
aux obstacles de  
l'apprentissage

\* Si l'on se situe dans le cadre d'une telle conception, il importe de donner à chaque élément sa place. Le quatrième principe consiste à *rattacher les objectifs aux difficultés ou obstacles que les élèves rencontrent et peuvent franchir à un niveau donné*. C'est, nous semble-t-il, le seul moyen pour que les objectifs soient en petit nombre et donc utilisables par les maîtres, et c'est leur conférer une spécificité (par rapport aux programmes de sujets d'étude, aux descriptions d'activités en classe, aux prescriptions de méthodes ...)

Car il existe différents niveaux du possible pour les objectifs :

- un niveau "épistémologique", dont notre travail sur l'élément chimique est une illustration ;
- un niveau "psychologique", lorsqu'on tient compte des possibilités et des difficultés des élèves, en étudiant leurs comportements d'apprentissage ;
- un niveau "pédagogique", car les possibilités dans la classe, avec les maîtres tels qu'ils sont, sont différentes de celles observées avec un seul enfant.

Les propositions que nous faisons pour ne garder que des objectifs utiles consistent à exprimer les objectifs en termes d'*obstacles franchissables*, c'est-à-dire de difficultés réelles que les élèves rencontrent et peuvent vaincre au cours du curriculum. On peut espérer que les objectifs seront ainsi peu nombreux si les deux hypothèses suivantes se vérifient :

- hyp. I : il existe un nombre limité de progrès décisifs, non acquis spontanément et qui ont une signification du point de vue de la pensée scientifique
- hyp. II : il existe à un moment donné du cheminement éducatif d'un élève et pour une activité donnée un obstacle décisif dont l'aspect dominant peut être situé dans une grande catégorie d'objectifs (attitudes, méthodes, connaissances, langages, savoir-faire ...).

Cet aspect dominant constitue un objectif utile dans la mesure où il permet de guider les interventions du maître sur les difficultés rencontrées par l'élève (les résultats finaux sont par ailleurs connus et décrits par les contenus et les problèmes).

distinguer objectifs et  
indicateurs d'évaluation

\* Mais la réduction du nombre d'objectifs et leur formulation assez générale obligent à abandonner l'idée qu'ils doivent décrire des comportements observables. Pour satisfaire les besoins du contrôle et de l'observation, le cinquième principe consiste à distinguer objectifs, qui orientent les décisions des maîtres, et



centrer l'évaluation  
sur l'action des  
maîtres

*indicateurs d'évaluation.* Ces derniers sont au fond analogues aux objectifs "opérationnels" de la littérature anglosaxonne (introduits en France à travers le Québec et la Belgique) ; mais ils n'ont pas besoin d'être définis de manière aussi rigide et systématique. Ils sont les compléments indispensables des "objectifs-obstacles".

\* Enfin, le sixième principe affirme l'utilité d'une évaluation des projets de rénovation *centrée sur le processus d'enseignement* et en particulier *le rôle des maîtres* dans ce processus ; autant sinon plus qu'une évaluation sur les résultats des élèves elle peut donner des indications sur l'avenir. C'est une évidence si l'on veut faire jouer aux enseignants un rôle moteur dans l'innovation, et si on préconise des démarches où les enfants ont eux aussi un rôle actif dans la construction de leurs connaissances (ce qui était le cas des actions auxquelles nous avons participé). Mais nous pensons que l'intérêt est le même dans une pédagogie directive et centrée sur la discipline, car tous les enseignants transforment ce qu'ils font. Or, un des rôles de l'évaluation est de détecter ces transformations et les évolutions qu'elles entraînent.

. *Éléments pour la didactique des sciences.*

contraintes et possibles  
dans les situations  
didactiques

Une différence fondamentale entre une recherche et une innovation porte sur l'explicitation la plus complète possible *des contraintes et des possibilités*, ce que la recherche s'efforce d'atteindre. Dans la réalité, les contraintes peuvent être d'origines très diverses : niveau de développement psychologique ou extension de l'expérience pratique des enfants, enseignement antérieur, matériel disponible, horaires, programme, compétences des maîtres, etc. Certaines limites peuvent être facilement modifiées, d'autres non ; mais elles existent toujours. Dans chaque cas, ce qui importe est de dégager les possibles. L'exploration de ce *jeu* entre contraintes et possibles, dans les situations les plus variées, est une des voies nécessaires pour mieux comprendre les situations didactiques.

Nous avons appelé *caractérisation des objectifs* l'élaboration qui associe à cette clarification des possibles le choix des compétences visées. Plus exactement, renonçant à définir de manière exhaustive et "opérationnelle" les objectifs, nous avons proposé de les "caractériser" par les aspects obtenus avec ce

type d'analyse et susceptibles d'aider au mieux les maîtres. Dans cet esprit, notre proposition principale consiste à "focaliser" les objectifs sur les obstacles susceptibles d'être franchis par les élèves.

Cette conception nouvelle des "objectifs-obstacles" a une double origine. Nous venons d'en rappeler la source pragmatique. Mais il y a aussi une source théorique : c'est la notion d'obstacle épistémologique, élaborée par Bachelard en explorant l'histoire des idées scientifiques, et sur la base de son expérience de professeur de physique. Il ne s'agit pas pour nous de transformer en objectifs les obstacles repérés par Bachelard, il s'agit de *faire rejoindre deux courants* : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s'intéressent aux difficultés qu'affronte la pensée scientifique. La notion d'objectif-obstacle nous paraît être un moyen pour transformer en instrument didactique les résultats des recherches actuellement en plein développement, et qui portent sur les modes de résolution de problèmes adoptés spontanément par les élèves, ou les représentations qu'ils se font des phénomènes physiques.

Jean-Louis MARTINAND

Laboratoire Interuniversitaire  
de Recherche sur l'Enseignement  
des Sciences Physiques et de la  
Technologie (LIREŠPT),  
Université de Paris-Sud.

**LE DEVELOPPEMENT DE LA PENSEE SCIENTIFIQUE  
(ORIENTATION BIOLOGIQUE) CHEZ LES ENFANTS DE 6 A 14 ANS**

**Jacques Lalanne**

*Cet article reprend les grandes lignes d'une thèse de 3ème cycle qui se situe délibérément dans une approche constructiviste des concepts, en référence à Piaget (1). L'analyse du développement de la pensée scientifique s'inscrit dans une préoccupation systématique : un ensemble de systèmes constitue un tout en mouvement mais détermine pourtant différents états d'équilibre que l'on peut apprécier et décrire. Cela est particulièrement net pour les niveaux de formulation de concepts qui sont ici exposés.*

apprendre les sciences,  
c'est maîtriser la fonctionnalité des concepts

Enseigner les sciences, c'est apprendre à maîtriser deux caractéristiques scientifiques :

- d'une part la fonctionnalité des concepts afférents à cette science, et ce dans des situations-problèmes. Il y a donc prise en compte de "concepts basiques" adaptés à la situation traitée, structurés entre eux non pour les cataloguer mais pour les rendre opératoires en les réinvestissant.

- d'autre part l'adoption de processus de recherche (que l'on peut appeler démarches) conduisant à tisser un "canevas" efficace, à le modifier en fonction des progrès heuristiques, à construire de nouveaux concepts en les intégrant dans le réseau en cours de structuration.

L'enseignant rencontre essentiellement quatre types de problèmes relatifs à sa discipline :

. Il constate que l'enfant bute sur des obstacles décrits comme épistémologiques. Ce sont là, sinon les seuls, du moins les plus spectaculaires.

. Il observe un écart par rapport à sa propre norme conceptuelle lors de la mise en oeuvre des concepts par les enfants. Il y a expression de niveaux de formulation.

---

(1) Jacques LALANNE. *Contribution à l'étude du développement de la pensée scientifique (orientation biologique) chez les enfants de 6 à 14 ans*. Thèse de 3e cycle. Université Bordeaux II. 1983.

. Il se perd devant la multiplicité des démarches heuristiques. Eh oui, les enfants et les chercheurs cherchent et trouvent comme ne le veut pas la tradition.

. Il ne peut ignorer le rôle polymorphe et polyfonctionnel du langage.

## 1. LES OBSTACLES EPISTEMOLOGIQUES

Cette première partie comporte la description et l'analyse d'obstacles groupés sous l'appellation épistémologique.

Il s'agit de l'approche des manifestations animistes, anthropomorphiques, finalistes, artificialistes, et du réalisme intellectuel.

### 1.1. Méthode de travail.

Trois techniques ont été employées :

- des observations de classes, du Cours préparatoire à la Troisième, avec retranscriptions intégrales, ces observations s'effectuant lors d'activités de recherche.
- des observations guidées au moyen d'une grille mise au point en collaboration avec un psychologue et proposée à l'INRP dès 1971.
- un questionnaire dans lequel on avait cité pêle-mêle des vivants et des non vivants, questionnaire complété par des entretiens.

### 1.2. Description des obstacles.

A partir des situations réelles vécues, les obstacles ont été décrits. Il est à noter qu'une situation heuristique est rarement liée à un seul obstacle (animiste, anthropomorphique, ...) et que, dans la majorité des cas, plusieurs obstacles se combinent, se chevauchent.

- L'*animisme* apparaît avec le plus de régularité (peut être est-il le plus facile à repérer) :

"la mer est vivante parce qu'elle bouge" (R. 11 ans)  
 "les dunes sont vivantes, elles avancent" (B. 13 ans).

- L'*anthropomorphisme* se trouve souvent lié à l'*animisme* :

"le plus ancien (des vers de terre) commande-t-il ?"  
 (E. 10 ans)

"la moisissure doit bien se développer sur les levures..."  
 "les deux sont des champignons, alors ils s'aident"  
 (Ch. 13 ans).

une situation heuristique  
 est rarement liée à un  
 seul type d'obstacle

- Le finalisme poursuit une carrière honorable jusqu'à un âge avancé :

*"y a de l'eau dans l'oeuf, c'est la nature" (E. 9-10 ans)*

Il s'accompagne toujours de deux composantes :

- toute structure a une fonction et une nécessité
- cette structure a été voulue pour remplir cette fonction.

Seul le deuxième mouvement, qui s'inclut dans une pensée magique, rend cette adhérence récessive.

- L'artificialisme se trouve très souvent à mi-chemin des prolongements d'une pensée magique et de ceux d'un anthropomorphisme latent :

*"mais qui a servi les premières graines ? comment a-t-il su qu'il fallait des graines ?" (V. 11 ans).*

- Le réalisme intellectuel se trouve particulièrement lié à la démarche, à l'activité heuristique. Même si une expérience dément une proposition, l'enfant considèrera cette proposition comme valable puisqu'elle est sienne. Cette adhérence prédominante vers 7-8 ans s'accompagne de réalisme nominal (l'enfant confond signe et signifié).

### 1.3. Les déterminants des adhérences

#### . Le rôle du langage

On ne peut ignorer les connotations liées aux formulations langagières.

*"la lampe n'est pas assez forte"*

*"l'eau mouille"*

*"le feu est mort" ... etc.*

#### . Rôle de l'égoïsme

L'égoïsme, la centration sur soi (le je) et le magique entraînent la quasi impossibilité d'intégrer les informations, ce qui oblige l'enfant à recourir à des explications s'ancrant dans des obstacles.

#### . L'âge

L'âge a été le principal référent auquel Piaget et succ. ont fait appel. Or, les contradictions entre les différents auteurs, et à l'intérieur du travail de Piaget lui-même, laissent supposer que ce facteur doit être la résultante de l'action d'agents modificateurs.

les adhérences récessives sont à relier au langage, à l'égoïsme, à l'âge ...

Pour l'animisme voici les résultats que nous avons obtenus :

| Age               | 6 - 7 ans | 7 - 8 ans | 8 - 9 ans | 9 - 10 ans | 10 - 11 ans | 11 - 12 ans |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| par questionnaire | 30 %      | 29 %      | 26 %      | 24 %       | 19 %        | 7 %         |
| par la grille     | 27 %      | 25 %      | 22 %      | 16 %       | 7%          |             |

Il semble bien, compte tenu des coefficients de sécurité, que le seul saut significatif se situe aux environs de 12 ans.

*. Pourquoi y a-t-il autre chose que l'âge ?*

Si l'on demande aux enfants pourquoi ils ont déclaré que tel élément était ou n'était pas vivant, voici ce que l'on obtient :

- de 6 à 9 ans. La justification est sommaire et le plus souvent une seule raison est invoquée.
- de 9 à 11 ans. La justification fait appel à plusieurs critères dont la pertinence est aléatoire.
- de 11 à 12 ans. Les justifications font appel le plus souvent à plusieurs critères structurés et donc fonctionnels. On rejoint en cela Monod qui attribue trois critères à la notion de vie : téléonomie, morphogénèse autonome, invariance.

... elles persistent longtemps mais les progrès sont réels de façon précoce

En conclusion, les obstacles de 6 à 11 ans sont en diminution sensible dès cet âge, mais des adhérences persistent bien au delà. De réels progrès apparaissent dès 8 - 9 ans car l'enfant propose plusieurs explications qu'il veut concourantes pour justifier ses choix : la structuration est en cours. Nous voyons là tout l'intérêt d'une pratique précoce des activités heuristiques.

## 2. LES NIVEAUX DE FORMULATION

L'idée de niveaux de formulation est venue lorsque l'on a essayé de repérer chez les enfants comment

ceux-ci abordent les différentes fonctions biologiques. Très vite nous nous sommes aperçus que les formulations d'enfants pour un même concept présentaient des aspects très différenciés. S'agissait-il de différences significatives au plan scientifique ?

### 2.1. La méthode de travail

Nous avons pris tous les travaux de classes dont nous disposions et traqué toute manifestation, linguistique ou non, qui se référait à des concepts. Parallèlement nous avons retranscrit intégralement des séquences d'activité heuristique. De plus, dans un bon nombre de cas, nous avons travaillé en présence d'un observateur.

Après avoir établi le répertoire des niveaux de formulation et les avoir référencés, nous avons essayé de vérifier dans d'autres cas la pertinence des données.

### 2.2. Caractéristiques des niveaux de formulation.

#### . *Comment se présentent-ils ?*

Leur formulation présente une grande variabilité, et un même concept pourra se reconnaître dans des significations linguistiques différentes bien qu'équivalentes :  
 "le hamster fait des crottes"

"Il fait caca"

"Il chie",

un autre enfant représentant par le dessin un hamster faisant des excréments.

Il nous paraît légitime de ramener chaque formulation à une formulation scientifique objective, indépendante de la forme, et traduisant fondamentalement le concept sous-jacent (ici première partie du concept alimentation/nutrition).

#### . *Que sont-ils ?*

Une approche rapide voudrait que l'on définisse les niveaux de formulation comme la rencontre entre un développement psychogénétique et un traitement par le sujet, au plan épistémologique, de la matière considérée.

Plus simplement, lors de son développement, et dans

les formulations conceptuelles présentent une grande variété linguistique

il n'y a pas concordance entre l'analyse épistémologique et les niveaux de formulation

ses activités, l'enfant édifie, construit une matière (ici la biologie). Il agit et exprime quelque chose qui au plan conceptuel n'est pas non signifiant même s'il n'emploie pas les termes canoniques de la discipline (le concept sera formulé à un niveau donné). Le référent du concept ne sera pas alors le niveau universitaire mais la fonction qu'il occupe dans la recherche de l'enfant.

En aucun cas il n'y a concordance entre l'analyse épistémologique de la matière et les niveaux de formulation. Car ceux-ci ne procèdent pas d'une réduction du savoir, ni au plan rationnel (au sens strict), ni au plan de l'analyse historique. Ils procèdent d'une rencontre psychologique et épistémologique qui crée un niveau original, aléatoire, issu d'un déplacement du problème.

Exemple pour la respiration : les formulations se réfèrent à la ventilation (1er niveau), aux échanges gazeux pulmonaires (2e niveau), aux échanges gazeux tissulaires (3e niveau).

On constate un décalage du problème du mécanique au chimique.

### 2.3. Les résultats (voir tableaux ci-après)

Le premier niveau correspond approximativement à une observation structurée qui dépasse la simple constatation et qui présente un aspect explicatif vis-à-vis de la situation observée.

Le deuxième niveau s'ancre dans une analyse des faits observés et une décomposition de ceux-ci en paramètres.

Le troisième niveau nécessite une combinaison de ces paramètres pour constituer des mini-systèmes, ce qui implique une séparation des variables et leur recombinaison.



#### 2.4. Les composantes de ces niveaux

Globalement les deux premiers niveaux correspondent à la période 7 - 11 ans (pensée concrète) et les troisièmes niveaux sont postérieurs à 12 ans (pensée formelle).

Cependant il faut constater

- que tous les niveaux ne sont pas atteints pour un même rang au même âge
- que tous les niveaux n'ont pas la même durée.

Cela s'explique par la "difficulté" plus ou moins grande du concept considéré vis-à-vis des compétences psychogénétiques de l'enfant, puisque chaque niveau peut se référer à des compétences précises.

Exemples :

- Notion de mesure : Alimentation 1er niveau.
- Notion de masse : Alimentation 2e niveau.
- Conservation de la matière : Nutrition végétale 1er niveau.
- Notion de volume : Alimentation 2e niveau, Respiration 3e niveau.
- Partition : Locomotion 2e niveau.
- Réversibilité des opérations : Respiration 2e niveau.
- Maîtrise du groupe INRC (1) : Origine des animaux 2e niveau, Respiration 3e niveau.

les niveaux de formulations sont à relier aux compétences psychogénétiques

---

(1) Tandis que la combinatoire désigne l'ensemble des 16 opérations propositionnelles binaires de la pensée formelle (l'affirmation, la négation, la conjonction, la disjonction, l'incompatibilité ...) le groupe INRC ou groupe des 4 transformations (identique, négative ou inverse, réciproque, corrélative ou inverse de la réciproque) est la structure qui soutient l'articulation de ces opérations formelles, c'est-à-dire les raisonnements auxquels conduit leur utilisation (d'après M.F. LEGENDRE-BERGERON, *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaétan Morin, 1980).

*Tableau récapitulatif - niveaux de Formulations - Connotation niveaux - âges*

|                      | 5-6                             | 6-7                    | 7-8                        | 8-9                   | 9-10                  | 10-11                     | 11-12                 | 12-13                 | 13-14                 | 14-15 |
|----------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| âges (en ans)        |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| alimentation animale |                                 | 1 <sup>er</sup> niveau | 2 <sup>e</sup> niveau      | 2 <sup>e</sup> niveau | 2 <sup>e</sup> niveau | 2 <sup>e</sup> niveau     | 2 <sup>e</sup> niveau | 3 <sup>e</sup> niveau | 3 <sup>e</sup> niveau |       |
| accommodation        |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       | ?                     |       |
| sensibilité          |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| nutrition végétale   |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| origine végétale     |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| circulation          |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| respiration          |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| reproduction         |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| origine de l'air     |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| origine de l'eau     |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| development          |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
| les microbes         |                                 |                        |                            |                       |                       |                           |                       |                       |                       |       |
|                      | Pensée intuitive pré-opératoire |                        | 1 <sup>er</sup> sous stade | Pensée concrète       |                       | 2 <sup>e</sup> sous-stade |                       | Pensée formelle       |                       |       |

## NIVEAUX DE FORMULATION EN BIOLOGIE

| Concepts                                   | 1er niveau  | 2ème niveau   | 3ème niveau  |
|--|---|---|--|
| ALIMENTATION ANIMALE                       | Tous les animaux ont un régime alimentaire. Ils recherchent leur nourriture et excrètent des déchets. Leurs instincts leur permettent une quête de nourriture.  | Les aliments sont progressivement liquifiés dans le tube digestif. Une partie de ceux-ci passe dans le sang qui les distribue aux organes.  | Les aliments (matières organiques) contiennent du carbone (calcination de l'eau) (récupération lors de la calcination), dégagent du $CO_2$ en brûlant et produisent de la chaleur. |
| RESPIRATION ANIMALE                        | Les animaux aériens réalisent la respiration par des mouvements de l'appareil respiratoire qui fait circuler l'air. Chez les animaux effectuant leur cycle de vie dans l'eau (poissons), un courant d'eau baigne les branchies. | Lors de la respiration chez les animaux aériens, il existe un échange gazeux. Chez les animaux effectuant leur cycle de vie dans l'eau, un courant d'eau baigne les branchies. La respiration se caractérise par des échanges gazeux. | Le sang apporte les aliments, l'oxygène aux organes. Il évacue le $CO_2$ (éventuellement les déchets). Les échanges gazeux se font également au niveau des tissus.                 |
| CIRCULATION                                | L'arrêt du cœur entraîne la mort. Une grave hémorragie entraîne la mort. Le sang circule dans les vaisseaux. Le pouls et le cœur sont synchrones.   | Le cœur fait circuler le sang qui revient au cœur après avoir baigné tous les organes.  | Le sang apporte les aliments, l'oxygène aux organes. Il évacue le gaz carbonique (éventuellement les déchets).   |
| REPRODUCTION                               | Pour faire des "petits" ou pondre des oeufs il faut (généralement) un mâle et une femelle.  | Le mâle produit du sperme (élément sexuel mâle) qui entre en contact avec l'élément sexuel femelle pour produire soit des oeufs, soit des petits.   | Une cellule sexuelle mâle rencontre une cellule sexuelle femelle pour produire un oeuf.  |
| SENSIBILITE                                | De nombreux animaux possèdent des organes des sens comparables à ceux de l'homme.   | Les animaux déterminent leurs déplacements grâce à des conceptions lumineuses, thermiques, acoustiques, olfactives, chimiques ... (qu'ils aient ou non des organes des sens comparables à ceux de l'homme).                           | Diverses informations reçues sont intégrées de manière à constituer des réponses adaptées aux situations rencontrées par l'animal.   |
| LOCOMOTION                                 | Chez les animaux mobiles, le corps et surtout les membres servent au déplacement. Lorsque les membres sont absents, le corps seul participe au mouvement.   | Les muscles constituent toujours l'élément actif du déplacement. Ils s'insèrent soit sur un squelette interne, soit sur une carapace.   |  |
| NUTRITION DES VEGETAUX                     | Les végétaux verts ont besoin pour se développer, d'eau, de sol, de lumière. Ils fabriquent de la matière vivante à partir de ceux-ci.  | Les racines des végétaux verts puisent l'eau et les substances minérales dans le sol. Les champignons se développent sur des matières provenant d'autres êtres vivants ou de la décomposition des productions des êtres vivants.      | A la lumière, les plantes vertes par l'intermédiaire des feuilles, fabriquent de la matière organique à partir de matière minérale du sol et de $CO_2$                             |
| ORIGINE ET DEVELOPPEMENT DES ETRES VIVANTS |   |   |  |
| - animaux                                  | Pour faire des "petits" ou pondre des oeufs, il faut (généralement) un mâle et une femelle. La mère produit des oeufs ou porte à l'intérieur d'elle des petits qui naissent vivants.  | cf Reproduction   | L'élément femelle (ovule) produit par la mère ne peut se développer qu'après contact avec le sperme. L'oeuf est toujours à l'origine de tout animal.                               |
| - végétaux                                 | Une graine donne une plante (végétal)   | Les végétaux proviennent d'une graine ou d'un fragment de végétal. La graine se trouve à l'intérieur d'un fruit.  | La fleur possède fondamentalement des étamines et un pistil. Le pistil se transforme en fruit avec graine par dépôt de pollen.   |
| - développement                            | La croissance des animaux s'arrête généralement à l'âge adulte. Chez les végétaux verts, la croissance se fait grâce à des bourgeons.   | La croissance entraîne des changements qui sont soit sexuels, soit morphologiques (appelés dans certains cas métamorphoses), soit les deux.   |  |

la maîtrise d'un niveau de formulation suppose son réinvestissement possible

### Conclusion

Un répertoire de niveaux de formulations a pu être établi pour quelques notions biologiques (voir *Recherches pédagogiques* n° 86. INRP. 1976).

Ces niveaux n'ont rien de linguistique et ne sont pas à confondre avec des niveaux de langue.

La maîtrise d'un niveau ne sera pas considérée comme établie au moment de l'établissement de la formulation, mais lors du couple formulation/réinvestissement. Ces niveaux de formulation sont décrits comme le résultat de l'interaction de deux systèmes-clés, psychologique et épistémologique, d'autres systèmes satellites interférant avec eux : milieu, pratiques pédagogiques, intégration et construction de concepts disciplinaires, rôle de la démarche, etc...

## 3. LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE

L'approche de l'activité des chercheurs et celle des enfants laissent entrevoir une parenté dans leurs démarches. Par ailleurs, les modalités du travail scientifique chez le chercheur diffèrent souvent sensiblement de celles décrites par Claude Bernard et par la tradition pédagogique de l'enseignement des sciences.

### 3.1. La méthode

Elle repose sur trois pôles :

- L'analyse de travaux de chercheurs actuels. Nous avons essayé de suivre le cheminement des découvertes chez Gipouloux, chercheur en biologie animale, professeur à Bordeaux II, ainsi que chez Watson et Crick.
- La même recherche faite pour quelques auteurs, dont Pasteur et Cl. Bernard, a seulement été retranscrite pour Needham et Spallanzani.
- Enfin on a essayé de traquer cette démarche chez les enfants, à partir de leur propre activité de recherche en situation-problème.

### 3.2. Les résultats

. La démarche se situe dans un ensemble de systèmes.

La démarche scientifique se développe dans un ensemble (relations entre recherche, progrès technique, société, groupe, réseau de communication...) dont elle procède et qu'elle tend à déséquilibrer/rééquilibrer.

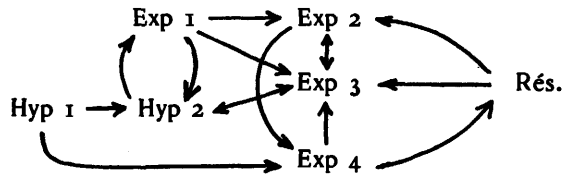
. Il n'y a pas de recherche sans situation-problème.

C'est à ce niveau que l'acte pédagogique prend une dimension déterminante (l'acte de recherche aussi). Une démarche ne peut exister que si un problème existe ; celui-ci se caractérise par un ensemble abstrait de résistances et une modification de l'état initial (ce qui entre autres le différencie de la notion d'obstacle). Dans la pratique de la classe on confond souvent à tort obstacle et problème, problème et situation déclenchante.

. La démarche est désarticulée

La succession Observation, Hypothèse, Expérience (résultats, interprétation, conclusion) n'existe pas. Cette triade ne se rencontre sous cet aspect que dans quelques cas marginaux non significatifs.

Tous les cas de figure sont possibles et, de plus, certaines phases peuvent être totalement occultées. Voici un exemple pris chez Gipouloux :



. Les phases n'ont pas de signification unique et finie mais ont des fonctions.

Chaque phase n'a pas de signification unique, mais peut être polyfonctionnelle

Par exemple on ne peut définir l'observation comme une structure finie mais il faut la percevoir comme une fonction dont le statut change lorsque sa place se modifie. Parler d'esprit d'observation relève d'une vue aristotélicienne méconnaissant les démarches réelles.

Car l'observation peut correspondre soit à une situation déclenchante, soit à une hypothèse, soit à une expérience, soit à un résultat, etc...

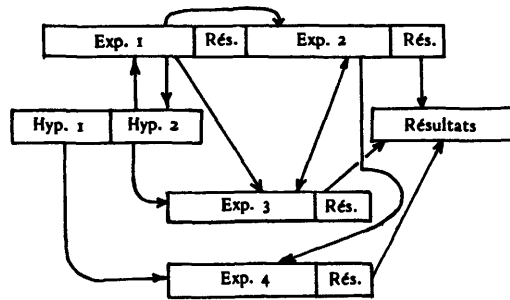
. Les différentes phases fonctionnelles se situent dans un réseau.

Elles se caractérisent par le parallélisme et la concomitance.

Le schéma ci-dessus précise l'interaction entre les différentes phases et montre qu'il n'y a pas de démarche linéaire mais une activité réticulée : chaque étape est parallèle à une ou plusieurs étapes, les différents moments se superposent en totalité ou en partie.

exemple pris chez Gipouloux :

les différentes phases se situent dans un réseau



. Adaptation et équilibrage entre les phases.

En fonction du problème posé on trouve, compte tenu du niveau où il se pose, des phases déterminant des approches différentes et adaptées. On rencontre des niveaux de preuve ou d'hypothèse, différents selon la nécessité (approche et nécessité différente chez le généticien agronome et celui du génie génétique). Cette constatation justifie au plan épistémologique l'existence des niveaux de formulation.

### 3.3. Les problèmes spécifiques des enfants.

Le problème de l'accès à la pensée scientifique chez les enfants se situe à 3 niveaux.

. *Difficulté de prévision*

25% de l'activité heuristique chez les enfants s'inscrivent dans la pensée hypothétique (enfants de 11 à 13 ans) ; toutefois dans la démarche, 6% ne sont pas des hypothèses.

Dès que l'hypothèse engendre pour se développer la variation d'un paramètre et la neutralisation des autres, il n'y a plus que 6 % d'activité hypothétique. Ce chiffre tombe à 4% s'il est nécessaire de faire inter-réagir plusieurs paramètres entre eux.

Cela n'est pas négligeable car l'action réciproque des différentes phases entre elles permet de rééquilibrer et d'adapter la notion de probabilité et prévision.

. *Difficulté à prouver*

Pour une quantité donnée d'intervention de type hypothétique, l'enfant aura 50% d'activités tendant à prouver (les deux évoluant dans le même sens).

. *Difficulté de la démarche dans son ensemble*

La démarche sera essentiellement limitée par deux facteurs :

- la rupture de la trame heuristique (voir schémas ci-dessus)
- le blocage au niveau de l'accession à la pensée formelle (voir obstacle et niveaux de formulation).

Conclusion : une étrange similitude permet de rapprocher la démarche de l'enfant et celle du chercheur.

Il faut retenir :

- la désorganisation de la démarche
- la polyfonctionnalité des étapes
- la superposition des étapes.

Ces trois éléments paraissent déterminants au plan pédagogique.

## 4. LE LANGAGE

Une des difficultés d'approche de la langue scientifique (et de la langue en général) vient du fait que les critères d'appréhension sont souvent implicites et presque toujours variables.

Pour le scientifique, le langage sera avant tout un révélateur de trois données fondamentales :

- une donnée épistémologique, traduisant les obstacles

- de type syncrétique, anthropomorphique, animiste ...
- une donnée sémantique, qui est celle le plus couramment perçue
- une donnée relevant de la norme.

Le scientifique s'appuiera sur l'émergence des obstacles pour moduler son action éducative, le linguiste cherchera le rapport entre sens et norme.

le scientifique croit  
le sens du langage qu'il  
emploie trop univoque

Le scientifique croit le sens unique (ou agit comme tel) et pense qu'il traduit les notions qu'il dit véhiculer. Il s'agit là d'une erreur fondamentale.

Les notions se noient dans les sens qui véhiculent toute une série d'autres données pouvant aller de l'expression d'une classe socio-culturelle donnée à des manifestations d'autorité, etc... La langue joue dès lors un rôle de masque, de couverture.

Tout se passe malgré tout comme si le sens ne pouvait être perçu que si le récepteur possédait le concept ou la notion, et ce dans le meilleur des cas. En supposant le sens déchiffrable, le récepteur ne l'investira que si les structures conceptuelles qu'il véhicule sont déjà sa propriété. Cela rend totalement vain toute communication pédagogique basée sur le seul canal linguistique.

Mais dès lors que le concept est propriété du récepteur, quelle que soit la forme du message du locuteur, il sera reçu (à moins d'être totalement déformé) car la réception se fera par accommodation et transformation, compensation du discours.

on ne peut assimiler  
un codage que si l'on  
sait déjà ce qu'il  
contient

Le véritable paradoxe de la communication scientifique vient du fait que l'on ne peut assimiler un codage que si l'on sait déjà ce qu'il contient. Sinon, on peut tout au plus obtenir un psittacisme qui consistera à répéter un message sans adhérer aux éléments cognitifs qu'il supporte.

Le langage "langue" plus que tout autre code a avant tout une fonction de repérage, il permet d'attirer l'attention sur un noeud important de la trame heuristique, il développe un jeu indiciaire. Cette fonction d'indication prédomine totalement ce qui explique le rôle efficace de structures langagières agrammaticales ou non normées, etc...

Nous avons parfois le sentiment que la connaissance du mot permet le progrès de la pensée scientifique. Or nous avons montré qu'en fait, il ne s'agit pas d'approche sémantique mais bien d'intégration conceptuelle. Les enfants emploient indifféremment droit ou vertical, tant que le concept n'est pas construit, et la définition donnée ne change en rien l'utilisation des termes si l'intégration conceptuelle ne se



fait pas.

De même que l'ordonnement du discours ne segmente pas la démarche heuristique mais, nécessité faisant loi, c'est cette démarche qui agence éventuellement le discours pour en faire des unités assimilables.

Les activités d'échanges scientifiques se greffent sur deux données importantes :

- l'existence d'un problème (qui peut devenir scientifique)

- l'articulation autour de codes composites.

La problématique demeure l'acte central de l'activité du chercheur et autour d'elle se développe la recherche, la communication.

Le code scientifique n'existe pas à l'état pur, individualisé. Il résulte de l'articulation fonctionnelle de codes aussi variés que le langage-langue oral ou écrit, le code iconique, graphique, gestuel, etc... où chacun prend le relais indicatif du précédent, s'articule sur lui, donnant enfin une image explicative.

La norme acceptée par le scientifique sera la norme de l'efficacité, c'est-à-dire de la faculté qu'aura le discours d'aider à la résolution du problème. Toute autre norme sera un frein difficile à débloquent car s'appuyant sur des structures socio-culturelles, créant des champs d'affrontement antagonistes chez les individus.

Dès lors que l'activité se greffe sur une praxis impliquant l'obtention de solutions et nécessitant le concours de codes variés, les ensembles socio-culturels, donc socio-linguistiques, perdent une grande partie de leur système de verrouillage et peuvent produire une véritable formation linguistique.

La situation pédagogique actuelle se développe de telle manière que la compétence apparente de l'enfant reste un élément de surface. Tout se passe comme si la compétence exprimée était reçue comme la compétence potentielle, alors que les structures d'enseignement créées tant au plan scientifique que linguistique ne parviennent pas à révéler les compétences cachées des enfants.

## CONCLUSION

Il n'y a pas d'attitude ni de langage qui soient en eux-mêmes scientifiques ou a-scientifiques. Ces conceptions relèvent d'un rationalisme étroit se référant souvent à une pensée positiviste développée à la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Tout au plus pourrait-on admettre qu'il s'agit de cas limites. La description d'une "démarche -"type"

le langage scientifique suppose l'articulation fonctionnelle de codes variés

les structures d'enseignement ne parviennent pas à révéler les compétences cachées des enfants

relève d'une analyse succincte ne correspondant à aucune description réelle d'activités heuristiques. On constate que le couple *prévoir/prouver*, et ce, quel que soit l'ordre, est efficace (ou non) dans une situation donnée. Toute l'activité de recherche s'y résume finalement, à ceci près que le processus débouche sur des structurations cognitives, lesquelles par action dialectique, fortifient et structurent les démarches. Ainsi peut-on expliquer la persistance tardive chez les adultes d'adhérences récessives, la pérennité d'obstacles ne se comprenant que si l'on admet, par rapport au niveau de problème donné, un degré de structuration conceptuel insuffisant. Dès lors les explications ne peuvent plus être de l'ordre du concept intégré dans un ensemble de connaissances mais redeviennent du domaine des adhérences référencées comme obstacles.

La tentation est forte d'essayer de faire acquérir ce réseau de connaissances au moyen d'actions didactiques de type formel dans lesquelles la communication éducative emprunte préférentiellement le canal linguistique. Nous avons montré que cela conduit à des impasses chez des enfants de 7 à 14 ans. Le passage obligé semble bien être celui de démarches heuristiques.

Jacques LALANNE

Collège de Saint-Paul-les-Dax.