

# CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS SUR LA DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

## Analyse de quelques cas à propos de digestion en classe de troisième

Éllane Orlandi

*La partie du programme de la classe de troisième axé sur la nutrition est un moment privilégié pour l'apprentissage de la démarche expérimentale. Nous avons à ce propos tenté de cerner les conceptions de cinq enseignants de biologie en les interviewant au sujet de leurs pratiques de classe - plus précisément sur la séquence expérimentale "digestion artificielle d'un aliment par la salive".*

*L'analyse des entretiens permet de faire apparaître le regroupement des enseignants autour de deux pôles, l'un qui privilégie, avec la rigueur, une logique de type linéaire, allant de pair avec une grande directivité pédagogique; l'autre qui privilégie une logique moins linéaire incluant le tâtonnement, plus proche d'une démarche de recherche, et au plan pédagogique, moins canalisée et planifiée d'avance par l'enseignant.*

Si les conceptions des apprenants ont donné lieu à de multiples recherches ces dernières années (1), celles des enseignants sont peu étudiées. Elles méritent pourtant de l'intérêt, dans la mesure où, sans doute, un certain nombre de choix pédagogiques sont le reflet des conceptions des enseignants sur les contenus et méthodes qu'ils enseignent. En ce qui concerne l'apprentissage expérimental, je formule l'hypothèse que les pratiques de classe sont liées aux conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale.

La seule recherche didactique à ma connaissance sur les conceptions d'enseignants de biologie, rapportée brièvement dans l'introduction de "Histoire de la Biologie" (2), avait procédé par enquête. J'ai pour ma part choisi de recueillir les conceptions non pas à partir d'un discours théorique des enseignants (par le biais d'un questionnaire par exemple), mais au travers d'entretiens où les enseignants sont amenés à s'exprimer sur leurs pratiques expérimentales en classe.

établir un lien  
entre pratiques  
pédagogiques et  
conceptions

- (1) Recensées dans GIORDAN A., MARTINAND J.L., "Etat des recherches sur les conceptions des élèves en Biologie", in GIORDAN A., MARTINAND J.L., Ed., *Annales de Didactique des Sciences*, 1988.
- (2) GIORDAN A. et al, *Histoire de la Biologie*, Tome 1, Paris, Lavoisier, 1987.

Le choix du thème des interviews s'est porté sur la partie du programme de troisième des collèges traitant des "échanges nutritionnels de l'homme avec son milieu", consacré à l'étude des aliments et de la digestion. Ce thème est en effet particulièrement propice à un enseignement expérimental ; et c'est sur un sujet de physiologie humaine que je pouvais le mieux tenter d'évaluer l'impact sur les conceptions de la méthodologie expérimentale héritée de Claude Bernard. En effet travailler sur la démarche expérimentale en classe amène à s'interroger au préalable sur la méthode expérimentale.

## 1. LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

Existe-t-il **une** méthode universelle à laquelle toutes les formes de recherche scientifique doivent se conformer, un protocole invariable dont seules les applications varient selon la nature des problèmes étudiés ?

On sait qu'en biologie, cette idée doit beaucoup à Claude Bernard et aux principes qu'il a consignés dans son *Introduction à l'Etude de la Médecine Expérimentale*. Il est sans doute le premier à avoir formalisé de manière rigoureuse les différentes étapes d'une recherche expérimentale, et ceci suivant le schéma désormais classique :

observation → idée (hypothèse) → expérience → vérification de l'hypothèse.

Cependant G. Canguilhem (3) montre, en analysant "l'Introduction" de C. Bernard de manière très précise et sans s'arrêter à la première partie consacrée aux principes généraux, que ce texte est en réalité étroitement solidaire des recherches de l'auteur, et que cette méthode est imposée par un contexte bien particulier, celui de la fondation d'une nouvelle physiologie, basée sur les concepts de "milieu intérieur" et de "sécrétions internes".

C. Bernard lui-même, paradoxalement, écrit : "*La méthode n'est pas susceptible d'être formulée indépendamment des recherches dont elle est issue.*" Et Canguilhem cite Bachelard (4) : "*Les concepts et les méthodes, tout est fonction du domaine d'expérience; toute la pensée scientifique doit changer devant une expérience.*"

De nombreux écrits (5) ont repris les travaux de M.D. Grmek sur le "Cahier rouge" (6), et développé l'idée que

un modèle  
unique hérité de  
Claude  
Bernard ...

... pourtant issu  
de recherches  
bien  
contextualisées

(3) CANGUILHEM G., *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1983.

(4) BACHELARD G., *Le nouvel esprit scientifique*, Paris, PUF, 1934, cité par G. Canguilhem, opus cité.

(5) De GIORDAN A., *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, Paris, Centurion, 1978, à ASTOLFI J.P., DEVELAY M., *La didactique des sciences*, Que Sais-Je n°2448, Paris, PUF, 1989.

(6) GRMEK M.D., *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*, Genève, Droz, 1973.

un  
surinvestissement  
de la logique et  
de la rigueur ...

"l'Introduction" de C. Bernard est une reconstruction a posteriori, élaborée pour la communication, bien différente des recherches telles qu'elles se sont réellement déroulées.

Canguilhem montre qu'on peut lire autrement le texte de C. Bernard, "en le questionnant à la manière bachelardienne" : "Comment pensez-vous ? Quels sont vos tâtonnements, vos essais, vos erreurs ? ...Donnez-nous vos idées vagues, vos contradictions, vos idées fixes, vos convictions sans preuve ..." (7)

Le chercheur qui présente ses résultats, soucieux de convaincre, occulte la phase obscure, tâtonnante de sa recherche et reconstitue dans son compte-rendu un déroulement logique et rigoureux. Si ces deux aspects coexistent dans "la science qui se fait", seul le deuxième est mis en lumière a posteriori. (8)

Pour G. Gohau (9), ces deux facettes correspondent à deux formes de pensée différentes et complémentaires : d'une part l'esprit de recherche et de découverte (appelé "le premier esprit scientifique", car il intervient le plus souvent en début de recherche), et d'autre part l'esprit logique ("le deuxième esprit scientifique").

L'idée qu'il existe une méthode expérimentale, surinvestissant ce deuxième aspect, tiendrait, comme l'exprime René Thom (10), plus du mythe que de la réalité du chercheur. R. Thom reconnaît cependant qu'elle a eu pour conséquence positive d'imposer à la recherche des normes déontologiques (usage correct des instruments, précision des protocoles ...), et que c'est très probablement cet ensemble de règles que les scientifiques ont en tête quand ils parlent de méthode expérimentale.

Qu'en est-il dans les classes ? On sait que la tradition pédagogique a beaucoup fait pour perpétuer le modèle hérité de C. Bernard, dont le déroulement chronologique s'est figé sous la forme OHERIC.

A. Giordan (11) reproche à l'enseignement de la biologie d'avoir érigé cette méthode en dogme, avec pour conséquence de donner aux élèves "une idée fautive de ce qu'est la science et du rôle que joue l'expérience", et de les empêcher ainsi de s'approprier une démarche scientifique réelle.

---

(7) BACHELARD G., *La philosophie du non*, Paris, PUF, 1940, cité par G. Canguilhem, op. cité.

(8) LATOUR B., dans *La science en action*, Paris, La Découverte, 1989, analyse avec beaucoup de détails les stratégies des scientifiques au moment où ils rédigent leurs publications.

(9) GOHAU G., "Deux esprits scientifiques", *Cahiers pédagogiques*, 141, 1976.

(10) THOM R., "La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants) ?" in HAMBURGER J. (direct.), *La philosophie des sciences aujourd'hui*, Paris, Gauthier-Villars, 1986.

(11) GIORDAN A., *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, op. cité p. 2.

... existe-t-il aussi dans les pratiques expérimentales en classe ?

Pour J.P. Astolfi (12), cet enseignement "considère comme primordiale la clarté de l'interrogation et valorise l'ordre, la rigueur formelle des étapes censées conduire à la solution. Il s'agit le plus souvent d'utiliser des situations expérimentales pour développer des compétences d'ordre logico-mathématique." On apprend à résoudre des problèmes, mais on n'apprend pas à poser les questions, et pour cela, "il n'existe ni règles, ni techniques, ni méthodes scientifiques."

Seul le "deuxième esprit scientifique" de G. Gohau, l'esprit rationnel et logique, serait privilégié en classe. Ces auteurs insistent sur l'intérêt de développer aussi chez les élèves la première forme de pensée scientifique.

Ainsi pour A. Giordan (13), avant l'apprentissage d'une méthode, l'enseignement expérimental devrait commencer par initier l'élève à une attitude expérimentale, c'est-à-dire à "un état d'esprit comportant réflexion critique sur ce qu'il observe, doute méthodique sur ce qu'il connaît, réflexion et communication", et ceci "en permettant de faire des recherches personnelles sur les problèmes concrets posés lors d'expériences."

Dans la même optique, G. Gohau (14) écrit : "Seules les recherches où l'élève est maître de sa progression, autonome dans son travail, permettent d'acquérir des rudiments de l'esprit de recherche. "

Il y a ici implicitement référence à une hypothèse constructiviste du savoir, selon laquelle l'autonomie, l'initiative personnelle des élèves seraient nécessaires à une véritable appropriation de la démarche expérimentale, non limitée à son aspect logique et méthodique (plus compatible avec une pédagogie directive).

Cette réflexion préalable fournit un premier axe de questionnement dans la recherche de caractérisation des conceptions des enseignants : le modèle OHERIC est-il toujours très prégnant (en particulier la place première de l'observation) ? Y a-t-il une forme d'esprit scientifique, au sens de G. Gohau, qui est privilégiée ?

D'autres questions d'ordre épistémologique trouvent leur prolongement dans le cadre scolaire; elles ne pourront ici qu'être évoquées rapidement :

- la place de la théorie au sein de la démarche expérimentale : les épistémologues contemporains s'accordent à penser que la théorie est, sinon première, du moins en interaction permanente avec l'expérimentation. L'inductivisme naïf, qui place la seule observation des faits à l'origine des

(12) ASTOLFI J.P. et al., *Expérimenter, sur les chemins de l'explication scientifique*, Toulouse, Privat, 1984, et ASTOLFI J.P., "Résoudre des problèmes ou apprendre à la poser ?", *Cahiers pédagogiques*, 141, 1976.

(13) GIORDAN A. , *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, op. cité p. 2.

(14) GOHAU G., "Faut-il raisonner logiquement ?", *Cahiers pédagogiques*, 214, 1983.

découvertes, oublie que tout regard est imprégné des connaissances antérieures et d'hypothèses implicites (15). Or, d'après A. Giordan (16), une conception dominante dans l'enseignement scientifique est que les théories se déduisent des faits; ainsi en classe, c'est une démarche empirique, inductiviste qui est généralement adoptée : on présente d'abord quelques faits, puis on généralise à la loi ou à la théorie ;

quelles relations  
entre faits,  
expériences et  
théorie ?

- la question de la vérification des hypothèses : selon K. Popper (17), une hypothèse ne peut au plan logique être vérifiée ou confirmée; elle peut être soumise à des test expérimentaux qui permettront soit de la réfuter, soit de la corroborer provisoirement.(18)  
Fortement liée à l'empirisme inductiviste, une conception répandue chez les enseignants serait que le rôle des expériences est de vérifier les théories (19).

Il sera intéressant de savoir si ces conceptions sont présentes chez les enseignants interviewés. En particulier, qu'en est-il de la réfutabilité en classe ? Quelle fonction joue l'expérience : mise à l'épreuve d'une hypothèse, ou, quand on "vérifie" en reproduisant une expérience bien balisée, simple fonction illustrative ?

## 2. MÉTHODE EMPLOYÉE

### 2.1 Le corpus : les interviews d'enseignants

Les interviews ont consisté à faire décrire par des enseignants de biologie le déroulement de certaines séquences de classe et, en les questionnant, à les amener à s'exprimer, voire à se justifier sur leurs pratiques - donc, globalement, de faire dire à l'enseignant ce qu'il fait, comment il le fait et pourquoi il le fait.

- 
- (15) CHALMERS A.F., *Qu'est-ce que la science ?*, Paris, La Découverte, 1987.
  - (16) GIORDAN A. et al, *Histoire de la Biologie*, op. cité p. 1.
  - (17) POPPER K., *La logique de la découverte scientifique*, Paris, Payot, 1984.
  - (18) D'après les règles de la logique, il est impossible de vérifier une proposition universelle - une hypothèse, une théorie -, car on ne peut jamais s'assurer cas par cas que, dans toutes les circonstances où elle s'applique, elle est vraie. À l'inverse, un seul cas où cette proposition est mise en échec suffit à déduire qu'elle est fausse. C'est cette propriété logique qui est à la base du falsificationnisme de K. Popper : une hypothèse, pour être scientifique, doit être falsifiable. Le crédit qu'on peut accorder à une théorie est d'autant plus grand que l'on a mieux tenté de prouver qu'elle était fausse.
  - (19) Je n'ai repris, parmi les six points proposés par André Giordan dans son tableau des conceptions des enseignants, que les deux points qui paraissaient les plus pertinents pour l'analyse de cette situation spécifique. Il serait intéressant d'utiliser davantage ce tableau dans un cadre de travail élargi.

faire parler les  
enseignants sur  
leurs pratiques  
pédagogiques

Il est évidemment plus facile de s'exprimer sur le comment que sur le pourquoi. Aussi ai-je été amenée, au cours de chaque interview, à présenter à l'enseignant d'autres pratiques possibles, ceci afin de l'aider à mieux se situer, et donc à mieux cerner les raisons de ses propres choix.

Pour l'intervieweur, la difficulté consiste à mener l'échange avec suffisamment d'empathie envers son interlocuteur, afin que celui-ci parle en confiance et sans contrainte, tout en cherchant à lui faire prendre du recul par rapport à son propre discours. Il faut trouver la limite délicate entre des questions, assez déstabilisantes pour amener l'interviewé à aller plus loin dans son argumentation, et des remises en question qui ne sont pas, à mon avis, déontologiquement souhaitables dans ce contexte.

L'inconvénient majeur de la méthode choisie est qu'elle ne permet de recueillir que le discours des enseignants sur leur pratique, qui n'est en aucun cas assimilable à leur pratique réelle que seul un observateur extérieur aurait pu approcher. Entre une pratique et le discours sur cette pratique se produisent nécessairement des distorsions qu'il est difficile de mesurer.

On peut cependant estimer que cet inconvénient est tolérable dans la mesure où ce travail porte précisément sur les conceptions des enseignants. Néanmoins il s'agit d'avoir toujours à l'esprit, dans ce qui suit, qu'il y est question de pratiques telles qu'elles ont été reconstituées d'après le récit des enseignants et non de pratiques réellement observées.

## 2.2. Les enseignants interviewés

Par différentes relations personnelles, j'ai contacté cinq professeurs de biologie motivés par l'enseignement expérimental, et qui semblaient avoir des pratiques pédagogiques relativement différentes. L'évaluation de cette diversité a reposé plus sur des indices subjectifs que sur de véritables critères de sélection.

une étude  
qualitative ...

En fait, j'ai constaté a posteriori entre ces cinq professeurs des points communs importants : leur âge est très voisin (entre 39 et 45 ans), ils ont entre 16 et 20 ans d'ancienneté, ils ont reçu une formation universitaire de type semblable à la même époque, quatre d'entre eux ont poursuivi des études de 3ème cycle (DEA ou doctorat).

On remarque également par rapport au thème de l'interview une forte homogénéité entre les progressions de ces enseignants sur le thème "Aliments et digestion", qui sont très voisines et marquées par un grand respect du programme.

## 2.3. La méthode d'analyse des interviews

La retranscription des entretiens a fait apparaître deux séquences expérimentales communes aux cinq enseignements :

- l'une portant sur "l'analyse chimique des aliments"
- l'autre sur "la digestion artificielle d'un aliment par la salive".

Je reprendrai principalement ici le travail sur cette deuxième séquence.

L'analyse des interviews a été effectuée en trois points, correspondant à trois angles d'approche des conceptions des enseignants :

... sur la base  
d'une séance de  
T.P. sur la  
digestion  
pratiquée par les  
cinq enseignants

- analyse de la logique expérimentale mise en oeuvre, avec pour objectifs de cerner les modalités de développement de la preuve, et dans le même temps, de caractériser les différents modèles de démarches expérimentales mis en oeuvre ;
- analyse du style pédagogique employé, en lien avec le degré de directivité de l'enseignant et la part d'initiative laissée aux élèves dans la mise en place et la réalisation de la démarche ;
- analyse des justifications des enseignants sur l'intérêt, le bien-fondé de leurs pratiques.

La mise en parallèle de ces trois approches permettant de faire apparaître cohérences ou contradictions.

Pour chacun de ces points, deux sortes de démarches analytiques ont été mises en oeuvre, simultanément ou successivement :

- une démarche comparative, renvoyant entre eux les discours des enseignants,
- une démarche de prise de distance par rapport à ces discours, avec l'éclairage pouvant être apporté par ma propre réflexion ou les compétences "d'experts" en matière d'épistémologie ou de didactique.

### **3. ANALYSE DE LA SÉQUENCE EXPÉRIMENTALE "DIGESTION D'UN ALIMENT PAR LA SALIVE"**

#### **3.1. Analyse préalable**

Selon les termes du programme, cette séquence doit précéder les notions théoriques sur la digestion (20) : *"la transformation d'un aliment dans le tube digestif sera expliquée à partir d'une digestion in vitro"*. Le programme préconise donc une approche empirique du phénomène (du fait expérimental vers la théorie), démarche effectivement adoptée par les cinq enseignants.

Outre cette fonction introductive, la séquence fournit également l'occasion de développer des attitudes d'ordre métho-

---

(20) Au niveau de la classe de 3ème, la digestion est définie comme l'ensemble des transformations qui font passer, au cours de leur progression dans le tube digestif, des grosses molécules alimentaires à de petites molécules appelées nutriments, capables de traverser la paroi intestinale et de passer dans le sang.

de l'expérience  
vers la théorie

dologique en rapport avec l'expérimentation, qui ont déjà pu faire l'objet d'un apprentissage. C'est par contre la première fois qu'est abordée la notion d'expérience "in vitro".

Il est utile, en préalable à l'analyse des interviews, d'avoir une première vision globale de la façon dont les enseignants s'y prennent.

Cette expérience de digestion artificielle en classe a donc pour rôle de mettre en évidence la transformation d'un aliment. Trois points principaux peuvent être l'objet de cette mise en évidence, et donner l'occasion de développer la preuve :

- (1) l'existence d'une transformation chimique par un suc digestif
- (2) la nature de cette transformation : molécule complexe → molécule simple
- (3) la spécificité de l'action du suc digestif, et donc de l'enzyme ou des enzymes qu'il contient.

action de la  
salive in vitro

(1) Les cinq enseignants ont choisi d'étudier l'action de la salive, facile à recueillir, sur un aliment riche en amidon : le pain (professeurs A-B-E), la pomme de terre (professeur D), ou directement sur l'amidon (professeur C).

(2) Dans les cinq cas, il est mis en évidence en fin d'expérience que, dans les tubes contenant de la salive, un produit a disparu : l'amidon cuit, et qu'un autre est apparu : un sucre réagissant à la liqueur de Fehling (il s'agit de maltose, mais la formulation des enseignants est variable à ce sujet - pour simplifier, on utilisera par la suite le terme de "sucre", même s'il n'est pas assez précis).

De ce double résultat, il est conclu que l'amidon s'est transformé en sucre. Il y a donc assimilation de "disparition de X et apparition de Y", à "transformation de X en Y" :

- ceci fait l'objet d'une explicitation chez l'enseignant D : il fait faire un petit discours pour expliquer que *"la matière ne disparaît jamais, qu'elle se transforme."*
- elle est implicite chez les autres enseignants : si l'amidon a disparu, c'est forcément qu'il s'est transformé en autre chose, et ceci n'a pas besoin d'être dit.

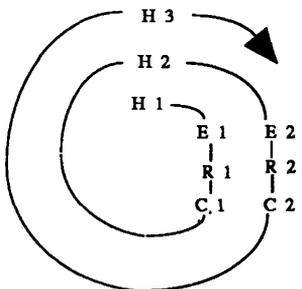
(3) Seul le professeur B aborde, de façon empirique, la notion de spécificité, par des expériences cherchant à prouver que la salive agit sur une substance, l'amidon cuit, et pas sur d'autres : l'albumine, l'amidon cru, et en expliquant aux élèves que *"les chercheurs ont dû essayer sur tous les aliments possibles pour arriver à la notion de spécificité"*.

Pour les autres enseignants, cette notion sera énoncée au moment de la généralisation.

### 3.2. Analyse des interviews au plan de la logique expérimentale mise en oeuvre, telle qu'on peut la reconstituer d'après le discours des enseignants

Les différences constatées entre les cinq démarches sont récapitulées dans le tableau suivant :

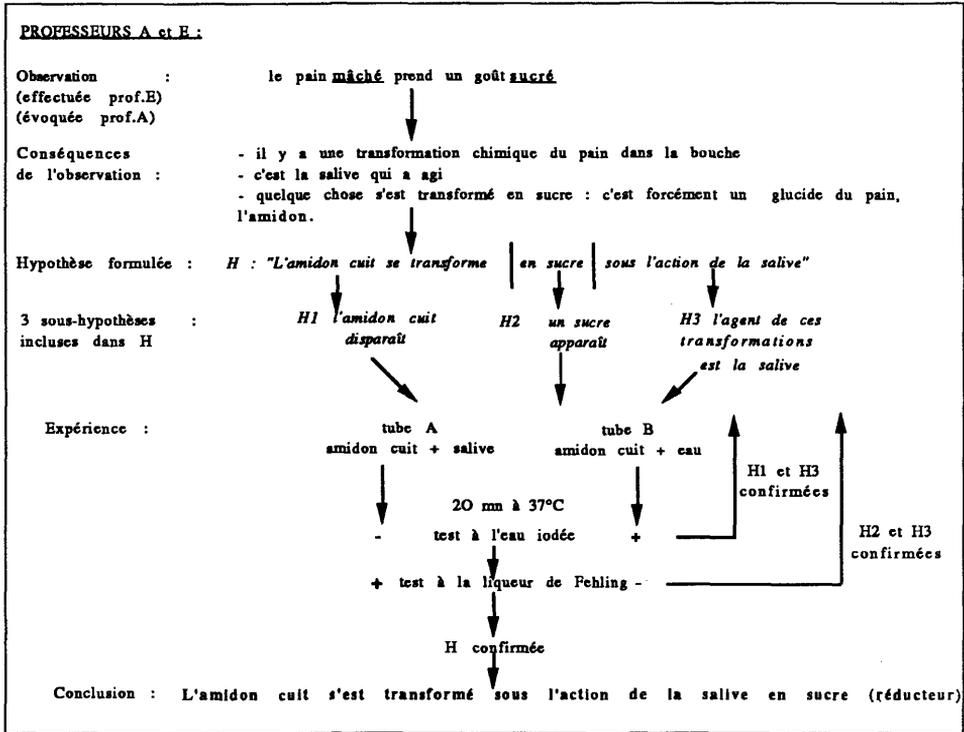
Tableau 1

<p style="text-align: center;"><b>Professeur B</b></p> <p style="text-align: center;">plusieurs directions envisagées</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">plusieurs hypothèses à tester</p> <p style="text-align: center;">↙ ↘</p> <p style="text-align: center;">hypothèses confirmées      hypothèses rejetées</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">conclusion ouvrant sur d'autres hypothèses</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">.....</p> <p>Démarche - multidirectionnelle - ouverte</p> <p>l'expérience permet un choix entre plusieurs possibles expérience = test</p>	<p style="text-align: center;"><b>Professeurs A-C-D-E</b></p> <p style="text-align: center;">une seule direction envisagée (celle des glucides)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">une hypothèse à vérifier</p> <p style="text-align: center;">prof. A-E hypothèse explicite introduite par une observation      prof. C-D hypothèse implicite dans le protocole expérimental</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">hypothèse confirmée</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">conclusion définitive fermant la démarche</p> <p style="text-align: center;">Démarche linéaire, canalisée un début, une fin</p> <p>l'expérience confirme le seul possible envisagé expérience = illustration</p>	
<b>Les différents modèles de démarche expérimentale</b>		
<p>modèle dit par l'enseignant "en coquille d'escargot"</p> 	<p>observation</p> <p>hypothèse</p> <p>expérience</p> <p>résultats</p> <p>interprétation</p> <p>conclusion</p>	<p>expérience</p> <p>résultats</p> <p>interprétation</p> <p>conclusion</p>

deux types de déroulement logique

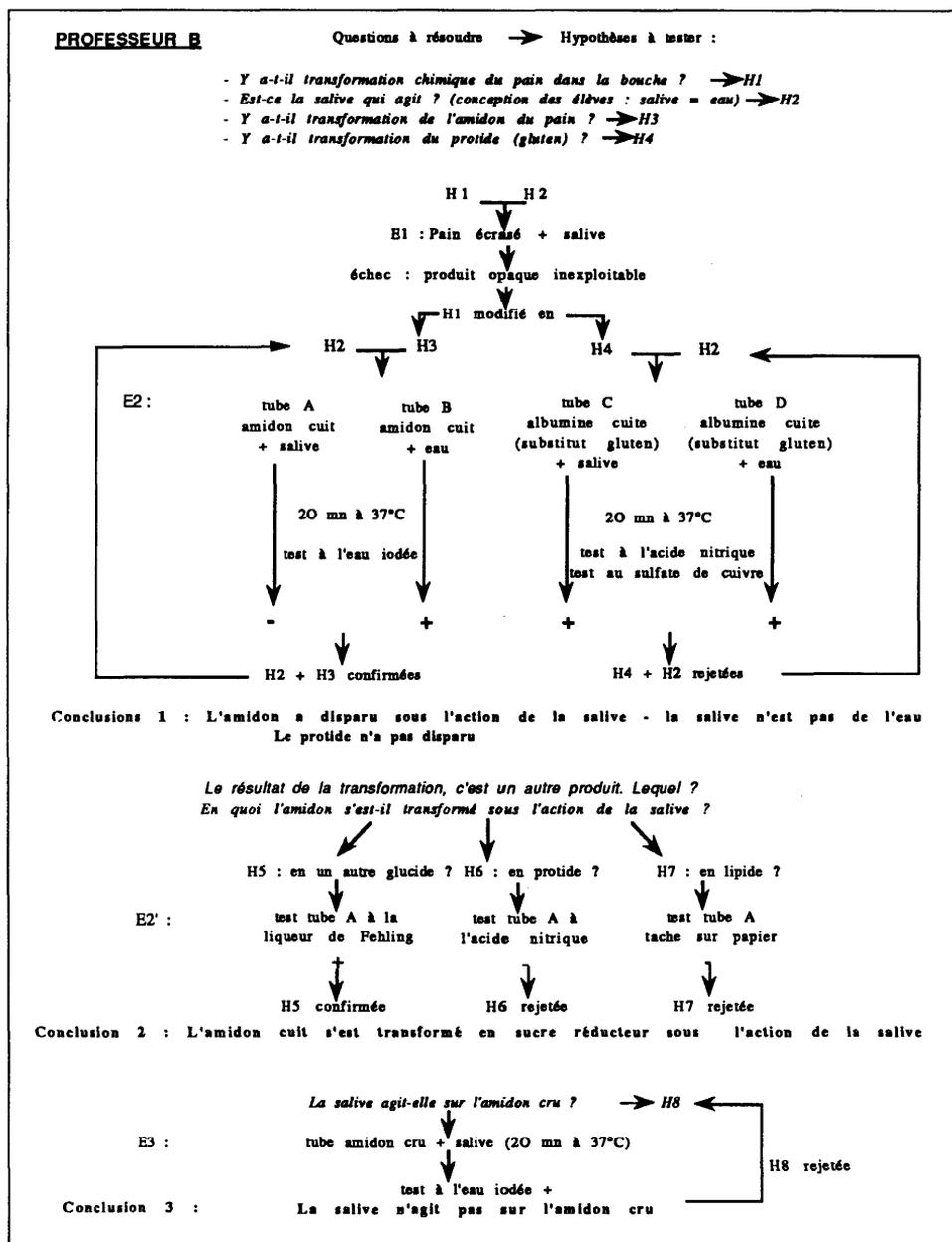
A titre d'exemples, la démarche des professeurs A et E (semblables à un détail près), celle du professeur B sont résumées par les schémas ci-dessous (21) :

Tableau 2



(21) Dans les tableaux, on a conservé le terme classique de "confirmation" de l'hypothèse.

Tableau 3



• Démarche globale

Elle est dans les cinq cas de type hypothético-déductif. La différence réside dans une explicitation plus ou moins claire des hypothèses de départ.

démarche  
hypothético-  
déductive  
explicite

Pour les professeurs A-B-E, il y a formulation d'hypothèse(s), suivie d'expérience(s) testant l(es) hypothèse(s).

ou implicite

En ce qui concerne le professeur C, l'objectif qu'il énonce pour cette expérience est de prouver l'affirmation préalable "la salive transforme l'amidon" (le mot hypothèse n'est pas prononcé). L'expérience permettra en plus de mettre en évidence en quoi l'amidon se transforme, objectif implicite dans le protocole expérimental donné par l'enseignant, et qui apparaît a posteriori lors de l'interprétation des résultats. Il y a donc bien au départ l'hypothèse "la salive transforme l'amidon en sucre", même si celle-ci n'est pas formulée explicitement.

Le professeur D semble à première vue plus proche d'une démarche empirique : faire des expériences "pour voir" sans passer par la formulation d'hypothèses. On cherche à reproduire in vitro les conditions de la situation "pommes de terre dans la bouche" et "on regarde ce qui se passe", selon l'expression de l'enseignant.

En réalité les tubes qui sont ainsi mis en place (pomme de terre cuite + salive, pomme de terre cuite + eau) ont leur raison d'être par rapport à ce que l'enseignant veut montrer et des résultats qu'il veut obtenir. On n'est pas véritablement en situation de tâtonnement empirique. Il y a bien des hypothèses, mais elles sont là aussi implicites. (22)

Je ne reprendrai pas ici point par point les différentes étapes de la démarche; deux de ces étapes sont significatives et méritent une analyse plus précise.

• L'émission d'hypothèses

Pour les professeurs A et E, l'hypothèse est émise à la suite de l'observation "le pain mâché prend un goût sucré".

Cette observation joue un rôle-clé pour la suite de la démarche : celui de réduire le champ des possibles. "La digestion du pain" devient alors "la transformation de l'amidon en sucre" et seule cette hypothèse sera testée.

observation  
initiale : le goût  
du pain mâché

La logique expérimentale se construit donc entièrement à partir de cette observation, dont les professeurs eux-mêmes reconnaissent la fragilité :

- pour le professeur A, il s'agit d'un souvenir évoqué et non d'une observation effective : *"il y en a toujours un ou deux (élèves) qui me disent que ça devient sucré"*.

---

(22) G. Gohau, dans "Faut-il raisonner logiquement ?", op. cité p. 114, montre que pour les élèves, interpréter une expérience en classe, ou en situation d'examen, revient en fait à retrouver les hypothèses implicites dans la définition du protocole expérimental.

- le professeur E fait réaliser l'observation en classe, mais n'est pas convaincue elle-même du résultat : *"soi-disant ça prend un goût sucré, il y en a bien toujours un qui le trouve", "c'est un espèce de tour de passe-passe"*.

la "bonne"  
hypothèse

On peut se demander pourquoi recourir à une observation aussi précaire et aussi peu fondée. D'après le discours des enseignants, c'est bien la volonté de cadrer la démarche dans la "bonne" direction, celle qui va conduire aux résultats attendus : *"(car sinon) pourquoi on va se mettre à chercher ce que la salive fait sur cet amidon, pourquoi on ne va pas chercher n'importe quoi d'autre, pourquoi on va chercher juste un sucre réducteur ?"*, dit le professeur E.

plusieurs séries  
d'hypothèses

Le professeur B, pour les raisons évoquées ci-dessus, ne part pas de l'observation gustative du pain mâché. L'hypothèse initiale énoncée par l'enseignant "le pain est transformé chimiquement par la salive", est modifiée à la suite d'une première expérience de tâtonnement : "pain écrasé + salive", qui donne une bouillie opaque inexploitable. Vient alors l'idée d'étudier séparément les composants du pain. Les hypothèses partiront dans deux directions correspondant aux deux principaux constituants du pain : l'amidon et le gluten. Les substances de faible concentration (lipides, sels minéraux) ne sont pas considérées. A la suite de l'expérience 2, il y aura une deuxième série d'hypothèses à propos du devenir de l'amidon. Trois directions seront envisagées, la transformation en un autre glucide, la plus probable, n'est pas la seule retenue.

En ce qui concerne les professeurs C et D, les hypothèses implicites les rapprochent des professeurs A et E.

Pour le professeur C, la démarche est d'emblée très cadrée, puisqu'il ne s'agit pas de la transformation d'un aliment complexe mais de l'amidon.

Pour le professeur D, il y a, comme pour A et E, assimilation de l'aliment étudié à son constituant principal: *"la pomme de terre est composée d'amidon, tout le monde (les élèves) en est bien persuadé."*

En réalité, la pomme de terre contient en poids sec presque autant de protides que le pain. Mais cela permet là aussi d'axer la démarche sur la transformation d'un glucide en un autre glucide.

#### • L'interprétation des résultats

Pour les professeurs A et E, l'hypothèse est "confirmée" : ceci découle logiquement du reste de la démarche qui, comme on l'a vu, a été canalisée précisément dans le but d'obtenir cette confirmation.

Chez les professeurs C et D, on a montré que l'interprétation des résultats revient à confirmer les hypothèses implicites, puisque le protocole expérimental a été mis en place dans ce sens.

Le professeur C est d'ailleurs très clair à ce sujet : il n'envisage pas d'autre éventualité que la confirmation.

expérience-test  
ou expérience-  
illustration ?

Pour le professeur B, certaines hypothèses sont confirmées, d'autres rejetées. Il est plus proche d'une attitude "falsificationniste", où l'expérience a véritablement fonction de test par rapport aux hypothèses.

A l'inverse, quand seule la confirmation de l'hypothèse est envisagée, l'expérience a plutôt un rôle d'illustration et d'introduction aux notions théoriques ultérieures. C'est une pratique d'ordre expositif, où la démarche de preuve consiste à montrer plutôt qu'à démontrer.

En outre, on note que chez le professeur B, la confirmation d'une hypothèse ne clôt pas la démarche : elle peut être le point de départ de nouvelles hypothèses et de nouvelles expériences, ce que l'enseignant dénomme une démarche "en coquille d'escargot".

Dans les autres pratiques, la confirmation de l'hypothèse apparaît comme le point final de la démarche, qui trouve son aboutissement dans une conclusion définitive.

### 3.3. Analyse des interviews au plan du style pédagogique

Pour les raisons évoquées plus haut, les critères retenus pour différencier les enseignants ont trait à la part d'initiative, plus ou moins grande, laissée aux élèves dans le déroulement de la séquence, telle que le discours des enseignants permet de le supposer. On peut dans cette optique retenir les trois points suivants, récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4

	participation des élèves lors de l'émission d'hypothèses	définition du protocole expérimental	réalisation des tests
prof. A	présente mais dans un cadre bien délimité par l'enseignant : après réflexion sur l'observation du pain mâché	élaboré avec la participation des élèves au cours d'une réflexion en début de séance sur le transfert des conditions de l'organisme "in vitro"	par les élèves
prof. B	présente dans un cadre plus élargi, le professeur dit encourager les élèves à envisager toutes les hypothèses possibles	élaboré petit-à-petit au cours de la séquence à partir des hypothèses successivement émises, quitte à tester des hypothèses farfelues pour "celui qui sait", celle qu'un glucide se transforme en protide, par ex.	par les élèves
prof. C	inexistante	le protocole est défini sur un polycopié distribué en début de séance	par l'enseignant
prof. D	présente de façon très ponctuelle ; en fin d'expérience, les élèves réfléchissent sur le possible devenir de l'amidon disparu	idem prof. A	par l'enseignant, sauf test à la liqueur de F. réalisée par un élève
prof. E	idem prof. A	idem prof. A	par les élèves

Conclusion : Dans aucun des cas, les élèves ne sont laissés entièrement autonomes à un moment quelconque de la séance. Le degré de directivité de l'enseignant est cependant plus ou moins important.

l'enseignant  
incite à la  
convergence ...

Professeurs A et E : Les élèves manipulent, certes, mais en suivant un chemin très canalisé dès le départ dans la bonne direction, celle des glucides. Leur réflexion est sollicitée au moment de la mise en oeuvre de la technique "in vitro", tout en restant dans le cadre du raisonnement de l'enseignant. Ce raisonnement, mis en évidence au 3.2., est marqué par le respect scrupuleux d'étapes successives reproduisant le modèle OHERIC, qui permettent d'avancer en ligne droite de l'observation à la conclusion : on est là typiquement dans le cadre de la méthode expérimentale héritée de C. Bernard. C'est ici l'esprit logique et la rigueur du raisonnement qui sont sollicités, le "deuxième esprit scientifique" de G. Gohau.

... ou à la  
divergence

Professeur B : Il laisse aux élèves une certaine possibilité d'errance et de tâtonnement. Ils sont encouragés à envisager tous les possibles, à ne pas se limiter à une seule idée, et il faut parfois "les pousser dans ce sens-là", dit l'enseignant. On peut dire qu'ici, c'est "l'esprit de découverte" que le professeur cherche à développer chez ses élèves, le "premier esprit scientifique" de G. Gohau, faisant intervenir imagination et créativité.

Professeurs C et D : La voie à suivre est largement indiquée par l'enseignant, voire comme l'affirme le professeur C, totalement imposée.

Cependant, si l'on se réfère à l'analyse de leur démarche logique, on voit qu'elle est beaucoup moins marquée par le souci de méthode que chez les professeurs A et E : pas d'hypothèses formulées, chemin moins rigoureusement balisé.

Ceci ne signifie pas pour autant que l'on est en situation de découverte et de tâtonnement : la démarche est bien canalisée dans une seule direction.

Le critère autonomie/directivité ne semble pas très significatif dans le cas de ces deux pratiques, qui échappent au cadre fixé pour l'analyse présente.

Pour les autres enseignants, il existe une corrélation entre le type de logique mis en oeuvre et le style pédagogique : plus cette logique est linéaire, avec le souci d'apprendre aux élèves une méthode expérimentale rigoureuse, plus la directivité est grande, dans la mesure où le professeur planifie entièrement d'avance la séance pour qu'elle se déroule précisément suivant cette logique, et qu'elle suive la succession immuable des étapes d'une sorte de "rituel" expérimental.

### 3.4. Analyse des justifications des enseignants

En s'exprimant sur l'intérêt de cette séquence, les enseignants sont amenés à préciser les aspects de la démarche

qu'ils cherchent à mettre en avant auprès de leurs élèves et, dans le même temps, les raisons pour lesquelles ce sont ces aspects qui sont privilégiés.  
Ces justifications sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 5

	PROFESSEURS
Avec la démarche expérimentale, les élèves apprennent :	
- à être rigoureux :	A - E
. déduire les choses de façon logique	A - E
. construire un raisonnement	A - E
. suivre une direction, ne pas partir dans tous les sens	A - E
. être précis dans la réalisation d'une expérience	E
- à acquérir un "esprit de recherche"	B - D
. se remettre en question, accepter de se tromper et de recommencer	D
. critiquer sa démarche, ses conclusions	B
. réfléchir sur ses erreurs	B - D
. envisager et tester un grand nombre d'hypothèses	B
- à développer des attitudes transférables à la vie quotidienne	B - D
. sens critique	B
. ouverture d'esprit	B - D
- dépasser l'échec, insister, se battre	D
- face à un choix, envisager toutes les options	B
- à développer l'autonomie	C
- à s'approcher de la démarche des chercheurs; la recherche scientifique	
. donne le modèle de la rigueur, de la précision, de la logique	A - E
. met en oeuvre des méthodes rigoureuses	A - E
. procède par tâtonnement, allers-retours, erreurs	B - D
. nécessite un grand nombre d'hypothèses et d'expériences, est multidirectionnelle	B

Les professeurs A et E insistent tous deux sur le caractère construit, convergent de la démarche, sur l'importance d'apprendre à conduire un raisonnement de bout en bout dans une direction donnée. Ils utilisent des termes presque semblables :

- prof. E : *"Je crois qu'on ne peut pas laisser (les élèves) partir tous azimuts"*.
- prof. A : *"Je ne me voyais pas laisser les gamins partir dans tous les sens"*.

Le professeur B cherche à transmettre l'idée que la démarche expérimentale est divergente, multidirectionnelle, explorant un grand nombre de possibles et procédant par allers-retours entre hypothèses et expériences : *"Chaque conclusion ramène à une nouvelle expérience, ça n'a jamais de fin"*.

deux modèles de raisonnement expérimental ...

Le professeur D met également en avant la divergence de la démarche, mais vue sous l'angle du tâtonnement, de l'hésitation, de la réflexion sur les erreurs et les résultats inattendus, sur le fait *"qu'on ne sait pas d'avance ce qu'on va obtenir"*.

Pour les professeurs A-B-E, ces justifications sont tout-à-fait concordantes avec leurs pratiques telles qu'on a pu les analyser dans les deux paragraphes précédents.

Ce n'est pas le cas pour le professeur D : sa démarche, telle qu'elle la rapporte pour cette séquence expérimentale, ne correspond qu'en apparence à une situation de tâtonnement. Ce décalage tient sans doute en partie au fait que cette justification intervient en fin d'interview, et se rapporte en réalité aux deux séquences décrites. Or c'est le professeur D qui, pour la séquence "Analyse chimique des aliments", allait le plus loin dans le sens du tâtonnement des élèves et d'une démarche par "essais-erreurs". Pour ce qui concerne le chapitre sur la digestion, l'enseignant explique qu'il ne l'a délibérément pas centré sur l'apprentissage de la démarche expérimentale.

De la même façon, le professeur C dit privilégier en 3ème les objectifs de contenu par rapport aux objectifs méthodologiques. Ceci explique qu'il s'exprime très peu, en cours d'interview, sur la démarche expérimentale, comme on le voit dans le tableau.

En ce qui concerne les arguments avancés par rapport à ces choix, ils sont de deux ordres :

- de l'ordre des valeurs personnelles des enseignants relatives à l'éducation, des aspects de la personnalité qu'ils souhaitent développer chez leurs élèves par le biais de l'enseignement scientifique ;
- de l'ordre de "l'épistémologie spontanée", de l'idée que ces enseignants se font de la science et de la recherche.

#### • Les valeurs éducatives

On constate deux tendances très contrastées :

- pour les professeurs A et E, la démarche expérimentale permet de développer chez les élèves rigueur, esprit logique, aptitude à raisonner.

*"Que ce soit rigoureux, le plus rigoureux possible, c'est tout ce que je vois pour former à l'esprit scientifique"* dit le professeur A.

- les professeurs B et D évoquent chacun à leur manière leur souci de développer l'esprit de "recherche".

Prof. D : *"leur faire comprendre que ça ne tombe pas tout chaud dans le bec"*

Prof. B : *"leur montrer que ça ne s'est pas fait comme dans le livre"*

Grâce à la démarche expérimentale, ils cherchent à faire acquérir aux élèves une certaine ouverture d'esprit : aptitude à se poser des questions, à accepter les échecs, à réfléchir sur sa démarche, à envisager d'autres solutions.

Le professeur B insiste tout particulièrement sur le développement du sens critique.

Les deux enseignants expriment aussi tous deux l'idée que ces attitudes seront utiles aux élèves dans leur vie quotidienne. Ainsi, le professeur B : *"Pour moi l'expérience c'est*

... sous-tendus  
par deux sortes  
de valeurs  
privilegiées

*le sens de la vie... dans la vie, quand à un moment donné tu as un choix à faire, si tu as vu toutes les options, tu te donnes toutes les chances."*

Au travers de l'apprentissage de la démarche expérimentale, c'est toute une perspective éducative qui serait en jeu.

• "L'épistémologie spontanée"

Pour justifier leur pratique et leurs idées sur la démarche expérimentale, les enseignants font référence à ce qu'est pour eux la science et la démarche des chercheurs.

On observe encore le même regroupement d'enseignants :

- pour les professeurs A et E, les scientifiques, les chercheurs en laboratoire donnent le modèle d'une méthode rigoureuse, mettant en oeuvre des conditions précises pour obtenir un résultat ;
- pour les professeurs B et D, la recherche scientifique ne se fait pas en ligne droite, elle avance difficilement avec des fausses routes et des échecs.

On retrouve donc, pour les deux types d'arguments, la même alternative évoquée au 3.2, exprimée cette fois et sous différents angles, par les enseignants eux-mêmes :

- les professeurs A et E du côté de l'esprit logique exclusivement,
- les professeurs B et D du côté de l'esprit de découverte.

... et deux types de conceptions sur la recherche scientifique

#### 4. CONCLUSIONS

J'ai rapporté jusqu'ici le travail sur la séquence expérimentale de digestion *in vitro*. En ce qui concerne la première séquence étudiée (l'analyse chimique des aliments par les réactifs spécifiques), l'analyse des entretiens donne le même type de résultats sauf, comme je l'ai mentionné au 3.3., pour le professeur D :

- les professeurs A-C-E mettent en oeuvre une logique très linéaire, avec le souci très marqué pour cette séquence de faire éviter aux élèves les fausses routes et les résultats négatifs : ne sont utilisés que les "bons" réactifs, ceux dont l'enseignant sait d'avance qu'ils vont donner des résultats positifs aux tests ;
- les professeurs B et D adoptent une démarche par "essais-erreurs", utilisant toute la gamme des réactifs à disposition dans la classe.

Les justifications des enseignants font apparaître une autre conception chez les professeurs A-C-E : faire une expérience

importance du  
"concret"

permet un contact avec le réel, qui favorise l'apprentissage. L'élève comprend et apprend mieux quand "c'est concret", quand il peut toucher, voir, agir.(23)

Au terme de ces analyses, une vision globale des résultats permet de faire apparaître cohérences et contradictions.

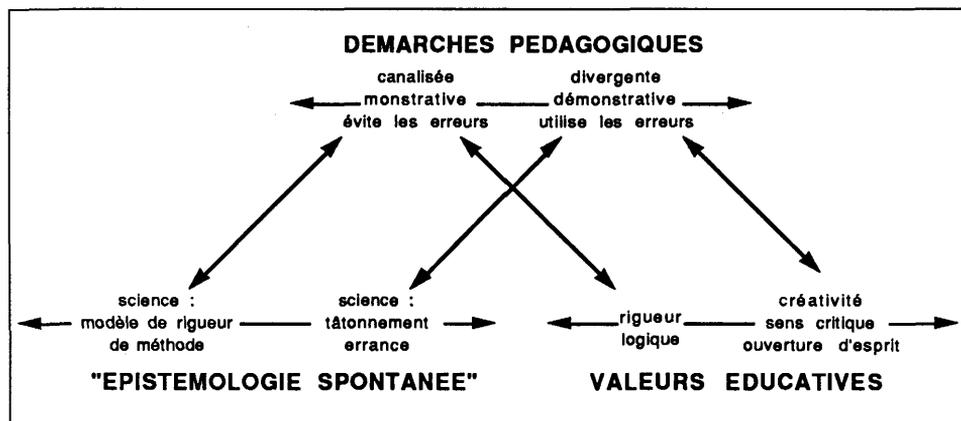
#### 4.1. Cohérences

Globalement, les démarches pédagogiques telles qu'on a pu les reconstituer, tant au plan de la logique mise en oeuvre que du style d'enseignement, s'apparentent à deux tendances différentes :

- une tendance convergente, directive, monstrative : c'est le cas des professeurs A-C-E pour les deux séquences expérimentales ;
- une tendance divergente, démonstrative et laissant plus libre cours à la pensée des élèves : c'est le cas des professeurs B et D pour au moins une des deux séquences expérimentales (le professeur B pour les deux séquences, mais de façon plus marquée dans la deuxième - le professeur D seulement dans la première séquence).

On a pu noter qu'il existe un parallélisme remarquable entre la pratique pédagogique et les deux sortes d'arguments avancés, les enseignants se répartissant, au niveau de chacun de ces trois pôles, autour de deux positions contrastées, comme on peut le faire apparaître dans le schéma suivant :

Tableau 6



(23) Cette idée est à rapprocher de ce que S. Johsua appelle "le mythe de la naturalisation du savoir"; l'auteur remet en question l'idée que le concret permet un meilleur passage à l'abstraction. (JOHSUA M.A. et S., "Le fonctionnement didactique de l'expérimental dans l'enseignement scientifique", *R.D.M.*, volume 8 n°3, p. 5-27, 1987 et volume 9 n°1, P. 231-266, 1988.

une pratique sans  
références, sans  
recul

On peut, à partir de ce constat, s'interroger sur les fondements d'une pratique pédagogique.

La manière dont ces professeurs enseignent la démarche expérimentale semble être en prise directe avec leurs valeurs propres vis-à-vis de l'éducation (développer la rigueur, l'esprit critique), et avec leurs idées sur la science.

On remarque au cours des interviews l'absence de références au plan philosophique ou épistémologique, Claude Bernard lui-même étant à peine cité.

Il y a là un paradoxe de fond : recourir à la démarche expérimentale, c'est se donner les moyens de prendre de la distance par rapport aux croyances et aux intuitions de chacun, c'est une recherche de la vérité la plus objective possible.

Enseigner la science, c'est transmettre non pas ses idées personnelles, mais le fruit d'un savoir socialisé, par rapport auquel il y a eu démonstration, où l'expérimentation a joué un rôle fondamental.

Or paradoxalement, la pratique expérimentale des enseignants n'est justifiée que par des arguments intuitifs, empiriques et idéologiques. En l'absence de références, en l'absence de réflexion sur la démarche expérimentale, ce qui fonde leur pratique, ce sont des valeurs dont ils sont porteurs.

une question de  
formation ?

Il resterait à rechercher quelles sont les origines de ces valeurs, et en particulier à analyser l'impact des études universitaires (24) : quelles conceptions de la démarche expérimentale ont été transmises à ce niveau (25), ont-ils reçu un enseignement en épistémologie ou en histoire des sciences, et quel type d'enseignement ?

Car c'est bien la question de la formation des professeurs qui se pose à ce niveau, formation qui devrait leur apporter les fondements théoriques nécessaires pour prendre du recul par rapport à leur pratique expérimentale, ainsi que leur donner les moyens de mettre en place des situations d'apprentissage moins limitées que celle présentée ici. Il y a là un véritable travail de transposition didactique de la démarche expérimentale à effectuer, au même titre que la transposition des contenus enseignés.

#### 4.2. Incohérences

Dans le discours des enseignants, entre leurs pratiques telles qu'ils les décrivent et telles qu'ils les justifient, on peut

---

(24) Il faudrait pour cela agrandir l'échantillon : ici, quatre enseignants ont été initiés à la recherche dans le cadre d'un DEA, ce qui est loin d'être le cas général.

(25) On peut citer à ce propos les travaux de Bernard DARLEY, "Analyse sur les représentations de la démarche expérimentale chez quelques enseignants-chercheurs en biologie animale", *Les Cahiers du Séminaire Recherche-Formation de l'I.F.M.*, Publications de l'I.F.M., Université Joseph Fourier de Grenoble, 1990-91.

relever des contradictions, qui pourraient faire l'objet d'une étude à part entière. On se contentera d'en évoquer deux.

• À propos du tâtonnement, de la découverte

Pour les professeurs B et D, ce sont les aspects à privilégier dans l'apprentissage expérimental.

tâtonnement  
illusoire ...

Or, on l'a vu pour le professeur D, dans la séquence sur la digestion, des expériences "où on regarde ce qui se passe", sans hypothèse explicite, peuvent ne donner qu'une illusion de situation de tâtonnement. Le professeur, lui, sait très bien où il veut mener ses élèves.

Le professeur B constate quant à lui qu'il est limité dans ce sens par les contraintes du cadre scolaire, et que sa démarche est, selon ses termes, "bricolée, manipulée".

... limité par les  
conditions de  
classe

*"La démarche expérimentale telle que je la pratique, ce n'est pas la vraie, par rapport à celle du chercheur. Tu ne peux pas errer. J'essais au mieux de m'en approcher."*

Vaste débat qui renvoie à la question de la transposition didactique évoquée plus haut.

• À propos de la rigueur

Pour les professeurs A et E, la rigueur est l'argument principal, le mot-clé qui fonde leurs conceptions sur la démarche expérimentale.

Qu'en est-il de leurs pratiques ?

Tous deux mettent une grande rigueur dans les compte-rendus écrits d'expérience. Celui sur la digestion "in vitro" est dans les deux cas rédigé suivant le plan très précis OHERIC. Mais s'il y a une grande rigueur dans l'exposition de la démarche, y en a-t-il beaucoup dans la démarche elle-même, entièrement basée sur une observation, on l'a vu, bien précaire ?

rigueur formelle

Pour le professeur E, ses arguments ont trait en fait le plus souvent à la rigueur manipulatoire, elle dit "s'accrocher aux conditions expérimentales": *"On ne met pas n'importe quoi dans les tubes, il y a des exigences."*

Chez le professeur A, on remarque un grand souci de précision au niveau du vocabulaire. Par exemple, pour la liqueur de Fehling, il est important de parler de précipité et non de coloration; pour le rôle de la salive, il insiste beaucoup sur le fait qu'il est incorrect de dire que la salive "fragmente" l'amidon : il faut employer les mots justes, être rigoureux dans la formulation.

Tout se passe comme s'il y avait un déplacement de la rigueur: de la rigueur du raisonnement expérimental, on glisse, avec la précision des conditions expérimentales, celle du vocabulaire, vers une rigueur purement formelle.

Quand j'ai cherché, au cours des interviews, à pointer certaines contradictions, ou quand les enseignants eux-mêmes ont exprimé leurs incohérences ou leurs insatisfactions, ils s'en sont toujours arrêté à ce constat: *"C'est comme ça, on ne peut pas faire autrement."*

une pratique est  
un phénomène  
complexe

Il est bien évident qu'une pratique pédagogique ne peut pas être entièrement expliquée, argumentée rationnellement. Elle comporte une grande part d'irrationnel, d'intuition, de routine également.

Il faut compter aussi avec les limites personnelles du professeur, et de sa difficulté d'exister à l'articulation entre des valeurs théoriques et ses capacités individuelles de mise en oeuvre.

*"Je pense que si j'étais moins directive, je partrais dans des trucs ingérables, que moi je ne saurais pas gérer."* ( Prof. A)

Une pratique de classe est, comme toute action, le résultat d'un compromis entre le projet de l'enseignant (que les professeurs interviewés reconnaissent n'être pas toujours très clair), et les conditions limitantes spécifiques de chacun.

En cela, ce travail de caractérisation des conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale diffère fondamentalement d'un recueil classique de représentations sur un contenu conceptuel précis : ici, il ne s'agit pas de s'exprimer sur un concept théorique neutre et aseptisé, mais sur une démarche mise en oeuvre dans la quotidienneté de sa pratique.

Cette mise en oeuvre passe par bien autre chose que l'intellect, et met en jeu bien d'autres éléments que les arguments recueillis.

Éliane ORLANDI  
LIRDIS  
Equipe de Recherche en Didactique de la  
Biologie  
Université LYON 1