

QUAND LES OBSTACLES OUVERT DES PERSPECTIVES PÉDAGOGIQUES : RÉCIT D'UN ITINÉRAIRE PERSONNEL

Alain Monchamp

La participation à une recherche de l'INRP a permis à un enseignant d'identifier certaines représentations d'élèves à de réels obstacles à la compréhension de manifestations de la vie. Cette prise de conscience l'a conduit à tenter une réforme de ses pratiques en les recentrant sur l'élève de classe de Seconde.

Cette réforme fut menée en fonction des premiers obstacles repérés par l'équipe. Chemin faisant, l'analyse constante des relations entre activités proposées, obstacles hypothétiques et réactions d'élèves a permis de dégager et de hiérarchiser d'autres obstacles, tant du côté apprenant que du côté enseignant... Elle a aussi permis d'apprécier la pertinence de certaines stratégies et de les retenir pour les incorporer dans un dispositif progressivement construit.

Dans ma vie d'apprenant puis d'enseignant en biologie, j'ai vécu deux moments importants. Bien qu'étroitement liés ils sont espacés par des décennies :

- la remise en cause profonde et révolutionnaire de ma représentation enfantine de l'être vivant, conséquence de mes études universitaires de la biochimie et des concepts d'information génétique d'une part, d'énergie d'autre part (thermodynamique appliquée à la biologie...) ; mes lectures, dont les écrits de François Jacob (1), ont conforté cette remise en cause et ont largement participé à la réorganisation de mes connaissances, vers un modèle plus matérialiste qu'avant, moins magique en tous cas ;
- la remise en cause, sévère parce que tardive, de l'efficacité de mon enseignement en classes de Seconde, et donc de mon utilité face à la résistance des représentations de mes élèves à propos de l'être vivant.

un constat naïf :

Cette double prise de conscience est paradoxale parce qu'une réflexion sur la première aurait pu m'aider à éviter la seconde si je m'étais demandé :

- les élèves ont-ils des représentations initiales du vivant identiques à celles que j'avais à leur âge ?
- mon enseignement leur permet-il de les réviser ? et sinon comment faire ?

(1) Jacob, F. *La logique du vivant, une histoire de l'hérédité*, Bibliothèque des Sciences humaines, Gallimard, 1970.

un objet peut
être compris
de différentes
manières

Mais cette remise en cause ne fut possible qu'après une réflexion sur la matière et ses transformations menée au sein d'une équipe de l'INRP (2), en sciences expérimentales.

C'est ainsi que j'ai été conduit à contester mes pratiques antérieures et à chercher à inventer de nouvelles stratégies pour aider les élèves à se construire de nouveaux modèles théoriques, et par là à réduire, et si possible, à identifier les obstacles à une certaine compréhension du vivant.

Au cours des ans, la rencontre entre mon bagage théorique et la réalité de la classe (constats, hypothèses, essais...) m'a conduit à modifier à la fois ma manière de concevoir l'enseignement et mes pratiques pédagogiques. Mon témoignage pouvant trouver un écho chez des collègues soucieux des difficultés des élèves, je présenterai d'abord les aspects du vivant qui ont retenu mon attention puis je décrirai mes essais répétés pendant trois ans, en tâchant de développer à la fois les éléments théoriques qui les ont sous-tendus et la logique de leur succession.

1. ASPECTS THÉORIQUES

1.1. Interprétation du vivant par la pensée commune constituant un obstacle à son approche scientifique

En biologie, on s'intéresse à des manifestations de la vie qu'on tente de décrire et, éventuellement d'expliquer. Or, pour chaque enfant (et beaucoup d'adultes), dans chaque être vivant se tient la Vie, non pas en tant que concept mais comme entité indivisible, quasiment perçue comme réelle. En même temps, la vie est ramenée à une force qui, d'elle-même, organise les substances du corps contre les règles de la physique et du monde minéral. Cette "force vitale" est transmise d'un être à son œuf qui en hérite. C'est une propriété de chaque être, une vertu insécable qui fait que le vivant est compris comme un objet magique et sacré. La matière vivante, continue, homogène se voit parée de vertus que l'affect fait naître.

certaines
manières
de penser un être
vivant...

La matière vivante est donc "interprétée" *a priori* par chacun de nous. C'est un objet construit, même s'il est apparemment donné. Spontanément, il ne peut avoir le même statut qu'un objet mécanique. Il ne mobilise pas la même attitude

-
- (2) Le thème de travail de cette équipe a porté sur les situations d'apprentissage orientées par des objectifs-obstacles, à propos de la matière et de ses transformations. Brigitte Peterfalvi en a été la responsable. Cet article lui doit beaucoup parce qu'avec Anne Vérin elle m'a patiemment aidé à expliciter *a posteriori* certaines de mes intentions, l'intuition ayant guidé, pour une certaine part, les choix et les actions du praticien que je suis.

d'esprit que celle qui préside à l'examen d'un moteur qu'on démonte progressivement et dont on reconstitue le fonctionnement (cf. Canguilhem G., article sur "la vie", *Encyclopædia Universalis*, p. 766 : "On conçoit aisément que l'extension à la vie des méthodes de la connaissance de la matière ait rencontré jusqu'à nos jours des résistances renouvelées [...]"). C'est ce qu'on a nommé le "vitalisme".

Cette sorte de "paravent métaphysique" est susceptible de perturber une approche scientifique, quel que soit l'âge de l'individu, parce qu'il répond à toutes les questions possibles avant qu'elles ne soient posées. Cette représentation empêche de comprendre la plupart des mécanismes biologiques parce que ce sont justement des mécanismes, c'est-à-dire des événements réduisant la vie à des manifestations des lois de la matière.

En effet, les phénomènes énergétiques et d'information, qu'il s'agisse d'information génétique (hérédité) ou nerveuse (traitement de l'information/pensée) ne sont pas compréhensibles sans la chimie, la physique, les mathématiques. Sans ces dernières disciplines, les mécanismes qui concernent la matière du vivant et sa croissance (par exemple les recombinaisons d'atomes qui permettent de faire du vivant avec du non-vivant - autotrophie) ne le sont pas davantage. Sans parler du vieillissement, voire de la mort... Et c'est à cette nouvelle compréhension, beaucoup plus vaste et précise que la précédente, que mes études de biochimie m'avaient conduit.

...excluent
toute approche
scientifique

Parce qu'elle perturbe tout accès aux concepts biologiques fondamentaux, je considère la représentation vitaliste comme un obstacle central à une certaine compréhension du vivant. Il n'est pas question ici d'opposer esprit et matière ou de supprimer tout vitalisme. Il s'agit plutôt de montrer aux élèves qu'une compréhension de certains aspects ou fonctions du vivant peut être autorisée, et cela de manière fructueuse, par les outils de la physique et de la chimie même si le problème abordé est fondamentalement biologique.

L'appel à ces outils est justifié par les instructions officielles, nous le verrons. Il permet à l'élève de rompre la frontière entre l'inerte et le vivant et de construire un système explicatif puissant capable de réduire une tendance naturelle de l'élève à la "mémorisation par cœur".

1.2. Construction d'un système explicatif alternatif prenant en compte les obstacles des élèves

l'idée de base :
installer
un système
explicatif
alternatif...

Tout individu interprète une situation à partir de ses acquis. J'ai donc pensé qu'il fallait d'abord agir au niveau du "déjà-là", en proposant un système explicatif alternatif. Il ne s'agit donc pas de "détruire" la représentation-obstacle mais de

proposer une autre manière de répondre et de montrer qu'elle répond plus efficacement à des problèmes.

En résonance avec mon vécu d'étudiant, je formule l'hypothèse que la nouvelle proposition peut, dans un premier temps, être acceptée intellectuellement par l'élève qui s'efforce d'expliquer des situations biologiques. Et parce que le nouveau modèle proposé contredit (conflit) les représentations initiales tout en permettant à une autre cohérence d'émerger, on peut espérer que cette nouvelle compréhension de situations déshabituée progressivement l'apprenant à utiliser ses représentations initiales génératrices de déviations et d'erreurs. Je m'attache à formuler les connaissances nouvelles en réponse aux obstacles postulés, ce qui permet une confrontation répétée des deux systèmes explicatifs.

- Comme la matière inerte, la matière vivante est constituée d'atomes ("biologie et chimie sont deux disciplines cloisonnées et la matière vivante est différente de la matière inerte" – premier obstacle). En conséquence, la matière vivante est discontinue...

- L'arrangement des atomes d'une molécule est déterminé. Cette molécule peut subir des modifications qui aboutissent à une autre espèce de molécule par réarrangements d'atomes (réaction chimique). La matière vivante peut se construire à partir de matière inerte ("on ne peut pas faire de matière vivante avec du non-vivant" – second obstacle).

...en accord
avec
les instructions...

Ces propositions prennent appui sur les instructions officielles qui prescrivent l'étude de la réaction chimique de photosynthèse, ce qui impose d'introduire dans l'esprit de l'élève l'idée d'un décloisonnement entre les disciplines. Il est clair, en effet, que le transfert de concepts de physico-chimie dans le champ de la biologie peut aider à la compréhension des phénomènes de transformation de matière.

Pour organiser ma stratégie autour d'un thème, j'ai relu les instructions officielles avec en tête le travail de Marcelle Goix [1996 (3)] : le végétal chlorophyllien produit des molécules complexes ou organiques qui "*servent aux synthèses, dans tous les tissus. Elles servent également à la constitution des réserves nécessaires à la pérennité de la plante et de l'espèce*". Ce texte peut être compris comme faisant allusion aux phénomènes de croissance, qu'elle soit immédiate (synthèses dans tous les tissus) ou reportée au printemps suivant (multiplication végétative ou plante vivace – pérennité de la plante, reproduction sexuée – pérennité de l'espèce), même si le mot n'est jamais cité.

(3) Goix, M. *Les concepts de croissance et de développement en biologie : obstacles et représentations chez des élèves de collège. Propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Thèse de doctorat, Université Paris VII, 1996.
Voir aussi : "Grandir : oui mais comment ?", in *Aster* n° 24, *Les Obstacles et leur prise en compte didactique*, 1997.

...et sur un thème
motivant :
la croissance

Le concept de croissance est présent à tous les niveaux de notre enseignement. Il fait appel à des fonctions biologiques et à des phénomènes physicochimiques (synthèse...). Or, la représentation vitaliste ne permet pas d'expliquer, par exemple, comment un organe grandit en augmentant le nombre de cellules ou comment les ions minéraux perdent leurs caractéristiques en participant à l'élaboration de matière vivante végétale. De plus, les élèves des classes de Seconde avec qui je travaille se sentent directement concernés par cet événement biologique et il peut être intéressant de montrer que la croissance d'un végétal a des points communs avec celle d'un élève.

J'ai donc construit ma stratégie autour du thème de la croissance sans que ce mot n'apparaisse jamais dans mes titres puisqu'il est absent des instructions.

2. LE TRANSFERT DU MODÈLE DE MATIÈRE DU CHIMISTE EN BIOLOGIE (PREMIER ESSAI : 1992-1993)

2.1. La logique des activités

Dominique Rebaud – professeur de physique-chimie en classes de Seconde – et moi-même participions à la même recherche sur les représentations-obstacles, à l'INRP. Il nous a semblé fructueux de dégager ensemble les conditions d'établissement d'un pont entre les deux disciplines et les deux catégories de matière.

recherche d'une
convergence
entre
enseignements
de chimie
et de biologie

Il s'est agi de repérer les modèles et les lois de la chimie – le non-vivant – susceptibles d'aider à interpréter une situation biologique. Les outils intellectuels du chimiste se sont montrés capables d'apporter une réponse acceptable au problème biologique proposé : l'idée de produire du vivant avec du non-vivant devait pouvoir devenir pensable par un élève.

Ainsi, la chimiste a informé le naturaliste sur le travail de modélisation de l'atome, des liaisons entre atomes (Lewis) et des états de la matière, travail commencé à l'époque avec les élèves, dès le collège. De son côté, le naturaliste a désigné à la chimiste les concepts utilisés en biologie et qui concernent ses disciplines (réaction chimique : synthèse, dégradation, minéralisation... mais aussi états de la matière, diffusion, dissolution...).

• Préparation en classe de chimie

Le professeur de chimie a dispensé son enseignement à une de ses classes de Seconde en insistant sur la possibilité de généraliser à toute matière, qu'elle soit vivante ou non, les modèles et les règles d'états et de transformation. Des maquettes et des formules de molécules organiques (acide aminé...) ont été présentées de manière illustrative, sans

devoir être mémorisées. Une préparation à l'idée que la matière vivante, composée de molécules, pouvait être considérée comme discontinue et hétérogène a ainsi été conduite.

• **Travail en classe de biologie**

Bien qu'il s'agisse d'un lycée différent du mien, j'ai pu y conduire deux séances de travaux pratiques (demi-groupe). J'ai d'abord proposé trois situations concernant des êtres vivants enfermés plusieurs jours dans une cloche étanche et transparente : animal seul avec de l'eau et des aliments solides, végétal seul avec de l'eau et des engrais, animal et végétal ensemble avec les mêmes aliments. Seuls, les êtres du troisième montage grandissent.

construire
d'abord
la relation
vie-gaz dioxyde
de carbone...

Chaque groupe de deux élèves a dû comparer les résultats et les expliquer par écrit. Par une discussion commune à partir du témoignage de chacun, la relation entre gaz (dioxyde de carbone) et croissance (et vie) du végétal est apparue.

... puis la relation
entre vivant
et molécules

L'explication de cette relation posant problème, j'ai apporté des informations orales, des photographies de cellules (microscopes optique et électronique), un modèle dessiné de molécule de cellulose. On a pu ainsi établir (ou rappeler) le constat : un organisme est constitué de cellules, chacun de leurs composants est compris par le chimiste comme constitué de molécules et donc d'atomes (la matière vivante est hétérogène).

Les élèves ont alors dû proposer des explications à la croissance du végétal : augmentation du nombre de cellules, de leur taille, du nombre de molécules et donc d'atomes mais aussi augmentation de la taille des molécules, de l'espace entre elles... Une discussion, en commun, de toutes les propositions a permis d'en considérer certaines comme acceptables. J'ai alors retenu l'idée (hypothèse) qu'un apport extérieur d'atomes devait pouvoir permettre au végétal de produire de nouvelles molécules et donc de grandir par augmentation du nombre de cellules. J'en ai profité pour énoncer l'idée que toute matière apportant des atomes à l'être vivant, constructeurs de nouvelles molécules, pouvait être considérée comme un aliment.

Il s'est alors agi d'examiner l'idée-obstacle qu'on ne peut produire du vivant avec du non-vivant. Pour permettre l'élaboration d'une réponse au conflit potentiel des élèves, j'ai demandé aux groupes d'élèves de repérer une relation entre la molécule de CO_2 (formule développée rappelée par les élèves) et la molécule de glucose (élément de la cellulose) écrite au tableau.

Des élèves ont constaté que certains atomes de la molécule de glucose sont les mêmes que ceux qui composent la molécule de CO_2 mais qu'ils ne sont pas disposés de la même façon. En me plaçant dans une logique d'examen de la plausibilité de l'hypothèse énoncée précédemment et en application du principe de conservation des atomes, j'ai insisté sur

quand
une technique
de chimie
devient un outil
pour expliquer

le fait qu'il était théoriquement possible que le CO_2 , gaz respiratoire de la souris, apporte des atomes aux cellules du végétal en croissance. Restait à en déduire une condition. Certains élèves ont alors remarqué que cela n'était possible que s'il y avait réorganisation des atomes par modification des liaisons chimiques (réaction chimique), ce qui fut représenté au tableau par un élève volontaire.

Ainsi, la continuité matérielle entre non-vivant (CO_2) et vivant (glucose-cellulose-paroi-cellule) était devenue visible par l'appel au modèle chimique et donc pensable. Les connaissances acquises en chimie étaient effectivement capables de résoudre un conflit cognitif en proposant une explication acceptable d'une situation biologique. Il y avait eu décloisonnement des disciplines.

Enfin, j'ai décrit une expérience utilisant l'isotope radioactif du carbone pour démontrer la validité de notre hypothèse qui s'est trouvée institutionnalisée : la croissance n'était plus un phénomène spontané, par simple augmentation de taille mais une accumulation d'atomes arrangés en édifices moléculaires identiques à ceux qui préexistaient.

2.2. Le bilan de la séquence

• Les aspects positifs

Les aspects positifs peuvent être trouvés dans les temps forts qui ont jalonné la déroulement de la séquence. En effet, l'évolution des idées des élèves n'a pas été régulière.

Lors du conflit instauré au moment de l'examen de la plausibilité de l'hypothèse, la situation était bloquée. C'est l'expression "*molécule du vivant décrite selon le modèle de Lewis*", que j'ai fini par proposer pour gagner du temps, qui a constitué un déclic générateur de nombreuses propositions d'interventions et réducteur de conflit. En comprenant qu'on leur demandait un transfert de connaissances, les élèves ont ainsi réduit un interdit qu'ils s'étaient donné : "*nous sommes désormais autorisés à appliquer en biologie les règles établies au cours de chimie I*". Ce fut un véritable moment-clé ("*insight*") : le modèle de Lewis n'était plus un fait appris mais un nouvel outil pour expliquer et remettre en cause certaines représentations.

La rupture des liaisons entre atomes et leur réarrangement (réaction chimique) permettant d'obtenir des molécules d'un être vivant a constitué un second moment de contestation de leur représentation initiale. Ce fut pour les élèves un véritable moment de jeu de déconstruction-reconstruction.

On notera que la méthode utilisée a permis à certains élèves, considérés comme médiocres par l'ensemble de leurs professeurs, de se révéler comme particulièrement attentifs, actifs et rapides à comprendre les méthodes et objectifs conceptuels, même en situation de travail par groupe. Ces élèves se sont profondément impliqués dans ce qui était

les outils
du chimiste
appartiennent
aussi au
biologiste

pour eux un nouveau mode de réflexion. Ce constat fut pour moi une révélation et il m'amena à considérer que ce premier essai contenait en germe une autre manière de considérer le vivant, de l'interroger et de mieux le connaître, manière qui m'encourageait à réexaminer et à réformer mes pratiques.

Ainsi, en travaillant sur des objets théoriques que nous nous étions donnés à voir et à manipuler, en écrivant leurs symboles au tableau, beaucoup d'élèves ont compris que par la pensée, ils pouvaient mettre en jeu ces symboles et les disposer les uns par rapport aux autres selon des règles apprises et acceptées dans un autre cours, un autre univers. Dans ces conditions, le vivant semblait pouvoir se construire avec du non-vivant. Et ces prises de conscience successives ont été révélées par une fébrilité à participer à la "manipulation" des atomes, à intervenir, à témoigner et ceci dans une certaine exaltation pour un grand nombre d'élèves, muets jusqu'à présent.

Le lecteur constate que, dans ce dispositif, l'enseignant aide les élèves à définir d'abord une position théorique, point d'appui très soigneusement explicité, et ceci constitue une différence importante avec le modèle pédagogique coutumier. Alors que d'habitude, les élèves ne possèdent que leurs représentations initiales pour comprendre le discours du professeur, ses propositions d'expériences et ses appels à des hypothèses, la position théorique annoncée présente l'avantage d'apporter aux élèves des outils de production ou d'explication de situations expérimentales. Et si ces outils ne sont pas bien acquis, les propositions d'explications des situations proposées peuvent aider à leur construction.

C'est pourquoi j'introduis depuis, dans la démarche coutumière, une étape supplémentaire (appel au modèle chimique), susceptible de donner ou de rappeler aux élèves des outils nécessaires à l'analyse de la situation, à sa compréhension, à l'énonciation d'hypothèses... C'est seulement dans ces conditions que l'élève peut considérer le résultat expérimental comme réponse à sa question : "l'hypothèse proposée est-elle valide ?".

En fait, ma stratégie cherche à réduire la difficulté soulevée par Claude Bernard : *"On ne peut comprendre ce qu'on trouve quand on ne sait pas ce qu'on cherche."*

Enfin, il m'a semblé insuffisant de se contenter de définir les besoins de la plante, comme le suggère la coutume, car c'était prendre le risque de rester dans le seul domaine affectif (*"il faut aussi à la plante un peu d'affection"*). J'ai pensé qu'il était plus fructueux de rechercher l'origine des besoins (produire de nouvelles molécules) et leur nature matérielle (apport en atomes et donc en aliments) pour répondre à la question : "comment satisfaire ces besoins ?".

C'est alors que le travail sur le dioxyde de carbone a conféré à ce gaz une existence, une matérialité qui n'a pas été sans conséquence chez les élèves. En effet, une "vertu" maléfique

la théorie peut
utilement
précéder l'action

mais, il y a
des mots
dangereux :
le besoin peut
évacuer
un problème
scientifique
et déclencher
un désir
de régression

vis-à-vis de la vie est souvent attribuée au CO_2 . J'ai essayé de changer le statut de ce gaz non seulement en renversant la représentation qu'il suscite, en lui accordant un statut positif ("il est bon pour la vie végétale"), mais aussi en neutralisant la représentation négative qu'il inspire en le faisant intervenir dans une situation comme un objet banal sur lequel on peut réfléchir.

Tous ces constats m'ont conduit à penser qu'il était nécessaire de persister dans la voie choisie.

• **Un constat : la lenteur de l'assimilation**

Je n'ai pu avoir une idée des effets de mes interventions que par l'observation du comportement des élèves et les résultats d'une évaluation. Les conditions n'ont donc pas été favorables à l'énonciation d'une appréciation précise.

Quoi qu'il en soit, il m'a semblé que si certains élèves (17/33) avaient acquis la compréhension des opérations de réarrangement d'atomes au cours d'une réaction chimique, très peu d'élèves (7) avaient repéré l'identité physique entre l'atome de carbone du CO_2 et celui d'une molécule constitutive d'une cellule. Le caractère évident de cette identité n'est donc qu'apparent.

Pourtant, la relation entre atomes de molécules d'une cellule (constituant un besoin, pour grandir) et atomes d'ions de la solution du sol (constituant les aliments) m'a semblé construite chez 15 élèves.

l'appropriation
est difficile
à évaluer
chez l'élève...

L'appel au modèle atomique pour expliquer n'est pas opéré dans n'importe quelle situation-problème. Il n'est ni généralisé ni automatisé.

Enfin, la compréhension du concept d'aliment (apport d'atomes) ne m'a pas semblé assurée pour la grande majorité des élèves. C'est que le terme d'aliment renvoie à la fois à la vie quotidienne et, à la rigueur, au vivant, alors que le modèle chimique appartient à un autre univers.

...ce qui remet
en cause
à la fois l'usage
d'une technique
courante :
la pesée...

On peut tenter une relation entre ces constats et le fait que peu d'élèves ont proposé la pesée comme technique pour tester l'absorption d'une substance par un être vivant. Ces difficultés sont peut être dues au fait que c'est une certaine théorie de la matière qui donne à la pesée la justification de son usage : peser des organes, c'est se demander *a priori* s'ils ont produit des matières pesantes, solides ou dissoutes et augmenté leur masse par absorption de substances... Piaget nous rappelle en effet que pour beaucoup d'enfants, plus jeunes il est vrai, la masse corporelle augmente sans prélever de matière dans l'environnement !

Il m'a semblé désormais indispensable de rappeler la théorie particulière de la matière, en classe de Seconde ; d'autant que la pesée, au laboratoire de biologie, permet de traiter le vivant comme le non-vivant l'est en physique-chimie (cf. thèse de M. Goix). La pesée est donc plus qu'une technique,

elle peut aussi être un moyen de réduire la cloison vivant/non vivant.

• **Une interrogation pour rebondir**

...et des pratiques
pédagogiques
bien installées

Même si je n'ai pas pu apprécier la résistance ou l'abandon des obstacles, j'ai considéré que les résultats étaient inférieurs à mes espérances. Les raisons en étaient sûrement complexes : classe devant s'adapter aux méthodes d'un professeur qui lui était étranger, durée de travail trop brève pour proposer une évaluation formative rétroactive. Il est également possible que le traitement de l'obstacle ait davantage été conduit sur le plan de la conviction que celui de la conceptualisation. C'est en proposant un modèle chimique, justifié par des faits organisés logiquement, que j'ai essayé d'ouvrir une nouvelle manière d'interpréter des événements.

Cependant, il m'a semblé nécessaire de poursuivre la réforme de mes pratiques. Mon premier essai m'avait fait comprendre que je "conduisais" la séance comme s'il suffisait d'explicitier les éléments d'un raisonnement et leurs articulations pour déclencher la compréhension de la majorité des élèves. Ne disposant que de deux séances, j'avais concentré un trop grand nombre de concepts nouveaux sur une période trop courte, sans laisser à chacun le temps de se familiariser avec le modèle et de l'assimiler.

Il m'a ainsi été rappelé que chaque élève comprend avec ses propres outils et que la vitesse de leur mise en œuvre dépend non seulement de la plus ou moins grande habileté de chacun mais aussi de l'ampleur de la reconstruction des nouvelles connaissances. Mon futur dispositif devait prendre à la fois en compte le facteur temps et la nature des connaissances à élaborer.

3. DES SITUATIONS BIOLOGIQUES DIFFÉRENTES EXPLIQUÉES PAR LE MÊME MODÈLE (DEUXIÈME ESSAI : 1993-1994)

la reprise
du premier
dispositif,

3.1. Les principes du dispositif

Cette année-là, j'ai travaillé sans la participation du professeur de chimie de mon lycée. J'ai donc rappelé moi-même le modèle particulière de la matière à partir d'une situation-problème. Puis, l'application répétée de ce modèle explicatif à de nombreuses situations biologiques a cherché à déclencher son appropriation par l'élève.

mais en
développant
chaque étape

J'ai alors essayé de hiérarchiser les occasions d'appeler ce modèle, de manière à rendre son appropriation la plus progressive possible. J'espérais ainsi que le repérage, par les élèves, de caractères communs à certaines situations (invariants) ferait naître la compréhension, d'autant que chacun

donner à chacun
le temps et
les occasions
nécessaires pour
comprendre...

pouvait trouver dans l'éventail offert au moins une situation qui entrerait en résonance avec ses acquis.

La multiplication des occasions d'appliquer le modèle explicatif de chimie, devenu progressivement plus cohérent et donc plus attrayant, était censée installer une routine. Ainsi, la mobilisation des représentations initiales devait être moins probable.

3.2. La familiarisation avec le modèle dans un certain champ conceptuel

...mais d'abord,
ordonner
les obstacles
abordés...

La situation-problème et le "squelette" du premier dispositif ont été conservés mais la démarche a été conduite plus lentement, cherchant à répondre à la question : "comment expliquer la croissance ?" J'ai réexaminé les étapes de la construction progressive d'une continuité entre visible (matière vivante) et invisible (atomes, molécules, gaz...) afin qu'elle soit comprise le mieux possible par les élèves. Je souhaitais approfondir d'un côté la relation entre être vivant et molécule organique constitutive et, de l'autre côté, la représentation d'un gaz comme effectivement constitué de multiples particules matérielles (mais cela appartient à la chimie) ; l'élève étant susceptible d'établir assez aisément les relations particule matérielle constituée d'atomes - aliment - molécule organique - être. J'ai procédé en trois sauts.

- J'ai d'abord sensibilisé les élèves à l'obstacle : "*la matière vivante est continue et homogène*". Les élèves ont procédé à des observations microscopiques (cellules de racine) qu'ils ont interprétées (zone de multiplication, zone d'allongement). Puis, ils ont recherché, avec mon aide, comment des documents suggéraient le passage matériel entre cellule et modèles d'atomes des molécules constitutives. Des exemples de molécules (modèles d'ADN, de protéine...) ont été proposés sans être mémorisés.

Mes interventions ont surtout conduit à l'élaboration d'une synthèse, en commun, et à l'orienter vers le premier obstacle.

- La croissance s'expliquant par de nouvelles cellules, par une production de nouvelles molécules et donc un apport en atomes, la question de l'origine de ces atomes s'est alors posée.

Les acquis de mon premier module m'ont permis de proposer : "*si la matière vivante a la même composition que toute matière - hétérogénéité atomique - et si les règles d'organisation sont les mêmes - chimie - alors il est possible de penser que du vivant peut se faire avec du non-vivant*".

...tout en
s'appuyant
sur des idées
familières...

Pour ne pas déstabiliser trop profondément l'élève, je me suis appuyé sur une représentation, familière même si elle peut faire obstacle : "*le sol est nourricier*" (et non pas "seul, le sol est nourricier"). Comme le sol contient une solution ionique nutritive (KNOP...) où la présence d'ions est néces-

saire à la plante, l'élève est conduit à considérer la plausibilité de l'hypothèse : "la solution du sol contient et met à la disposition de la plante des atomes sous forme de molécules simples chargées (ions) ou non (eau). Ces atomes sont les mêmes que ceux qui composent les molécules du vivant. Il est plausible de penser qu'ils sont absorbés et réarrangés en molécules construisant le végétal". Ainsi, la représentation "le vivant ne peut nourrir que du vivant" peut-elle être remise en question.

Mais, l'élève a pu, malgré tout, considérer que la matière vivante augmente simplement de volume sans se construire elle-même. Dans ce cas, la croissance est encore expliquée par l'accolement des aliments prélevés à la matière vivante, à moins que cette dernière n'y trouve des éléments semblables. Il était nécessaire d'installer une tension entre le statut magique de la matière vivante et la matière inerte et minérale.

...et en faisant dire à des manipulations classiques plus que ce qu'on fait dire habituellement toute idée

La réaction chimique, séparant et réorganisant les atomes absorbés, est devenue un concept nécessaire et il m'a semblé indispensable de s'y arrêter en faisant utiliser (et en utilisant) les termes et concepts du chimiste (modèle de Lewis, liaison, valence, couches...).

L'élève peut faire participer un atome de l'ion nitrate (NO_3^-) ou sulfate (SO_4^{2-}) à la construction d'une molécule d'acide aminé puis de protéine, de cytoplasme... Il peut construire de la matière vivante sans faire appel à la force vitale, qui se trouve temporairement exclue de l'explication de situations biologiques. L'abandon de la représentation-obstacle ("on ne peut pas faire de vivant avec du non-vivant") peut s'opérer.

- La question de la source d'atomes de carbone s'est enfin posée, source qui peut être aussi bien, pour un élève, le sol – à partir des champignons, des insectes de la litière, de l'humus – que l'air ! L'origine atmosphérique n'a pas été spontanément envisagée par les élèves mais elle a été rendue acceptable par les activités précédentes. Elle a pu être "démontrée" par des résultats expérimentaux (expériences de Boussingault ou de Schloesing, par exemple). Cependant, intellectuellement acceptée ne signifie pas intégrée...

sur l'origine de l'atome de carbone est acceptable a priori mais il faut en examiner la plausibilité puis la validité...

Malgré cela, j'ai espéré avoir mis les élèves en conflit par rapport à leur représentation : "un gaz n'étant pas de la matière, on ne peut pas faire de la matière vivante avec du CO_2 à l'état gazeux".

Enfin, le problème de l'apport par la lumière a été soulevé par un élève. Peut-être a-t-il compris que, dans les conditions vécues, "tout est matière" ? Comme le modèle chimique de la matière et de la réaction chimique, dans le vivant, nous a intellectuellement satisfaits, la capacité à défaire les liaisons et à les refaire est devenue aussi acceptable. J'ai imposé l'idée que cette capacité est apportée par la lumière qui n'est pas un agent matériel.

3.3. Le transfert du modèle dans de nouveaux champs conceptuels

...même lorsque les conditions d'examen sont inhabituelles et donc déconcertantes

J'ai cherché à multiplier des situations différentes me permettant de faire appel à chaque fois aux mêmes concepts et modèles de chimie. J'ai relu les instructions officielles de ma discipline de manière à réunir tous les événements et les notions qui avaient à voir, de près ou de loin, avec la chimie et j'ai cherché à identifier des relations entre eux.

J'ai ainsi construit une trame conceptuelle (voir doc. 1) simple mais qui m'a permis de constater que le concept de réaction chimique était sous-jacent dans plusieurs chapitres. L'appel aux modèles et aux règles de chimie dans chacun de ces chapitres me semblait désormais justifié.

Ces chapitres sont : "Fonction de nutrition et organisation chez un végétal chlorophyllien vasculaire" ; "Production végétale, programme génétique, milieu" ; "Approvisionnement en eau (épuration) ; Les sols (évolution)".

c'est ainsi que l'élève se construit de véritables outils conceptuels

J'ai donc traité successivement ces chapitres en animant les séquences de manière semblable quant à l'organisation et l'appel au système explicatif. Ainsi, ma volonté d'installer chez chacun une "routine" d'analyse recevait-elle des champs d'application supplémentaires et une justification... Elle me permettait, en même temps de lever l'étanchéité conceptuelle des chapitres et des disciplines et de favoriser la construction du concept de système vivant susceptible de déclasser certaines représentations-obstacles et de réduire le vitalisme.

3.4. Les aspects positifs du dispositif

- *La multiplication de situations d'apprentissage hiérarchisées*

J'ai multiplié les situations concrètes ou décrites en demandant une explication ou une prévision par la mobilisation des modèles proposés, le résultat expérimental obtenu ou décrit étant comparé avec la prévision.

la compréhension n'est pas spontanée

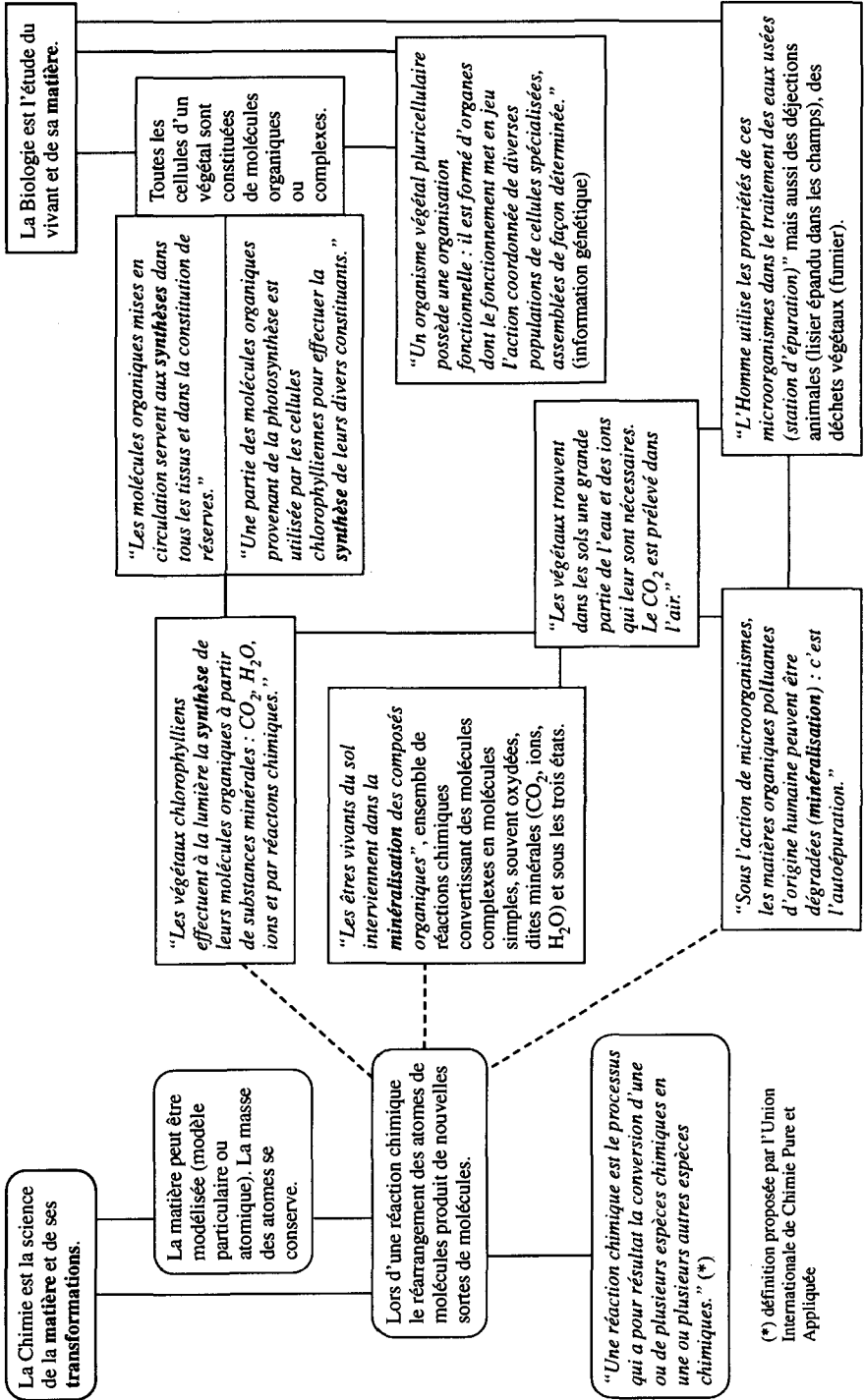
De plus, à chaque nouvelle étude, je me suis attaché à faire utiliser et à rappeler les acquis précédents et les modèles explicatifs proposés, en un système d'emboîtement.

Souvent, ces situations ne sont pas différentes de celles que tout professeur de classe de Seconde connaît. Les manuels en présentent certaines. Mais je les ai considérées comme des champs d'application du modèle chimique et non comme des situations d'apprentissage de la méthode d'analyse expérimentale, comme la tradition le fait souvent.

une situation peut aider tel élève et pas tel autre pour comprendre...

Dès à présent, je peux témoigner de l'intérêt de ce qu'on pourrait considérer comme des évaluations formatives intensives. Parce que les situations différentes étaient conceptuellement semblables, les chances de comprendre puis de prévoir de manière pertinente se sont effectivement

Document 1. Trame conceptuelle des Instructions Officielles (1992) – classe de Seconde
(Citations en caractères "italiques")



...mais chacun
a eu sa chance !

multipliées pour les élèves qui n'avaient jamais énoncé d'avis personnel auparavant. Certains n'ont-ils pas remarqué spontanément que " *finalement, on doit toujours utiliser la même explication* (= le même modèle de la matière et les mêmes concepts)". Chez les bons élèves, les situations ont souvent été interprétées comme autant d'occasions de tester la capacité de leur système explicatif et de le compléter, de manière ludique et sous un nouvel angle. Chez tous, elles ont permis l'identification puis l'installation effective d'une "routine officielle", routine dont notre système scolaire habituel semble penser qu'elle s'impose d'elle-même.

• **Une meilleure compréhension
des difficultés des élèves**

les situations
ne sont pas choisies
en fonction
des contenus...

La gestion de la classe en choisissant les obstacles comme objectifs m'a apporté une lucidité que je n'avais pas auparavant. En effet, le fait d'avoir identifié des représentations et d'avoir compris qu'elles pouvaient faire obstacle me permet une écoute très favorable des élèves. Parce que je cherche à repérer ces représentations à travers leur discours, j'ai l'impression de comprendre effectivement ce qu'ils veulent dire et, en retour, par mes questions et surtout mes réponses, ils semblent se sentir mieux compris.

... mais
des obstacles
qu'ils sont
susceptibles
d'activer

De plus, chacun des élèves ne se représente pas la solution d'un problème de la même façon que son voisin. En situation d'expliquer, face à sa feuille de brouillon et son voisin de groupe, chacun bute sur une difficulté qui lui est propre et qui demande un traitement personnalisé. En passant "dans" les groupes, le professeur peut mieux repérer la multiplicité de ces blocages mais seule, la situation de travaux pratiques par demi-groupe le permet.

Cette boucle de communication crée des conditions de synergie, par rétroaction positive, qui transforment totalement les conditions de travail en commun, celui-ci correspondant à une véritable collaboration dont la puissance est bien supérieure à celle que possède la classe dialoguée habituelle.

et l'élève
a un devoir, celui
de s'efforcer
de produire

De plus, il ne s'agit plus pour moi de sélectionner les bonnes réponses des élèves pour faire avancer le cours tout en justifiant l'expérience imposée et ainsi donner l'illusion que le savoir se construit logiquement et scientifiquement. Lors de la construction de la synthèse, je m'impose d'écouter toutes les propositions que chaque élève doit apporter, et ceci pour :

- mesurer constamment la distance entre mes objectifs (abandon d'obstacles) et l'état des représentations de chacun des groupes d'élèves ;
- que chacun puisse confronter son opinion (derrière laquelle se cache sa représentation) avec celle de son voisin. Il me semble que l'élève est plus spontanément porté à prendre en considération l'avis de son voisin pour le discuter que celui de son professeur. Mais cela serait à vérifier...

Je peux alors réagir en conséquence, "à chaud" en abandonnant, pour un temps, le déroulement prévu de la séquence. Je choisis une activité, un mode de gestion de la classe en fonction de la persistance d'obstacles. Ceux-ci constituent donc un outil de décision.

3.5. Événements qui ont fait évoluer le dispositif

• *Résistance à l'appropriation du modèle de la matière*

si l'appropriation du modèle pose encore problème...

Après avoir conduit une série de séquences, j'ai procédé à une évaluation du travail. Une grande disparité s'est dégagée entre les niveaux auxquels les élèves avaient accédé quant à l'application du modèle particulière à la matière. Les représentations de certains élèves ne semblaient pas avoir changé.

Cela pouvait être lié à l'absence du professeur de chimie dans notre dispositif.

J'ai alors cessé provisoirement d'être professeur de biologie pour chercher à identifier des représentations des élèves sur les états de la matière.

En reprenant des manipulations très simples utilisées en classe primaire (!) [É. Plé (4)], j'ai demandé aux élèves d'en prévoir le résultat (par exemple : un verre renversé dans un aquarium plein d'eau se remplit-il ? Que va faire un ballon gonflé d'air, après avoir été lâché ?...). Les réponses ont montré que les représentations de plus de la moitié des élèves n'avaient absolument pas changé depuis leur petite enfance : un gaz n'est pas considéré comme de la matière, contrairement au liquide et au solide. Et plus souvent, l'air est défini comme un gaz pur, un ballon gonflé d'air ne peut être pesé parce qu'il s'envole, le CO₂ trouble l'eau de chaux par contact, comme un trouble ressenti – par réaction – en présence d'une certaine personne... Depuis, je repère fréquemment ces représentations chez mes élèves de Seconde.

...c'est que les représentations sont tenaces...

...et que la matière n'est pas encore bien comprise selon le modèle

Il m'est apparu que je ne pouvais pas faire construire une représentation physico-chimique de la matière vivante si la matière commune, ses différents états et ses transformations n'étaient pas compris selon le même modèle. J'ai donc

(4) Plé, É. "Attaquer un obstacle par ses différentes faces à l'École primaire : "l'air n'est pas de la matière"" in A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg Édts, *Actes des XVIIèmes Journées Internationales sur l'Éducation scientifique*, Université de Paris 7, 1995.

Voir aussi : "Objectif-obstacle et gestion du conflit socio-cognitif : difficultés liées à la reprise d'un dispositif didactique flexible" in *Actes du cinquième séminaire national de recherche en didactique des Sciences physiques*, 15-17 octobre 1995 - Reims.

Et : "Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles", in *Aster* n° 24, *Les obstacles et leur prise en compte didactique*, 1997.

conçu des séquences en ce sens à partir de travaux de É. Plé, de M.-G. Séré, de C. Larcher (5).

Un accord a été passé avec les élèves pour qu'ils s'efforcent d'expliquer le résultat d'une manipulation en appliquant systématiquement les mêmes règles : "désormais, nous allons nous représenter toute matière selon le modèle proposé (assemblage de particules libres et agitées - gaz -, libres mais faiblement liées - liquide -, fortement liées - solide). Les particules sont constituées d'atomes dont les liaisons peuvent être rompues et rétablies avec d'autres atomes - réaction chimique. Le nouveau groupe d'atomes a de nouvelles propriétés par rapport au précédent".

le biologiste
se fait alors
physicien-
chimiste...

En revenant dans le champ conceptuel de la biologie, j'ai alors pu constater qu'un nombre appréciable d'élèves évoluait à nouveau positivement. Par exemple, le gaz dioxyde de carbone n'était plus une entité, un volume homogène dont l'entrée dans la feuille chlorophyllienne posait problème et qui ne déclenchait pas l'appel à la technique de pesée pour la contrôler. Au contraire, le gaz était devenu une myriade d'unités ou molécules de CO_2 ayant une masse, qui diffusaient par agitation, selon la température, et qui pénétraient de manière aléatoire par les stomates jusqu'aux chloroplastes en suspension dans le liquide cellulaire. Parce qu'il y avait installation d'une continuité matérielle et intellectuelle entre les choses et les êtres, tous les événements biologiques devenaient mentalement visibles et les lois sous-jacentes pensables, ce qui semble avoir constitué une aide pour beaucoup.

Le modèle proposé par l'enseignant a dû être mis en application par les élèves, d'abord pour interpréter une expérience et ensuite, une fois le modèle mieux maîtrisé, pour prévoir des résultats expérimentaux et constater l'adéquation avec les résultats obtenus. C'est bien un véritable jeu scientifique qui a été conduit. Citons quelques exemples.

...et le modèle
explique
la disparition
d'objets...

- Si on brûle une feuille de salade totalement déshydratée, on constate l'émission de CO_2 mais aussi d' H_2O , ce qui peut surprendre (puisque tous deux sont absents de la feuille et que l'eau éteint le feu), à moins d'appliquer le modèle de la réaction chimique (rupture de liaisons par apport d'énergie - l'allumette - et réarrangement d'atomes des molécules de la matière végétale par combinaison avec ceux d' O_2).

- Si on élève la température d'un végétal chlorophyllien, on peut prévoir une augmentation de l'agitation moléculaire, une augmentation de la fréquence de rencontre des particules et une augmentation du nombre de molécules pro-

(5) Séré, M.-G. "Guider le raisonnement d'élèves de collège avec des modèles particuliers de la matière", *Aster* n°14, *Raisonnement en sciences*, 1992, p. 77-102.
Larcher, C. Chomat, A. Lineatte, C. "D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège", *Aster* n°18, *La réaction chimique*, 1994, p. 119-140.

...et demande
une validation
expérimentale

duites par réaction chimique. C'est alors que le montage de l'EXAO est utilisé (avec le logiciel Réacell, par exemple : O_2 produit au cours du temps, en fonction de la température). L'analyse des graphiques imprimés valide le résultat prévu.

En fin de chapitre, les règles de ce "nouveau jeu" ont semblé être comprises par une grande majorité d'élèves, mais tous n'ont pas accédé à la compréhension de manière simultanée. J'ai voulu voir dans ces constats la validation de mon hypothèse quant à l'intérêt d'essais répétés et diversifiés et cela m'a conforté dans la volonté de poursuivre dans cette voie.

• **Difficulté à transférer un modèle explicatif dans un autre champ conceptuel**

La litière de la forêt pose un problème particulier parce qu'il s'agit d'un objet biologique dont on peut constater *de visu* la disparition sans en voir l'agent. L'enseignant en quête d'une explication doit décider s'il se situe dans le registre phénoménologique ou modélisant. Les instructions ne sont guère explicites sur ce sujet mais elles citent le concept difficile de minéralisation.

Il s'agit de passer de la disparition à la transformation en imposant le passage d'une feuille visible en "quelque chose d'invisible", qu'on nomme CO_2 -gaz, ions, eau-vapeur. N'ayant pas de représentation de ces "objets", il est à craindre que les élèves pensent à une simple réduction de taille des fragments de feuille. Le concept de minéralisation ne peut être acquis.

la tentative
d'expliquer
une situation trop
familière est
déstabilisante...

Comme les élèves se sont placés spontanément dans le registre phénoménologique, j'ai cherché à la fois un moyen pour les inciter à convoquer le modèle chimique de la matière et une situation biologique pour l'appliquer. Le réexamen de la respiration cellulaire (classe de Troisième), à la lumière du modèle de matière et des modalités de transformation, m'a semblé un bon "terrain" : rupture des liaisons entre atomes de molécules d'aliments et recombinaison d'atomes dont ceux du dioxygène, conservation des atomes, production de molécules passant à l'état gazeux...

Devenu transmetteur de savoir, je me suis appliqué à montrer que les règles étaient les mêmes que celles qui régissaient la photosynthèse, déjà étudiée, même si le sens de la transformation était inversé. J'ai ainsi désigné les attributs communs aux deux fonctions, attributs du concept de réaction chimique. Ainsi a été construit (ou "rafraîchi") un certain niveau de formulation du concept de respiration : réaction entre molécule respiratoire et molécule alimentaire.

Après ce réexamen de connaissances, j'ai demandé aux élèves d'expliquer la transformation de la litière (contenant de petits animaux). D'eux-mêmes, ils se sont placés dans le registre du modèle.

La réflexion des élèves a porté sur des objets représentables matériellement et mentalement : la matière solide et morte de la feuille peut être transformée en ions, gaz, eau, (changement d'état) réutilisables par le végétal chlorophyllien. Ces élèves m'ont semblé en bonne voie pour abandonner certaines représentations.

...et il faut
se construire
une autre
familiarité

En comparant les molécules impliquées, on a pu comprendre que de petites molécules issues de la digestion de la cellulose étaient utilisées par les champignons (êtres vivants) pour construire leur propre matière (callose), par réarrangement d'atomes. Ainsi s'est trouvée expliquée la simultanéité entre le développement de moisissures sur un prélèvement de sol placé dans une boîte de Pétri et la disparition d'une feuille de cellulose humide.

Il me semble aujourd'hui qu'il s'agit bien d'une autre manière de travailler sur le concept de transformation de matière, ce travail ne pouvant renforcer ce qui a été fait à propos de la production de matière végétale. Et c'est une des raisons pour lesquelles je considère que ce chapitre est important en terme d'apprentissage, alors qu'il n'est souvent compris que comme appendice au programme, en terme de connaissances. On pourrait en dire autant à propos du fonctionnement d'une station d'épuration puisque la transformation "des matières" est explicable selon les mêmes concepts.

préfère-t-on
construire
(et additionner
ou multiplier)
plutôt que
détruire
(et soustraire
ou diviser) ?

C'est en traitant ce chapitre que je me suis d'ailleurs aperçu que la photosynthèse, en tant que phénomène d'assemblage d'atomes en édifices moléculaires de plus en plus complexes, reliés par des liaisons fortes ou des interactions faibles et aboutissant à la constitution de cellules, semblait plus aisément accessible aux élèves que la dégradation de molécules complexes. Des élèves qui semblaient me "suivre" dans mes efforts d'application du modèle chimique se sont cabrés à l'idée que la respiration cellulaire impliquait l'obligation d'établir un lien entre nutrition (apport de molécules complexes) et respiration pulmonaire (apport de molécules simples absorbées à l'état gazeux). Ce qui se construit a-t-il un statut positif par rapport à ce qui se déconstruit ? L'élève se sent-il plus concerné dans sa chair quand on parle de respiration que de photosynthèse ? Considère-t-il que chaque fonction vitale intervient dans un champ particulier, indépendamment des autres ? Mon intuition me pousse à le croire.

Par contre, ces obstacles enfin franchis, ces mêmes élèves ont montré une capacité exceptionnelle de mémorisation de ces méthodes de modélisation et des concepts afférents. J'ai pu le constater un an après avoir traité ces chapitres.

• **Constat d'une difficulté à changer de registre de pensée**

la forme
d'un objet
empêche
de penser
sa structure
et ses propriétés

Au cours de ces séances de remédiation, j'ai tardivement pris conscience que les élèves étaient réticents pour convoquer spontanément un modèle explicatif de la matière.

En effet, l'analyse des objets de l'environnement se fait préférentiellement par la vision. C'est par la perception de la forme que l'objet et ses transformations s'imposent à notre esprit. C'est ce que l'équipe de recherche a nommé le "primat de la perception". Par exemple, beaucoup d'élèves pensent que le niveau du liquide monte dans un respiromètre "parce que l'eau de chaux - qui est troublée - absorbe le CO₂".

Dans notre système scolaire, cette tendance semble encore accentuée par une certaine interprétation officielle du positivisme qui rend le fait et son observation première seuls capables d'apporter des informations utilisables. Une théorie personnelle préexistante n'aurait pas le droit d'intervenir dans la recherche d'une explication ; peut-être est-ce parce qu'il y a confusion entre l'imagination, dangereuse, parce que vagabonde et incontrôlée, et la production de relations innovantes (pensée divergente).

il existe au moins
deux registres
de pensée

En tous cas, les seules explications qui sont proposées immédiatement par les élèves sont souvent étrangères à l'objet (anthropomorphisme, finalisme...). Et ces propositions font obstacle à la pensée scientifique parce qu'elles empêchent souvent d'avoir spontanément recours à une réflexion utilisant des symboles, des modèles qui chercheraient à examiner autrement l'objet et à déterminer les facteurs intervenant. C'est le passage du registre du sensible (être attentif aux objets extérieurs à soi) à celui de l'abstraction (être attentif aux objets mentaux) qui semble difficile à opérer aisément. Or, penser en terme de modèle, c'est abandonner pour un temps le registre spontané de la perception. Et ceci est d'autant plus vrai et difficile qu'il s'agit d'un objet vivant. Albert Jacquart (6) m'a sensibilisé à ce problème : *"Comprendre, c'est refuser de croire ses yeux et accepter de croire son cerveau [...]. L'éducation a pour finalité de mettre chacun en position de recréer le monde qui l'entoure en fonction certes des données fournies par les sens, mais grâce aux concepts forgés par le cerveau. Et en recréant ainsi le monde en soi, de se créer soi-même."*

changer
de registre
de pensée
relève d'un
apprentissage...

En construisant des séances d'initiation à la modélisation des états de la matière j'ai donc proposé un apprentissage de l'abstraction, en même temps mais sans l'avoir voulu expressément puisque je n'en avais pas encore pris conscience. Cette réflexion méritait d'être approfondie. Il

(6) Jacquard, A. préface de *La génétique et ses représentations*, Rumelhard, G., Coll. Exploration Recherches en sciences de l'éducation, Peter Lang, 1986.

...qui semble
devoir
conditionner
tous les autres

s'agissait donc de développer la capacité à se représenter consciemment la matière et à passer aisément du macroscopique au microscopique puis à l'explicatif par l'application des règles du modèle.

J'ai supposé que cette capacité pouvait émerger au cours d'activités de transformation d'objets matériels en images mentales d'objets matériels, puis en images mentales d'objets imaginaires et enfin, en images de relations pour aider à penser des relations sans images. C'était sans doute préventif parce qu'encore peu formalisé mais cela m'a permis d'agir pour tenter d'aider autrement une pensée personnelle scientifique à se développer.

La troisième stratégie correspond à une tentative de réponse à ces questions en considérant le "primat de la perception" comme l'obstacle premier à l'acceptation d'appliquer les règles de physico-chimie pour expliquer des événements biologiques. C'est à partir de cet obstacle que j'ai cru déceler une cohérence entre les autres obstacles que j'abordais jusqu'à présent. Le tableau du doc. 2 montre la hiérarchie à laquelle je suis parvenu et qui correspond à l'ossature de ma nouvelle et troisième stratégie. La colonne de droite présente les obstacles traités et explicités au cours de séquences successives alors que les deux autres colonnes correspondent à des objectifs traités mais qui sont restés implicites.

4. APPRENTISSAGE DE L'USAGE D'UN MODÈLE DE LA MATIÈRE (TROISIÈME ESSAI, 1994-1995)

En cette troisième année, j'ai orienté mes essais sur la multiplication des situations d'appropriation du modèle de la matière et de concepts par les élèves, ce qui correspondait à ma seconde stratégie rectifiée. Cependant, le traitement de l'obstacle de l'attachement au sensible étant devenu premier par rapport à l'approche méthodologique matérialiste des manifestations du vivant, j'ai modifié l'ordre des différentes séances d'apprentissage.

4.1. Niveau initial des élèves

Les élèves concernés par le projet étaient tous des redoublants volontaires pour constituer une seule classe mais aucun n'avait été mon élève pendant sa première Seconde. Leurs niveaux et capacités n'étaient pas homogènes, les raisons du redoublement étant multiples. Au cours de l'année précédente, tous avaient acquis en Sciences de la Vie et de la Terre un "verniss" et le traitement des mêmes chapitres, par les mêmes méthodes, pouvait déclencher un désintérêt. J'ai considéré qu'une manière différente de travailler s'imposait.

Document 2. Tableau des obstacles travaillés

Obstacle général		→	Obstacles locaux	
<p>Obstacle ou primat de la perception. "Je ne prends en compte que les objets accessibles aux sens, à la vision surtout, parce qu'ils sont extérieurs à moi-même et que cette opération ne me demande aucun effort."</p>	<p>La matière vivante est différente de la matière non-vivante (obstacle lié au vitalisme et à la pensée catégorielle).</p> <p>Naturel et vie sont opposés à artificiel et chimique.</p>		<p>La croissance correspond à une simple augmentation de longueur et de volume. La matière vivante est pré-existante, continue et homogène. La croissance est favorisée par les aliments mais elle n'en est pas le résultat matériel. Le vivant croît tout seul, aliments énergétiques et vitamines apportant leurs vertus.</p>	
			<p>La matière qui a été vivante peut être réutilisée telle quelle par un autre être. Elle garde certaines de ses "vertus". On ne peut faire de vivant avec autre chose que du vivant.</p>	
	<p>Les gaz ne sont pas de la matière ou, s'ils en sont, tout est de la matière, y compris la lumière.</p>			<p>Les gaz restent toujours en l'état.</p>
				<p>Par juxtaposition, la matière vivante retient le gaz dioxyde de carbone, des molécules d'eau et des ions. Lors de la combustion d'un organe, la flamme libère les molécules qui étaient prisonnières dans l'organe.</p>
				<p>Les gaz ne peuvent pas participer à la production de matière vivante, solide ou liquide.</p>
				<p>La lumière est nécessaire et elle apporte de la matière qui participe à la production de molécules et à la construction des cellules.</p>
			<p>Les aliments des animaux ne sont transformés qu'en énergie. Soit l'énergie est une forme de matière, soit leur matière disparaît. Il en est de même pour les végétaux.</p>	

La colonne de droite indique, verticalement, l'ordre dans lequel les obstacles ont été abordés. Les acquis (règles qu'on s'est données, raisonnements, modèle...) utilisés pour traiter l'obstacle précédent sont toujours remobilisés pour traiter le suivant, la disponibilité confortable de ces acquis étant considérée comme un des moyens d'abandonner la représentation-obstacle.

est-il utile
de "refaire"
exactement
la même chose
en redoublant ?

Par questionnaire, j'ai essayé de connaître leurs acquis de l'année précédente en résonance avec mes objectifs (représentation de la croissance, de la "matière vivante", du devenir des aliments pour un humain comme pour un végétal). Rien n'a indiqué qu'ils étaient différents d'élèves provenant de classes de Troisième : l'environnement susceptible de satisfaire le végétal en aliment n'existe qu'au niveau du sol ; la nutrition du végétal – exprimée par écrit – révèle très souvent de grandes ignorances, le végétal a besoin de lumière, de chaleur, souvent d'O₂ et parfois d'affection ! Cependant, la même fonction (échanges gazeux chlorophylliens) exprimée en légendant un schéma de végétal ne révèle que peu d'erreurs. Ces élèves semblent restituer une image fixe, quasiment anatomique, alors qu'elle exprime une fonction. Cette image est mémorisée et restituable mais non mobilisée pour expliquer.

Les élèves ne se sont pas construit d'images mentales de la fonction de nutrition. Apparemment, ils ont mémorisé des icônes sans en comprendre ce qui s'y jouait. L'effort de mémorisation semblait être compris comme déclenchant une compréhension automatique. C'est donc tout le statut de la "chose" apprise et utilisable qui s'est posé ici et donc du "comment l'apprendre".

Cette classe m'a semblé offrir un terrain favorable pour y reproduire le dispositif construit et rectifié l'année précédente, dispositif complété par des essais particuliers imaginés à partir des constats exposés ci-dessus.

4.2. Prise de conscience de l'existence d'images mentales personnelles

Il s'agit de la première séance au cours de laquelle s'est opérée la prise de contact. J'ai proposé aux élèves d'oublier pour un temps le programme de biologie et de réfléchir à quelques activités qui les ont déconcertés.

la prise
de conscience
d'un certain
fonctionnement
mental...

Un élève, les yeux bandés et déplacé dans la salle, guidé par le professeur, est invité à revenir à sa place par ses propres moyens. Cette situation permet de dégager la réalité d'images mentales, réalité dont les élèves n'avaient pas conscience et qui leur permet de différencier objet perçu/objet conçu.

- Les images mentales existent puisqu'elles aident l'élève à s'orienter vers son siège.

- Les images mentales ne sont pas exactement semblables à la réalité puisque certains détails en sont absents. Elles ont été construites sans s'être "imposées" à l'élève mais l'attention de ce dernier a été nécessaire.

- Ces images contiennent des caractéristiques mémorisées ("c'est une salle de sciences"). Ce n'est pas une photographie neutre. Elle contient une signification que l'élève lui a donnée inconsciemment. Emmené dans une autre salle, l'élève aux yeux bandés reconnaît qu'il s'agit d'une autre salle de

sciences ou d'une salle affectée à un autre usage. Il a donc attribué une fonction à l'image mentale de référence qu'il utilise pour analyser ses nouvelles informations tactiles, olfactives...

- Chaque objet fait naître deux types d'images, celle qui se forme quand je regarde l'objet (cette image est censée être fidèle à l'objet) et celle qu'on peut revoir les yeux fermés ou loin de l'objet et qui ne présente plus que certaines caractéristiques. Cependant, ces dernières peuvent être complétées par une nouvelle observation directe mais aussi en y introduisant mentalement un objet étranger (je peux m'imaginer me déplaçant dans la salle).

En conséquence, l'élève peut comprendre qu'il construit des images d'objets réels et qu'il peut évoquer à la demande ces images, par un effort mental. Certains parviennent plus aisément que d'autres à faire naître des images par la pensée sans observer d'objets. Ces derniers élèves préfèrent se "raconter" la scène. Par ailleurs, ces objets mentaux peuvent être modifiés et déplacés selon des règles qui ont été énoncées parce qu'elles sont susceptibles de rendre compte d'événements phénoménologiques. Ainsi, tout en respectant ces règles et en "manipulant" ces objets mentaux, visuellement ou verbalement, on peut arriver à imaginer des situations nouvelles, à en prévoir l'aboutissement, situation qu'on va chercher à reproduire par une expérience.

"Penser avec des objets mentaux qu'on a produits soi-même", c'est ce que l'apprentissage de la modélisation de la matière s'est donné comme objectif.

Lorsqu'ils ont travaillé avec des maquettes (modèles d'atomes, en matière plastique, par exemple), les élèves ont pu s'appuyer dans un premier temps sur la perception directe. Il leur a été conseillé ensuite de travailler mentalement ou verbalement, leur maquette dans les mains, les yeux fermés et de se représenter les objets pour les déplacer par la pensée, la main effectuant, ensuite, réellement le geste mental pré-vu, terme utilisé dans son sens propre (réarrangement d'atomes en molécules complexes...).

Ces éléments d'apprentissage ont constamment été rappelés lors des séances ultérieures. Elles sont devenues des moments d'automatisation de l'appel au modèle et donc au changement de registre de pensée.

Ainsi, pouvais-je espérer conduire les élèves à penser à partir d'objets qui n'étaient pas réellement observés, c'est-à-dire des objets construits. Par exemple, j'ai demandé aux élèves de "voir par l'imagination", dans un flacon "rempli" d'air, des particules, de catégories différentes, en constante agitation et collision avec les parois (pression), rencontrant par hasard (diffusion) l'eau de chaux, la bouche de l'animal ou le stomate d'une feuille, y entrant et subissant une recombinaison de leurs atomes avec ceux de molécules d'eau (réaction chimique).

...permet
de promouvoir
des opérations
intellectuelles...

...et donc
de traiter
davantage
d'informations

La répétition de ces exercices était susceptible d'aider à installer une certaine habitude à penser la matière, qu'elle soit inerte ou vivante, à considérer "qu'il y a quelque chose" (atomes) du gaz dioxyde de carbone ou de l'eau liquide que la feuille s'approprie pour construire des hyperstructures moléculaires (croissance). Et cette habitude de penser la matière semblait capable de faire abandonner progressivement l'idée d'une matière homogène ou d'une non matière impondérable (gaz), aux propriétés magiques voire maléfiques.

4.3. Modélisation de la matière et exploitation du modèle

En prenant en considération les enseignements du second essai, j'ai repoussé à plus tard les véritables études biologiques pour commencer le cours de sciences par l'étude (ou le rappel) des états de la matière, des changements d'état et de la réaction chimique. Constamment, la consigne de fermer les yeux et de se représenter les objets réels ou des objets symbolisant une idée a été donnée. Les déplacements et les interactions étaient d'abord représentés sur le brouillon avant d'être "vus" mentalement et surtout accompagnés d'un commentaire personnel (7).

quand l'élève accède à l'idée par la manipulation de l'objet qui symbolise cette idée...

La technique des "yeux bandés" conduisant à prendre conscience de la distinction entre perçu et conçu, les modèles physico-chimiques ont pu, dès lors, être interrogés sur ce mode. Les concepts de physique-chimie ont été évoqués à travers des modèles matérialisés par des maquettes et par les transformations qu'on leur a fait subir.

J'étais conscient du risque de laisser croire que la matière est effectivement constituée d'atomes liés tels que les maquettes les représentent, mais l'enseignement traditionnel ne fait-il pas courir le même risque ? Je me suis appliqué à faire jouer le jeu du scientifique qui propose un modèle "pour aider à se représenter la matière" et à mieux comprendre ses lois.

...mais en se référant constamment au vivant

La présentation de modèles de physique (état gazeux, liquide...) ou de chimie (atome) a toujours débouché sur des situations biologiques pouvant être expliquées par la mise en jeu de ces modèles, ce qui a supposé parfois un retour vers le programme de Troisième (modèle de la cage thoracique dont une lame élastique mime la fonction du diaphragme) ou de Seconde (l'évaporation de l'eau - changement d'état - au niveau de la feuille est responsable de la circulation de la sève, des interactions entre les molécules d'eau - dipôles "en tension" - faisant monter l'eau ; des liaisons fortes unissant les atomes en molécules très complexes autorisent des structures occupant un volume

(7) Lieury, A. *La mémoire, Résultats et théories*, Mardaga, 1992, p. 77.

dans l'espace et ayant une masse ; ...combustion d'une feuille...).

Ainsi, l'aller et retour constant entre matière inerte et matière vivante a permis de montrer qu'elles ne se distinguaient en rien, par certains de leurs attributs structuraux ou fonctionnels et que malgré cela on était bien toujours en classe de biologie. En même temps, ces situations et montages ont permis d'étendre le champ d'application du modèle proposé et d'en familiariser l'usage.

On constate que je me suis efforcé d'orienter effectivement ma stratégie vers le traitement des mêmes obstacles, liés à la fois à la perception de la matière et à l'interprétation du vivant.

Le cours étant bien avancé, la lumière a été proposée comme facteur nécessaire. L'obstacle déjà cité (seconde stratégie, doc. 2) et exprimé par "tout est matière, et la lumière aussi" est bien sûr réapparu en contre-point.

par
la manipulation
et son analyse,
l'implicite devient
explicite :
des concepts
convergent

J'ai choisi de traiter cet obstacle en faisant réfléchir l'élève sur ce dont il avait besoin pour construire des maquettes de molécules complexes : des atomes unis en molécules simples (minérales), de la force dans les mains pour séparer les atomes afin de les réunir autrement, selon un plan de construction proposé à l'élève, au tableau. J'attendais d'une réflexion sur l'activité sensori-motrice, et par analogie, l'émergence des concepts d'énergie de liaison (qu'il faut vaincre) et d'information cellulaire héritée (information génétique), idées que j'ai aidé à expliciter en guidant la réflexion des manipulants sur leurs pratiques.

L'idée que l'énergie n'est pas matière mais qu'elle peut être ressentie et pensée à partir du travail des mains a paru acceptable aux élèves. La participation de la lumière dans la rupture de liaisons, la séparation puis le réarrangement des atomes m'ont semblé l'être tout autant. Mon hypothèse d'apprentissage ne m'a pas paru être invalidée par les réactions des élèves même si une évaluation adaptée serait seule capable d'en dégager tout l'intérêt.

Et je considère que le fait de pouvoir réellement aborder cet obstacle de manière réfléchie et avec des outils qui "parlent" à l'élève, puis des arguments, est un élément favorisant la compréhension de l'élève qui s'est interrogé sur la lumière. Sinon, quel type de réponse l'enseignement traditionnel apporte-t-il à la question du rôle de la lumière ?

4.4. Multiplication de situations requérant le modèle explicatif

Très vite, il m'est apparu que la réduction des obstacles et l'appropriation du modèle étaient si lentes qu'elles ne seraient pas opérées de manière satisfaisante chez certains élèves avant la fin de l'étude de la physiologie des végétaux chlorophylliens. Il me fallait trouver des moyens non seule-

pour aider
à comprendre :
"sans cesse sur
le métier..." mais
en faisant varier
les conditions

ment pour augmenter la maîtrise, la disponibilité du modèle chez les élèves mais aussi pour évaluer le plus souvent possible le degré de dépassement des obstacles que j'avais choisi de traiter. C'est pourquoi j'ai cherché à inventer puis à multiplier dans les séquences des occasions supplémentaires de faire convoquer le modèle par les élèves.

Pour cela, je me suis ménagé des temps de sortie de l'étude directe d'un concept pour me placer sur un autre plan, à la fois psychologique et pédagogique, et y exécuter d'autres types de travail de l'obstacle. Cet objectif m'a, tout naturellement, conduit à choisir ou imaginer les cinq techniques d'apprentissage suivantes.

• ***L'apprentissage de l'exploitation
de résultats expérimentaux***

Beaucoup d'élèves ont montré une grande maladresse pour interpréter des résultats expérimentaux. Cela pouvait provenir à la fois d'une absence de méthode d'analyse et de la difficulté liée à un obstacle pour se situer dans le registre de l'abstraction et du modèle explicatif pertinent.

la construction
d'un raisonnement
relève
de la logique...

Il m'a semblé d'abord nécessaire de faire rechercher les caractéristiques communes à diverses situations expérimentales de manière à construire une sorte de référent pour traiter des situations nouvelles : mettre en relation une différence des conditions expérimentales avec une différence des résultats, et pour cela, chercher à opposer l'état, au temps zéro, à l'état, au temps t, ou bien encore opposer ce que sont devenus au temps t les états de deux montages différenciant par une seule condition.

Placé ensuite en situation d'exercice, chacun a dû exprimer par écrit ses constats en utilisant ces modes de raisonnement prototypiques puis en transformant la relation condition-résultat en relation causale hypothétique du genre condition → résultat.

Et c'est là que la seconde difficulté a pu être approchée. Par exemple : si en présence de CO_2 dans l'air, je constate qu'il y a de l'amidon dans la feuille et qu'en son absence il n'y en pas, je peux dire, si toutes choses sont égales par ailleurs, que la présence de CO_2 est nécessaire pour qu'il y ait de l'amidon dans la feuille. Mais, certains élèves ne peuvent pas repérer la relation causale. Ils pensent seulement que la seule présence de CO_2 est favorable à la plante pour produire son amidon, par sa force vitale. Cette représentation, ne fonctionnant pas en terme de conservation de matière, est susceptible d'être écartée si on fait appel, une fois de plus, au modèle chimique.

...mais aussi
de l'aisance qu'on
a à manipuler
un modèle
explicatif

En effet, des élèves entraînés à la modélisation de la matière et déjà détachés des représentations-obstacles pensent spontanément à la relation matérielle, et donc causale, entre molécule de CO_2 et molécule d'amidon, si on leur en donne la formule. Ils produisent plus aisément l'hypothèse non pas

par la transformation automatique d'une relation en cause mais par la représentation "d'objets" chimiques concernant le vivant ou lui appartenant et par l'identification d'éléments communs (atomes de carbone par exemple).

En conséquence, ce mode d'apprentissage de l'exploitation de résultats expérimentaux ne consiste pas seulement à articuler logiquement des idées. Il fait aussi appel à un modèle explicatif explicite qui s'oppose, une fois de plus, à l'obstacle. Cela crée une situation nouvelle et supplémentaire permettant non seulement la répétition du travail de l'obstacle pour l'élève résistant mais aussi la familiarisation avec le nouveau modèle explicatif chez l'élève qui l'a déjà accepté. Cela augmente donc la probabilité pour que l'élève écarte la mobilisation spontanée d'une représentation naïve au profit de celle d'"objets" créés mentalement.

• **L'appel systématique à l'expression écrite**

comprendre
ne veut pas
toujours dire
savoir utiliser...

Inspiré par un article d'A. Vérin (8), j'ai ménagé, à chaque séance, un moment réservé à la construction d'un texte par chacun des élèves : il s'agit d'expliquer une des situations expérimentales étudiées en faisant appel au modèle sollicité. J'ai cru constater en effet que le modèle proposé pour remplacer la représentation initiale était aisément compris mais qu'il était difficilement mobilisable pour construire une explication ou une prévision.

Le travail au brouillon de sélection et d'organisation des idées et des mots, aidé par le professeur qui propose éventuellement des mots pour construire le texte (texte induit), m'a semblé favoriser la disponibilité du modèle chez l'élève. Et cet aspect de l'apprentissage mériterait un approfondissement.

...et l'utilisation
peut aider
à comprendre

Produire un tel texte semble demander un gros effort auquel les élèves répugnent, peut-être parce qu'il faut agir mentalement (conceptualisation) pour s'approprier le modèle et ses propriétés, appropriation qui, seule, permettra ultérieurement de produire des actions pertinentes (explication, expérience...).

• **La contrainte de l'évocation du modèle pour rédiger la correction**

la copie
de la correction
d'un devoir est
un comportement
d'évitement

Qu'on le veuille ou non, les évaluations correspondent à des moments d'apprentissage, leurs corrections aussi, évidemment ! Mais j'avais cru remarquer que la simple recopie du corrigé était considérée par certains élèves comme une auto-risation à ne pas se concentrer sur la signification de ce qui était dit, une mémoire temporaire étant seule mobilisée.

Prenant appui sur les thèses de A. de La Garanderie, j'ai corrigé les exercices devant des élèves sans que ceux-ci

(8) Vérin, A. "Raisonnement et écriture. À propos d'activités expérimentales au collège", *Aster* n° 14, *Raisonner en sciences*, 1992, p. 103-126.

aient le droit de prendre des notes. En analysant la situation de l'exercice, j'ai appelé des idées et des images mentales (schéma) déjà évoquées et construites en cours. La correction achevée les élèves ont dû prendre des notes (mots, schémas). Ils pouvaient demander des explications supplémentaires.

seule,
la reconstruction
du devoir
est utile, mais
contraignante !

Par cette contrainte, j'ai espéré proposer un apprentissage du rappel de traces mémorisées (le modèle proposé) et donc de l'automatisation de la réquisition du modèle, cette réquisition systématisée étant supposée réduire le caractère dominateur de l'obstacle.

Mais une ré-élaboration par l'élève m'a semblé fondamentale. Elle peut, en effet, réunir les conditions favorables au déclenchement de la conceptualisation qui ne s'est pas encore opérée et c'est sans doute parce que l'effort mental demandé est réel qu'il est si peu apprécié par tant d'élèves... C'est pourquoi je n'hésite pas à le gratifier. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'une évaluation sommative, une nouvelle réponse est rédigée par l'élève à la maison et notée par le professeur, ce qui peut réduire la crainte paralysante de conserver définitivement une mauvaise note.

• ***L'aide apportée à l'élève pour identifier "son" obstacle***

L'un des sujets de réflexion du groupe de l'INRP emporta mon adhésion à un enseignement prenant en compte les obstacles : non seulement il faut conférer au nouveau système explicatif de l'élève une "disponibilité confortable" (ce qui a beaucoup orienté ma stratégie) mais il peut davantage être fructueux de faire prendre conscience à l'élève des "idées fausses" qui l'empêchaient jusqu'à présent de penser scientifiquement.

Pour faire prendre conscience de l'existence de différentes modalités d'interpréter le vivant, sujet sur lequel les élèves n'avaient pas encore réfléchi, je leur ai demandé de rédiger un texte explicatif sur le thème : *"Vous semble-t-il possible qu'un végétal produise sa matière vivante rigide - écorce ou bois - avec du gaz et un liquide ? Expliquez."*

Ce type de formulation, qui peut être compris comme un entraînement au premier type de question au baccalauréat S, est très déconcertant pour l'élève. En effet, il doit montrer qu'il est capable de quitter le registre du sensible (écorce solide, eau liquide) pour concevoir la matière végétale autrement, mentalement en recourant à un modèle.

les élèves sont
incapables
d'identifier
spontanément
leurs obstacles...

L'analyse des réponses s'est faite en commun, chacun exprimant sa manière de comprendre le sujet. Une réflexion s'est engagée sur les raisons des échecs. Les obstacles initiaux ont été évoqués, souvent proposés par le professeur car la prise de conscience par les élèves eux-mêmes est rare. Malgré le caractère nouveau de cette réflexion certains sont parvenus à témoigner de la réalité de la proposition du pro-

...mais ils peuvent
les reconnaître
comme tels

fesseur. Bien plus, certains sont parvenus à témoigner d'une situation de cours qui les a conduits à changer de système explicatif et il a été alors intéressant de leur faire constater que ce moment n'a pas été le même pour tous ! Un témoignage exprimé à toute la classe a pu en déclencher d'autres et transformer ainsi la séquence à la fois en séance de restructuration pour certains et d'abandon conscient de l'obstacle pour d'autres.

Mais, j'ai encore le sentiment d'une certaine maladresse pour conduire un tel entretien et j'espère que mon assurance est en cours de construction, par la pratique... C'est que les élèves ne se livrent pas spontanément. Ils sont déconcertés par ce type d'analyse qu'ils n'ont déjà rencontré qu'en cours de littérature. Certains se sont même montrés temporairement agressifs à l'encontre des méthodes que j'ai appliquées.

Je pense que ce conflit est né de l'effort que faisaient les élèves pour comprendre mes intentions, ce qui était de bon augure : ne trouvant pas de cohérence avec les pratiques coutumières, ils sont entrés en conflit avec ce (et celui) qui leur posait problème. Ayant conscience de cette "détresse", j'ai tenté d'adopter un mode rassurant dans mes conseils et justifications. La compréhension du modèle finissant par s'installer, ces élèves ont changé d'avis.

La correction de cet exercice a déclenché des réactions de désappointement : *"si j'avais su qu'on me demandait cela..."*. Après avoir insisté sur le fait qu'ils n'avaient pas correctement répondu parce qu'ils n'avaient pas changé de registre de pensée (passage du concret à l'abstrait-modèle), j'ai alors élargi le champ de la réflexion (et de la vérification) : *"Soit une culture de Cyanobactéries (photosynthétiques), comment va évoluer la masse de la culture, le milieu étant nouveau et l'évaporation nulle ?"* Seuls (mais ils ont été plus nombreux qu'avant), les élèves qui se représentaient les molécules de CO_2 dans l'air et qui en imaginaient l'agitation puis l'absorption dans l'eau et enfin l'assimilation dans le végétal ont réussi (il y a augmentation de masse, même s'il y a une perte en O_2).

Après correction de ce second exercice, les élèves ont été encore plus nombreux à pouvoir répondre à : *"Pensez-vous qu'un être vivant peut être fait avec de la matière n'ayant jamais appartenu à un être vivant ? De quel être vivant peut-il s'agir ?"* ce qui revient à interroger l'élève sur la possibilité ou non de faire du vivant avec du non-vivant.

une approche
de quelques
difficultés de
l'apprenant
pour faire cesser
sa confusion entre
erreur et faute

Lors de la correction, il a été possible de revenir sur l'idée que chacun de nous possède des représentations, professeur compris. Elles nous servent de système explicatif et c'est pourquoi elles constituent des obstacles à la compréhension de certaines situations. Ces obstacles sont identifiants et il est utile de les repérer afin de les écarter à chacune de leur occurrence. Ce faisant, le professeur justifie son dispositif, ce qui est nouveau et bien reçu par les élèves.

Il peut enfin préciser qu'il ne suffit pas de connaître la leçon par cœur, encore faut-il s'être construit, par l'effort de concentration (en se construisant un modèle), une manière personnelle d'expliquer...

• ***L'évaluation du degré de disponibilité du modèle***

Comme les idées-obstacles ne demandent qu'à se manifester à nouveau, surtout au cours de situations qui détournent ou perturbent l'attention, j'ai sélectionné des montages expérimentaux, que je qualifie de "situations dramatiques" (au sens de drame théâtral), pour voir si l'élève était capable de requérir le modèle explicatif de préférence à la représentation initiale. Il s'agissait d'une souris enfermée dans un bocal (sans courir le risque d'"étouffement" mais l'élève pouvait le craindre) ou privée temporairement de nourriture (mais pas d'eau), de feuilles en milieu clos ou découpées ou broyées...

quand un état
"psychologique"
perturbe
l'intellect

J'ai demandé d'expliquer les résultats par écrit. Lorsque l'interprétation était fautive ou absente, j'ai rappelé comment le modèle connu pouvait expliquer la situation.

J'en ai profité alors pour montrer qu'il y avait bien deux manières d'expliquer les choses. L'une des deux, identifiable bien qu'elle émerge rarement dans leur conscient – leur représentation initiale – les empêche de penser scientifiquement la situation.

J'accepte l'idée que cette stratégie est à améliorer mais je pense la conserver car ce type d'exercice semble avoir l'avantage de placer les élèves en situation de revisiter leurs connaissances (comme au chapitre précédent – identification), d'exprimer la manière selon laquelle elles sont structurées et peut-être de témoigner de la manière selon laquelle elles étaient structurées avant notre travail...

EN GUISE DE BILAN

Je pense avoir recueilli suffisamment de réactions d'élèves et de résultats d'évaluation pour m'autoriser à penser que mon dispositif peut participer à la réduction de l'obstacle vitaliste, obstacle qui s'oppose à la recherche et à la formulation d'explications de fonctions du vivant. Mais je m'attends à ce que cet obstacle persiste. L'essentiel est que l'élève ait "chassé l'esprit vital" hors des molécules, même si c'est pour le "glisser dans" le patrimoine génétique, par exemple, en le comprenant comme le pouvoir de réorganiser des atomes et surtout de conférer aux molécules une forme agissante. Cette délocalisation me semble acceptable en classe de Seconde.

De rares élèves, souvent en grandes difficultés, refusent la révision de leur représentation de la matière vivante...

De mon côté, les essais successifs m'ont fait évoluer aussi bien dans mes pratiques pédagogiques que dans leur justification théorique.

Mon premier travail à l'INRP (9) m'avait permis de constater que le concept de réaction chimique n'avait pas exactement le même sens ni le même usage en chimie qu'en biologie. C'est pourquoi j'ai été intéressé par la proposition de ma collègue, D. Rebaud, de réfléchir au transfert de connaissances de chimie en biologie. Dans le même temps, c'est en découvrant les obstacles, dans le cadre de la recherche de l'INRP, que j'ai considéré ce travail en interdisciplinarité comme susceptible de réduire le blocage que le vitalisme exerce sur la production d'explications physico-chimiques, par les élèves.

J'ai commencé ce travail alors que j'appliquais un modèle pédagogique conventionnel de type transmissif, en choisissant le savoir destiné aux élèves en fonction des instructions officielles et de mes connaissances.

La prise de conscience de l'existence d'obstacles à une compréhension de phénomènes du vivant a modifié totalement ma manière d'organiser mon enseignement. Cette prise de conscience m'a rappelé la remise en cause de mes propres représentations, quelques décennies plus tôt. Elle m'a également permis de comprendre certaines raisons de la relative inefficacité de mon enseignement. Elle m'a enfin permis d'espérer pouvoir aider l'élève confronté à la résolution de problèmes biologiques difficiles.

La première année, j'ai construit mon cours en considérant le modèle physico-chimique de la matière comme susceptible d'aider l'élève à comprendre des concepts biologiques. Dès cette année, j'ai donc enseigné non plus en partant du savoir mais en prenant en compte un type de difficultés que pouvait rencontrer l'élève.

La seconde année, c'est en fonction des difficultés de l'élève à construire des concepts que j'ai choisi de transformer en routine la mobilisation du modèle de la matière et de ses règles d'application. La multiplication des situations à traiter, appartenant certes à différents chapitres mais à un même réseau conceptuel, devait favoriser la généralisation d'une notion et donc la conceptualisation. Elle exigeait aussi une mise en activité des élèves plus fréquente.

La troisième année, enfin, c'est en fonction des difficultés de l'élève à passer du registre du sensible au registre de l'abstraction que j'ai modifié ma stratégie. Je me suis efforcé de mettre l'apprenant en situation de réfléchir sur son propre fonctionnement mental, de créer une situation d'apprentissage de l'abstraction et de l'aider à identifier ses propres blocages.

(9) Monchamp, A. "Biologie", *Les enseignements en troisième et seconde : ruptures et continuités*, Colomb, J. dir., INRP, Didactiques des disciplines, 1994, p. 173-204.

En tenant toujours compte des prescriptions officielles mais en leur accordant de moins en moins la primauté, j'ai de plus en plus construit mon enseignement en fonction des difficultés de l'élève, chaque essai m'en faisant découvrir de nouvelles et, à mon sens, de plus fondamentales.

C'est que l'adhérence au perçu, obstacle interdisciplinaire, s'oppose, entre autre, à la compréhension du statut des modèles et donc à une approche scientifique des objets. Cet obstacle avait déjà été désigné par l'équipe en ma présence mais je ne suis parvenu à le comprendre comme tel qu'en analysant des blocages "persistants" chez mes élèves : j'ai dû me construire une représentation de cet obstacle inattendu parce que non disciplinaire et, pour cela, j'ai dû vaincre aussi des obstacles à la compréhension de mon métier et de celui de l'élève.

Et c'est en achevant la rédaction de cet article que je me rends compte combien mon travail d'enseignant et de formateur occasionnel en MAFPEN a été profondément et heureusement influencé par ma participation à la réflexion du groupe de recherche de l'INRP, groupe qui m'a aidé à construire et à expliciter aussi bien des savoirs théoriques que pratiques par un aller et retour entre lui et mes élèves. Cette expérience a constitué pour moi une véritable formation par la recherche.

Cependant, j'ai eu des difficultés à réduire le caractère déstabilisant de certaines activités que j'ai été conduit à imaginer et proposer aux élèves. Parce qu'elles se sont opposées à la coutume, elles ont déclenché des réactions de résistance qui ont pu être fortes... Bref, il y a eu là toutes les caractéristiques d'une situation créée par une rupture de contrat, ce qui a fait apparaître la nécessité de négocier un nouveau contrat sur des bases que j'ai dû expliciter.

Alain Monchamp
Lycée Jean Vilar Plaisir
INRP