

ENSEIGNANTS ET ÉLÈVES FACE AUX OBSTACLES

Brigitte Peterfalvi

La question de la prise en compte didactique des obstacles dans l'enseignement des sciences expérimentales a fait l'objet du numéro 24 d'*Aster*. Nous y avons présenté une série de contributions qui donnent des éclairages complémentaires sur les types de stratégies didactiques envisagées. Ce numéro complète le tour d'horizon et propose une série d'articles qui mettent davantage l'accent sur la façon dont les enseignants sont impliqués dans ce problème et sur l'analyse de processus intellectuels d'élèves lorsqu'ils sont aux prises avec des obstacles.

Du côté des enseignants

Le problème de l'implication des enseignants est abordé selon trois points de vues complémentaires dans les articles de Patricia Schneeberger, Daniel Favre et Isabelle Verseils, et Alain Monchamp. Tous trois évoquent à ce sujet des problèmes de formation, mais sous des angles assez différents.

Patricia Schneeberger examine la place qu'occupe l'idée d'obstacle et sa prise en compte didactique dans la formation des enseignants, à travers une étude des sujets de concours de recrutement des professeurs d'école (en biologie-géologie) et des ouvrages disponibles pour la préparation à ce concours. Elle y souligne l'existence d'une sorte de "paradigme" didactique, qui met en avant de façon massive la nécessité d'une prise en compte des conceptions ou obstacles (selon les cas) dans l'enseignement, sans toutefois donner d'outils suffisants pour aider les futurs enseignants à concevoir dans la pratique et à propos d'exemples spécifiés des situations de travail correspondantes. On peut y voir un double mouvement : de succès des idées issues de la recherche d'une part, peut-être trop important car elles pourraient tendre vers une dogmatisation, de résistance à l'idée d'obstacle de l'autre, à mettre en parallèle avec celle qu'on rencontre dans le milieu enseignant. Dans cette mesure, l'article pose le problème des obstacles à l'idée d'obstacle.

Après l'étude d'une situation d'enseignement en classe de Sixième en biologie, où des obstacles convergeant à la construction d'un concept sont systématiquement travaillés (la "surface portante", à propos du vol des oiseaux), Daniel Favre et Isabelle Verseils proposent une enquête auprès d'enseignants, sur leurs conceptions relatives aux mêmes contenus. Ils y repèrent de façon significative l'intervention des mêmes obstacles que ceux qu'ils avaient trouvés chez les élèves. Ils suggèrent ainsi que la difficulté de mise en

adhésion
et résistance

mêmes obstacles
chez élèves
et enseignants

œuvre de situations de travail sur les obstacles en classe pourrait être liée à celle qu'éprouvent les enseignants dans leur propre pensée à l'égard de ce même travail. À partir de cette analyse, ils proposent des situations de formation des enseignants qui incluent des procédés tels que l'expression "des bonnes raisons que l'on a de penser ce qu'on pense" ou la reformulation du point de vue d'autrui, qui s'avèrent décisifs pour la déculpabilisation de l'erreur, la compréhension du fonctionnement de l'obstacle et le "lâcher" qui en résulte. Leur article pose ainsi le problème de l'isomorphie possible entre travail des obstacles pour les adultes en formation et pour les élèves. Dans quelle mesure les procédés mis en œuvre pour eux-mêmes par les enseignants sont-ils transférables aux situations où ils enseignent ?

autoformation
par la recherche

Bien qu'un peu atypique dans la revue, l'article d'Alain Monchamp apporte un éclairage intéressant pour ce problème. Il propose en effet son témoignage personnel, en tant qu'enseignant impliqué dans une recherche participative, où il a été conduit, trois années successives, à élaborer des situations d'enseignement centrées sur la prise en compte d'obstacles, en classe de Seconde de lycée. Il témoigne de sa prise de conscience progressive, à travers l'analyse de ses essais successifs et de leur impact sur les élèves, des obstacles à la construction de plusieurs concepts biologiques et des situations susceptibles de les faire bouger. Il explique, comment il a été conduit à remanier d'année en année sa stratégie de travail, sur la base de cette prise de conscience. C'est en quelque sorte son propre processus de formation par la recherche qu'il expose et cela peut contribuer à prendre la mesure de l'effort à fournir pour que les enseignants soient en mesure de travailler effectivement dans une perspective de prise en compte des obstacles.

Du côté des élèves

En somme, ces trois articles offrent des éclairages sur l'effort de formation nécessaire pour dépasser ce que Bachelard appelait l'"obstacle pédagogique". "J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas qu'on ne comprend pas", écrivait-il (1). Les textes qui suivent proposent des analyses de la façon dont les élèves évoluent dans des apprentissages où, confrontés à des obstacles, ils empruntent des chemins qui peuvent sembler *a priori* inattendus aux enseignants. Ces articles pourront-ils contribuer à la compréhension de la façon dont ceux qui apprennent comprennent ou ne comprennent pas ?

attentes
des enseignants
et parcours
des élèves

Celui de Marie Sauvageot, à travers l'étude de l'évolution d'élèves dans une séquence sur la nutrition végétale en classe de Sixième, met l'accent sur les décalages entre l'at-

(1) Gaston BACHELARD, (1938) *La formation de l'esprit scientifique*, p. 18 (Paris, Vrin, 11ème édition, 1980).

tente des enseignants vis-à-vis du franchissement d'obstacles, et les parcours intellectuels des élèves, étudiés sur la base d'enregistrements et de leurs productions écrites. Elle montre comment les profils différents des élèves et la structuration différente au départ de leurs connaissances les conduisent à réagir différemment aux leviers successifs mis en œuvre dans la séquence. Ce qui est une activité déterminante pour les uns s'avère ne pas l'être pour les autres. Les niveaux de formulation conceptuels auxquels ils arrivent sont divers et le plus souvent différents de ceux prévus par l'enseignant. Ce qui conduit d'une part à moduler une certaine illusion de maîtrise des processus intellectuels et de l'autre à mettre en garde les enseignants contre un découragement possible face à la résistance inévitable des obstacles.

interactions
et circulation
dans un réseau
d'obstacles

Dans la contribution de Pierre Fillon, c'est plutôt l'analyse de l'impact d'interactions entre élèves sur leur parcours intellectuel qui est centrale. Il montre comment, dans une séquence sur la réaction chimique en classe de Troisième, les confrontations des élèves avec l'expérience, mais surtout entre eux, dans le cadre d'un travail en petit groupe, les font naviguer dans le réseau très intriqué des obstacles en jeu lors de la construction de ce concept. Il montre comment l'avancée de l'argumentation dans la discussion les fait glisser d'un obstacle à un autre, les fait parfois régresser et finalement les conduit, pour certains d'entre eux, à raisonner sans ces obstacles – du moins pour l'exemple traité, la réaction du monoxyde de cuivre avec le carbone –, ce qui ne veut pas dire nécessairement que les obstacles surmontés ici le soient définitivement et d'une manière plus générale...

Ces deux articles se penchent sur l'évolution d'élèves dans des situations conçues en référence à un travail sur les obstacles, au niveau de l'enseignement secondaire. Celui que proposent Roger Barlet et Dominique Ploin se situe différemment, à deux points de vues : il adopte la perspective plus générale du repérage d'obstacles à la compréhension, indépendamment de situations visant à les travailler ; par ailleurs il concerne le niveau de l'enseignement supérieur, ce qui présente l'intérêt de montrer la persistance de ces obstacles à un niveau où on pourrait penser franchis. Ces obstacles, communs à plusieurs champs spécifiques de la chimie, sont liés à la dualité entre les registres microscopique et macroscopique. Le privilège relatif de l'un ou l'autre de ces registres de description selon les champs considérés les dissocie et renforce ainsi, selon ces auteurs, la difficulté de compréhension de leurs relations. Des aspects généraux de l'organisation des curricula sont donc aussi en jeu dans la persistance de ces obstacles. Aussi les auteurs proposent-ils des décloisonnements allant dans le sens d'une meilleure intégration des concepts.

des obstacles
persistants
dans
l'enseignement
supérieur

Stratégies didactiques et systèmes de contraintes

Les aspects que nous venons d'évoquer sont à prendre en compte dans leur interaction avec le système de contraintes exercées par le système éducatif, du fait de son organisation générale mais aussi des caractéristiques intellectuelles des partenaires qui le constituent. Les situations construites ne peuvent résulter d'une simple application de considérations épistémologiques. Elles manifestent un possible scolaire qui combine dans des compromis réalisables des intentions liées aux théories de l'apprentissage avec une réalité qui lui résiste.

L'article de Marie-Louise Zimmermann montre comment de telles réalisations peuvent se développer dans un cadre relativement privilégié, car il s'agit d'un établissement globalement innovant où une pédagogie centrée sur l'apprenant peut être développée à longue échéance, être prise en compte dans les modalités d'évaluation, se déployer sur plusieurs contenus et donc entrer dans la coutume. Cela facilite la mise en œuvre de stratégies de "perturbation conceptuelle" dont les caractéristiques sont de provoquer de façon répétée et systématique des remises en question partielles des conceptions exprimées des élèves jusqu'à l'obtention d'un niveau de formulation acceptable des concepts ainsi construits. Une proposition de Daniel Favre et Isabelle Verseils dans leur conclusion rejoint cet aspect de la question : le "turn over" des représentations pourrait généralement être facilité, "si dès le plus jeune âge, les élèves sont entraînés à formuler des hypothèses et à considérer les modèles proposés par l'enseignement comme approximatifs et provisoires". "L'erreur ne serait plus complètement un échec, une faute, mais un résultat." Pour ces auteurs, la capacité du sujet à modifier ses façons de voir, liée à sa représentation de l'activité scientifique, est aussi liée, fondamentalement, à sa sécurité. Le dépassement des obstacles ne serait pas nécessairement à considérer au coup par coup mais une attitude globale à cet égard pourrait être modifiée. Reste à examiner comment cela peut être compatible avec les contraintes du système éducatif, tel qu'il est actuellement, ou bien les transformations qu'il devrait subir pour que cela soit possible.

Si les situations analysées dans l'article de Marie-Louise Zimmermann peuvent se réaliser à la faveur d'une diminution du niveau des contraintes institutionnelles, il en va autrement de celles qui sont décrites dans l'article proposé par Jean-Pierre Astolfi et moi-même. Ces dernières, élaborées par des enseignants dans le cadre d'une recherche de l'INRP et mises en œuvre dans des établissements "ordinaires" donnent une idée du réalisable dans les circonstances "normales" du système éducatif, bien qu'elles aient été construites et menées par des enseignants particulièrement intéressés et motivés par cette démarche. L'article propose une mise en relation de "principes dynamiques" pour le

installer le travail
des obstacles
dans la coutume

un éventail
du réalisable

travail sur les obstacles et de "modalités de travail", toutes mises en œuvre d'une façon ou d'une autre dans cette recherche, donc réalisables, et susceptibles d'être recombinaées selon les contraintes de chaque situation. Certains des dispositifs évoqués reprennent des variantes de ceux qui sont décrits dans les articles de Marie Sauvageot, Alain Monchamp et Élisabeth Plé (*Aster* n° 24), qui ont participé à cette même recherche.

Hors thème

Nous publions hors thème un article de Gérard Fourez qui apporte des clarifications à un concept déjà présenté dans la revue (*Aster* n° 17, 1993) et le situe dans le contexte théorique actuel de la didactique.

Brigitte PETERFALVI
Équipe de didactique
des sciences expérimentales, INRP.

L'IDÉE D'OBSTACLE DANS LA FORMATION DES PROFESSEURS DES ÉCOLES

Patricia Schneeberger

La réussite à l'épreuve de biologie-géologie du concours de recrutement des professeurs des écoles suppose que les candidats maîtrisent quelques concepts de didactique des sciences et, parmi eux, celui d'obstacle. De ce fait, l'analyse des savoirs initiaux des élèves et la prise en compte de leurs erreurs doivent nécessairement être envisagées pendant le cursus de formation, au moins pour la préparation du concours.

Nous proposons, dans cet article, de montrer la place occupée par l'idée d'obstacle dans les sujets de concours de professeur des écoles, en nous limitant à l'épreuve de biologie-géologie. Nous rechercherons quelles idées paraissent privilégiées quant à la prise en compte des conceptions des élèves. Nous examinerons également les ouvrages d'initiation à la didactique de la biologie-géologie destinés principalement aux futurs enseignants. Nous pourrions ainsi dégager des tendances propres à la formation des enseignants du premier degré dans notre pays.

La position selon laquelle la pensée ne peut progresser qu'en rupture avec un savoir antérieur est très présente dans la formation des enseignants. Cette idée, principalement inspirée de la notion d'obstacle épistémologique de G. Bachelard (1), est également centrale en didactique des sciences expérimentales. Depuis longtemps, en effet, des ponts se sont établis entre ces deux domaines et la formation des enseignants du premier degré se nourrit des résultats des travaux de recherche en didactique. Ces liens apparaissent, en particulier, à la lecture des sujets de concours d'entrée dans les IUFM, notamment dans la partie didactique et pédagogique. Nous avons examiné 38 sujets de 1992 à 1996, dont 18 sujets pour la session de 1995, et nous avons pu noter l'utilisation du terme obstacle pour 12 d'entre eux (dont 6 en 1995) soit environ un tiers des sujets. L'idée d'obstacle est également présente dans des sujets où le terme n'apparaît pas ; il est alors parfois utilisé dans le corrigé de l'épreuve que nous avons obtenu par l'intermédiaire de nos collègues formateurs en IUFM (nous disposons du corrigé pour quelques-uns des sujets seulement).

La conception des sujets de concours de recrutement des professeurs des écoles, définie par arrêté ministériel, doit répondre à certaines exigences afin de permettre d'apprécier

(1) Notons que si l'idée d'obstacle est également présente dans les travaux de Piaget, il semblerait que la sensibilité aux travaux de Bachelard l'emporte sur les références à Piaget dans le domaine que nous étudions.

une sorte
de paradigme
dans la formation
des enseignants

la qualité de la réflexion des candidats sur les approches didactiques propres au domaine considéré. Bien que portant sur des domaines conceptuels différents, beaucoup sont construits sur un modèle comparable. L'analyse de ces sujets révèle en effet une idée qui semble dominante : la nécessité de prendre en compte les conceptions des élèves pour centrer les séquences d'enseignement sur le franchissement des obstacles. Cette idée est également défendue dans les ouvrages d'initiation à la didactique des sciences destinés aux futurs professeurs des écoles et l'on peut faire l'hypothèse qu'elle constitue une sorte de paradigme dans la formation des enseignants du premier degré. En effet, les sujets de concours, conçus le plus souvent en collaboration avec les formateurs, sont de bons indicateurs des idées qui prévalent dans les modules proposés par les centres de formation.

1. L'ÉPREUVE DE BIOLOGIE-GÉOLOGIE AU CONCOURS DE RECRUTEMENT DES PROFESSEURS DES ÉCOLES

1.1. Présentation du texte définissant l'épreuve

des exigences
à respecter

Depuis 1992, c'est-à-dire à partir de la création des IUFM, le concours de recrutement des professeurs des écoles (C.R.P.E.) comporte une épreuve écrite de biologie-géologie pour les candidats qui ont choisi cette option. Le sujet correspondant à cette épreuve comprend, comme pour les autres disciplines, un premier volet qui porte sur les "*compétences du candidat dans la discipline*" et un deuxième volet qui a pour objet "*l'analyse des approches didactiques et des démarches pédagogiques correspondantes*". Pour cette partie, le texte qui définit le contenu de l'épreuve précise : "*le candidat doit faire la preuve (...) qu'il a réfléchi aux problèmes spécifiques que pose aux enfants l'apprentissage de notions et d'éléments de méthode propres à cette discipline ou à ce domaine*". Pour apprécier ces compétences, le texte suggère aux auteurs de sujets de proposer des documents pédagogiques à analyser : "*outils pour le maître (extraits de guides ou de manuels, logiciels, documents audiovisuels,...), travaux d'élèves ou documents présentant des séquences ou des comportements d'enfants*". Les candidats peuvent ainsi avoir à procéder à une "*première analyse des productions des enfants*" ou à "*donner un avis critique sur la démarche pédagogique proposée*". Ils doivent, pour cela, être guidés par des questions.

Le terme d'obstacle n'apparaît certes pas dans le texte de l'arrêté ministériel qui néanmoins met l'accent sur la connaissance de l'enfant en situation d'apprentissage. Ces recommandations sont d'une grande importance et prennent valeur de règles du fait de l'enjeu sous-jacent. Dès lors

la préparation au concours doit comporter une dimension professionnelle axée sur les problèmes d'apprentissage et d'enseignement relatifs à chaque discipline. Cela est d'autant plus nécessaire que, bien souvent, les professeurs des écoles ne recevront pas de formation supplémentaire dans la discipline choisie comme option au concours (voir B. Andries et I. Beigbeder, *La culture scientifique pour les professeurs des écoles*, 1994).

1.2. Évolution de l'épreuve

Depuis 1995, la construction des sujets des épreuves écrites a été légèrement modifiée par l'introduction d'une partie (notée sur 4 points) consistant à analyser une production d'élève. Le candidat doit *"repérer les erreurs et les qualités dans une production d'élève, les analyser et les commenter en référence aux objectifs et aux contenus de la discipline tels qu'ils sont définis dans les programmes et instructions de l'école primaire"*.

plusieurs logiques
possibles

Cette nouvelle question peut être envisagée de différentes façons, ce qui va certainement conditionner la manière d'y répondre.

- Si l'on considère que cette question est intégrée dans le premier volet de l'épreuve qui porte sur les compétences disciplinaires, le candidat doit donc évaluer la production à la lumière des connaissances acquises dans le domaine considéré.

- La production d'élève peut être au contraire prise comme l'expression des idées d'un élève à propos d'un phénomène naturel ou d'un concept scientifique. Dans ce cas, le candidat est mis en situation d'un enseignant qui doit analyser les conceptions ainsi révélées en les comparant éventuellement avec le niveau d'explication accessible au niveau de classe considéré.

- S'il s'agit d'un exercice d'évaluation, cette production peut même rendre compte de la persistance de certaines conceptions et donc déceler les obstacles à l'apprentissage.

derrière chaque
énoncé,
une logique
différente

Le type de questions posées permet de savoir dans quelle logique on se situe. Donnons un exemple illustrant chacun des cas.

Académie de Grenoble (1995) :

L'étude des volcans est au programme de l'école élémentaire. Avant d'aborder ce sujet, un maître a demandé à ses élèves de cycle 3 de dessiner un volcan en éruption et d'exprimer comment ils expliquent ce phénomène. Le document 5 présente la production d'un élève sur lequel le maître a noté le commentaire de l'élève.

1. Commenter cette production d'élève du point de vue de son exactitude scientifique.

2. Proposer un schéma représentant le niveau de connaissances attendu des élèves en référence aux objectifs notionnels de fin de cycle 3.

Académie de Reims (1995) :

Le maître a réalisé une étude statistique des 23 réponses à une question sur les produits rejetés par les volcans.

Quelles réflexions ces résultats statistiques vous inspirent en référence aux objectifs et aux contenus relatifs à l'enseignement du volcanisme au cycle 3 ?

Académie de Toulouse (1995) :

Question 2 : Plus tard, l'enseignant veut connaître les savoirs acquis par les élèves. Il leur demande alors de dessiner et d'expliquer le mécanisme de la respiration chez le poisson. Il obtient, entre autres, les cinq productions figurant sur le document D.

Analysez chacune de ces productions et dégagez l'obstacle qui vous paraît majeur et qui resterait à surmonter.

Les productions d'élèves qui sont utilisées dans cette question sont parfois issues de travaux de recherche en didactique de la biologie ou de la géologie (exemple du sujet de 95 de l'Académie de Bordeaux) ; certains sont publiés dans des ouvrages qui peuvent éventuellement servir de référence pour la préparation du concours. L'analyse de ces productions a permis de déceler différents obstacles à l'apprentissage scientifique.

Pour cette partie, la réussite des candidats peut être favorisée par une bonne connaissance des obstacles les plus connus que rencontrent les élèves de l'école primaire dans l'acquisition des notions considérées. Cela suppose donc que les formateurs prévoient une analyse des problèmes d'apprentissage en termes d'obstacles à dépasser. L'évolution des sujets de concours tendrait donc à renforcer la place de l'idée d'obstacle dans la formation des enseignants.

1.3. Exemples de sujets de concours

Nous n'envisageons ici que la partie de l'épreuve qui porte sur les approches didactiques et pédagogiques (deuxième volet). De nombreux sujets présentent le même type de questions et semblent construits selon la même logique. Le sujet de l'Académie de Dijon de 1993 illustre assez bien l'esprit dans lequel ces sujets ont été conçus.

Académie de Dijon (1993) :

La planche n°8 présente des conceptions d'enfants d'une classe de CM1, obtenues avant la réalisation de toute activité sur le sujet.

La question posée par le maître était "Peux-tu expliquer pourquoi la terre tremble ?".

1. Quelles sont les conceptions des enfants ?

2. À partir de leur analyse, repérez les obstacles à la construction d'un véritable savoir scientifique.

3. En fonction des obstacles repérés, pour ce champ notionnel particulier, proposez une progression pédagogique de niveau Cours Moyen.

le même mode
de construction
pour 60 %
des sujets
analysés

Il s'agit donc d'analyser des productions d'élèves pour dégager leurs conceptions et repérer les obstacles puis de construire des séquences d'enseignement centrées sur le franchissement des obstacles. Nous avons pu relever le même mode de construction dans plus de 60 % des sujets (11 des 18 sujets de 1995 que nous avons analysés). Dans certains cas, il s'agit de critiquer une démarche pédagogique qui n'utilise pas les productions des élèves.

Académie de Caen (1996)

Classe de CM1 - Résumé du déroulement

Première séance sur la nutrition humaine :

- discussion collective brève : "À quoi ça sert de se nourrir ?"
La classe se met d'accord pour dire que cela sert à grandir ;
- le maître demande alors aux élèves d'expliquer par un schéma légendé et un texte "Comment se nourrir pour faire grandir ?" (travail en groupes de 3).

Deuxième séance :

- le maître demande aux enfants :
- de reconstituer les groupes de 3,
- de répondre aux questions du document (page d'un manuel de CM) en s'aidant des informations fournies.

Questions

1. Quels peuvent être les objectifs d'apprentissage visés par le maître au cours de la seconde séance ?
2. Êtes-vous d'accord avec ce choix d'objectifs ? Justifiez.
3. À quoi ont servi les productions des enfants dans l'enseignement de ce maître ?
4. Comment pouvaient-elles être utilisées lors de la deuxième séance et dans quel but ?

les autres sujets
de concours
sont basés
sur une autre
logique

Les autres sujets proposent des documents pédagogiques à analyser : extraits de manuels scolaires, fiche de préparation d'un maître ou traces écrites issues d'un classeur d'élève. Le plus souvent, le candidat est interrogé sur les notions visées ou doit retrouver les objectifs du maître. Il doit également proposer des activités qui consistent soit à exploiter les documents proposés soit à prolonger le travail décrit. Dans certains cas, il est demandé de faire une analyse critique d'une démarche pédagogique, ce qui peut éventuellement amener le candidat à défendre la prise en compte des idées des élèves.

2. L'IDÉE D'OBSTACLE DANS LES SUJETS DE CONCOURS

L'idée d'obstacle est le plus souvent introduite à partir de l'analyse de productions d'élèves qui sont le plus souvent des dessins ou schémas accompagnés de textes dans certains cas. Le candidat est ainsi conduit à s'intéresser aux conceptions des élèves.

2.1. La place donnée aux conceptions des élèves

plus de la moitié
des sujets
s'intéressent
aux conceptions
des élèves

Le terme de conception ou de représentation (terme auquel les didacticiens préfèrent celui de conception) est utilisé dans près de la moitié des sujets examinés. D'autres expressions sont également utilisées pour désigner la même idée : *savoirs initiaux, idées que se font les élèves.*

Les questions qui sont posées aux candidats sont formulées ainsi :

- *Quelles sont les (principales) conceptions des élèves ?*
- *Mettez en évidence (ou dégagez) les représentations sous-jacentes.*
- *Relevez les caractéristiques des conceptions des élèves.*

un entraînement
est nécessaire
pour dégager
les conceptions
des élèves

Les productions d'élèves qui sont analysées dans l'optique de dégager les conceptions sous-jacentes relèvent de domaines conceptuels différents. Notons toutefois que la nutrition humaine apparaît dans 5 des 18 sujets (soit 27 %) examinés pour 1995 ce qui peut être le fruit du hasard ou bien résulter d'une volonté de proposer des exemples auxquels les étudiants ont été familiarisés. Quoi qu'il en soit, les étudiants peuvent difficilement répondre à ce type de question sans entraînement, ce qui suppose que la préparation au concours propose une étude des conceptions des élèves dans les différents domaines conceptuels inclus dans les programmes de l'école élémentaire. Précisons que chaque IUFM a défini un programme de préparation en choisissant de travailler un nombre limité de concepts alors que le concours est basé sur les programmes de l'école élémentaire dans leur intégralité.

des réticences
parfois très vives
chez
les étudiants

L'idée même de conception, admise par les auteurs des sujets dont il est question ici, est présentée comme une évidence. En effet, l'existence d'un "déjà-là" conceptuel dans l'esprit des élèves, même les plus jeunes, est actuellement reconnue par les didacticiens des sciences. Cependant, nous savons par expérience que cette idée est parfois incon nue des étudiants qui préparent le concours ; certains ont même des difficultés à adhérer aux idées qui ont conduit à s'intéresser aux savoirs initiaux des élèves. Le poids de leur cursus scolaire et universitaire les conduit souvent à survaloriser les connaissances scientifiques considérées actuellement comme exactes en rejetant sans ménagement les explications qui leur paraissent erronées. Un véritable changement de mentalité doit alors être opéré si l'on veut que ces étudiants acceptent d'analyser les productions des élèves autrement qu'en les jugeant en terme de vrai ou faux. L'histoire des sciences, en montrant le chemin chaotique de l'accès au savoir, permet de porter un regard différent sur les conceptions des élèves. C'est un moyen que nous employons souvent en formation et que nous avons décrit dans un précédent article (*Aster n°21*). Cette référence à l'histoire des sciences est d'ailleurs utilisée dans un des sujets : *"Indiquer si les conceptions des élèves (d'une classe de CM) se rapprochent de certaines conceptions admises au*

des
préoccupations
de nature
pratique

cours de l'histoire des sciences." (Académie de Caen, 1993, le sujet porte sur la nutrition des végétaux)

Notons dans un des sujets un souci d'ordre méthodologique concernant la collecte des conceptions des élèves sur la vie du bébé avant la naissance : *"Comment le maître s'y prend-il (quelles circonstances et quelles consignes) pour faire réaliser ces dessins par les enfants ?"* Le texte du sujet précise que les dessins présentés sont empruntés à D. Raichwarg : ils sont sans doute issus de travaux de recherche en didactique. Ils permettent en effet de révéler des conceptions actuellement bien identifiées (voir l'article de Marie Sauvageot-Skibine dans *Aster n°17*). Ce type de question montre de la part de l'auteur des préoccupations de nature pratique (*Comment faire pour que les élèves expriment leurs idées ?*) qui sont à la fois celles du pédagogue et celle du chercheur. Les travaux de recherche ont permis de mettre en évidence l'importance du contexte dans lequel sont placés les élèves et les ouvrages destinés aux enseignants indiquent les précautions à prendre pour aider les élèves à exprimer leurs conceptions. On peut déceler chez l'auteur (ou les auteurs) de ce sujet une volonté de vérifier que le candidat a déjà rencontré ce type de situation pendant sa formation et qu'il a réfléchi aux modalités de mise en place de cette pratique pédagogique.

savoir déceler
le modèle
pédagogique
de référence

Par ailleurs, plusieurs sujets font référence à *"l'intérêt"* de la démarche qui consiste à interroger les élèves sur une question qui n'a pas encore été étudiée en classe. Les auteurs peuvent éventuellement s'attendre à ce que les candidats s'étonnent du procédé décrit car, classiquement, l'évaluation des acquis des élèves est généralement réalisée à l'issue des séquences d'enseignement. Le candidat doit reconnaître le type de pédagogie qui lui est présenté axé non pas sur la transmission du savoir par le maître mais sur l'appropriation du savoir par les élèves.

2.2. Des conceptions aux obstacles

Le terme obstacle est utilisé, parfois mis entre guillemets, dans 12 des 38 sujets examinés soit près d'un tiers. L'idée d'obstacle est cependant présente dans d'autres sujets, sans que le terme soit utilisé. Citons par exemple le sujet de l'Académie de Dijon de 1995 qui, après avoir fait rechercher les représentations des enfants relatives au domaine de l'éruption volcanique, demande : *"En quoi certaines de ces représentations peuvent gêner à la construction d'une représentation correcte de ce qu'est l'éruption volcanique au niveau du cours moyen ?"* Le terme "gêner" renvoie implicitement à la notion d'obstacle.

la notion
d'obstacle
est parfois définie
dans les sujets
de concours

Certains auteurs prennent quelques précautions pour introduire le terme d'obstacle, faisant même parfois référence à G. Bachelard : *"L'analyse de ces conceptions vous permet-elle de repérer ce que Gaston Bachelard appelle un obstacle épistémologique (expliquez et justifiez) ?"* (Académie de Caen,

1993). Dans le sujet de Caen de 1994, des extraits de *La formation de l'esprit scientifique* de G. Bachelard sont proposés, définissant différents types d'obstacles : *l'expérience première, la connaissance générale, l'extension abusive des images familières, la connaissance unitaire, la connaissance pragmatique, l'obstacle substantialiste, l'obstacle animiste*. Les candidats doivent utiliser ces données pour repérer un obstacle épistémologique dans un texte de Galien. Notons que cette question figure dans la première partie de l'épreuve qui vérifie les compétences des candidats dans la discipline, ce qui est surprenant.

Dans quelques sujets, le terme d'obstacle n'est pas utilisé mais il figure dans le corrigé ; citons par exemple le texte proposé aux correcteurs de l'épreuve dans l'Académie de Bordeaux, session de 1993 : "*L'analyse des conceptions des élèves permet à l'enseignant de cerner les obstacles liés aux connaissances initiales.*" Le candidat doit alors déceler les attentes des correcteurs quant au modèle pédagogique qui doit servir de référence pour construire la stratégie qu'il doit élaborer.

les conceptions
révèlent
des obstacles

Dans de nombreux sujets, la question portant sur la nature des obstacles vient après une question portant (explicitement ou non) sur les conceptions des élèves. Le sujet de Dijon de 1993, cité plus haut, en donne l'illustration. En voici d'autres exemples.

- "*Quelles sont les conceptions des élèves sur le sujet ? Quels sont les obstacles que vous repérez ?*" (Académie de Lyon, 1992).

- "*Quelles sont les principales représentations que les enfants ont des phénomènes volcaniques ? Quels obstacles épistémologiques pensez-vous déceler chez ces enfants ?*" (Académie de Caen, 1994).

- "*Quelles sont les conceptions des élèves sur la digestion (...) ? Quels obstacles à l'apprentissage pouvez-vous repérer ?*" (Académie de Versailles, 1995).

Il peut arriver toutefois que la question portant sur le repérage des obstacles ne soit pas précédée d'une question visant à dégager les conceptions des élèves. Dans ce cas, on peut soupçonner les auteurs de s'intéresser aux productions des élèves essentiellement pour l'écart au savoir savant qu'elles révèlent. Prenons l'exemple du sujet de l'Académie de Poitiers, session de 1992 :

"Au cours d'une activité de vie, des enfants de grande section de maternelle sèment des graines dans des jardinières. Un enfant affirme : Tout ce qui est petit germe.

Question : Préciser la nature de l'obstacle révélé par cette affirmation."

En quelques mots, le candidat dispose du contexte dans lequel l'enfant est amené à exprimer ses idées sur la notion de graine, d'une affirmation d'élève interprétée comme correspondant à une conception relative à cette notion, d'une analyse de cet énoncé en terme d'obstacle. Cette conception,

le candidat doit avoir de bonnes connaissances sur les obstacles

fréquente chez les jeunes enfants, est assez bien connue et souvent citée, ce qui peut expliquer la présentation rapide qui en est faite : seul le candidat trop novice risque d'être surpris et désemparé.

Dans un des sujets (Académie de Montpellier, session de 1995), la production donnée à analyser correspond à la réponse d'un élève à une épreuve d'évaluation finale et on demande au candidat de préciser les "*obstacles subsistants*". L'auteur fait appel à cette occasion à un aspect caractéristique des obstacles, leur résistance à l'enseignement. Dans ce même sujet, on interroge le candidat sur l'*origine* possible de ces obstacles, question délicate qui exige une certaine culture (notamment dans le domaine de l'épistémologie et de la psychologie de l'enfant). Le corrigé fait en effet référence à une *origine mythique* qui conduit l'enfant à imaginer la présence du feu au centre de la Terre or ce type d'interprétation relève d'une analyse approfondie des idées des élèves.

Tous ces sujets évaluent la capacité des candidats à déceler des obstacles à travers l'analyse des productions des élèves. Ceci suppose un apprentissage assuré dans le cadre d'une formation qui présente la notion d'obstacle, qui en donne des illustrations dans différents domaines conceptuels et qui entraîne les étudiants à les reconnaître dans des contextes variés. L'analyse des sujets de concours donne donc des indications sur la place qui doit être attribuée à l'idée d'obstacle dans la formation des futurs professeurs des écoles.

2.3. Construire une progression pédagogique

le candidat doit décoder les attentes du correcteur

Si on prend l'exemple du sujet de l'Académie de Dijon (session de 1993), cité ci-dessus page 12, on voit aisément que le candidat doit ensuite élaborer une stratégie qui permette aux élèves de modifier leurs conceptions initiales pour acquérir des connaissances plus exactes. En réalité, le candidat doit décoder cette attente à partir de l'analyse de la formulation des questions et de l'ordre dans lequel elles sont organisées.

• Définir des objectifs

Dans le sujet de Dijon de 1993, par exemple, le candidat doit comprendre qu'il faut concevoir une progression pédagogique en tenant compte des obstacles repérés dans la question précédente. Dans certains sujets, les candidats sont aidés par des questions plus fermées :

- "*Proposez des activités pour aider l'enfant à franchir cet obstacle*" (Académie de Poitiers, 1992).

- "*En fonction de ces obstacles parmi la liste d'objectifs possibles sélectionnez ceux qui vous paraissent les plus pertinents. (...) Mettez en relation les objectifs que vous avez*

sélectionnés avec les documents proposés." (Académie de Versailles, 1995).

Le terme d'objectif est très souvent utilisé dans les sujets de concours dès qu'il est question d'élaborer un projet d'activités ou même d'analyser un document pédagogique (fiche de préparation ou extrait d'un manuel scolaire). On demande ainsi au candidat de préciser les objectifs, de proposer des activités en indiquant les supports utilisés, éventuellement de détailler une séquence. La pédagogie dite "par objectifs" sert alors de référence : des objectifs sont définis à partir du contenu des programmes correspondant aux différents niveaux d'enseignement, des activités sont proposées pour atteindre chacun des objectifs.

Lorsqu'on invite les candidats à s'intéresser aux conceptions des élèves pour déceler des obstacles à l'apprentissage, le terme d'objectif prend une signification et une valeur différentes.

Dans ce cas, on fait en effet référence à la notion d'objectif-obstacle définie par J.-L. Martinand qui propose "*d'exprimer les objectifs en termes d'obstacles franchissables*" (1989). Le terme objectif-obstacle est certes peu utilisé : nous l'avons trouvé dans un seul cas (Académie de Caen, session de 1992) mais il est possible qu'il soit présent dans d'autres sujets car nous ne disposons pas de tous les textes des épreuves proposés depuis 1992 dans les différentes académies. Dans certains sujets, les énoncés des questions font cependant clairement référence à l'idée d'objectif-obstacle, même si le terme n'est pas employé, comme le montrent les exemples suivants.

- "*Quel objectif précis pourrait-on formuler dans le but de faire évoluer cette conception ?*" (Académie de Limoges, 1992).

- "*En fonction de ces obstacles, quels objectifs choisiriez-vous dans la liste ci-jointe ?*" (Académie de Lyon, 1992).

- "*Analysez succinctement les sept réponses des élèves pour repérer quelques obstacles.*"

Quels objectifs notionnels et méthodologiques pourraient être atteints lors de quelques séquences (...) ?" (Académie de Nancy-Metz).

Dans ce dernier exemple, c'est le rapprochement des deux questions qui permet de déceler les attentes des auteurs : le candidat doit mettre en correspondance les obstacles repérés et les objectifs proposés. Dans certains cas, les indices sont plus difficiles encore à repérer et le candidat doit faire preuve d'une certaine perspicacité. La formation doit apporter les éléments nécessaires pour aider à mieux appréhender la logique de construction des sujets de concours et donc à comprendre quel type de réponse est attendu.

• Favoriser le franchissement des obstacles

Dans les sujets de devoir, la prise en compte des conceptions des élèves peut se réduire à la recherche des obstacles

certains sujets font référence à la notion d'objectif-obstacle

le candidat doit être perspicace

dont l'identification permettra éventuellement de définir des objectifs d'apprentissage possibles. Dans d'autres cas, le candidat doit faire la preuve qu'il a réfléchi aux moyens qui permettent d'aider les élèves à franchir les obstacles.

- Provoquer des confrontations entre les élèves

Dans certains sujets, on demande d'exploiter les propos des élèves ou d'utiliser les productions des enfants. Citons l'exemple de l'Académie de Caen, session de 1995 :

"Quelle(s) place(s) attribueriez-vous à ces représentations dans le cadre de votre démarche pédagogique ? Développez les activités que vous proposeriez pour les faire évoluer."

(Précisons que l'on propose au candidat deux "représentations" pour chaque élève, ce qui laisse supposer chez le maître l'intention de faire effectuer des comparaisons).

des documents
illustrant
la confrontation
des idées
des élèves

L'idée d'une confrontation des productions des élèves à l'occasion d'une séance collective apparaît dans quelques sujets, comme celui de l'Académie de Lyon (session de 1992) : *"Les élèves sont regroupés autour du tableau sur lequel sont affichés tous les dessins. Ils posent des questions, affirment, argumentent."* Toutefois, le candidat n'est pas interrogé sur l'intérêt de la "la séance collective de confrontation" dont un extrait figure sur un des documents proposés ; il doit seulement dégager les conceptions des élèves en utilisant leurs dessins et leurs propos. (On demande ensuite au candidat de mettre en relation des documents pris dans des manuels scolaires avec les objectifs qu'il a définis en fonction des obstacles repérés). Il en est de même dans les sujets de l'Académie de Versailles et dans celui de l'Académie de Paris pour la session de 1995, qui propose également *"un extrait de ce que disent les élèves d'un groupe qui confronte ses idées à partir des représentations recueillies au préalable"*.

le rôle de ces
confrontations
n'est pas
envisagé

Certains sujets proposent des productions d'élèves correspondant à des travaux de groupe ou des extraits de discussion entre les élèves. L'idée de confrontation entre les représentations des élèves est donc, là aussi, présente mais son intérêt pour les élèves ne fait pas explicitement l'objet de question. Tout au plus, avons-nous trouvé dans les corrigés de deux sujets la possibilité de formuler des hypothèses *"à partir de la confrontation des idées des élèves"* afin d'aider les élèves à remettre en cause leurs conceptions. Nous serions sans doute mieux informés des intentions des auteurs de sujets si nous disposions de tous les corrigés mais il ne semble pas que le rôle des conflits socio-cognitifs, qui a fait l'objet de travaux de recherche devenus célèbres (Perret-Clermont en 1979, Doise et Mugny en 1981), soit envisagé dans les sujets que nous avons examinés. De même, du fait que c'est plutôt le point de vue du maître qui est considéré, on risque d'oublier que la prise de conscience de leurs conceptions constitue pour les élèves une étape importante dans le travail didactique des obstacles.

- Proposer des réfutations

Face aux conceptions des élèves, différentes attitudes sont possibles : A. Giordan et G. De Vecchi les ont résumées sous forme d'un tableau dans un ouvrage très utilisé dans le cadre de la formation des enseignants (*L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?*, 1989). Nous le reproduisons ici.

ATTITUDES FACE AUX REPRÉSENTATIONS DES APPRENANTS	
<ul style="list-style-type: none"> - ne pas les reconnaître (comme si elles n'existaient pas) - les ignorer parce qu'on les considère comme parasitaires - les éviter 	c'est-à-dire "FAIRE SANS"
<ul style="list-style-type: none"> - les prendre en compte comme outil didactique : <ul style="list-style-type: none"> . en les utilisant comme simple motivation . en les traitant de façon implicite . en les faisant seulement s'exprimer . en les opposant 	"FAIRE AVEC"
<ul style="list-style-type: none"> - les réfuter en les remettant en cause - les "purger" pour les détruire 	"FAIRE CONTRE"
<ul style="list-style-type: none"> - les faire confronter ... - tout en s'appuyant sur elles - ... pour les transformer 	"FAIRE AVEC POUR ALLER CONTRE"

in DE VECCHI G., GIORDAN A. (1989), *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?*, Nice, Z'édicions, p. 88.

corriger
des erreurs
ou construire
des savoirs :
les formulations
ne sont pas
neutres

Chacune de ces attitudes peut être illustrée par des exemples de sujets de concours ; nous nous intéresserons ici uniquement à ceux qui envisagent de prendre en compte les conceptions dans le but d'obtenir leur transformation. Les différences entre eux résident dans la manière de concevoir l'apprentissage et donc le rôle de l'enseignement. En effet, dans certains cas il s'agit de "corriger" des représentations erronées alors que pour d'autres il est question plutôt de "construire des notions". Donnons un exemple pour illustrer chacune de ces positions :

- "Sur quelles connaissances essentielles conviendrait-il d'insister pour corriger les représentations ainsi révélées ?" (Académie de Reims, 1995).

- "Quelles stratégies adopteriez-vous avec des enfants de ce niveau (CE2) pour les aider à dépasser la représentation suivante : les plantes mangent de la terre ?" (Académie de Bordeaux, 1994).

Si l'on reprend la terminologie de Giordan et De Vecchi, dans le premier exemple, il s'agit de "*faire contre*" alors que dans le deuxième exemple on peut imaginer que la réponse attendue propose de s'appuyer sur la conception considérée, de façon à "*faire avec pour aller contre*". On adoptera l'une ou l'autre attitude selon que l'on considère que la présentation d'une notion peut ou non suffire à modifier les conceptions des élèves. Or, du fait de la résistance des obstacles, on sait que les transformations espérées ne sont pas toujours obtenues, même lorsque les moyens utilisés nous paraissent convaincants. On voit donc que les questions posées au candidat ne sont pas neutres : leur libellé révèle en effet de la part des auteurs une tendance à privilégier un certain modèle pédagogique ou à valoriser un mode d'apprentissage particulier.

- Construire des situations-problèmes

Dans quelques sujets, on suggère de procéder par "*résolution de problèmes scientifiques*" (Académie de Toulouse, 1995) c'est-à-dire de formuler des problèmes, à partir de la confrontation des idées des élèves, afin de mettre à l'épreuve leurs systèmes explicatifs. Les activités proposées par le candidat doivent placer l'élève en situation de recherche en faisant appel à l'observation, à l'expérimentation ou à l'analyse de documents. Les situations attendues ne sont pas toujours aussi faciles à déceler mais il est probable que le choix de l'attitude consistant à "*faire avec pour aller contre*" implique le recours à des activités de résolution de problèmes. Dans ce cas, en effet, on se propose non pas de transmettre un savoir mais de faire en sorte que l'élève puisse le construire, considérant ainsi, en référence à G. Bachelard que le savoir résulte d'un questionnement. On connaît l'importance accordée par les didacticiens des sciences à ce type d'activités qui valorise le dialogue de l'apprenant avec les objets et avec ses pairs. Les situations-problèmes, par le détour qu'elles autorisent, favorisent les réorganisations cognitives nécessaires au dépassement des obstacles.

placer l'élève
en situation
de recherche

3. LES OUVRAGES DESTINÉS À LA PRÉPARATION AU CONCOURS

L'épreuve de biologie-géologie au concours de recrutement des professeurs des écoles fait appel à des connaissances dans le domaine de la didactique des sciences. Les concepts de conception, d'obstacle, d'objectif-obstacle doivent être bien maîtrisés par les candidats pour produire les réponses attendues. Ces différents concepts sont présentés dans des ouvrages destinés aux enseignants et aux étudiants qui préparent ce concours. Nous proposons d'examiner la place qu'ils attribuent à l'idée d'obstacle.

3.1. Des styles différents

Les premiers ouvrages de vulgarisation des recherches en didactique des sciences ont été publiés dans les années 80, au moment où se développait un mouvement de rénovation pédagogique. L'organisation de la formation continue des enseignants a permis de les faire connaître aux enseignants qui désiraient réfléchir sur l'enseignement scientifique et découvrir d'autres pratiques pédagogiques. En l'absence d'ouvrages adaptés à la préparation au concours de recrutement des professeurs des écoles, les formateurs des IUFM ont utilisé ces ouvrages comme référence théorique. Plus récemment, d'autres ouvrages sont apparus, destinés plus spécifiquement aux professeurs des écoles.

Ce rapide historique (forcément réducteur) a pour but de mieux cerner les différents ouvrages utilisés dans les centres de formation des enseignants du premier degré. Différents par le contexte de leur publication, par le public visé, ils ne répondent pas à la même fonction et sont écrits dans des styles qui leur sont propres.

M. Develay, dans un texte intitulé " Didactique et pédagogie " (*Sciences humaines* n°12, 1996), a défini les trois fonctions de la didactique en décrivant les attitudes correspondantes du didacticien : l'attitude descriptive, l'attitude prescriptive et l'attitude suggestive. Les auteurs des ouvrages de didactique adopteraient l'une ou l'autre de ces attitudes selon qu'ils sont universitaires, inspecteurs ou formateurs. Dans le cadre de la formation, on s'attend à l'usage de la suggestion puisqu'il s'agit "*d'inspirer des pratiques nouvelles*". Le contexte de la préparation au concours peut conduire, par souci d'efficacité ou manque de temps, à prescrire plus qu'à décrire ou suggérer. C'est là un risque dont il faut être conscient si l'on veut éviter de tomber dans le dogmatisme, ce qui serait contraire à nos choix pédagogiques. L'usage fréquent de formules comme "il faut" ou "l'enseignant doit", même si elles sont accompagnées d'arguments issus d'une réflexion théorique sur l'apprentissage, dénote le choix d'une attitude prescriptive ; c'est le cas d'au moins un des ouvrages destinés aux futurs professeurs des écoles. Il est vrai que, malgré la relative liberté dont dispose l'enseignant, certaines règles lui sont imposées : il doit par exemple respecter les programmes et les instructions officielles. Le futur enseignant a tout intérêt à connaître les principaux textes qui définissent l'enseignement de la biologie-géologie (des extraits sont proposés dans certains sujets de concours) et à savoir en tenir compte lors de l'épreuve écrite du concours.

décrire,
prescrire,
suggérer

3.2. Des idées communes

À la lecture des ouvrages consultés (voir liste jointe en annexe), on peut relever des idées communes sur la manière dont un élève apprend et sur le rôle de l'enseignant.

• La prise en compte des conceptions

une position
unanime dans
les ouvrages
examinés

Un des concepts de didactique des sciences le plus connu est certainement celui de conception : tous les ouvrages que nous avons examinés présentent des exemples de productions d'élèves révélant l'existence de savoirs initiaux. De façon unanime, les auteurs affirment qu'il est important de prendre en compte les conceptions des élèves dans les processus d'enseignement. Citons pour preuve quelques extraits d'ouvrages plus spécifiquement destinés aux étudiants des IUFM.

"Connaître les représentations permet non seulement d'évaluer le niveau des connaissances déjà acquises (avant l'étude qui sera faite en classe), mais aussi de détecter les confusions et les erreurs qu'il conviendra de rectifier." (Tavernier, 1992).

"Comme chez le scientifique, c'est souvent par la remise en cause des acquis antérieurs que l'on va procéder." (Boucherie et al., 1994).

"On ne soulignera jamais assez que l'élève n'est pas une page blanche, qu'il a déjà des connaissances souvent incomplètes et parfois erronées lorsqu'il vient à l'école." (P. Antheaume et al., 1995).

...mais des
stratégies variées
sont conseillées

Cependant, l'émergence des conceptions des élèves ne constitue pas, pour ces auteurs-là, un préalable obligatoire, si on en juge d'après les exemples de démarches qui sont décrits. Il s'agirait donc à leurs yeux d'un choix pédagogique possible qu'ils ne cherchent pas à systématiser. Ils n'excluent pas d'autres façons de procéder et proposent des stratégies variées, selon le sujet d'étude.

• La participation des élèves

l'élève doit être
actif en classe

L'importance de l'action de l'apprenant dans la construction des connaissances est soulignée dans tous les ouvrages destinés aux enseignants auxquels nous faisons référence. Ils reprennent ainsi, parfois sans les citer, les travaux de Piaget qui ont beaucoup influencé les pédagogues. Citons par exemple, le passage suivant : *"Les données les plus récentes de la psychologie, et la connaissance des processus d'apprentissage montrent que l'enfant n'apprend qu'en agissant physiquement et intellectuellement."* (R. Tavernier, 1992).

La participation des élèves est donc considérée comme un principe primordial dans la manière d'organiser l'enseignement scientifique. On retrouve une idée déjà développée dans le cadre des activités d'éveil et souvent présentée comme une condition nécessaire pour impliquer les élèves et favoriser la motivation. Du point de vue pédagogique cela suppose une démarche qui fait appel à l'expression des idées des élèves en autorisant les erreurs : l'émergence des conceptions est alors possible.

• *L'intérêt des confrontations entre les élèves*

il faut favoriser
le débat dans
la classe

Les ouvrages destinés aux enseignants conseillent d'organiser des échanges au sein de la classe à l'occasion de travaux de groupe ou de moments de mise en commun. La confrontation entre les élèves est en effet considérée comme un élément important de la démarche pédagogique qu'ils essaient de promouvoir : *"Il faut aussi que l'enfant puisse confronter ses découvertes, hypothèses, interprétations, avec celles des autres."* (R. Tavernier, 1992).

Les auteurs des ouvrages cités suggèrent d'utiliser les moments de confrontation pour mettre en évidence des divergences dans le discours des élèves. Ils proposent pour cela de repérer les propositions contradictoires et de faire constater les différences. Les exemples décrits envisagent d'effectuer des comparaisons à partir des productions des élèves (le plus souvent textes ou dessins) réalisées à l'occasion des activités prévues.

Les auteurs présentent alors les situations de confrontation comme facteur stimulant de l'apprentissage et préconisent leur introduction dans l'enseignement des sciences. Il est vrai qu'une telle procédure permet de susciter des conflits socio-cognitifs dont le rôle positif est exploité, sans être clairement explicité. La dimension sociale de la construction du savoir est ainsi prise en compte dans le modèle pédagogique qui est privilégié.

• *La pédagogie du problème*

apprendre par
la résolution
de problèmes

Le recours aux activités de résolution de problèmes est une des constantes des méthodes d'enseignement conseillées aux enseignants. Cette pratique dérive des liens établis entre le processus d'apprentissage et la démarche scientifique ; elle s'inspire des méthodes de redécouverte où l'élève aurait en quelque sorte à reproduire le travail des savants.

En dépit des critiques faites à cette orientation, un consensus semble s'être établi autour de l'apprentissage par la recherche. On en trouve d'ailleurs l'écho dans le texte des programmes de l'école primaire (pour le cycle 3 c'est-à-dire les élèves de 9 à 12 ans) qui préconise *"la mise en œuvre de certains aspects de la démarche scientifique"*.

Les ouvrages destinés aux enseignants ont également adopté cette démarche et proposent d'organiser l'enseignement autour de problèmes donnés à résoudre. Cette option pédagogique est parfois présentée comme une évidence : *"Il ne peut y avoir d'activité, s'il n'y a pas de problème à résoudre clairement posé et compris de tous."* (R. Tavernier, 1992).

Pour faire émerger le problème plusieurs techniques sont envisagées, illustrées par des exemples. Chaque fois, apparaît le souci de faire participer les élèves à cette étape afin que le problème prenne du sens pour eux. Dans ce cas, l'apparition du problème résulte souvent d'une interaction entre les faits observés et les idées que les élèves s'en font. C'est là

qu'entrent en jeu les conceptions des élèves que l'enseignant pourra éventuellement repérer et prendre en compte. Toutefois on peut remarquer qu'aucun des ouvrages analysés ne définit les caractéristiques des situations-problèmes ni ne précise les contraintes auxquelles doit obéir leur élaboration.

• *Le mode d'intervention pédagogique*

une volonté
affirmée
de renoncer
au dogmatisme

Les auteurs des ouvrages destinés aux enseignants cherchent manifestement à se démarquer des pédagogies transmissives, considérées comme dépassées. Cette volonté apparaît en effet dans les termes utilisés : "*L'enseignement ne peut se réduire à des cours dogmatiques.*" (R. Tavernier, 1992).

Par ailleurs, l'intérêt porté aux conceptions des enfants comme le souci d'impliquer les élèves dans l'apprentissage témoignent d'une orientation pédagogique qui place l'apprenant au centre du processus d'enseignement. Cela suppose de la part de l'enseignant un mode d'intervention compatible avec les hypothèses d'apprentissage choisies comme référence. Certains auteurs le précisent : "*Au plan pédagogique, les principes actuellement retenus étant ceux de la construction des connaissances par les élèves eux-mêmes et non la transmission des savoirs par une démonstration magistrale, le rôle de l'enseignant est devenu beaucoup plus complexe.*" (D. Boucherie et al., 1994).

Il est également rappelé dans ces ouvrages que l'enseignement de la biologie à l'école vise à la fois la construction de nouvelles connaissances et le développement de méthodes scientifiques. En choisissant de travailler par résolution de problèmes, il semblerait possible de répondre conjointement à cette double exigence. Cette démarche fait appel en effet à toute une panoplie d'activités qui obéissent à des préoccupations différentes. Chaque étape du parcours permet de privilégier une catégorie d'objectifs : la phase de résolution du problème, par exemple, est centrée davantage sur l'acquisition de méthodes.

le modèle
constructiviste
sert de référence

De ce qui précède, il résulte que l'analyse des ouvrages destinés aux enseignants fait apparaître une tendance à se référer à un modèle pédagogique de type constructiviste. Il semblerait en effet exister un consensus autour de cette position didactique. Or une des idées associées aux orientations constructivistes consiste à reconnaître l'importance des obstacles épistémologiques dont le franchissement constituerait un des enjeux de l'apprentissage. Il est donc intéressant de rechercher quelle place ces ouvrages accordent à la notion d'obstacle dans l'enseignement scientifique.

3.3. La place de la notion d'obstacle

La référence à l'idée d'obstacle est présente dans presque tous les ouvrages destinés aux enseignants, même si le terme d'obstacle n'est pas défini. Cependant dans les stratégies pédagogiques qui sont proposées, le franchissement des obstacles n'apparaît pas toujours comme une composante incontournable de l'apprentissage scientifique.

• *Comment est présentée l'idée d'obstacle ?*

une présentation
souvent
succincte

Nous pouvons constater que l'idée d'obstacle est toujours présentée en référence à des apports théoriques. Les travaux de Bachelard sont alors cités comme étant à l'origine d'une vision de l'apprentissage scientifique reconnue par les didacticiens. Cette présentation théorique ne fait pas l'objet de longs développements dans les ouvrages d'initiation à la didactique des sciences, si bien que la notion d'obstacle est souvent admise comme un principe. Cela peut s'expliquer par un souci d'efficacité du fait du peu de temps dont disposent les futurs enseignants pour leur formation didactique. L'idée d'obstacle est appréhendée essentiellement du point de vue des conséquences didactiques qu'implique la comparaison entre le processus historique de production du savoir et l'appropriation de connaissances par les élèves. Dans certains ouvrages destinés aux enseignants, on trouve ainsi des éléments empruntés à l'histoire des sciences permettant d'établir des correspondances avec des représentations actuelles d'élèves.

• *Usage didactique de l'idée d'obstacle*

pas d'analyse
approfondie
du savoir
à enseigner

Nous avons vu que certains sujets de concours demandent de déceler des obstacles à travers l'analyse des productions des élèves. Il faut reconnaître que les ouvrages examinés fournissent peu d'éléments permettant aux étudiants de s'entraîner à répondre à ce type de questions. En effet, la présentation d'exemples de conceptions n'est pas systématiquement accompagnée d'une analyse assez fine permettant de repérer les obstacles. De plus, pour comprendre ce qui peut faire obstacle chez les élèves, il faudrait disposer de données précises relatives à l'histoire des principaux concepts de biologie-géologie, ce qui n'est pas le cas.

Le savoir à enseigner n'est pas analysé spécifiquement en termes d'obstacles à dépasser, ce qui limite les possibilités de concevoir l'enseignement dans cette perspective. Par conséquent, même si la remise en question des conceptions est annoncée comme un des buts recherchés, elle n'a pas valeur d'objectif prioritaire. Le franchissement des obstacles apparaît alors, implicitement, comme une retombée positive des dispositifs mis en place.

Il est vrai que, même si les travaux de didactique ont exploré de nombreux champs conceptuels, les données dont nous disposons sont encore trop fragmentaires pour pouvoir organiser un enseignement centré sur l'obstacle. Il va de soi

qu'on ne peut honnêtement interroger les candidats au concours que sur des domaines déjà étudiés. Il convient donc que les résultats des recherches soient accessibles, du moins pour les formateurs.

• **Des résistances à l'idée d'obstacle**

existence d'une discordance entre le discours théorique et les pratiques suggérées

D'après ce qui précède, l'idée d'obstacle ne semble pas véritablement occuper une place centrale dans les exemples de dispositifs pédagogiques proposés aux enseignants alors que son importance dans les processus d'apprentissage n'est pas remise en cause. Comment peut-on expliquer cette discordance ?

On peut invoquer le manque de connaissances sur les obstacles et les représentations des élèves mais cet argument n'est pas avancé. Certains auteurs expriment le souci de diversifier les démarches pédagogiques : *"il peut être dangereux de réduire les apprentissages biologiques à la reproduction régulière de ce type de démarches ritualisées"* (P. Antheaume et al., 1995). D'autres raisons peuvent être avancées qui tiennent au méthodes d'enseignement qui sont mises en application, en particulier la pédagogie du problème. À ce sujet, S. Johsua et J.-J. Dupin (*Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, 1993) tiennent une position très critique :

"Mais l'option de base demeure la même : celle de résoudre radicalement le problème de la signification des activités de classe en partant des problèmes de vie des élèves. Une hypothèse très forte sous-tend en réalité ces options, celle d'une continuité toujours possible entre d'un côté le déjà-là de l'élève et des activités qu'il mène et de l'autre le savoir scientifique. Quand elle est aperçue, la question des rapports entre la nature des connaissances ainsi produites et celles qui existent socialement dans les communautés scientifiques est traitée sur un mode optimiste. De même, les conceptions des élèves y sont implicitement traitées sous leur seul aspect d'incomplétude, et non sous celui de leur éventuelle constitution en obstacles. Tout un pan des problèmes didactiques à résoudre a ainsi tendance à être laissé de côté."

la tentation de gommer les ruptures

Ce qui est mis en cause ici c'est le gommage des ruptures avec le savoir initial, attitude jugée très répandue dans l'enseignement scientifique. Cette stratégie reviendrait à ignorer les obstacles épistémologiques dont la présence est pourtant inévitable.

À ce propos, on peut se demander si les enseignants sont disposés à penser l'enseignement en terme de ruptures et à mettre en œuvre des dispositifs particuliers centrés sur l'obstacle. Pour diverses raisons, on serait tenté de croire à l'existence de réticences à l'égard du travail des obstacles. Il est possible que les mêmes réticences soient à l'origine des choix effectués dans les ouvrages que nous avons analysés.

CONCLUSION

on peut déplorer
le manque
d'outils
didactiques
appropriés

Au terme de cette analyse, qui ne prétend pas être exhaustive, des sujets de concours et des ouvrages destinés aux futurs professeurs des écoles, il apparaît que la formation des enseignants du premier degré s'inspire des travaux de didactique des sciences. Elle participe ainsi à la diffusion des résultats des recherches effectuées dans ce domaine et propose des analyses basées sur l'utilisation de quelques concepts parmi lesquels figure l'idée d'obstacle. L'influence des orientations constructivistes, qui tendent à développer un enseignement centré sur l'apprenant, concourt à renforcer l'intérêt porté aux conceptions et aux obstacles. Cependant, il ne suffit pas d'affirmer que l'obstacle est au cœur du processus d'apprentissage, il faudrait également fournir aux enseignants les éléments nécessaires pour construire des séquences axées sur le franchissement des obstacles. Or nous avons pu constater un manque de données appropriées dans les outils didactiques existants, de sorte que l'application de cette démarche est difficilement envisageable, à moins d'entreprendre un travail considérable de lectures ou de recherches personnelles. De ce fait, on peut s'interroger, avec Astolfi (*Aster n°16*, 1993), sur la faisabilité des situations d'enseignement centrées sur l'obstacle dont la mise en place implique des circonstances très favorables, rarement réalisées.

Dans cet exposé, nous avons considéré la formation théorique des enseignants, réalisée dans le cadre de modules spécifiques, sans nous intéresser aux répercussions possibles sur l'évolution des pratiques pédagogiques. Dans le cadre de leur mémoire professionnel, les professeurs stagiaires peuvent mettre à l'épreuve les modèles d'enseignement présentés par les formateurs. La notion d'obstacle donne alors lieu à des travaux intéressants qui permettent de mieux appréhender les différentes dimensions d'un enseignement constructiviste. C'est donc là un usage de l'idée d'obstacle qu'il conviendrait de développer dans la formation des enseignants pour favoriser la rénovation de l'enseignement scientifique à l'école.

Patricia SCHNEEBERGER
IUFM d'Aquitaine, Bordeaux
LADIST Université Bordeaux I

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRIES B., BEIGBEDER I. (1994), *La culture scientifique pour les professeurs des écoles*, Paris, CNDP/Hachette.

ASTER (Équipe de recherche) (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Paris, INRP, Coll. *Rapports de recherche*.

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B., VÉRIN A. (1991), *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, Paris, INRP.

ASTOLFI J.-P. (1991), "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences : l'exemple de la géologie à l'école élémentaire", in *Aster*, 13, Paris, INRP.

ASTOLFI J.-P. (1992), *L'école pour apprendre*, Paris, ESF.

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. (1993), "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in *Aster*, 16, Paris, INRP.

BACHELARD G. (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Librairie Philosophique Vrin, 1977, 8ème édition.

CANGUILHEM G. (1968), *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin 1979.

CAUZINILLE-MARMECHE E., MATHIEU J., WEIL-BARAIS A. (1983), *Les savants en herbe*, Berne, Peter Lang.

DOISE W., MUGNY G. (1981), *Le développement social de l'intelligence*, Paris, InterÉditions.

DEVELAY M. (1992), *De l'apprentissage à l'enseignement, pour une épistémologie scolaire*, Paris, E.S.F. éditeur.

DEVELAY M. (1996), "Didactique et pédagogie", in *Sciences humaines n°12*, Paris.

GIL-PEREZ D. (1993), "Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique", in *Aster*, 17, Paris, INRP.

GIORDAN A. (1978), *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, Paris, éd. Le Centurion.

GIORDAN A. (dir.) (1987), *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Berne, Peter Lang, 2ème éd. revue.

GIORDAN A. et DE VECCHI G. (1987), *Les origines du savoir, des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Paris, éd. Delachaux et Niestlé.

GIORDAN A., HENRIQUES A., VINH BANG et al. (1989), *Psychologie génétique et didactique des sciences*, Berne, Peter Lang.

GOUANELLE C., SCHNEEBERGER P. (1995), "Enseigner les fossiles à l'école élémentaire", in *Aster*, 21, Paris, INRP.

HOST V. et al., *Recherches pédagogiques* n° 62 (1973), 70 (1974), 86 (1976), 108 (1980), 110 (1980), 117 (1983), Paris, INRP.

JOHSUA S., DUPIN J.-J. (1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, PUF.

MARTINAND J.-L. (1984), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, Direction des Écoles (1991), *Les cycles à l'école primaire*, Paris, CNDP/Hachette.

PERRET-CLERMONT A.-N. (1979), *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*, Berne, Peter Lang.

SANNER M. (1983), *Du concept au fantasme*, Paris, PUF.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1993), "De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur", in *Aster*, 17, Paris, INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995), "Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique " in *Aster*, 21, Paris, INRP

ANNEXE

OUVRAGES D'INITIATION À LA DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE-GÉOLOGIE

LES OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

ASTOLFI J.-P., CAUZINILLE E., GIORDAN A., HENRIQUES A., MATHIEU J., WEIL-BARAIS A. (1984), *Expérimenter. Sur les chemins de l'explication scientifique*, Toulouse, Privat.

ASTOLFI J.-P., DEVELAY M. (1989), *La didactique des sciences*, Coll. "Que sais-je?" n° 2448, Paris, PUF.

DE VECCHI G., GIORDAN A. (1989), *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche"?*, Nice, Z'éditions.

DEUNFF J. et al. (1995), *Contribution à la définition de modèles pour une approche de la Géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*, Poitiers, CRDP.

OUVRAGES APPROPRIÉS À LA PRÉPARATION DU CONCOURS

ANTHEAUME P., DUPONT M., MAUREL M. (coordonné par J. DEUNFF) (1995), *Découverte du vivant et de la Terre*, Paris, Hachette Éducation.

BOUCHERIE et al. (1994), *Sciences et technologie ; Biologie et Géologie. Du monde des vivants au monde du vivant*, Lille, CRDP, 1994.

TAVERNIER R., LAMARQUE J. (1992), *Enseigner la Biologie et la Géologie à l'école élémentaire, Guide des professeurs des écoles IUFM*, Paris, Bordas.

ÉTUDE DE L'ACQUISITION ET DU RÉINVESTISSEMENT DU CONCEPT DE SURFACE PORTANTE

Daniel Favre
Isabelle Verseils

Selon une évaluation vérifiant l'acquisition du concept de "surface portante" par des élèves de classes de sixième (11 ans) dans le cadre d'un enseignement de biologie, il apparaît que seuls 15 % des élèves semblent pouvoir mobiliser ce concept après l'enseignement qu'ils ont reçu. Un nouveau dispositif pédagogique, visant le franchissement des trois objectifs-obstacles que nous avons identifiés, a été élaboré. À la suite de tests comportant des résolutions de problèmes non routiniers, survenus plus de trois semaines après le travail des élèves, environ 75 % des élèves ont construit le concept de surface portante. Dans les classes témoins, où l'enseignant, soit a répété son cours sur le vol animal, soit n'a procédé à aucun rappel, le nombre d'élèves s'étant approprié le concept reste inchangé.

Succédant à cette recherche, une enquête auprès d'autres enseignants ou formateurs montre que la moitié d'entre eux butent, comme les élèves, sur un de ces obstacles épistémologiques. L'instauration d'un "débat" socio-cognitif peut alors provoquer une évolution conceptuelle positive. Cette étude contribue à montrer l'intérêt en biologie de faire davantage porter l'évaluation des connaissances scientifiques sur l'acquisition réelle des concepts.

Un certain nombre de recherches montre que le savoir scientifique enseigné, bien que diffusé dès le plus jeune âge, reste souvent difficilement réinvestissable (Giordan et De Vecchi, 1987) et qu'il est vite oublié quelle que soit la discipline. L'analyse de la signification de la persistance de certaines erreurs chez des élèves ou étudiants, qui ont pourtant abordé deux ou trois fois la même notion au cours de leur scolarité, pourrait peut-être permettre de comprendre et de surmonter certaines difficultés que rencontre l'enseignement des sciences.

Cette démarche demande qu'au préalable on s'interroge sur certaines caractéristiques de la connaissance scientifique et sur le processus d'apprentissage lui-même. Pour Bachelard (1938), "l'élève arrive en classe avec des connaissances empiriques déjà constituées". Ainsi, pour lui, une éducation scientifique ne se résume pas par le fait "d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture, de renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne". Il introduit la notion d'obstacles épistémologiques. Il montre que l'erreur est nécessaire, positive, normale. Les erreurs apparaissent par l'action même de la connaissance, "car la connaissance scientifique ne commence jamais à zéro mais

renverser les
obstacles
amoncelés
par la vie
quotidienne

elle se heurte à une connaissance usuelle préexistante avec laquelle elle est en contradiction, en discontinuité".

la structuration
d'un concept
peut être
très lente

Parmi les conceptions des apprenants, certaines sont plus ou moins éloignées du concept scientifique à atteindre. Il faudra s'intéresser à celles qui pourraient faire obstacle à l'acquisition de ce savoir. Cependant une des difficultés signalée par Giordan et De Vecchi (op. cité) réside dans le fait que les représentations n'évoluent pas de manière cloisonnée. Ils montrent que la représentation de chaque concept s'intègre dans une "aura conceptuelle beaucoup plus large et interdisciplinaire". Il faudrait, disent-ils, accepter l'idée qu'un concept ne s'élabore pas à partir de l'étude d'un thème, mais que sa structuration peut être très lente (sur une année, un cycle) et envisagée à travers différents sujets d'étude. Les conceptions sont personnelles (même si leur origine est à la fois individuelle et sociale) et peuvent évoluer. Elles servent de point d'ancrage pour s'approprier d'autres savoirs, car elles constituent les "structures d'accueil" qui permettent d'intégrer de nouvelles informations et correspondent à des grilles de lecture qui trient, filtrent, élaborent l'information reçue.

Le choix que nous avons fait d'étudier l'acquisition et le réinvestissement du concept de "surface portante" a été, au départ, justifié par les raisons suivantes :

la surface
portante,
son aura
conceptuelle
concerne
biologie
et physique

- pour les enseignants que nous avons interrogés, ce concept ne constituait pas en soi un objectif d'apprentissage alors que cette notion figurait (à l'époque où le "vol animal" était au programme de biologie en Sixième) dans la leçon de l'enseignant et dans son résumé ;
- ce concept, qui donne du sens en biologie en permettant de coupler l'étude des structures et celles des fonctions, dépasse le cadre strict de la biologie puisque son aura conceptuelle concerne également la physique ;
- sans doute pour les raisons précédentes ce concept ne faisant pas l'objet d'une évaluation par les enseignants, il nous paraissait intéressant de vérifier dans quelle mesure les élèves de Sixième pouvaient l'acquérir directement à partir de l'étude des structures (aile, plume...).

Ce n'est qu'après le test qui nous a permis d'identifier un certain nombre de représentations-obstacles chez ces élèves, et présentait déjà un intérêt didactique, que ce travail nous a fourni une occasion d'enrichir l'étude des conditions dans lesquelles un apprenant accepte de modifier ses représentations, thème fédérateur de la recherche dans notre laboratoire. Il devenait ainsi possible d'expérimenter divers dispositifs pédagogiques dont la finalité était de favoriser de telles modifications et dont les principes pourraient éventuellement être transposables dans d'autres domaines.

1. LE CONCEPT DE SURFACE PORTANTE

Vergnaud (1990) définit la notion de *champ conceptuel* à partir de l'aspect interactif des concepts, comme "un espace de problèmes ou de situations-problèmes dont le traitement implique des concepts et des procédures de plusieurs types en étroites connexions". Un concept renvoie à plusieurs situations et réciproquement une situation fait appel à plusieurs concepts. Dans ces conditions, il lui paraît non pertinent d'étudier le développement ou l'apprentissage d'un seul concept.

concept lié à celui de la matière air sur laquelle on peut s'appuyer

Dans le cas qui nous concerne, l'appréhension de la notion de surface portante dépend de l'appréhension d'une autre notion, apparemment indépendante, mais qui appartient au même champ conceptuel : l'air est une matière sur laquelle on peut s'appuyer.

Situons d'emblée les limites de notre étude. Le concept de surface portante ne permet pas à lui seul d'appréhender l'action de voler. Celle-ci impliquant le déplacement au sein d'un fluide d'une surface plus ou moins portante, elle met en jeu des phénomènes locaux de surpression au-dessous et de dépression au-dessus d'une aile qui dépendent en partie de la forme de celle-ci. La compréhension de ce qu'est une surface portante nous paraît donc un préalable pour aborder des propriétés qui émergent lorsque cette surface est mise en mouvement mais qui ne font pas partie de l'étude que nous présentons ici.

Afin de préciser les limites de ce concept, nous nous sommes inspirés en partie de l'approche de Barth. En partie, car par exemple nous n'avons pas proposé aux élèves de contre-exemples. Il n'est pas possible de trouver un objet, donc présentant une surface, qui, mis en contact avec un fluide, ne constitue pas une surface portante. Même si dans notre atmosphère une bille de plomb ne fournit pas un bon exemple de surface portante par rapport à une feuille de carton, la chute de la première est quand même freinée par les molécules composant l'atmosphère. L'existence de tels "contre-exemples" pourrait engendrer par la suite des confusions associées à des simplifications abusives et de plus ils ne sont pas utiles si l'approche du concept de surface portante permet d'aborder l'aérodynamisme des objets.

identifier les attributs essentiels du concept

Pour aider les élèves dans leur démarche d'exploration, puis d'abstraction, Barth (1986) propose d'étudier la *structure opératoire du concept*. Elle définit le concept comme une étiquette, la dénomination, accompagnée d'une liste d'attributs ou caractéristiques susceptibles d'être appliqués à des exemples. L'évaluation de l'appropriation d'un concept demandera à l'apprenant de pouvoir identifier ses attributs essentiels, justifier son idée et réutiliser ses connaissances dans un autre contexte. Dans cette étude, l'approche de Barth nous a surtout servi pour nous construire un modèle du concept de surface portante en nous permettant d'identi-

fier son champ conceptuel grâce à ses attributs essentiels et aux types d'apprentissage que chacun nécessite.

À titre d'illustration et en s'inspirant du mode d'approche de Barth, la définition de la "surface portante", concept que nous avons choisi d'étudier, peut être schématisée comme ci-dessous :

Surface Portante

Attribut 1 : nature

SURFACE

Attribut 2 : qualité

ET

LÉGÈRE*

Attribut 3 : qualité

ET

RIGIDE

ET

Attribut 4 : fonction

POUR PRENDRE APPUI

SUR UN FLUIDE

(Le fluide ici c'est l'AIR)

* signifiant avec un rapport surface sur poids largement positif

Les principes théoriques précédents vont être confrontés avec l'étude de l'appropriation par les élèves du concept de surface portante, confrontation nécessaire pour élaborer notre problématique de recherche.

En biologie, en classe de Sixième, l'étude de ce concept s'intégrait dans un chapitre sur le déplacement des animaux pour leurs besoins nutritionnels. Certains animaux volent pour s'alimenter, et c'est dans le cadre de ce déplacement dans l'air qu'était étudiée la surface portante. La surface portante était définie comme une surface qui s'appuie sur l'air.

une étude
du vol
en sixième

L'évaluation réalisée, juste après leur cours, par les enseignants et portant sur la description des ailes et sur la restitution d'expériences effectuées en classe s'est révélée très positive ; "il n'y a rien à comprendre dans cette leçon, ce n'est que de la description !" déclare l'un d'eux, aucun ne semble avoir perçu la nature conceptuelle du concept de surface portante. Or l'étude des ailes, des plumes et de leurs microstructures n'avait de sens que si les élèves avaient commencé à s'approprier ce concept. Notre évaluation, centrée sur la vérification de son acquisition, indique que seuls trois ou quatre élèves par classe semblent pouvoir mobiliser ce concept pour résoudre de nouveaux problèmes après l'enseignement qu'ils ont reçu.

Construite en collaboration avec les enseignants, cette nouvelle évaluation (appelée dans la suite du texte : "test initial") est proposée trois semaines après le cours avec l'intention que les élèves puissent mettre en évidence :

- qu'ils ont pris conscience que l'air est une matière (puisque l'oiseau s'appuie dessus) ;
- qu'ils ont identifié les propriétés indispensables des plumes pour qu'elles constituent une surface portante ;

- qu'ils sont capables de mobiliser ces connaissances dans une autre situation.

une évaluation
ciblée sur
le concept
de surface
portante

Les questions-problèmes du test sont libellées comme suit :

- 1) *Comment l'oiseau fait-il pour tenir en l'air quand il vole ?*
- 2) *Quel est le rôle des plumes dans le vol ?*
- 3) *Trouvez d'autres matériaux naturels ou artificiels qui pourraient remplacer les plumes.*
- 4) *Dans une pièce où l'on fait le vide, on lâche deux feuilles de papier identiques, que se passe-t-il ? Pourquoi ?*

L'analyse des réponses et surtout des erreurs des élèves met en évidence que les différents attributs du concept et le caractère indispensable de chacun ne sont pas clairement appropriés par les élèves.

En effet, même si un nombre important d'élèves semble avoir appris et compris l'enseignement dispensé, on observe :

... montre
que son
appropriation
est très diffuse

- que les réponses sont rarement explicites ;
- que c'est souvent le résumé du cours, à la place des réponses attendues, qui est restitué. Bien souvent, la formulation des réponses comporte d'importantes similitudes avec celles de la leçon (mêmes mots, mêmes expressions, voire mêmes phrases).

Après Bachelard, de nombreux chercheurs en didactique ont souligné que les élèves arrivent avec déjà un système explicatif de ce qu'ils vont étudier. Le vol (animal ou autre) a été observé depuis longtemps par les enfants : on peut supposer qu'ils n'ont pas attendu d'arriver en Sixième pour se construire une explication de ce phénomène ! Décrire les caractéristiques d'une surface portante paraît donc insuffisant pour l'appropriation de ce concept.

Les résultats de ce test initial nous ont ainsi permis :

d'où
l'élaboration
d'un dispositif
expérimental

- de formuler des hypothèses concernant les raisons de l'échec des élèves aux problèmes posés et de construire un questionnaire (pré-test) plus complet afin de mettre en évidence d'éventuels obstacles à l'acquisition et au réinvestissement du concept de surface portante ;
- d'élaborer un dispositif pédagogique supposé favorable au franchissement de ces obstacles, que nous avons repérés grâce au test initial (notre première évaluation) et validés par les réponses au pré-test, de construire un post-test pour en mesurer les effets et de comparer ces effets avec la répétition du cours standard (classe-témoin B) ou la simple mémorisation du premier cours standard (classe-témoin C).

Dans une étape ultérieure, ces nouveaux résultats nous ont conduits également à réaliser une enquête auprès des enseignants pour rechercher la présence éventuelle de ces représentations-obstacles.

Outre l'observation directe en classe, quatre moyens d'investigation ont donc été utilisés :

- 1) un test initial ;

- 2) deux questionnaires (pré-test et post-test) suivis parfois d'interviews pour compléter une information ;
- 3) un dispositif pédagogique centré sur le franchissement par les élèves des obstacles ;
- 4) une enquête auprès d'enseignants ou de futurs enseignants.

2. CONDITIONS DE L'EXPÉRIMENTATION

2.1. Conditions d'observation

trois classes
de sixième
impliquées

L'étude concerne des élèves de onze à treize ans en classe de Sixième, scolarisés en 1992 au collège de Magalas (Hérault), répartis en trois classes de vingt et un enfants (6ème B, C et D). La 6ème B et la 6ème C ont le même enseignant. Toutes les rencontres avec les élèves se déroulent pendant le cours de biologie. Seule la classe D fera ensuite l'objet d'un dispositif pédagogique comportant une approche didactique du concept de surface portante, les classes B et C font office de groupes témoins.

L'observation porte sur l'ensemble du discours pédagogique des enseignants : explications, questions aux élèves, réponses aux questions. Sont également relevés les schémas et le cours écrits au tableau, les indications qui sont données pour la lecture du livre et pour les manipulations et observations des élèves, les questions des élèves, leurs réponses et leurs réflexions.

Prendre connaissance du contenu de la leçon permet d'atteindre un double objectif :

- d'une part pouvoir tester son utilisation par les élèves ;
- d'autre part connaître l'idée que se font les enseignants de la notion à enseigner.

Cette idée sera renforcée par l'analyse du contrôle qu'ils ont proposé aux élèves.

2.2. Les contenus d'enseignement abordés

Les élèves ont abordé, dans les leçons précédant celle-ci, l'étude de la structure de l'aile, les muscles du bréchet, le nom des os, dans le but de comparer l'ossature de l'aile à celle d'un membre antérieur du lapin. L'aile est présentée comme une adaptation biologique au vol. Dans une nouvelle leçon portant sur les plumes de l'aile, l'ensemble - les ailes et leurs plumes - est présenté aux élèves comme constituant la surface portante de l'oiseau.

Les enseignants conçoivent ce cours comme une description de l'aile et des plumes. Ils insistent sur les trois points suivants :

- la surface portante est réalisée par le recouvrement des plumes qui sont légères et rigides ;

caractéristiques de la surface portante traitées, mais pas leur rôle ni l'appui sur le fluide matériel qu'est l'air

- la surface de l'aile est suffisamment large pour porter l'oiseau ;
- les plumes sont imperméables à l'eau et à l'air.

De ce fait, la plupart des éléments à l'origine des caractéristiques essentielles de la surface portante sont donnés (taille importante de la surface, légèreté, rigidité) mais il n'est pas fait mention de leur rôle et de leur caractère indispensable. De plus, l'air en tant que fluide matériel sur lequel on peut prendre appui est absent de la leçon. Les enseignants introduisent bien les termes de "surface portante", mais ne s'intéressent pas à l'aspect fonctionnel du concept.

Les élèves répondent souvent aux questions comme s'il s'agissait d'un jeu de devinettes. Les expériences (chute de feuille de papier laissée à plat ou mise en boule, souffler sur une plume, la mouiller) effectuées par l'enseignant paraissent vécues comme des spectacles. Les élèves ont beaucoup de mal à faire le lien entre le schéma de la plume (au tableau) et la plume qu'ils ont pu observer précédemment à la loupe binoculaire.

2.3. Programme et instructions officielles

Ils désignent clairement des objectifs : *"Le problème de la recherche alimentaire permettra d'effectuer l'étude du déplacement... On ne cherchera pas à analyser tous les modes de déplacement liés aux milieux de vie. Les aspects biologiques et physiques (1) seront soulignés : appui, propulsion, progression, rôles des supports anatomiques actifs et passifs."* (Article 524-4h, Compléments de 1988 pour la classe de Sixième). Ces instructions sont-elles cependant suffisamment explicites pour les enseignants ?

2.4. Les manuels scolaires

de 1977 à 1990 référence à l'air de plus en plus discrète

Dans les différents manuels que nous avons consultés, il semblerait que le caractère fonctionnel de la combinaison des aspects biologiques et physiques pour expliquer le vol perde un peu de son importance durant la période de 1977 à 1990. En 1977 (Bordas), la référence à l'appui sur l'air est constante dans la leçon et dans la conclusion *"Quand un animal se déplace, il prend appui sur quelque chose de résistant : le sol dans la marche..., l'eau dans la nage, l'air dans le vol."* La référence à l'air devient ensuite plus discrète (Bordas, 1981 ; Belin, 1981 ; Bordas, 1986). La surface portante est décrite longuement mais les manuels insistent peu sur le fait que l'air est un fluide sur lequel on peut s'appuyer.

Dans le manuel des élèves, l'exposé est aussi descriptif que le cours des professeurs. La surface portante est présentée comme le produit du recouvrement des plumes. À la fin du chapitre, les autres caractéristiques de la surface portante sont énoncées dans un paragraphe où sont comparées les ailes de différents animaux : insectes, chauve-souris...

(1) C'est nous qui soulignons !

3. IDENTIFICATION DES OBSTACLES (PRÉ-TEST)

3.1. Objectifs et contenus du questionnaire

Il est fondé sur les hypothèses suivantes :

- pour appréhender le concept de surface portante, il faut tout d'abord prendre conscience que l'air est une matière et que l'on peut s'appuyer dessus ;
- pour intégrer ce concept, il faut en avoir identifié toutes les caractéristiques essentielles appelées attributs.

Cette "intégration" des connaissances est vérifiée par la capacité de l'élève à les mobiliser, à les utiliser dans un autre contexte, pour résoudre des problèmes non directement traités en cours.

un pré-test
pour évaluer
les possibilités
de mobilisation
du concept
par les élèves...

L'objet de ce pré-test est donc d'estimer si les élèves peuvent réaliser les différentes étapes de ces acquisitions à partir de l'enseignement qu'ils ont reçu. Il est composé de trois questions fermées, pour lesquelles on demande d'explicitier la réponse, et d'une question ouverte. Les questions empruntent volontairement à des sujets éloignés du cours pour éviter une reformulation automatique de phrases mémorisées par les élèves. Généralement un schéma illustre les questions.

1/ *Ces deux véhicules (le n°1 cubique, le n°2 effilé) ont la même masse, le même moteur, la même puissance. Ils démarrent en même temps sur la ligne de départ. Lequel arrivera le premier ? Pourquoi ?*

2/ *On prend deux feuilles identiques ; l'une est laissée à plat, l'autre est pliée en boule. On les lâche toutes les deux de la même hauteur. Laquelle arrivera en bas la première ? Pourquoi ?*

3/ *Un oiseau est déposé sur la lune par une équipe d'astronautes. Comme il n'y a pas d'atmosphère on lui donne un scaphandre léger, fin isolant, qui ne gêne pas ses mouvements avec une réserve d'air pour respirer. Peut-il voler ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?*

4/ *Pourquoi juste avant l'atterrissage le pilote commande l'élargissement des ailes sur les gros avions ?*

... un mois
et demi après
la leçon sur le vol

Ce questionnaire est présenté aux trois classes en début de cours de biologie un mois et demi après la leçon sur le vol animal. Les enfants sont libres de répondre aux questions et le temps n'est pas limité. Après le cours, et après rapide lecture des réponses, une interview auprès de quelques élèves permet d'éclaircir le sens de certaines de leurs réponses.

Aucun corrigé n'est donné par le professeur.

La construction d'un tel questionnaire s'est avérée délicate : les questions doivent être précises, compréhensibles pour un élève de Sixième. Il est également fréquent de constater qu'un détail dans l'énoncé focalise l'attention de l'élève. Pour aider dans ce travail, la formulation du questionnaire a été préalablement testée avec des élèves de Sixième dans le col-

lège de la Grande Motte où Isabelle Verseils était enseignante.

3.2. Présentation et analyse des résultats

Les trois classes semblent se comporter de façon assez semblable (cf. tableau). En fonction des thèmes, les performances de chaque classe varient, mais les pourcentages des différents types de réponses sont pratiquement semblables.

Pour chaque question, les réponses sont classées en :

- *réponse attendue* : qui contient des résultats scientifiques énoncés de façon suffisamment explicite pour permettre une compréhension univoque ;
- *réponse implicite* : qui donne un résultat correct, mais la formulation, ou l'absence d'explication ne permet pas de s'assurer d'une réelle compréhension ;
- *réponse alternative* : qui montre de façon claire qu'il y a méconnaissance du concept – une absence de réponse est considérée comme une réponse alternative.

Ce classement est validé par des interviews des élèves et cela chaque fois que le niveau de formulation laisse planer un doute : l'élève pourrait avoir une bonne intuition de la réponse à donner au problème mais n'arriverait à trouver les mots adéquats pour l'exprimer. L'organisation d'interviews nous a permis ainsi de lever certaines ambiguïtés car les enfants de cet âge présentent une qualité d'expression orale bien supérieure à leur expression écrite. Les réponses dites implicites sont catégorisées ainsi quand l'élève n'arrive pas à justifier sa réponse.

classement
des réponses en
trois catégories,
validé par
des interviews

Pourcentages de réponses	6ème D	6ème C	6ème B
Attendues	31,25	33,75	26,25
Implicites	20,00	27,50	26,25
Alternatives	48,75	38,75	47,50

La Sixième C, avec un taux de réponses attendues le plus élevé et un taux de réponses alternatives le plus faible, présente une performance globale légèrement supérieure aux autres classes.

Le nombre d'élèves qui semblent avoir assimilé la notion de surface portante et le rôle de l'air est quasiment identique pour chaque classe : 3 en Sixième D ; 4 en Sixième C ; 3 en Sixième B. Un élève est considéré comme ayant compris, s'il donne quatre réponses attendues, ou, cas le plus souvent rencontré, trois réponses attendues et une implicite dont l'ambiguïté est levée par une des trois autres réponses.

Pour les réponses alternatives, nous trouvons plusieurs cas de figure :

le concept
semble assimilé
pour 3 ou 4
élèves par
classe de 21

- l'élève ne donne pas de réponse ;
 - il évite la question :
 - . en répondant par des évidences (Q4: "Pour mieux atterrir") ;
 - . en s'attachant à un paramètre annexe, à un détail de l'énoncé (Q3: "l'oiseau peut voler car on lui donne de l'oxygène, donc il peut respirer") ;
 - . en inventant l'énoncé (Q1 : "C'est la voiture n°1 qui arrivera en premier car elle a plus d'essence") ;
 - il donne une réponse floue (Q1 : "C'est la voiture n°2 car elle a une forme qui accélère"), ou il utilise un mot magique qui tient lieu d'explication (Q2 : "C'est la feuille en boule qui arrive la première au sol parce qu'elle est plus lourde", Q3 : "Oui il peut voler car il y a l'apesanteur (ou la pesanteur)");
 - l'élève donne une réponse qui manifeste l'existence de l'idée-obstacle (ne tenant pas compte de l'air par exemple).
- Ce sont donc ces derniers types de réponses qui permettent d'inférer les obstacles en jeu.

• **L'aérodynamisme (question 1)**

La situation est assez familière (voitures). Globalement, plus les questions font appel à des situations familières (questions 1 et 2), plus on trouve de bonnes réponses, même si l'explication est parfois insuffisante. Les réponses attendues sont nombreuses.

des réponses
attendues pour
l'aérodynamisme

Le type de réponse alternative le plus fréquent est que la voiture n°2 arrivera la première car elle est plus longue. Lors de l'interview, les élèves expliquent qu'au moment de l'arrivée, la voiture à l'avant allongé (n°2) franchira la ligne la première.

L'autre type de réponse alternative fréquent (" les voitures arriveront en même temps ") découle de l'absence de prise en compte de l'air

• **L'expérience avec les feuilles (question 2)**

Cette expérience a déjà été faite en cours par l'enseignant en Sixième C et B, apparemment sans réel profit puisque le taux de réponses attendues de la classe de Sixième D se situe entre celui des classes de Sixième C et B. La forte proportion de réponses implicites en Sixième C et B nous confirme qu'une attitude passive de l'élève, qui ne permet pas une recherche personnelle d'explication, a de fortes chances de déboucher sur une absence de compréhension.

observation
de l'expérience
en classe peu
profitable

La plus fréquente des réponses alternatives est : "La boule arrivera en bas la première car elle est plus lourde." Cette réponse accrédite l'idée que pour ces élèves, lorsqu'un objet change de forme, il change de poids. Peut-être qu'à leur âge, la distinction entre poids et densité n'est pas claire, mais aucun enfant ne fait allusion dans ses réponses, y compris lors des interviews, à ce qui pourrait correspondre à un changement de densité.

• **Importance du rapport surface/poids
(question 4)**

sur tout
des réponses
intuitives sans
explication

La proportion de réponses attendues diminue par rapport aux précédentes.

Beaucoup de réponses intuitives sont fournies (exemple : pour ralentir), mais sans l'explication attendue : augmentation de la surface. Pourtant, l'élargissement des ailes du rapace lors de ses atterrissages était intégré au cours ! Les élèves entrevoient le mécanisme, mais leurs connaissances ne sont pas assez construites pour leur permettre de développer une argumentation.

Le rôle d'orientation attribué à l'élargissement des ailes constitue l'explication alternative la plus fréquente.

• **L'air, élément indispensable pour le vol
(question 3)**

Ici, il n'est pas fait référence à une situation familière. Aussi, le nombre de réponses attendues et implicites est faible. Le scaphandre est pour beaucoup le point central de l'explication :

- "Il est léger, alors l'oiseau peut voler" ;
- "Il est lourd, alors l'oiseau ne peut pas voler" ;
- "Le scaphandre ne gêne pas les mouvements, donc l'oiseau peut voler" ;
- "Le scaphandre gêne les mouvements, donc l'oiseau ne peut pas voler".

évocation
de poids,
d'apesanteur,
mais pas d'air

D'autres font intervenir des mots dont la simple énonciation génère, à leurs yeux, une explication : "l'apesanteur" ; "la pesanteur" ; "la pression atmosphère".

Ces mots sont utilisés quelle que soit la réponse (positive ou négative). Ainsi, deux formes d'interprétation apparaissent : une par le poids ; une par l'apesanteur. Aucune n'associe le vol à la présence de l'air.

Ainsi ce pré-test permet de définir trois obstacles :

• **L'air n'est pas matériel.**

L'enfant raisonne comme si l'air n'existait pas. Comment dans ce cas imaginer que la surface portante puisse s'appuyer dessus ?

pour l'enfant
l'air n'existe pas

Cet obstacle a déjà été plusieurs fois décrit par les recherches en didactique (Manfredi et coll., 1989 ; Séré et Tiberghien, 1989), dans les conditions les plus fréquentes, l'air ne se voit pas, ne se sent pas, il est rarement palpable. Il semble difficile aux élèves d'appréhender les gaz. C'est seulement dans certaines situations comme lors d'un déplacement rapide qu'ils réalisent sa présence.

- ***Il y a une relation directe entre la forme et le poids et c'est le poids qui détermine la capacité à voler.***

son attention est focalisée sur la caractéristique légèreté

Parmi les caractéristiques essentielles listées dans le cours : taille importante de la surface, légèreté, rigidité..., les élèves semblent avoir focalisé leur attention sur une seule : la légèreté. C'est en fonction de ce critère unique qu'ils vont expliquer le vol. Bien sûr les élèves possédaient très certainement cette idée avant la leçon. Mais l'enseignement proposé, soit ne leur a pas permis de repérer clairement les autres caractéristiques essentielles de la surface portante, soit, s'ils les ont repérées, n'insiste pas suffisamment sur leur caractère indispensable.

Cette explication du vol par le poids est liée pour certains élèves à une correspondance entre poids et forme. La feuille de papier pliée en boule est conçue comme plus lourde que dépliée. Lors des interviews, les élèves ayant fait ce type de réponses ne peuvent la justifier davantage. Des adultes (voir partie 6, plus loin) peuvent donner également ce type de réponse sans pouvoir plus l'explicitier alors que leur formation – au minimum Bac + 3 – leur donne des ressources linguistiques plus grandes que celles des élèves.

Cette correspondance poids/forme présente des similitudes avec celles observées par Piaget chez les enfants qui établissent un lien de dépendance entre quantité et hauteur d'eau dans un récipient, les enfants ayant fait abstraction de sa section ; dans notre cas les enfants font, également, dépendre de manière non pertinente une variable ici le poids d'une autre : la forme.

- ***En apesanteur, tout vole.***

Le concept de pesanteur et celui de pression atmosphérique ne sont pas distincts ainsi un grand nombre d'élèves associent l'absence d'air et l'absence d'attraction terrestre.

il associe l'absence d'air à l'absence d'attraction terrestre

Cet obstacle nous paraît beaucoup moins évoqué dans la littérature didactique. Vivant à la surface de la Terre, notre "expérience première" concernant la pesanteur, qui affecte les objets en les rendant pesants, n'est pas séparée dans ses effets de la présence plus ou moins résistante de l'air. De cette expérience semble être déduit un système explicatif corollaire : "en l'absence d'atmosphère les objets n'ont plus de poids", lui-même confirmé en apparence par des images médiatisées : dans le vide (de l'espace circumterrestre) les objets semblent flotter et ne tombent pas. Les images télévisées de l'espace décrivent des mouvements lents qui peuvent évoquer le vol, et les commentaires sur le "flottement" des astronautes sont parfois ambigus.

Le pré-test a donc permis de faire émerger les représentations des élèves comme le recommande Migne (1969). Mais pour que ces représentations erronées puissent évoluer Giordan et De Vecchi invitent à les "transformer par paliers successifs" soit par une confrontation avec la réalité qui

placer l'élève
au centre
du processus
d'apprentissage
pour faire évoluer
ces trois
représentations-
obstacles...

contredit la représentation initiale, soit par une confrontation entre différentes conceptions d'élèves (conflit socio-cognitif). Il s'agit comme le préconise Piaget (1973) de placer l'apprenant au centre du processus d'apprentissage. Le champ sémantique relatif à cette construction du savoir fonctionne par "assimilation" et "accommodation", c'est-à-dire par incorporation d'éléments du monde extérieur aux structures cognitives du sujet, celles-ci s'ajustent, se réorganisent progressivement par abstraction réfléchissante et permettent ainsi l'apparition de connaissances nouvelles, pas de connaissance des objets sans action sur eux.

La reconnaissance des trois représentations-obstacles à l'acquisition du concept de surface portante donne la possibilité, comme le propose Martinand (1986), d'exprimer des objectifs pédagogiques en termes d'obstacles franchissables, les qualifiant d'*objectifs-obstacles*. Pour cela, il faut au préalable déterminer un nombre limité de progrès possibles et significatifs.

... pour lesquelles
se pose la
prégnance
du déjà-là

Pour ces trois obstacles semble se poser la prégnance du "déjà-là" (Bachelard op. cité) parfois renforcé ou induit par l'expérience sensible. Ce "déjà-là" témoigne sans doute d'une tentative d'explication, d'un souci de rendre cohérents et intelligibles les phénomènes dont nous sommes témoins dès notre plus jeune âge. Cependant peu explicites, les préconceptions ainsi élaborées peuvent s'opposer à de nouveaux apprentissages car "*les élèves ignorent le plus souvent ce dont ils doivent se dessaisir*" (Favre, 1993). Pour cela un dispositif pédagogique intégrant les apports théoriques précédents devient nécessaire.

4. LE DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE EXPÉRIMENTAL

4.1. L'objet principal du dispositif

Il consiste à réunir les conditions favorables au dépassement de ces trois obstacles épistémologiques à l'apprentissage du concept de surface portante : des activités incitant les élèves à se confronter aux obstacles, de manière à construire des explications par confrontation d'idées.

Dans un premier temps, nous devons construire la séquence d'apprentissage en sélectionnant comme objectif le franchissement de certains obstacles épistémologiques pour ceux des élèves qui en ont besoin. Pour les autres, l'occasion leur est donnée d'élargir, un peu plus que ne l'a fait le cours, le domaine d'application du concept et, par là, d'en améliorer sa compréhension.

un dispositif
de re-médiation...

Il s'agit donc d'un dispositif de re-médiation (Charnay et Mante, 1992), non pas dans le sens où chaque erreur va trouver un remède, mais plutôt d'une nouvelle médiation entre le savoir et l'élève. Ce nouvel acte d'enseignement, proposant aux élèves de résoudre des problèmes dans des

... appliqué dans
une seule sixième
la classe
expérimentale

situations non familières, doit permettre aux enfants d'effectuer des comparaisons et de trier des connaissances réinvestissables, ce qu'un premier enseignement n'a pas réussi à faire.

L'élaboration de ce dispositif d'apprentissage a lieu avec l'enseignant de la Sixième D car il sera appliqué dans sa classe, les autres classes servant de classes témoins.

Nous avons essayé de faire en sorte que l'ordre des thèmes proposés respecte les différentes étapes de l'abstraction :

- Perception-Comparaison : c'est le repérage des différents attributs essentiels du concept ;
- Vérification de l'inférence : elle débouche sur la formation de la définition ;
- Généralisation : le domaine de validité est trouvé, les connaissances sont transférables.

4.2. Les activités

La séquence est découpée en quatre thèmes, chacun ayant un objectif précis et limité.

- **Thème 1 : Analyse d'exemples
pour caractériser les attributs du concept**

Les élèves doivent formuler les conditions nécessaires au vol (2) après avoir recherché sur plusieurs exemples ce qui permet de voler : *"Qu'est-ce qui permet de voler : en parachute ; à l'avion ; à l'oiseau ; au cerf-volant ; à la chauve-souris ? Trouver les éléments communs et préciser les principes du vol."* Cela dans le but de faire émerger les caractéristiques essentielles d'une surface portante.

- **Thème 2 : Manipulations pour éprouver
la réalité de l'air**

approche
sensorielle de la
présence d'air

À partir d'une approche sensorielle de l'air : tactile, visuelle, et des manipulations, nous cherchons à ce que les élèves prennent conscience de sa réalité : *"Comment peut-on voir l'air ou le sentir ? Expériences à faire : 1- Aspirer dans une seringue de l'air puis de l'eau. Que se passe-t-il quand on appuie doucement sur le piston ? Comment l'eau peut-elle sortir puisque le piston n'appuie pas dessus ? 2- Balancer le bras très vite ou une feuille rigide devant le visage, décrivez et expliquez ce qui se passe."* Ce thème permet aux élèves de sentir la présence de l'air. L'expérience avec des élèves montre que dans le premier cas ils sont amenés à faire l'hypothèse qu'il y a quelque chose (de matériel) dans la seringue qu'ils ne voient pas mais qui pousse l'eau quand ils actionnent le piston. Dans le second, ils perçoivent par leur sensibilité proprioceptive, que l'air est un milieu qui freine les déplacements et qui leur résiste, il devient donc plausible que l'on puisse s'appuyer dessus.

(2) Il s'agit ici du vol plané ou actif et non du "vol" balistique, les interviews montrent que les élèves ne les confondent pas.

• **Thème 3 : Aérodynamisme et vol**

provoquer
des contrastes

Son but est de faire réfléchir les élèves sur les différentes caractéristiques que nécessitent le vol et l'aérodynamisme : "Avec ou contre l'air ? Chercher des exemples de situations dans lesquelles on utilise la résistance de l'air ou le vent, et d'autres où on limite cette résistance." Ce travail devrait permettre à la fois de repreciser les attributs essentiels de la surface portante (et de voir leur constance et leurs présences simultanées à travers différents exemples) et de comparer ces caractéristiques à celles de l'aérodynamisme. Il s'agit donc de provoquer des contrastes plutôt que de donner de stricts contre-exemples, pour discerner et intégrer les caractéristiques du concept.

• **Thème 4 : Analyse d'une situation non familière**

une planète
sans air

Ultime étape dans l'acquisition d'un concept, ce thème suscite un réinvestissement des connaissances dans une situation qui n'a pas été décrite en classe : "Imaginons une planète comme la Terre mais sans air. Sur cette planète imaginaire, on prend une feuille de papier de 2 grammes et une petite boule de deux grammes également. On les lâche ensemble à 1,5 mètre de hauteur. Que va-t-il se passer ? Justine dit que les deux vont arriver ensemble sur le sol ; Nicolas affirme que la boule touchera en premier. Qui a raison ? Expliquer pourquoi."

Le raisonnement explicatif demandé aux élèves permet une vérification de l'acquisition du concept ainsi que son domaine de validité.

4.3. Le mode de gestion des activités

importance de
la confrontation
d'idées dans
chaque petit
groupe

Les élèves travaillent en petits groupes de quatre ou cinq. Chaque groupe doit donner une seule réponse par question, ce qui provoque des débats, surtout pour le thème 4 qui propose une confrontation d'idées entre deux personnes. Les assertions contradictoires obligent les élèves à prendre position et ensuite à devoir justifier ce choix.

Pour cela, ils doivent analyser toutes les données du problème pour construire leur explication, la formuler, la préciser, argumenter pour la faire comprendre et accepter aux autres. C'est en fonction de la plausibilité des arguments avancés qu'un système explicatif est choisi et que le problème est résolu. Ici, la discussion a pour objet le caractère indispensable de la présence de l'air pour la surface portante, totalement méconnu par certains élèves.

Cette confrontation devrait être favorable à une structuration des connaissances.

5. QUELLE ÉVOLUTION DES SAVOIRS ? (LE POST-TEST)

5.1. Précautions méthodologiques

deux types de
classe témoin

Évaluer l'impact d'un dispositif pédagogique en terme d'acquisition ou d'évolution d'un savoir, paraît assez difficile. Aussi avons-nous pris plusieurs précautions méthodologiques. La Sixième C constitue notre classe témoin n°1, les élèves vont dans ce cas affronter les questions du post-test sans avoir eu aucun rappel des notions abordées dans la leçon sur le vol animal. La Sixième B (classe témoin n°2) va bénéficier d'une nouvelle leçon sur le vol animal, l'enseignant a pour consigne de reproduire la leçon effectuée en début d'année pour voir si une simple ré-évocation a un effet. Le post-test n'est pas annoncé aux élèves, il est proposé trois ou quatre semaines plus tard pour limiter les effets d'une mémorisation superficielle et à court terme.

La comparaison des réponses aux questions du pré-test et du post-test pour le même thème permet de confronter les systèmes explicatifs utilisés et ainsi d'examiner si le modèle explicatif utilisé par chaque élève est convenable et cohérent tout au long des quatre questions. C'est à partir de l'ensemble des réponses que l'on peut juger de l'intégration du concept par l'élève.

Les objectifs d'évaluation poursuivis par ce questionnaire sont identiques à ceux du pré-test. Le post-test comporte quatre questions-problèmes qui se recoupent parfois, il reprend les mêmes thèmes dans un ordre différent afin d'éviter une reformulation par mémorisation du pré-test. Enfin les questions sont formulées d'une autre manière et proposent d'autres situations que celles abordées au cours du dispositif pédagogique avec les élèves de la Sixième D. Les questions 1 à 3 sont accompagnées d'un dessin explicatif.

un post-test
différent du
pré-test par
sa forme mais
pas vraiment
par son fond

1/ Dans une pièce où l'on fait le vide, on effectue l'expérience suivante : une personne munie d'un scaphandre pour aller dans le vide, lâche deux feuilles de papier identiques, de la même hauteur. L'une est pliée en boule, l'autre est laissée à plat.

Que va-t-il se passer ? Pourquoi ?

2/ Ces deux jouets de même poids (petits véhicules à roues de formes différentes) sont lâchés au sommet d'un plan incliné. Lequel arrivera en bas le premier ? Pourquoi ?

3/ Deux copains sautent en parapente. Le parapente de Nicolas est troué.

Que va-t-il se passer ? Pourquoi ?

4/ Un cosmonaute sort de sa navette spatiale, il est dans l'espace en apesanteur, il ne pèse rien. Peut-il voler avec un deltaplane ? Pourquoi ?

5.2. Analyse des résultats

Pourcentages de réponses	6ème D classe expérimentale	6ème C classe témoin n°1	6ème B classe témoin n°2
Attendues	63,75	27,50	32,50
Implicites	11,25	20,00	17,50
Alternatives	25,00	52,50	50,00

Les réponses fournies par les élèves de la classe où a eu lieu le dispositif pédagogique, diffèrent sensiblement de celles des autres classes.

- **L'aérodynamisme (question 2)**

Les bonnes performances des trois classes peuvent s'expliquer par l'aspect familier de la situation. Cependant, le taux de réponses attendues en Sixième D dépasse 80 % et il n'y a pas de réponses implicites dans cette classe.

- **Importance de la surface d'appui et absence d'air (question 1)**

différences sensibles entre les réponses de la classe expérimentale et celles des classes témoins

La présentation de l'expérience ressemble beaucoup à la deuxième question du pré-test, mais ici il n'y a pas d'air. Beaucoup d'élèves en Sixième B et C (moins en Sixième D) ne prennent pas en compte ce changement de situation. Peut-être n'ont-ils pas correctement lu l'énoncé au moment du test, mais les interviews de vérification indiquent que l'énoncé ne pose pas de problème de compréhension.

- **Importance du rapport surface/poids (question 3)**

Pour la Sixième D, on observe un taux de réponses attendues légèrement supérieur aux autres classes. Mais le taux de réponses implicites est élevé dans les trois classes. La question, peut-être trop évidente, ne sollicite pas suffisamment d'explication.

- **Le vol est-il possible sans air ? (question 4)**

L'intérêt de cette question réside dans le fait qu'elle fait intervenir une confusion fréquente entre le vol et l'apesanteur. L'idée qu'en apesanteur tout vole (donc pas besoin d'air) ne se trouve que chez deux élèves seulement en classe de Sixième D alors qu'elle est très répandue en Sixièmes C et B.

En conclusion, l'évolution quantitative en Sixième D est nette. Les réponses attendues ont doublé par rapport à celle

évolution nettement positive dans la classe expérimentale

la différence de traitement des 2 classes témoins n'a pas d'effet

dans la classe expérimentale seulement 4 élèves sur 21 n'ont pas progressé

du pré-test. Les réponses alternatives ont diminué de pratiquement 50 %, les réponses implicites de 43 %. Le nombre d'élèves ayant intégré le concept est passé de trois (pré-test) à quinze (post-test).

En Sixièmes B et C, il n'y a pas d'évolution sensible. En effet, même si le nombre des réponses attendues a légèrement augmenté en Sixième B par rapport au pré-test, alors qu'il a légèrement baissé en Sixième C, le taux de réponses alternatives, lui, a progressé dans les deux classes. De plus, et c'est important du point de vue de l'enseignant, le nombre d'élèves ayant atteint l'objectif n'a pas augmenté, en Sixième C il passe de quatre (pré-test) à trois (post-test), en Sixième B, il reste de trois. On peut également remarquer que le rappel du cours effectué par l'enseignant en Sixième B ne modifie pas les performances des élèves ni ne les distingue de celles de la Sixième C. Cette absence d'effet n'est pas une surprise mais encore fallait-il le vérifier. Certains élèves auraient pu utiliser le rappel des contenus concernant les surfaces portantes pour, par leur seule activité et par mémorisation des problèmes que nous leur avons posés, franchir certains des trois obstacles que nous avons identifiés.

Sur le plan qualitatif, les réponses ont tendance à être plus explicites dans les trois classes. C'est peut-être la conséquence d'une familiarisation des élèves avec ce type d'exercice.

On note également la persistance des comportements d'évitement de la question posée en Sixièmes C et B alors que ceux-ci ont pratiquement disparu en Sixième D.

Pour le même individu, en classes de Sixièmes C et B, les explications fournies au post-test sont fréquemment identiques à celles du pré-test.

Dans la classe de Sixième D, six élèves n'ont pas atteint l'objectif mais deux d'entre eux, tout en conservant l'idée de vol en apesanteur, donnent trois réponses attendues sur quatre. Seulement quatre élèves sur vingt et un n'ont pas progressé :

- soit ces élèves disposent de trop nombreuses conceptions bloquantes et dans ce cas, plusieurs séances étalées dans le temps auraient été nécessaires ;
- soit le travail au sein du groupe n'a pas été bénéfique. En effet, trois d'entre eux appartenaient à un groupe de cinq filles peu dynamiques. L'absence de motivation de cette équipe où un effort d'explicitation ne semble pas avoir été fourni, s'est traduite par une formulation des réponses par simplement une ou deux élèves. La composition des groupes doit peut-être faire partie des fonctions de l'enseignant ;
- soit les élèves présentent des carences plus générales. Deux d'entre eux se trouvent en situation d'échec scolaire du fait de leurs lacunes cumulées. Il s'agit alors de problèmes (souvent liés) de compréhension, de formulation, voire de problèmes psychologiques.

6. DÉBAT SOCIO-COGNITIF ET ACQUISITION DU CONCEPT DE SURFACE PORTANTE CHEZ LES ENSEIGNANTS OU FUTURS ENSEIGNANTS

Lors de la présentation (3) de la première partie de ce travail à différentes catégories d'adultes, nous leur avons posé le problème suivant :

"Si sur la lune, où il n'y a ni air ni atmosphère, un cosmonaute lâche en même temps une feuille de papier pliée en boule et une autre laissée à plat, quelle est celle qui atteint le sol lunaire en premier ? Parmi ces trois réponses :

a) elles atteignent en même temps le sol ;

b) c'est la feuille pliée en boule qui arrive en premier ;

c) aucune parce que "dans le vide tout flotte" ! laquelle choisissez-vous ?"

des
représentations-
obstacles
persistent chez
les adultes

Nous avons été surpris de constater que la réponse b et surtout la réponse c étaient choisies par un grand nombre de personnes ayant au moins un niveau bac + 3. En reproduisant cette situation trois années de suite avec plusieurs centaines de personnes, nous avons observé une constance dans la proportion des réponses c :

Catégories de publics	enseignants stagiaires du primaire	instituteurs	enseignants stagiaires du secondaire en sciences naturelles	étudiants en DEA de didactique des disciplines scientifiques	enseignants -chercheurs de toutes disciplines excepté la physique	formateurs d'enseignants
Proportion de réponses c	59 des 84	17 des 33	14 des 55	3 des 6 (comportant une majorité de physiciens)	4 des 10	14 des 35

Ce résultat semble indiquer que les représentations-obstacles "résistent bien" malgré l'enseignement scientifique suivi par la plupart de ces personnes.

incitation
à présenter
et à justifier son
point de vue,
publiquement

Nous avons perfectionné le dispositif en permettant d'instaurer un véritable "débat" socio-cognitif plutôt qu'une situation conflictuelle. Comme pour les élèves, l'incitation à présenter publiquement son point de vue et à le justifier fonctionne bien. Nous l'avons, dans le cas des adultes, précédé d'une déclaration justifiée sur le plan épistémologique : *"tout le monde a de "bonnes" raisons de penser ce qu'il pense et ces raisons sont tellement bonnes pour mieux comprendre qu'elles méritent d'être exposées publiquement"*. Cette décl-

(3) C'est lors d'une communication de ce travail aux 5èmes Rencontres de Didactique de la Biologie à Barcelone en 1993, qu'est née l'idée de prolonger auprès des enseignants cette étude effectuée avec les élèves de Sixième.

ration incite à se détacher en partie de la peur de se tromper et de paraître stupide au regard des pairs, un peu moins utile chez les enfants de onze ans, elle nous paraît indispensable pour que des adultes puissent se centrer sur la question qui pose problème plutôt que sur leurs vulnérabilités en groupe.

la reformulation
du point de vue
adverse facilite
le "lâcher"
de l'ancienne
représentation

Cependant, le dépassement de l'obstacle constitué par le fait de ne pas avoir isolé le concept de vide de celui d'apesanteur est beaucoup plus rapide quand on leur demande de reformuler le point de vue adverse. Cela ne leur est pas toujours facile, mais quand le partisan de a parvient à reformuler l'argumentaire d'un partisan de c, il lui apporte une démonstration du fait qu'il l'a vraiment écouté et développe une tolérance à d'autres points de vue que le sien. Cette confirmation affective de l'autre joue selon nous un rôle important dans le "lâcher" de l'ancienne représentation en limitant son impact négatif sur sa sécurité de base. Le lâcher par le partisan de c pourra ensuite avoir lieu après que celui-ci ait reformulé le point de vue du partisan de b ou de a. L'appropriation nécessaire de ces différents points de vue, qui est différente d'une simple répétition, ouvre alors le référentiel individuel du partisan de c et l'application d'un raisonnement logique fait le reste, non sans force émotions et malaises liés à cette déstabilisation. Cependant presque tous arrivent en moins d'une heure à trouver évidente la solution a. Ce dernier stade est atteint quand ils comprennent les "bonnes raisons" qui les ont amenés à répondre c : sur notre planète pendant de nombreuses années, ils ont expérimenté directement l'existence conjointe d'une atmosphère et de la qualité pesante des objets, tellement conjointe que lorsqu'ils se sont construits le concept de pesanteur et celui de pression atmosphérique, ils ont continué à inférer que ces deux concepts faisaient référence à des réalités dépendantes, la présence de l'une entraînant la présence de l'autre et inversement l'absence de l'une, par exemple l'absence de pression atmosphérique entraîne obligatoirement l'absence de l'autre : la pesanteur. Dans cette situation, on s'aperçoit également que la personne qui n'a pas conscience du lien logique qu'elle a construit, va défendre ce lien de manière souvent "illogique". Par exemple, pour justifier que sur la lune "tout vole", elle va devoir faire référence au fait que *"l'on a dû lester avec du plomb les chaussures des cosmonautes lunaires pour éviter qu'ils ne s'envolent"* ou faire allusion au *"whisky du capitaine Haddock (4) qui flotte dans la cabine pressurisée de la fusée qui se trouve en micro gravité dans l'espace entre la terre et la lune"*. Cette tendance à vouloir conserver la stabilité du lien entre absence d'atmosphère et de pesanteur, traduit selon nous, une dépendance affective que toute déstabilisation cognitive met plus ou moins en évidence (Favre, 1997). Cependant, nous avons, également, rencontré lors de

prendre
conscience
de l'origine
de l'inférence
entre les
concepts
de pesanteur
et de pression
atmosphérique
provoque
beaucoup
d'émotion

la tendance
à vouloir maintenir
cette inférence
serait-elle l'indice
d'une dépendance
affective
à la stabilité
des connaissances ?

(4) cf. Hergé : *Objectif lune*

l'Université d'été - "Construire et entretenir la motivation" à Marseille en juillet 1995 (5) -, une vingtaine de formateurs d'enseignants disposés à poursuivre jusqu'à deux heures du matin la résolution de cette situation-problème dans les conditions du débat socio-cognitif que nous venons de décrire.

Des questions demeurent : comment expliquer que 111 (sur 233) enseignants et étudiants semblent ne pas avoir isolé le concept de vide de celui d'apesanteur. Le non-franchissement de cet obstacle est-il lié à la façon selon laquelle le cours sur le vol animal leur a été présenté lorsqu'ils étaient en classe de biologie ? Comment les 52 % d'entre eux qui ont franchi cet obstacle y sont parvenus, est-ce grâce aux dispositifs pédagogiques qu'ils ont ensuite rencontrés au cours de leur scolarité ou par leurs propres moyens ?

7. DES PROPOSITIONS POUR FAVORISER LE DÉPASSEMENT DES OBSTACLES

7.1. Dans la construction des dispositifs d'apprentissage

Ayant repéré l'obstacle constitué par des raisonnements plus ou moins implicites, le problème posé devient alors : comment en favoriser le franchissement par le plus grand nombre ? Ce franchissement supposait que les élèves puissent s'explicitier au préalable "leur théorie". Brousseau (1986) décrit le rôle de l'explicitation dans l'acquisition d'un concept. Dans les différentes situations qu'il définit (formulation, validation, institutionnalisation), il signale que les échanges d'informations entre élèves permettent à l'enfant de créer un modèle explicite.

Pour montrer que ce qu'il vient de dire est valable, il doit également en prouver l'exactitude et la pertinence. L'utilisation d'une situation qui s'apparente au "conflit socio-cognitif" décrit par Doise et Mugny (1981) présente, entre autres, l'avantage de permettre une décentration de l'apprenant par rapport à une connaissance préalable (Astolfi et Peterfalvi, 1993) afin qu'il puisse la concevoir comme une hypothèse parmi d'autres points de vue possibles, éventuellement trouver des contre-arguments pour la réfuter et ainsi, après s'être convaincu de ses insuffisances, l'abandonner. Il fallait donc que les élèves se familiarisent avec les attitudes cognitives de la démarche scientifique que nous avons modélisées comme un effort d'explicitation, une énonciation sous forme d'hypothèse, un établissement de la

permettre
la décentration
de l'apprenant
par rapport
à une
connaissance
préalable

(5) cf. compte-rendu de cette Université d'été édité en 1996 par Georges Chappaz et publié par l'Université de Provence et le Centre régional de Documentation de Marseille.

preuve par la recherche des contre-exemples et la précision du domaine de validité et enfin par une attitude réflexive qui prend en compte la subjectivité (Favre et Rancoule, 1993).

formuler
les énoncés
sous forme
d'hypothèses
plutôt que
sous forme
dogmatique

Une des relations que nous établirons entre nos résultats et les attitudes cognitives de la démarche scientifique concerne la possibilité qui a été donnée aux élèves, à travers les situations-problèmes posées, de se distancier du connu, de ce qui est admis, et d'abandonner un peu de la sécurité associée à leur "déjà-là". Ce changement pourrait se produire plus fréquemment, selon nous, en formulant des énoncés sous forme d'hypothèse plutôt que sous forme dogmatique. Par exemple, l'explication des élèves : *"la feuille de papier pliée en boule tombe plus vite que la feuille lâchée à plat parce qu'elle est plus lourde !"* pourrait être transformée ainsi (par l'enseignant sensibilisé à cette démarche) : *"tu vois qu'elle tombe plus vite, serait-elle devenue plus lourde ?"* La recherche des contre-évidences est, quant à elle, directement favorisée par le dispositif même si celle-ci peut prendre des formes un peu brutales, nous avons entendu ainsi dans un petit groupe un élève rétorquer à un autre : *"hé banane, on t'a dit qu'il n'y a pas d'air, on n'a pas dit que ça ne pesait rien !"*. Plus le groupe est actif, plus rapidement les élèves réalisent que l'air est matériel ou que le vide n'est pas synonyme d'apesanteur et ainsi peuvent surmonter ce dernier obstacle en distinguant ces deux concepts. Le climat affectif semble aussi important ; l'implication qu'il peut susciter, l'aspect ludique de la situation-problème, le fait d'être davantage acteur dans un petit groupe, de pouvoir constater que les remarques des copains permettent aussi de progresser, paraissent recruter de manière différente les ressources affectivo-émotionnelles des apprenants. D'après nos observations tout se passe comme si la résolution collective du problème devenait en soi une motivation qui diminue la fréquence des projections des élèves, les uns envers les autres et qui favorise ainsi la réflexivité dans la relation aux autres... et avec soi-même.

le débat
socio-cognitif
pourrait
développer
une nouvelle
motivation
plus favorable
à l'apprentissage

7.2. Dans la formation des enseignants

Sans prétendre à une généralisation totale, notre étude incite à substituer une approche qualitative fondée sur l'étude, la reconnaissance et l'appropriation des concepts scientifiques par les apprenants à l'enseignement descriptif des connaissances. Cette appropriation, condition de leur transférabilité, deviendrait alors un objectif pédagogique à atteindre par l'enseignement.

approche
pédagogique
des concepts

Ce renversement de finalité pédagogique n'est cependant pas sans poser de difficultés dans la mesure où l'approche pédagogique des concepts suppose que les enseignants aient pu, au cours de leur formation, d'une part dépasser les représentations-obstacles qui s'opposent à leur appropriation et d'autre part, développer des compétences pour accompagner des élèves dans cette démarche. Si notre étude

pouvait servir de piste à une approche conceptuelle à visée pédagogique alors il faut en signaler ses différentes étapes afin qu'un apprentissage spécifique puisse avoir lieu lors de la formation des enseignants.

importance de
la préparation de
l'enseignement...

- Lors de la préparation d'un enseignement, on pourrait inciter l'enseignant à rechercher les concepts fondamentaux, à préciser les attributs ou les fonctions, à éventuellement franchir eux-mêmes des obstacles épistémologiques, à étudier la trame conceptuelle parfois interdisciplinaire et à s'appuyer sur les conceptions des élèves pour bâtir son cours. L'expérimentation du débat socio-cognitif comportant la reformulation de points de vue différents du sien nous paraît une expérience importante pour faire évoluer sa relation personnelle aux savoirs, se décentrer de la "solution ou du résultat à atteindre" et se centrer sur la démarche qui les a produits.

... du recueil des
représentations...

- En situation d'enseignement, le travail de recherche des représentations des élèves devra précéder le cours à travers une évaluation-diagnostic par exemple. Un dispositif de remédiation pédagogique devient nécessaire seulement en cas de persistance des erreurs car celles-ci indiquent bien souvent la présence de représentations-obstacles.

... des problèmes
non routiniers

- Cette étude contribue à montrer l'intérêt de faire davantage porter l'évaluation des connaissances scientifiques sur la capacité à résoudre des problèmes non routiniers impliquant la mobilisation du concept étudié plutôt que sur la simple restitution d'informations. Cela implique peut-être une modification des habitudes pédagogiques actuellement majoritaires et des valeurs à l'origine des critères d'évaluation (Favre, 1995).

CONCLUSION

faire évoluer
progressivement
les concepts
en modifiant
leur domaine
de validité

Un des intérêts de cette étude, c'est peut-être de montrer que, si on prend en compte le champ conceptuel, le contexte qui donne sens aux connaissances, on se donne des moyens pour dépasser d'éventuels obstacles. Le décloisonnement des connaissances pourrait ainsi s'avérer efficace. Mais si pour Bachelard l'acquisition des concepts scientifiques demande de "*renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne*", nous proposons de ne pas "brusquer" les élèves. Les conceptions étant dynamiques, il faut les faire évoluer progressivement en modifiant leur domaine de validité. Il ne s'agit pas de se focaliser sur les erreurs persistantes, les obstacles, mais simplement de les connaître pour imaginer les conditions de leur dépassement.

Pour faciliter ce "*turn over*" des représentations, nous invitons à dispenser aux enfants, dès leur plus jeune âge, une initiation à la démarche scientifique dans laquelle ils seraient entraînés à formuler des hypothèses et à considérer

les modèles proposés par l'enseignement comme approximatifs et provisoires. L'erreur ne serait alors plus complètement un échec, une faute mais un résultat. Si l'enfant prend l'habitude de modifier de proche en proche le champ de validité de ses connaissances, il lui sera plus facile de changer de représentation, au lieu de se sécuriser en cherchant à confirmer ce qu'il sait déjà.

Il reste maintenant l'épreuve de la réalité en prenant en compte un état de fait : la densité des programmes actuels. Quel est le coût horaire d'un dispositif tel qu'il a été appliqué ici ? Concrètement est-ce qu'une notion comme la surface portante mérite que l'on y consacre, dans le cadre du cours de biologie avec un programme assez chargé, deux ou trois heures, alors que l'enseignement sur le vol animal a disparu du programme ? Les modifications apportées ont en effet "consommé" trois heures d'enseignement tandis que la leçon sur le vol animal ne durait qu'une heure. Nous avons cependant tendance à penser que les élèves ont gagné au change car outre l'entraînement à un mode de pensée scientifique et à la communication avec autrui, transférable dans d'autres domaines, ils se sont préparé le terrain pour accueillir des concepts issus de disciplines différentes. Ils se sont également donné l'occasion d'unifier un peu plus leur référentiel individuel en constatant que le concept de surface portante peut s'appliquer à des domaines - l'industrie automobile, textile, le bâtiment, la voile, l'aviation - qui se présentent souvent, comme les disciplines scolaires, de manière morcelée.

Daniel FAVRE

Isabelle VERSEILS

Laboratoire de Modélisation de la
Relation Pédagogique - Application à la
Didactique de la Biologie
Université Montpellier II

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI J.-P. et PETERFALVI B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, 16, Modèles pédagogiques 1, 103-141.

BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.

BARTH B.-M. (1986). *L'apprentissage de l'abstraction*, Paris, Retz.

BROUSSEAU G. (1986). "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques", *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7.

CHARNAY R. et MANTE M. (1992). "De l'analyse de l'erreur en mathématiques aux dispositifs de re-médiation", *Repères IREM*, 7, 5-29.

DOISE W. et MUGNY G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*, Paris, InterÉditions.

FAVRE D. (1993). "Approche neuro-pédagogique des lobes frontaux humain", *Les Sciences de l'Éducation*, 5-92, 23-44.

FAVRE D. (1995). "Conception de l'erreur et rupture épistémologique", *Revue Française de Pédagogie*, 111, 85-94.

FAVRE D. (1997). "Cerveau et Changement de représentation", *Cahiers Binet-Simon*, 650, 55-69.

FAVRE D. et RANCOULE Y. (1993). "Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ?" *Aster*, 16, Modèles pédagogiques 1, 29-46.

GIORDAN A. et DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

MANFREDI A., PIRO E. et PRIMAVERA G. (1989). "L'influence des aides didactiques sur la structuration du concept "air" à l'école primaire", *Actes des XI^{es} JIES*, A. Giordan, J.-L. Martinand Éditeurs, 281-286.

MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*, Berne, Peter Lang.

MIGNE J. (1969). "Les obstacles épistémologiques et la formation des concepts", *Éducation permanente*, 2, 41-63.

PIAGET J. (1973). *Six études de psychologie*, Denoël & Gonthier.

SÉRÉ M.-G. et Tiberghien A. (1989). "La formation des concepts décrivant les états de la matière", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 911-929.

VERGNAUD G. (1990). "La théorie des champs conceptuels", *Recherche en didactique des mathématiques*, 10 (2.3), 133-170.

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

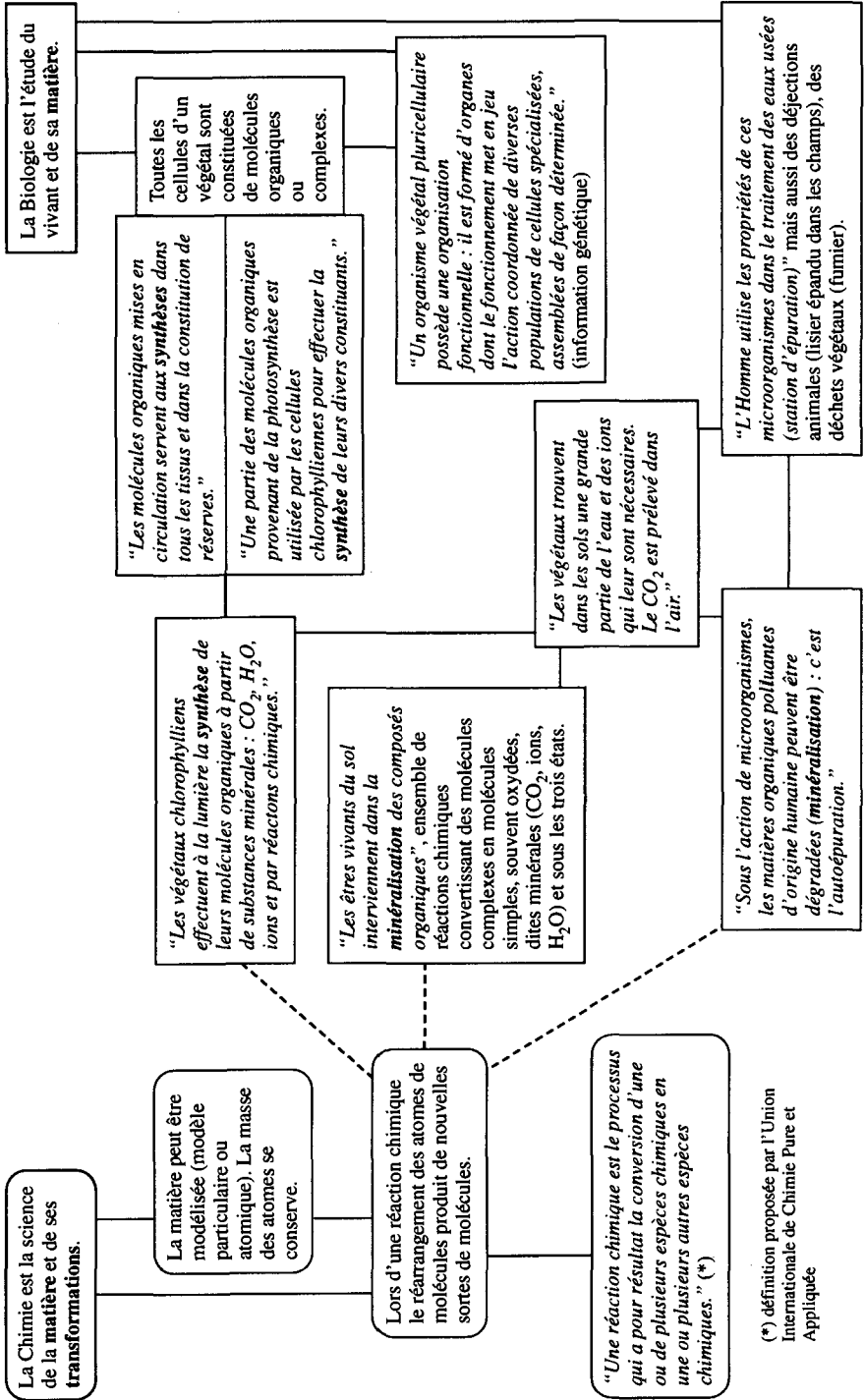
De plus, à chaque nouvelle étude, je me suis attaché à faire utiliser et à rappeler les acquis précédents et les modèles explicatifs proposés, en un système d'emboîtement.

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")



(*) définition proposée par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée

...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 "vernissage" 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 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.

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.

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

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

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

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, *Raisonnement 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

CE QUE LE PROFESSEUR PRÉVOIT, ...CE QUI SE PASSE RÉELLEMENT

Marie Sauvageot-Skibine

Si on analyse les productions des élèves correspondant à une séquence de classe, on découvre des parcours différents de celui qui était prévu par l'enseignant. Ce qu'il prévoit n'est pas ce qui se passe réellement. De plus les élèves n'arrivent pas tous là où on souhaiterait les trouver après la leçon. On a alors tendance à conclure à l'échec des élèves et de l'enseignement. Alors que si on regarde plus précisément d'où ils partent et où ils arrivent, si on se donne les moyens d'analyser leurs parcours, on trouve des progrès là où on concluait trop vite à des non-réussites, peut-être parce qu'on ne s'attendait qu'à une seule façon de construire la notion visée et à une seule ligne d'arrivée.

Chaque enseignant sait que les élèves n'en sont pas au même point, ni avant la leçon, ni après la leçon. Mais pour préparer son cours, il est bien obligé de choisir un point de départ. Le plus souvent il suppose connus, comme dans les manuels, "les acquis des classes précédentes" et prévoit des activités lui paraissant susceptibles de permettre l'apprentissage des nouvelles notions fixées par le programme. Les résultats obtenus sont alors très variables d'un élève à l'autre.

l'enseignant
construit
une séquence
centrée
sur l'obstacle

S'il essaie de prendre en compte le ou les obstacles identifiés à partir des représentations des élèves, son point de départ ne sera plus les acquis supposés d'un élève épistémique, mais l'état réel des connaissances des différents élèves. Il construit alors une séquence centrée sur l'obstacle choisi et vise le niveau de formulation du concept précisé par les programmes. On pourrait donc s'attendre à un cheminement logique en relation avec les représentations, et aux résultats prévus par la séquence. Or la recherche relatée ici montre qu'il n'en n'est rien.

Cette recherche (1) concerne des élèves de 11 ans (première année de collège) et des élèves de 15 ans (première année de lycée). Les lycéens interrogés n'ont pas eu, lorsqu'ils étaient au collège, les séances de biologie décrites ici pour la classe de Sixième. L'analyse des représentations des élèves de ces différents niveaux d'enseignement a montré la persistance

(1) Recherche ROOSA conduite à l'INRP : "Objectifs-Obstacles et Situations d'Apprentissage dans le champ conceptuel des transformations de la matière".

d'un obstacle concernant l'impossibilité d'envisager le dioxyde de carbone comme une nourriture des plantes chlorophylliennes. L'obstacle a été ciblé aux différents niveaux, des stratégies pédagogiques et didactiques ont été élaborées pour le fissurer et/ou le franchir, en essayant de centrer le scénario sur cet obstacle.

les élèves
ne sont pas là
où on les attend

Des niveaux de formulation divers ont été atteints par les élèves et analysés. Il nous a paru intéressant de mettre en relation le savoir enseigné par le professeur, tel que le prévoyait sa préparation (séquences préparées en équipe et testées dans plusieurs classes) et le savoir réellement construit par les élèves, tel qu'il a pu nous apparaître dans leurs copies et dessins en cours d'apprentissage. On s'apercevra, non seulement que tous les élèves n'en sont pas au même point en même temps, mais aussi qu'il existe une distance parfois très grande entre ce que l'enseignant suppose devoir se dérouler et ce qui se passe réellement. L'analyse des productions d'élèves de Sixième, les seules analysées ici, met en évidence six niveaux de formulation concernant le dioxyde de carbone (CO_2). Tous les élèves ont appris quelque chose, sauf un qui se cramponne à son idée, sur laquelle aucune des interventions n'a de prise. Les activités "leviers" susceptibles, du point de vue de l'enseignant, de faire changer les représentations ne fonctionnent pas toujours comme prévu, et ne correspondent pas forcément aux "moments-clés" mettant en évidence les changements réels au niveau des élèves.

les activités-
leviers sont
différentes des
moments-clés

Dans un premier temps, nous montrerons que les représentations présentes chez les élèves constituent un réseau qui emprisonne un obstacle et explique sa résistance. Nous présenterons ensuite le scénario de la séquence et les activités-leviers prévues par l'enseignant pour le franchir. L'analyse des productions d'élèves nous permettra de retracer le parcours de quelques élèves et de noter les formulations concernant le dioxyde de carbone écrites par eux en fin de séquence. Nous pourrons ainsi comparer les activités-leviers prévues par le scénario et les moments-clés réels où les avis changent, la formulation finale prévue par le scénario et les formulations réellement obtenues.

1. RÉSEAU DE REPRÉSENTATIONS ET OBSTACLES À LA COMPRÉHENSION DU RÔLE DU CO₂ DANS LA NUTRITION DES PLANTES VERTES

Pour recueillir les représentations des élèves, nous leur avons présenté un schéma de pied de tomate (voir annexe) avec la consigne suivante :

"Indique sur le schéma du pied de tomate, par des flèches et des légendes, comment la plante se nourrit (en rouge) et comment elle respire (en bleu)."

1.1. Les représentations ne prennent pas en compte le rôle des gaz

Nous avons recueilli les réponses des élèves dans une dizaine de classes de Sixième. Les enseignants concernés ont signalé que les autres années les élèves disaient les mêmes choses en ce qui concerne les plantes vertes. Ces représentations perdurent également jusqu'en Seconde. Tous les élèves n'ont pas donné, chacun, toutes ces réponses, mais l'ensemble est présent dans chaque classe. Ces opinions sont à mettre en relation avec la connaissance commune, la vie quotidienne et le bon sens admis par tous.

la logique des représentations

1 - *La plante se nourrit de terre.* Ne parle-t-on pas de terre nourricière, de terre riche ou pauvre ?

2 - *La plante se nourrit d'eau et de sels minéraux.* Ces notions ont été apprises à l'école primaire et confortées par la nécessité de l'arrosage des plantes d'appartement ou de l'irrigation des cultures.

3 - *La plante grandit naturellement, avec le temps.* Il suffit de regarder.

4 - *Un gaz qui sort est un déchet.* Des flatulences aux tuyaux d'échappement, les gaz sont perçus comme évacués parce que mauvais à la santé ou polluant l'environnement.

5 - *Le dioxyde de carbone est mauvais.* On est à Dijon, région viticole, et les élèves savent qu'on ne laisse pas descendre les chiens dans les caves, l'air n'y est pas bon pour eux puisque du dioxyde de carbone s'échappe des cuves.

6 - *Le dioxyde de carbone est rejeté par la plante, il ne faut pas mettre de plantes vertes dans les chambres à coucher, ni dans les chambres des malades.*

7 - *Le dioxyde de carbone est nocif parce que rejeté.*

8 - *L'oxygène est un bon gaz.* Tous les enfants savent qu'il est nécessaire à la vie de l'homme et produit par les plantes. Les forêts présentées comme le "poumon de la planète" ont fortement renforcé cette image.

9 - *L'oxygène est indispensable à l'homme.*

10 - *La plante est faite de solide, un gaz ou un liquide ne peuvent pas faire de solide.* Les élèves connaissent des solides, des liquides et des gaz, mais comme le concept de changement d'état n'est pas construit, ils n'imaginent pas que le même corps puisse se présenter sous les trois états.

11 - *Un gaz, qui entre ou qui sort d'un organisme, est respiratoire. Le lien entre les gaz et la respiration est très fort chez tous les élèves, c'est le souffle de la vie.*

12 - *Un gaz ne peut être une nourriture. Il est très vrai qu'on ne se nourrit pas de l'air du temps !*

13 - *Une nourriture, c'est solide ou liquide. Par comparaison avec l'alimentation humaine, les élèves ne peuvent imaginer une nourriture gazeuse.*

14 - *On ne peut pas fabriquer du vivant avec du non-vivant. Pour les élèves, les carnivores, les omnivores et les herbivores se nourrissent d'êtres vivants, en oubliant ou en méconnaissant que le sel nous est indispensable. Un raisonnement par analogie les empêche de penser à un autre modèle.*

les
représentations
en réseau
emprisonnent
l'obstacle

Ces représentations constituent un réseau, qui nous a conduits à identifier l'obstacle suivant, non formulé tel quel, puisqu'au contraire les phrases formulées par les élèves ne font pas apparaître les gaz :

les gaz ne sont pas de la matière

L'obstacle réside dans le fait que les élèves pensent que la plante verte se nourrit d'eau et de sels minéraux et que ça suffit. Pour eux il n'y a pas de problème à résoudre concernant la nutrition. C'est dans l'absence d'interrogations que réside l'obstacle. Quand ils sont amenés à chercher une autre nourriture, un gaz ne leur paraît pas convenir parce que pour eux, un aliment est solide ou liquide. Seuls les solides et liquides sont de la matière qu'on peut toucher, les gaz appartiennent à la catégorie gaz. De plus le dioxyde de carbone est un gaz perçu comme rejeté et nocif, il ne présente donc pas les caractéristiques d'un aliment qui avant tout doit être bon pour l'organisme qui l'ingère. L'obstacle est donc fortement enraciné.

1.2. Trois modes de pensée

Les conceptions qui ont permis de cerner cet obstacle, relèvent de trois modes de pensée, mal utilisés dans le cas présent mais fort utiles par ailleurs.

Lorsque les élèves affirment que, parce que le dioxyde de carbone est respiratoire, il ne peut être nutritif ou, qu'un gaz est un gaz pas un liquide ou un solide, ils croient que, si on appartient à une catégorie, on ne peut appartenir à une autre. Comme l'explique Brigitte Peterfalvi (2): *«La pensée catégorielle n'est pas en soi un obstacle. Elle est utile dans de nombreuses situations, mais elle peut avoir une fonction-obstacle, lorsqu'elle empêche de comprendre. C'est le cas lorsque les catégories sont réifiées ou considérées comme trop absolues, que les passages d'une catégorie à l'autre sont considérés comme impossibles (les gaz sont des gaz, les liquides des*

l'obstacle est lié
à une utilisation
inadéquate de
plusieurs modes
de pensée

(2) Brigitte PETERFALVI, document interne INRP.

liquides, et donc une même substance est soit l'un, soit l'autre, mais ne peut appartenir aux deux catégories)."

D'autres affirmations relèvent du primat de la perception où c'est ce que l'on voit qui compte. Les plantes poussent dans la terre, c'est bien sûr la majorité des cas qui s'offrent à nos yeux. La plante a besoin d'eau, l'expérience quotidienne, en classe, à la maison et dans la nature, le montre aisément. La plante grandit toute seule, que ce soit les arbres dans la nature ou les mauvaises herbes du jardin. Ce mode de raisonnement met sur le même pied la nécessité de l'eau qui est un réel besoin nutritif de la plante, la nécessité de la terre qui ne l'est pas et l'absence d'autres besoins qui ne sont pas apparents comme la pluie et la terre. Le dioxyde de carbone n'est jamais directement observable, sa présence est rendue visible grâce au trouble de l'eau de chaux, surtout quand il est rejeté.

La représentation des gaz par les élèves est fortement chargée de valeurs : l'oxygène est un bon gaz et le dioxyde de carbone est mauvais. Le bon gaz est le gaz utile à l'homme, et le mauvais celui qui lui est nocif. La plante est assimilée à l'être humain, et les gaz sont donc valorisés ou dévalorisés en fonction de lui.

Les représentations concernant le dioxyde de carbone relèvent donc de trois modes de pensée : le dioxyde de carbone ne peut pas être une nourriture pour les plantes parce qu'il est nocif (dévalorisation), uniquement respiratoire (pensée catégorielle), rejeté (primat de la perception : eau de chaux troublée).

1.3. Un obstacle constant, persistant et résistant

Nous sommes donc devant un obstacle polymorphe qui correspond à plusieurs modes de pensée, ce qui peut expliquer sa résistance. Elle est également renforcée, par le fait que cet obstacle est double : le réseau de représentations explique la vie quotidienne, l'expérience courante, il a une fonction positive. Mais de ce fait il empêche de poser le problème scientifique concernant la nutrition des plantes vertes, puisque apparemment il apporte des réponses : il a donc aussi une fonction négative. Cet obstacle, prisonnier des mailles d'un réseau, polymorphe quant aux modes de pensée qui lui ont donné naissance, n'est pas, comme le dit Michel Fabre (3), "*contrairement à ce que suggère l'étymologie (obstare : se tenir devant), ce contre quoi viendrait "buter" la pensée, mais il est dans la pensée elle-même, dans les mots, l'expérience quotidienne, l'inconscient...*"

Cet obstacle constant chez les élèves au fil des années, persistant du Primaire à l'âge adulte, est résistant à l'enseignement habituel. C'est donc ce qui nous a poussés à essayer de trouver un nouveau type de séquence centrée sur cet obstacle.

les modes
de pensée
expliquent
la résistance
de l'obstacle

(3) Michel FABRE. *Bachelard éducateur*. Paris. PUF. 1995.

1.4. L'obstacle se présente différemment aux différents niveaux d'enseignement

l'obstacle se présente différemment

Auparavant, il nous faut préciser comment se présente l'obstacle : "les gaz ne sont pas de la matière", aux différents niveaux d'enseignement. En effet, cet obstacle peut être formulé différemment, selon le concept scientifique envisagé (photosynthèse, réaction chimique, changement d'état...) et selon le niveau d'enseignement.

Obstacle	Représentations des élèves de Sixième, à propos de la nutrition des plantes vertes	Représentations des élèves de Seconde, à propos de la nutrition des plantes vertes
Les gaz ne sont pas de la matière	Les plantes se nourrissent exclusivement par les racines, d'eau et de sels minéraux, puisés dans la terre.	La respiration des plantes est inverse de celle de l'homme : la plante respire du dioxyde de carbone et rejette de l'oxygène. Il existe des molécules d'eau, de dioxyde de carbone, de tomate... Chaque matière possède ses atomes et ses molécules.

Précisons que les niveaux repérés ici à des niveaux de classes définis, peuvent se retrouver chez des élèves d'un autre niveau, selon l'hétérogénéité des classes.

En Sixième, l'obstacle pourrait être formulé : "un gaz ne peut pas être une nourriture". Ce qui fait obstacle en Sixième provient du fait que la nourriture n'est pensable par les élèves que comme solide ou liquide. Ils n'ont aucun exemple, aucune image rendant possible cette idée de gaz-nourriture. De plus l'idée d'aliment étant liée à un tuyau, certains élèves font une analogie entre la bouche, l'œsophage de l'homme, et les racines de la plante, qui pourraient présenter à leur extrémité un orifice permettant l'ingestion de l'eau et des sels minéraux.

En Seconde, l'obstacle pourrait s'écrire : "un gaz ne peut être que respiratoire". Puisque du dioxyde de carbone entre dans la plante et que c'est un gaz respiratoire, la plante respire à l'envers. L'obstacle rencontré en Sixième persiste, et empêche de relier le dioxyde de carbone à la nutrition, puisqu'un gaz ne peut être que respiratoire.

Cet obstacle ainsi formulé a permis de choisir un objectif-obstacle (4) formulé différemment selon les classes. Le concept visé : "les gaz sont de la matière" nous a amenés à écrire comme objectif-obstacle en Sixième : "le dioxyde de

(4) Jean-Pierre ASTOLFI et Brigitte PETERFALVI. "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, 16, 1993.

carbone est un besoin nutritif des plantes vertes”, en Seconde : “le dioxyde de carbone est une nourriture gazeuse qui participe à la fabrication de la chair de tomate”.

2. UNE SÉQUENCE CENTRÉE SUR UN OBSTACLE

Une séquence centrée sur les obstacles identifiés plus haut a donc été élaborée. Qu'est-ce qu'une séquence centrée sur un obstacle ?

2.1. Les principes

construire
la séquence
en remplissant
un tableau

Pour bâtir la séquence nous avons, au cours de la recherche, construit un tableau nous permettant de mettre en relation le concept en jeu, le projet didactique de travail sur l'obstacle, l'activité pédagogique et l'activité intellectuelle supposée de l'élève.

Nous donnerons à titre d'illustration, le détail de ce tableau pour l'une des étapes du scénario.

Concept	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Activité pédagogique	Activité intellectuelle supposée de l'élève
Quels sont les échanges de substances existant entre la plante et son milieu ?	Repérage de l'obstacle à travers l'expression des représentations des élèves sur la nutrition des plantes vertes	Distribution d'un schéma à compléter, pour permettre l'expression individuelle de représentations sur la nutrition des plantes vertes, afin de repérer l'obstacle	Rechercher dans les connaissances antérieures et le quotidien comment se nourrissent les plantes vertes, et les mobiliser à propos du schéma du pied de tomate

Nous avons cherché à mettre l'élève dans une situation qui ferait fonctionner ses représentations, mais aussi qui les mettrait en difficulté par rapport à différentes confrontations, essayant ainsi de provoquer un conflit, source d'une nouvelle construction. Éprouver les représentations des élèves, après les avoir fait s'exprimer et se confronter entre elles et à des résultats scientifiques, sera le guide de notre scénario. Puisque tous les élèves croyaient à la terre nourricière, nous nous sommes tournés vers les cultures hors-sol. Certaines expériences conduites par l'INRA présentaient l'avantage de porter sur une variation du taux de dioxyde de carbone, les résultats obtenus étant disponibles.

le scénario
de la séquence

2.2. Le déroulement

Pour les classes de Sixième (5), après plusieurs essais, nous sommes arrivés au scénario pédagogique suivant, dont les différentes étapes ont été numérotées, par souci de clarté.

1 - Expression des représentations sur les besoins nutritifs d'une plante verte à l'aide d'un schéma de pied de tomate. Mobilisation des connaissances sur la respiration des plantes vertes vue précédemment.

Mise en évidence des entrées et des sorties, classement de ces entrées et de ces sorties dans un tableau, justification de ce classement par un texte individuel.

2 - Expression et confrontation des représentations de tous les élèves, en groupe classe.

3 - Validation des représentations à l'aide d'expériences imaginées par les élèves en groupes. Prévision des résultats.

4 - Analyse critique collective des propositions d'expériences, en fonction de trois critères : présence d'un témoin, variation d'un seul facteur, montage réalisable.

5 - Réalisation par les élèves, des expériences retenues. Proposition par le professeur d'autres expériences. Observation des résultats, par des groupes passant d'une expérience à l'autre. Confrontation et interprétation des résultats.

Mobilisation du "critère nutritif" correspondant à une augmentation de masse, construit précédemment au cours des leçons sur l'alimentation animale, pour discuter et valider les résultats.

6 - Conclusion rédigée dans le classeur : *"l'eau et les sels minéraux sont des nourritures pour la plante verte"*.

Cette première partie de la séquence a pour objectif de consolider les connaissances sur la nécessité de l'eau et des sels minéraux comme besoins nutritifs des plantes vertes. Elle va conforter les représentations des élèves. La seconde partie va essayer de fissurer l'obstacle, en montrant que c'est insuffisant.

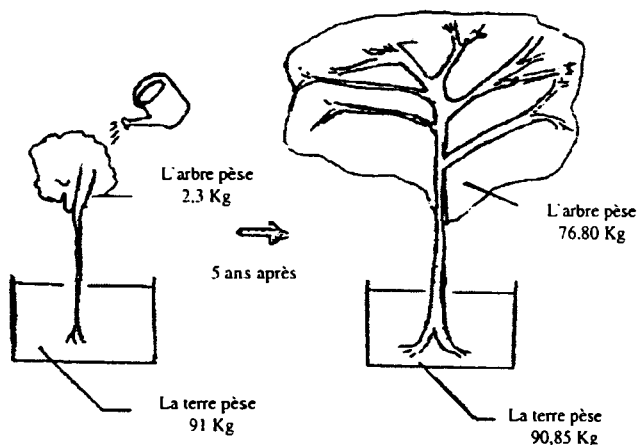
7 - Mise en évidence de la nécessité d'une autre nourriture pour la plante verte, à l'aide de l'expérience de Van Helmont. Émission d'hypothèses sur l'origine et la nature de ce besoin nutritif complémentaire. Confrontation dans le groupe-classe des différentes hypothèses.

(5) Dans les classes de Françoise Garot, Dominique Jassey et Thierry Philippe.

Document 1. Expérience d'un scientifique du XVII^e siècle

élèves confrontés
à l'expérience
de Van Helmont

Un jeune arbre est planté dans un pot contenant de la terre. L'arbre et la terre sont alors pesés séparément. Pendant cinq années, il arrose l'arbre avec de l'eau déminéralisée. Puis, il arrache l'arbre. Il pèse à nouveau l'arbre et la terre. Voici les résultats indiqués dans les petits schémas ci-dessous.



En 5 ans, la masse de l'arbre a augmenté de :

En 5 ans, la masse de la terre a diminué de :

1 - Pendant ces 5 années, l'arbre s'est-il nourri ? Justifiez votre réponse.

2 - Utilisez vos connaissances pour nommer les aliments qui ont été fournis par la terre à l'arbre :

3 - Comparez la masse perdue par la terre à celle gagnée par l'arbre.

4 - D'après ces résultats, indiquez quels sont les autres aliments qui ont permis cette augmentation de masse de l'arbre.

La troisième partie va apporter des résultats scientifiques quant au dioxyde de carbone, nourriture des plantes vertes. Elle a pour but d'aider l'élève à (re)construire le concept, en mettant en place un nouveau mode de pensée.

8 - Prévision du taux du dioxyde de carbone nécessaire, pour obtenir une croissance plus rapide et plus importante de tomates pour l'INRA.

Document 2. L'INRA et la culture de tomates

L'INRA cherche à obtenir les plus grosses tomates, le plus vite possible, pour les mettre sur le marché avant tout le monde. Pour cela, on peut régler la quantité de dioxyde de carbone présente dans la serre (les autres facteurs : température, lumière, eau, sels minéraux ne changent pas). On suspend en janvier, dans une serre "hors sol", des plantules de tomates

élèves
questionnés sur
le taux de CO₂
souhaitable
pour la culture
des tomates

dont les racines plongent dans un liquide nutritif (eau et sels minéraux à volonté). La quantité de dioxyde de carbone dans l'air de cette serre est régulée par ordinateur de 3 façons possibles :

- 0,03 % de CO₂, teneur habituelle de l'air atmosphérique,
- une valeur supérieure à 0,03 % de CO₂,
- une valeur inférieure à 0,03 % de CO₂.

Que prévois-tu ?

Quelle quantité de dioxyde de carbone doit être présente dans l'air de la serre pour que les tomates grossissent plus et plus vite ? Justifie ta réponse.

Confrontation entre élèves, nouvelles prévisions, confrontation avec la réalité scientifique.

Document 3. Que se passe-t-il réellement ?

D'après l'extrait du Mémento de fertilisation des cultures légumières. Jacky Odet. Ctifl. 1989. Chapitre : "Fertilisation carbonée" de Claude Wacquant

"L'enrichissement en CO₂ de l'air de la serre est particulièrement recommandé sur cultures précoces chauffées mises en place d'octobre à janvier, avec des taux d'enrichissement compris entre 0,06 % et 0,10 % de CO₂ dans l'air.

L'enrichissement après plantation a pour conséquences :

- une forte croissance et une amélioration de la formation des fruits ;
- une augmentation du nombre de fruits par bouquet ou augmentation du poids moyen et du calibre des fruits ;
- une amélioration des rendements en début de récolte et pendant plus d'un mois après l'arrêt de l'enrichissement."

Peux-tu dire ce que provoque l'augmentation de la quantité de gaz envoyé ?

9 - Construction du statut de "nourriture" pour le dioxyde de carbone en appliquant le critère nutritif utilisé pour l'eau et les sels minéraux.

10 - Synthèse des entrées et des sorties d'une plante verte qui se nourrit et qui respire. Identification du double statut du dioxyde de carbone. Confrontation.

11 - Expressions de ces nouvelles représentations, à l'aide du même schéma qu'en 1.

12 - Comparaison des résultats obtenus en 1 et en 11. Explicitation des différences et des points communs.

13 - Évaluation des connaissances, l'année suivante en Cinquième, demandant de commenter des phrases écrites par les élèves sur le statut du dioxyde de carbone chez les plantes vertes.

2.3. Les leviers

Quand nous avons construit cette séquence, nous avons prévu différentes activités pour les élèves, et en particulier celles qui nous ont semblé susceptibles de faire évoluer les représentations vers le concept scientifique ; nous les avons appelées activités-leviers.

une information
scientifique
est donnée
aux élèves

Les activités-leviers de ce scénario, c'est-à-dire capables de déstabiliser l'élève par une confrontation soit avec le groupe classe soit avec des résultats scientifiques, capables de lui donner envie de chercher une autre réponse que celle qu'il avait jusqu'alors, sont celles qui correspondent aux numéros 2, 7, 8, et 10. En quoi sont-elles leviers ?

- **Activité 2 : Confrontation des représentations dans le groupe-classe**

activités prévues
par l'enseignant
pour faire évoluer
les
représentations

Cette activité devrait permettre aux élèves d'expliciter leurs représentations, d'argumenter, de prendre conscience de l'existence de plusieurs systèmes explicatifs, de confronter leurs points de vue à ceux des autres, et de garder, de modifier ou de changer d'opinion, mais dans tous les cas d'être un peu déstabilisés par les autres, donc plus réceptifs et plus engagés pour la suite de la séquence. Cette activité permet aussi de mobiliser leurs explications personnelles pour que ce soit bien la pensée personnelle des élèves et non un savoir scolaire extérieur qui soit mis en jeu et questionné.

- **Activité 7 : Interprétation des résultats de l'expérience de Van Helmont**

Cette activité est perçue avant la séance comme déclenchante car elle devrait mettre en évidence que l'eau et les sels minéraux ne suffisent pas pour justifier l'augmentation de masse du saule, donc de "couler les fondations" de l'idée de la nécessité d'une autre nourriture prise dans l'air.

- **Activité 8 : Préviation du taux de CO₂ et confrontation avec les résultats scientifiques**

La préviation du taux de dioxyde de carbone nécessaire à une croissance plus rapide et à une production plus abondante de tomates permet de faire exprimer les représentations des élèves à propos de ce gaz. La confrontation de ces différents points de vue entre eux, puis à la réalité, est déstabilisante. Cette activité montre qu'on obtient plus de tomates, plus grosses, avec plus de dioxyde de carbone, ce qui est exactement l'inverse de ce que croit la majorité des élèves. Comme les élèves ne mettent pas en cause des résultats dits scientifiques, ils sont obligés de construire de nouvelles connaissances pour en tenir compte.

- **Activité 10 : Identification du double statut du dioxyde de carbone**

Les élèves ont avant la leçon l'idée que le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire nocif donc rejeté. Cette leçon vise à leur faire construire l'idée que ce gaz est une nourriture entrant dans la plante. L'activité 10 devrait permettre de préciser les deux fonctions et de souligner que ce gaz a deux statuts, idée très dérangementante car il entre et il sort, il participe à la respiration et à la nutrition. De plus ce gaz réputé "mauvais" se révèle être une nourriture de la plante, idée très difficile à accepter. Cette activité récapitulative a aussi pour objectif de prendre conscience de ce qu'on pensait à propos de ce gaz.

Étapes du scénario	Parcours supposé dans la préparation	Parcours de Pierre-Yves
Activité 2 : à partir du schéma à compléter	La plante verte se nourrit d'eau et de sels minéraux puisés dans la terre. La plante verte respire de l'oxygène et rejette du dioxyde de carbone nocif.	Aucune entrée alimentaire. Gaz respiratoires correctement placés. <i>"Les gaz ça sert à respirer."</i>
Activité 7 : expérience de Van Helmont	La plante verte ne peut pas fabriquer sa matière uniquement avec de l'eau et des sels minéraux. Nécessité d'une autre nourriture puisée dans l'air.	<i>"Le saule fait sa propre nourriture, ça peut pas être les gaz qui nourrissent l'arbre, les gaz c'est pour respirer, ça sert pas à se nourrir."</i>
Activité 8 : culture de tomates prévisions	0,03 % de dioxyde de carbone (ou moins) permettra la meilleure croissance car ce gaz est nocif pour la plante	<i>"Il faut diminuer le CO₂, le CO₂ n'est pas une nourriture pour la plante."</i>
après discussion	Déstabilisation, certains élèves disent qu'il faut moins de dioxyde de carbone, d'autres plus, d'autres autant.	<i>"Il ne lui faut pas plus de CO₂ car ce n'est pas une nourriture pour la plante."</i>
après confrontation aux résultats scientifiques	Il faut plus de dioxyde de carbone, pour obtenir plus de tomates plus grosses.	<i>"Le CO₂ est le gaz que rejette la plante et non qu'elle absorbe."</i> Il écrit la correction sur son cahier.
Activité 10 : synthèse des entrées et des sorties	Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire sortant et un gaz nutritif entrant.	Double statut constaté : <i>"Ce n'est pas possible que le CO₂ soit nourriture et respiratoire."</i>
Activité 11 : reprise du schéma à compléter	De l'oxygène, du dioxyde de carbone, de l'eau et des sels minéraux entrent dans la plante ; du dioxyde de carbone, de l'eau et de l'oxygène en sortent.	Entrée d'eau et de sels minéraux comme nourriture. Gaz respiratoires bien placés.
Activité 13 : évaluation un an après	Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire et une nourriture. Le dioxyde de carbone est de la matière. Les gaz sont de la matière.	CO ₂ gaz respiratoire rejeté, eau et sels minéraux comme nourritures. Entrée d'O ₂ et de CO ₂ respiratoires.

Parcours d'Élodie	Parcours de Carole
<p>Entrée de sels minéraux. Gaz respiratoires correctement placés.</p>	<p>Entrée de sels minéraux. Gaz respiratoires correctement placés.</p>
<p><i>"Il faut très peu de sels minéraux pour grossir. Il se nourrit avec quelque chose qu'il fabrique lui-même."</i></p>	<p><i>"La terre contient d'autres aliments que les sels minéraux, nous on ne se nourrit pas avec les gaz qu'on respire."</i></p>
<p><i>"Plus de CO₂ car la tomate vivra moins donc grandira plus vite voulant trouver de l'O₂, ça l'obligera à grossir."</i></p>	<p><i>"Il faut augmenter le CO₂ car ça doit faire grossir la tomate donc la rendre plus volumineuse, car les plantes respirent donc elles prennent du gaz."</i></p>
<p><i>"Si CO₂ était réellement une nourriture pour la plante, pourquoi le rejetterait-elle ? Il faut diminuer la quantité de CO₂ dans l'air pour trouver autre chose."</i></p>	<p><i>"Oui et non, car je pense que la plante peut se nourrir de CO₂, mais en même temps que le CO₂ est un gaz toxique, car elle le rejette, donc elle n'en veut pas ou elle puise quelque chose dedans."</i></p>
<p><i>Le CO₂ est une nourriture</i> (application du critère : augmentation de masse).</p>	<p><i>"Je pense que le CO₂ apporte un gaz dont la plante a besoin et qu'elle puise avant de le rejeter, donc de la nourriture".</i></p>
<p>Double statut constaté. <i>"Je ne pense pas que ce soit possible ce n'est pas palpable et c'est invisible or je croyais qu'une nourriture devait être palpable et visible, mais je me rends compte que ce n'est pas obligatoire ça me paraît quand même bizarre parce que si elle rejette pour respirer pourquoi elle garderait pas pour sa nourriture ?"</i></p>	<p>Double statut constaté. <i>"Cela ne me semble pas possible car nous les hommes on peut pas se nourrir de gaz"</i></p>
<p>Entrée d'eau, de sels minéraux et de CO₂ comme nourritures. Gaz respiratoires correctement placés. <i>"je me demandais pourquoi elle le rejetait pour le reprendre, après avoir réfléchi, je trouve cela logique car le conduit nourriture et le conduit respiration n'est pas le même."</i></p>	<p>Entrée d'eau, de sels minéraux et de CO₂ comme nourritures.</p>
<p>CO₂ nourriture et respiratoire.</p>	<p>CO₂ nourriture et respiratoire. CO₂ nocif, il est rejeté.</p>

3. TROIS PARCOURS D'ÉLÈVES

parcours supposé
par l'enseignant
et parcours réels
d'élèves

Ces activités ont-elles fonctionné comme prévu ?

Le tableau qui précède essaie de montrer le parcours supposé par l'enseignant, en parallèle avec trois parcours d'élèves choisis pour leurs différences : celui de Pierre-Yves, seul élève à ne pas avoir changé d'idée, et ceux d'Élodie et de Carole qui ont changé d'avis, mais pas là où on s'y attendait, ni avec les arguments prévus.

3.1. Activités-leviers et moments-clés

les activités-
leviers ne
correspondent
pas toujours aux
moments clés

Si on compare les activités-leviers et les moments-clés correspondant à ces trois élèves, on s'aperçoit qu'aucune activité n'entraîne de changement chez Pierre-Yves. On peut penser qu'un obstacle d'ordre psychologique l'empêche de changer d'avis de façon générale, pour ne pas être déstabilisé. Il a une certitude et s'y cramponne.

L'activité 7 amène bien Élodie à penser qu'autre chose que l'eau et les sels minéraux est nécessaire pour nourrir la plante verte. Mais comme elle refuse qu'un gaz puisse être une nourriture elle avance l'idée que la plante fabrique quelque chose par ailleurs, solide ou liquide, qui puisse être une nourriture.

Les prévisions demandées par l'activité 8 l'amènent à proposer plus de dioxyde de carbone, mais pas avec l'idée que plus de dioxyde de carbone signifie plus de carbone, donc plus de matière-plante. Pour elle l'apport excédentaire d'un gaz nocif va placer la plante dans des conditions défavorables, ce qui l'obligera à réagir, à grossir pour survivre. La confrontation avec les autres élèves l'amène à discuter l'argument "dioxyde de carbone nourriture". Elle bute sur le fait que la plante rejeterait ce qui serait bon pour elle ! Ca ne lui paraît pas possible, elle arrive donc à la conclusion qu'il faut trouver une autre nourriture. Mais le verdict scientifique, verdict qu'elle ne peut refuser, tombe : le dioxyde de carbone permet d'obtenir plus de tomates et des tomates plus grosses, donc le dioxyde de carbone est une nourriture. D'accord...mais, dit-elle. Elle admet, avec surprise, que la nourriture peut ne pas être palpable, mais dans ce cas, pourquoi la rejeter au lieu de la garder ? C'est au cours de l'activité 11 que se situe le moment-clé pour cette élève. Elle trouve, seule, un argument qui lui permet d'accepter ce qu'on lui dit : le conduit nourriture et le conduit respiratoire n'étant pas les mêmes, le dioxyde de carbone est obligé d'entrer et de sortir plutôt que de rester à l'intérieur. En définitive, elle accepte que le dioxyde de carbone soit un gaz respiratoire et nutritif, et, après un parcours très personnel, arrive à la conclusion souhaitée par le professeur.

pourquoi rejeter
ce qui est bon ?

Quant à Carole, elle accepte avec Van Helmont qu'autre chose que l'eau et les sels minéraux soit nécessaire à l'alimentation de la plante. Mais comme elle refuse que le gaz

le CO₂ n'est pas
une nourriture
mais il en
contient

soit une nourriture, elle doit chercher l'origine d'une autre nourriture. Elle ne pense pas qu'elle puisse venir de l'air ni de la plante, donc elle cherche quelque chose présent dans la terre autre que les sels minéraux.

Les prévisions demandées par l'activité 8 lui font augmenter le dioxyde de carbone, mais elle pense qu'il fera "gonfler" la tomate. Les résultats scientifiques étant incontestables, il lui faut bien accepter qu'une augmentation de dioxyde de carbone entraîne une augmentation de la taille et du nombre de tomates. Comment concilier cette affirmation avec son refus du dioxyde de carbone nourriture ? Par comparaison avec l'alimentation humaine, elle affirme que le dioxyde de carbone n'est pas une nourriture mais qu'il peut contenir quelque chose qui pourrait en être une.

À la fin de la leçon, elle dira que le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire et nutritif, mais persiste dans l'idée qu'il est nocif et rejeté. On peut penser qu'elle ne sera convaincue que lorsqu'elle arrivera à considérer les plantes comme un groupe à part entière, sans référence à l'homme.

une stratégie
pour ne pas
abandonner ses
représentations

En essayant de comprendre comment les élèves apprennent, on s'aperçoit qu'ils cherchent à concilier ce à quoi ils croient avec ce que le professeur ou ce que l'expérience dit. Ils n'abandonnent pas brutalement leurs idées. Dans une réaction qu'on pourrait qualifier de défense et de bonne santé, ils essaient de trouver une formulation qui ne refuse ni l'un ni l'autre.

Carole :

le dioxyde de carbone ne peut pas être une nourriture,
(représentation)

le dioxyde de carbone est une nourriture,
(résultats scientifiques)

▼
*le dioxyde de carbone renferme quelque chose qui peut être
une nourriture.*

Élodie :

*Le dioxyde de carbone est nocif pour la plante donc rejeté,
le dioxyde de carbone est une nourriture donc bonne
pour elle et entrant dans la plante,*

▼
*le conduit nourriture et le conduit respiratoire ne sont pas
les mêmes.*

(peut-être sur le modèle des eaux propres et des eaux usées ?)

3.2. Ce qui leur fait changer d'avis

Ces analyses se révèlent très riches d'enseignement sur le fonctionnement des élèves. Cette attitude "conciliatrice" d'idées mêmes opposées n'est pas la seule rencontrée. L'étude des parcours de tous les élèves d'une classe a montré que plusieurs comportements étaient présents. On a pu remarquer que différentes choses étaient susceptibles de les faire changer d'avis. On peut citer le parcours d'Amina (6)

les leviers
sont différents
selon les élèves

(6) Relevé de Françoise Garot, enseignante dans cette classe.

qui accepte dès le début le fait que le dioxyde de carbone soit un aliment, mais qui abandonnera son idée au cours du travail, sous la pression trop forte du groupe.

	Amina
Expression des représentations et confrontation	Entrées d'eau, de vitamines et de terre, gaz respiratoires correctement placés. <i>"Tout ce qui est bon ça se dissout, autrement ça ressort, les gaz c'est de l'air pour lui permettre de respirer, mais ça peut être aussi une nourriture, comme dans une boisson gazeuse, il y a du gaz."</i>
Interprétation de l'expérience de Van Helmont, puis confrontation	<i>"C'est l'eau de pluie qui a produit son augmentation de matière. Je sais que l'arbre fabrique sa nourriture donc l'eau de pluie + les sels minéraux ça justifie son augmentation de matière."</i>

Quant à Sébastien la discussion ne le fait pas changer d'avis, mais l'apport de résultats scientifiques est pour lui décisif

	Sébastien
Prévisions pour la culture des tomates	<i>"Moins de CO₂ car peut-être qu'elle aura plus d'O₂, peut-être qu'elle se sentira mieux avec encore moins de CO₂."</i>
Après discussion	<i>"Je crois que si on change rien pour le CO₂ les tomates resteront normales et si on rajoute du CO₂ je pense que ça ne fera rien car je ne pense pas que le CO₂ soit une nourriture."</i>
Après résultats scientifiques	<i>"Le CO₂ est une nourriture car il apporte une augmentation de masse."</i>

Les processus utilisés par les élèves se révèlent très différents d'un élève à l'autre. Malgré ou à cause de cette diversité, chacun arrive en fin d'apprentissage à des formulations concernant le statut du dioxyde de carbone.

3.3. Six formulations différentes

six formulations finales en 6°

Le recensement des réponses des élèves de Sixième par rapport au dioxyde de carbone permet de mettre en évidence six formulations différentes, toutes justes, mais plus ou moins élaborées.

- 1 - Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire qui est rejeté.
- 2 - Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte.
- 3 - Le dioxyde de carbone besoin nutritif de la plante verte, au même titre que la lumière, entre dans la plante.
- 4 - Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte, au même titre que l'eau et les sels minéraux.
- 5 - Le dioxyde de carbone entre et sert à la fabrication de la matière-plante avec l'eau et les sels minéraux.

6 - Le dioxyde de carbone est une nourriture et un gaz respiratoire (formulation souhaitée par l'enseignant à la fin de la séquence).

Bien que tous les élèves n'aient pas atteint le niveau souhaité par l'enseignant et les programmes, on peut cependant noter de réels progrès chez les élèves proposant les autres formulations.

des progrès chez
presque tous
les élèves

Essayons de préciser les progrès nécessaires au passage d'un niveau de formulation à un autre.

- **Niveau 1 : Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire qui est rejeté**

Le gaz est lié à la respiration et au rejet, le rejet à la nocivité. Le gaz est attaché à une catégorie étanche et exclusive d'une autre : il est respiratoire et ne peut être nutritif. Il est dévalorisé : ce qui est rejeté appartient aux déchets, à ce que le corps ne veut pas, n'a pas besoin, ou ce qui est mauvais pour lui. Rejet des toxines, de la sueur, des flatulences, des excréments... mais aussi images des tuyaux d'échappement, des cheminées, des conduites d'eau usée... Il est localisé dans l'air expiré, mis en évidence par le trouble de l'eau de chaux. Un gaz qui trouble ne peut être bon ! On retrouve ici les trois modes de pensée précédemment cités faisant obstacle à l'idée du dioxyde de carbone nourriture pour les plantes vertes.

- **Niveau 2 : Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte**

Progrès : Appartenir à deux catégories.

Envisager l'entrée du gaz dans la plante, alors qu'on ne le voit pas, peut apparaître comme un progrès par rapport à l'image de souffle rejeté vue précédemment. Il faut cependant penser que l'entrée de ce gaz peut être assimilée à celle du gaz inspiré de la respiration pulmonaire, ce qui ne constitue donc pas automatiquement un progrès.

Si ce gaz entre, il appartient alors à une autre catégorie de substances qui regroupe celles dont le corps a besoin (oxygène et aliments) et celles qui entrent dans le corps en provoquant des conséquences néfastes (microbes, poisons). Le caractère de nocivité n'est pas attaché uniquement aux substances rejetées, mais si tous les déchets sont perçus comme nocifs s'ils restent à l'intérieur, les substances entrant dans l'organisme peuvent avoir des conséquences soit heureuses, soit malheureuses.

- **Niveau 3 : Le dioxyde de carbone, besoin nutritif de la plante verte, au même titre que la lumière, entre dans la plante**

Progrès : Perte du caractère nocif, passage de la respiration à la nutrition.

Le gaz est valorisé puisqu'il va permettre à la plante de vivre et de croître, d'augmenter de masse, de taille.

du besoin
nutritif...

- **Niveau 4 : Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte, au même titre que l'eau et les sels minéraux**

...à la
nourriture...

Le gaz dioxyde de carbone est vu comme nourriture, donc distingué du soleil, et rapproché de l'eau et des sels minéraux. Les élèves ayant atteint ce niveau de formulation sont capables de séparer deux types de besoins nutritifs, l'eau, les sels minéraux et le dioxyde de carbone qui constituent la nourriture de la plante, et le soleil, vu comme une source d'énergie. C'est le fait de rapprocher le dioxyde de carbone, des sels minéraux et de l'eau qui va permettre d'attribuer le caractère de nourriture au gaz, puisque l'eau et les sels minéraux en sont indiscutablement. Le critère nutritif commun à tous sera lié à l'augmentation de masse provoquée.

Progrès : Distinction de plusieurs catégories dans un même ensemble à l'aide de critères différents.

- **Niveau 5 : Le dioxyde de carbone entre et sert à la fabrication de la matière-plante avec l'eau et les sels minéraux**

On reconnaît au gaz un rôle supplémentaire, comme constituant de la matière.

Progrès : Le dioxyde de carbone identifié comme nourriture, par analogie avec d'autres aliments entrant dans l'organisme, acquiert un autre caractère qui renforce sa qualification.

...dont le rôle
se précise

Non seulement il entraîne une augmentation de masse, mais sa matière participe à la construction de la matière-plante.

- **Niveau 6 : Le dioxyde de carbone est une nourriture et un gaz respiratoire**

On quitte la pensée catégorielle pour envisager deux fonctions pour le même gaz, et même deux fonctions apparemment contradictoires.

Progrès : Abandon du mode de raisonnement un gaz/un rôle, du type un organe/une fonction, au profit d'un raisonnement plus élaboré.

À noter que la chronologie proposée ici n'est pas obligatoirement celle suivie par les élèves, ils peuvent admettre le double statut du dioxyde de carbone, sans avoir pour autant construit le critère de constituant de la matière, le critère augmentation de masse étant suffisant pour admettre le double statut.

Des progrès peuvent donc être réels, même si la formulation finale n'est pas celle qui est attendue.

CONCLUSION

Cette recherche nous aura apporté un regard nouveau sur les représentations qu'on ne verra plus isolément, mais dans un réseau qui constitue un ou plusieurs obstacles liés à une utilisation inadéquate de modes de pensée. Elle nous aura permis de caractériser l'obstacle étudié en comprenant mieux sa constance, sa persistance, et sa résistance.

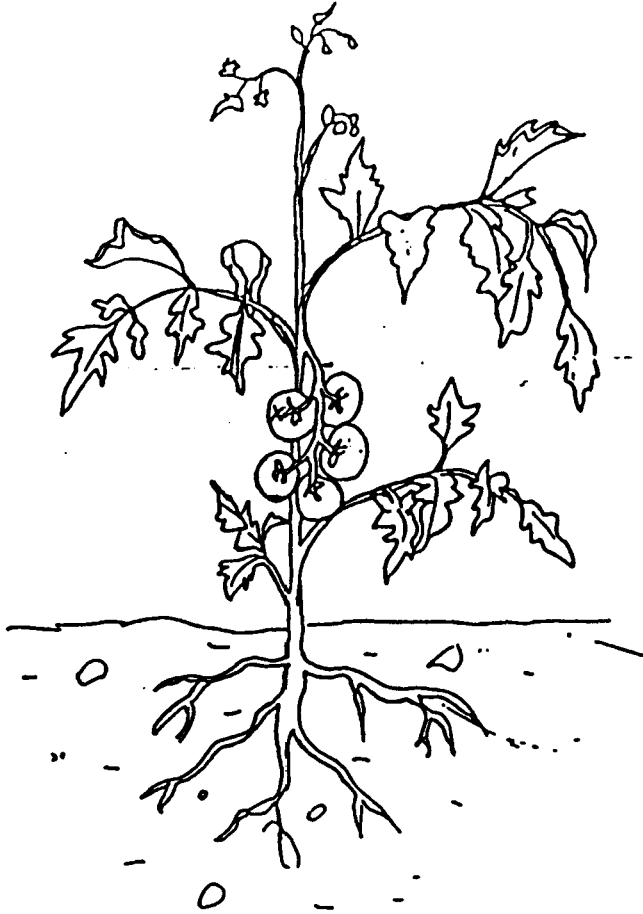
c'est positif
même si ce n'est
pas ce qu'on
attendait

Cet obstacle nous a permis de définir un objectif-obstacle en le formulant différemment selon le niveau d'enseignement et selon le concept scientifique concerné. Construire des séquences centrées sur un obstacle nous a amenés à distinguer et à mettre en relation dans la préparation d'une séquence ce qui relève du concept, du travail sur l'obstacle, du pédagogique et de l'activité intellectuelle supposée de l'élève. Cette distinction s'est avérée très difficile car elle nous a obligés à préciser et à distinguer chacun de ces quatre domaines. L'étude des productions d'élèves permettant de cerner l'activité réelle des élèves a montré que les moments-clés, c'est-à-dire les changements réels des élèves, ne se trouvent pas tout à fait au même endroit ni au même moment que les activités-leviers prévues par le scénario pédagogique et didactique. Quant aux formulations finales elles sont plus diverses que celle souhaitée par le programme, souvent moins élaborées, mais elles sont cependant le résultat d'un vrai travail et montrent de réels progrès. La diversité des raisonnements mis en jeu par les élèves dans cette séquence nous apporte quelques réponses, même s'il reste beaucoup à découvrir, à la question : comment apprennent-ils ?

Marie SAUVAGEOT-SKIBINE
Service Culturel
de l'Ambassade de France
au Caire

ANNEXE

Indique sur le schéma du pied de tomate, par des flèches et des légendes, comment la plante se nourrit (en rouge) et comment elle respire (en bleu).



DES ÉLÈVES DANS UN LABYRINTHE D'OBSTACLES

Pierre Fillon

Des études ont montré que de nombreux élèves, ayant suivi un cursus scientifique complet au collège et au lycée, ne maîtrisent pas le concept de réaction chimique.

Nous nous proposons de montrer, par une étude de cas de la dynamique des échanges entre trois élèves d'une classe de Troisième, que lors du passage du phénomène de la réaction chimique à son modèle (l'équation-bilan), les élèves mobilisent de nombreuses représentations et modes de raisonnement spontanés qui se dressent en obstacles à l'apprentissage du concept.

Par une stratégie pédagogique s'appuyant sur la démarche expérimentale, nous proposons de guider les élèves dans des situations où ils ont la possibilité d'exprimer leurs idées et de les confronter à celles de leurs camarades et à l'expérience. Nous leur offrons ainsi les moyens de travailler les différents obstacles et de les surmonter progressivement.

La connaissance de ces obstacles à l'apprentissage devrait faciliter la construction par les professeurs de situations d'enseignement pour aider leurs élèves à les franchir et leur permettre ainsi d'accéder au concept de réaction chimique.

Les instructions officielles qui se sont succédées depuis vingt ans prévoient la construction progressive du concept de réaction chimique du collège au lycée. Or des recherches en didactique menées par H. Stravidou (1990) portant sur la réaction chimique, et une étude sur les résultats des élèves au baccalauréat scientifique, réalisée par M. Goffard (1993), ont montré qu'une proportion non négligeable des élèves qui ont suivi un cursus scientifique complet ne maîtrise pas ce concept.

Trois hypothèses peuvent être proposées pour expliquer ce constat.

trois hypothèses
pour expliquer
la mauvaise
maîtrise du
concept
de réaction
chimique par
les élèves

- La réaction chimique est un concept intégrateur difficile qui nécessite de maîtriser simultanément un ensemble de concepts de la chimie.
- Dans l'apprentissage de ce concept central de la chimie, les élèves se heurtent à de nombreux obstacles qu'ils ne sont pas en mesure de surmonter.
- Les stratégies pédagogiques que mettent en œuvre les professeurs pour faire construire le savoir en chimie ne permettent pas aux élèves de surmonter les obstacles qu'ils rencontrent. On peut penser que ces stratégies ne donnent pas aux élèves l'occasion d'exprimer les idées qui font obstacles aux apprentissages et ne permettent pas ainsi aux professeurs d'en prendre conscience. Ces derniers ne connaissant pas les idées-obstacles à la construction du

dans le cadre
d'une recherche
INRP sur les
objectifs-obstacles
et les situations
d'apprentissage...

... une analyse
des échanges
entre trois élèves
pour mieux
comprendre
les obstacles à
l'apprentissage...

... et permettre
aux élèves
un début
de construction
du savoir sur
la réaction
chimique

savoir en chimie ne sont pas en mesure de remédier aux difficultés rencontrées par les élèves.

La recherche "Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de la matière", menée à l'INRP de 1991 à 1995, qui s'inscrit dans cette problématique, avait pour but de :

- conduire une réflexion sur les idées qui font obstacle à la construction du savoir dans les disciplines concernées par les transformations de la matière ;
- construire des situations d'apprentissage qui, en prenant ces obstacles comme objectifs, seraient susceptibles d'amener les élèves à les surmonter.

Ces études ont été complétées par une réflexion théorique plus générale sur le concept didactique d'objectif-obstacle.

La situation de classe qui est présentée et analysée dans cet article concerne la première préoccupation de la recherche. À partir d'une étude de cas qui s'intéresse aux échanges verbaux entre trois élèves d'une classe de Troisième, nous nous proposons de montrer que chacun des élèves se déplace dans un dédale d'idées et de modes de raisonnement au gré des influences mutuelles entre élèves et des situations proposées. Le but de ce travail est de mieux connaître les différents éléments du labyrinthe et le comportement des élèves dans celui-ci.

Cette situation didactique, qui est conçue pour que l'élève s'exprime en formalisant ses représentations et modes de raisonnement spontanés, n'est pas cependant totalement déconnectée de la deuxième préoccupation de la recherche. En effet, elle peut permettre de déstabiliser l'élève par rapport à ses propres représentations par une confrontation avec les idées différentes de ses camarades et d'autre part avec l'expérience. Cette phase constitue la première étape d'une stratégie de traitement des obstacles (J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi, 1993). En outre, elle comprend aussi une amorce de reconstruction des savoirs propres de l'élève à partir des idées échangées avec les autres. Dans la situation analysée, cette reconstruction partielle de savoir n'est pas stabilisée par une institutionnalisation qui sera réalisée ultérieurement par le professeur.

Des études antérieures ont permis de faire un recensement de certaines représentations et modes de raisonnement que mettent en œuvre les élèves en chimie. Mais ces études ne se sont pas interrogées sur les obstacles que peuvent constituer ces idées pour la construction du savoir chez les élèves. Nous avons donc fait l'hypothèse que certaines de ces idées (et d'autres que nous avons relevées dans nos classes) sont source d'obstacle à l'apprentissage. Nous les exposerons en premier.

Ensuite, nous présenterons le scénario conceptuel de la situation didactique qui a été proposée aux élèves dans le but de les confronter aux obstacles sélectionnés.

cette analyse nous permettra d'apporter des éléments de réponse à quatre questions

Enfin, l'analyse des échanges entre trois élèves permettra d'apporter des éléments de réponse aux quatre questions suivantes.

- Quelles sont les idées-obstacles auxquelles se heurtent effectivement les élèves dans la situation didactique proposée ? Ces idées sont-elles dépendantes les unes des autres ? Sont-elles organisées en réseau ? Dans ce cas, quel est son fonctionnement ?
- Quelle utilité présente chacune de ces idées pour l'élève ? Que lui permettent-elles de comprendre (même si cela va à l'encontre du savoir scientifique à construire) ?
- Qu'empêche de comprendre chaque idée-obstacle ?
- Quelle est la part des différents éléments (idées-obstacles, contrat didactique, situation proposée, personnalités et statuts des élèves, etc.) qui entrent dans la dynamique des idées échangées ?

1. QUELS OBSTACLES SONT SUSCEPTIBLES DE RENCONTRER LES ÉLÈVES ?

un domaine de recherche encore peu exploré

Pour construire la séquence d'enseignement et analyser les échanges entre élèves, nous nous sommes appuyés sur des recueils de conceptions spontanées des élèves en chimie que nous fournit la littérature didactique. Comme le soulignent J. Carretto et R. Viovy dans le n° 18 de la revue *Aster* portant sur la réaction chimique, ce champ de recherche n'a pas été l'objet d'une investigation très développée. Cela est particulièrement vrai dans le cas des représentations et des modes de raisonnement que mettent en œuvre les élèves pour assurer l'articulation entre les deux registres de description des phénomènes chimiques (celui du phénomène et celui du modèle). Cependant les travaux de C. Salomonidou et H. Stravidou mais aussi ceux de E. Roletto et B. Piacenza nous apportent quelques éléments de réponses en termes de représentations.

Nous nous sommes aussi appuyés sur des hypothèses concernant des obstacles à l'apprentissage non identifiés dans la littérature et émises à partir d'observations de classes que nous avons réalisées dans cette recherche.

1.1. Les résultats des travaux antérieurs

Les travaux de didactique antérieurs à notre recherche ont été un point de départ pour notre travail. Néanmoins deux aspects ont limité leurs portées.

- Ils portent essentiellement, comme nous venons de le dire, sur l'analyse des représentations des élèves sur le concept de substance et celui de réaction chimique. Ces représentations n'ont pas été analysées en termes d'obstacles.
- Ces travaux n'envisagent que partiellement les effets des connaissances apportées par le cours de chimie. Ils portent

surtout sur les conceptions des élèves avant l'étude de la chimie. La réorganisation qui se produit nécessairement dans l'esprit de l'élève conduit à l'émergence de nouvelles représentations liées à l'enseignement.

Les principales représentations recensées sont les suivantes.

- Les élèves procèdent à la reconnaissance des substances et des phénomènes à partir de leurs traits sensibles.
- Les élèves considèrent que les substances peuvent changer leurs propriétés tout en maintenant leur identité. Ils peuvent opter pour la présence des produits de la réaction dans les réactifs.
- Les élèves ne disposent pas du concept de corps pur dans le registre phénoménologique.
- Les élèves ne possédant pas le concept de corps pur, sa mise en relation dans le registre du modèle avec le concept de molécule ne peut être réalisée convenablement. Après une initiation à la chimie, les élèves assimilent les corps purs aux seuls corps simples ; les corps composés étant assimilés à des mélanges de corps simples.
- Les élèves, qui ne possèdent pas le principe de conservation de la masse dans le registre phénoménologique, ne peuvent le mettre en relation avec celui de conservation des atomes dans le registre du modèle.
- Les élèves conçoivent, dans le registre macroscopique, les réactions chimiques en termes de destruction, de disparition de substances (centration sur les réactifs). Les interactions entre les réactifs conduisant à de nouvelles substances ne sont pas envisagées. De même, dans le registre du modèle, la réorganisation des atomes qui aboutit à la formation d'une ou plusieurs molécules différentes de celles des réactifs n'est pas perçue.

les principales représentations recensées dans la littérature...

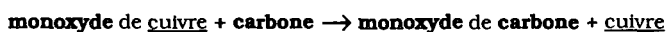
1.2. Nos propres hypothèses

À partir des différentes situations d'enseignement que nous avons construites et analysées pour la recherche, nous avons été amenés à ajouter de nouvelles représentations et raisonnements spontanés que nous avons extraits des formulations récurrentes des élèves. Les exemples les plus significatifs sont les suivants.

- Après l'étude en classe de la formation de corps composés tel que le dioxyde de carbone par combustion du carbone dans le dioxygène, les élèves réinvestissent cette connaissance dans le bilan de toute réaction chimique où se forme du dioxyde de carbone. La combustion du carbone dans le dioxygène devient alors un prototype de formation du dioxyde de carbone.
- L'application du principe de conservation dans le registre du modèle peut conduire les élèves à envisager des corps purs qui n'ont pas été mis en évidence expérimentalement.
- Dans le cas de la réaction chimique étudiée entre l'oxyde de cuivre II (appelé monoxyde de cuivre avec les élèves) et le

... et nos propres hypothèses

carbone, l'attrait que représente pour l'esprit la recherche d'un "effet de symétrie" visuelle et auditive par permutation peut orienter les raisonnements construits par les élèves vers un bilan erroné. Dans le registre macroscopique, cette recherche de symétrie peut se produire dans le bilan de la réaction avec les noms des réactifs et des produits :



dans le registre du modèle, elle peut se produire avec les symboles de certains atomes dans les diverses molécules de l'équation-bilan :



- Les formules brutes qui orientent les élèves vers l'idée que les corps composés sont des mélanges de corps simples : C--O₂ ; S--O₂ ; H₂--S.
- La centration sur l'un des réactifs (ou l'un des produits) mais aussi la facilité de construire des raisonnements à une seule variable peut empêcher la mise en place de raisonnements à plusieurs variables (elle peut expliquer, par exemple, la difficulté rencontrée, par les élèves, pour prendre en compte l'interaction des deux réactifs).
- Les généralisations abusives en étendant les domaines de validité d'une connaissance, d'un concept ou d'un modèle peuvent être à l'origine d'obstacles pour les élèves. C'est en particulier ce qui semble se produire pour la combustion du carbone dans le dioxygène qui est assimilée au prototype de formation du dioxyde de carbone.

1.3. Une proposition de classification des obstacles

Dans le tableau du doc. 1, ces représentations et modes de raisonnement spontanés ont été repris avec une formulation plus concise mais aussi plus opératoire. Ils ont été élevés au rang d'obstacle car les schèmes de pensée qu'ils constituent permettent d'une part aux élèves de construire des raisonnements pour répondre à des questions qu'ils se posent (obstacle-facilité) ; d'autre part, ils peuvent aussi leur barrer l'accès au savoir scientifique en les empêchant de comprendre, de construire certains concepts (obstacle-difficulté) (J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi, 1993). Nous présenterons des exemples des deux visages de certains de ces obstacles dans la partie portant sur l'analyse des échanges entre trois élèves.

une proposition
de classification
des obstacles :

Dans ce tableau, nous avons pris le parti de classer ces obstacles en quatre catégories dans un souci de clarté d'exposition mais aussi parce que nous pensons que ces obstacles sont de natures différentes (bien que certains obstacles puissent par certaines facettes appartenir à plusieurs catégories).

Document 1. Classification des obstacles

Registres	Obstacles liés directement à la perception	Obstacles liés indirectement à la perception	Obstacles liés à l'absence de maîtrise de certains concepts	Obstacles liés à des modes de raisonnement
m a c r o s c o p i q u e	<p>1. La mise en présence de substances solides et liquides ne peut donner des substances gazeuses.</p> <p>2. L'idée que les gaz sont de la matière et qu'ils peuvent intervenir dans une réaction chimique n'est pas disponible.</p>	<p>3. Les réactions chimiques sont envisagées comme des réalisations ou des séparations de mélanges. Les corps purs composés sont des mélanges de corps purs simples ; ces derniers conservant leur identité et certaines de leurs propriétés dans les corps purs composés.</p> <p>4. Quelle que soit la réaction chimique, la formation de certains corps composés résulte souvent de prototypes. Par exemple : la formation de dioxyde de carbone résulte de la combustion du carbone dans le dioxygène. Cette représentation peut être renforcée par le nom et la formule chimique du corps composé.</p>	<p>6. Les concepts de masse, volume, densité ainsi que le principe de conservation de la masse au cours d'une réaction chimique ne sont pas maîtrisés.</p>	<p>8. La difficulté à construire des raisonnements à plusieurs variables conduit à privilégier des raisonnements à une seule variable. Cela donne lieu en chimie à la centration sur un seul réactif.</p> <p>9. Des généralisations abusives (par extension du domaine de validité d'une connaissance, d'un concept ou d'un modèle) sont réalisées.</p>
m o d è l e		<p>5. Au cours des réactions chimiques, les molécules des corps simples ne font que s'accoler pour former les molécules des corps composés (ou inversement). Cette représentation permet une traduction des représentations 3 et 4 dans le registre du modèle.</p>	<p>7. Les concepts de molécules et d'atomes ainsi que le principe de conservation des atomes au cours d'une réaction chimique ne sont pas maîtrisés. Les relations sémantiques entre les concepts et les principes des deux registres (macroscopique et du modèle) ne sont pas encore stabilisées.</p>	<p>10. La recherche d'une "symétrie" par permutation (à partir des noms des corps purs et aussi des atomes contenus dans les molécules des réactifs et des produits) est privilégiée dans les raisonnements en raison de son aspect séduisant pour l'esprit.</p>

ceux liés
directement
à la perception

- Les obstacles liés directement à la perception se distinguent des autres car ils sont la conséquence directe de la primauté du sensible sur la conceptualisation. Ils ne passent pas par l'intermédiaire d'un premier concept tel que, par exemple, celui de mélange.

ceux liés
indirectement
à la perception,

- Les obstacles liés indirectement à la perception résultent d'une vision de l'ensemble des transformations de la matière comme de simples réalisations ou séparation de mélanges ou encore comme des combustions (lorsqu'il y a une flamme ou une incandescence). Ils permettent une économie de pensée dans le cas des réactions chimiques. Ces représentations sont aussi liées à un attachement au sensible mais au second degré car elles demandent une première conceptualisation (dans ces cas, les élèves doivent avoir construit préalablement les concepts de mélange et de combustion).

ceux liés
à l'absence
de maîtrise
de certains
concepts,

- L'absence de maîtrise de certains concepts peut devenir un obstacle à la construction de concepts intégrateurs comme celui de réaction chimique. Dans ce cas, l'obstacle prend un autre sens par rapport à ce qui a été vu précédemment : il peut être assimilé à une lacune.

ceux liés à
des modes de
raisonnement...

- Les obstacles liés à des modes de raisonnement se distinguent des autres car ils correspondent à des modes de mises en relation d'informations qui sous-tendent des raisonnements. La plupart de ces obstacles ne sont pas spécifiques à la chimie ; ils sont transdisciplinaires.

À l'exception des obstacles liés directement à la perception, les autres catégories d'obstacles possèdent des versions dans les deux registres de description des phénomènes. Pour éviter une répétition des trois obstacles liés à des modes de raisonnement, nous n'avons pas fait de distinction entre les deux registres dans le tableau.

Remarque

... et les effets
du contrat
didactique

Des éléments du contrat didactique dans la classe doivent être aussi pris en compte pour expliquer certaines démarches ainsi que l'argumentation proposées par les élèves. Nous avons relevé les exemples suivants.

- La connaissance par les élèves de la toxicité d'une substance les empêche de pouvoir envisager sa formation lors d'une réaction chimique en classe. À leurs yeux, le professeur ne peut transgresser le respect des conditions de sécurité.

- La nécessité de réinvestir des connaissances antérieures (même si elles ne sont pas adaptées à la situation, mais l'élève ne peut pas toujours le savoir) peut être source de blocages dans la construction de raisonnements par les élèves.

2. LE SCÉNARIO CONCEPTUEL DE LA SÉQUENCE

Plusieurs recherches en didactique ont dégagé les pratiques dominantes des professeurs en sciences physiques (S. Johsua, 1989 ; P. Fillon, 1993). Celles-ci présentent les caractéristiques principales suivantes.

- Le modèle pédagogique dominant des professeurs (notamment en chimie) est de type transmissif. Le caractère expérimental de la discipline ne modifie pas cet aspect. L'expérience est principalement monstrative.

- Généralement, les séquences d'enseignement ne sont pas organisées autour d'une problématique susceptible de permettre aux élèves de donner du sens aux activités expérimentales réalisées et aux concepts présentés.

- Le protocole expérimental est imposé par le professeur. Il n'est qu'à de très rares exceptions élaboré ou discuté par les élèves. En chimie, les tests de reconnaissance des produits formés sont rarement séparés dans le temps ni dans le dispositif expérimental de la réaction chimique proprement dite.

- À la fin de la séance, le concept est présenté, déjà construit, de façon extrêmement fugitive par le professeur. L'articulation entre les aspects expérimentaux et conceptuels n'est pas toujours rendue explicite pour les élèves. Ainsi, en chimie, l'équation-bilan, qui est une modélisation de la réaction chimique étudiée, est, la plupart du temps, directement présentée à la suite de l'expérience comme si le passage du registre macroscopique à celui du modèle ne posait aucun problème à l'élève. Le professeur cantonne l'élève dans le "jeu" d'équilibrage de l'équation-bilan et ne lui propose pas une réelle activité de modélisation.

Nous avons fait l'hypothèse que certaines de ces pratiques sont, en partie, à l'origine de la mauvaise maîtrise du concept de réaction chimique par les élèves. Plus particulièrement, le passage du registre macroscopique (la réaction chimique) au registre du modèle, tel qu'il est habituellement réalisé dans les classes, laisse à penser que les professeurs sous-estiment l'importance de cette étape et les obstacles auxquels sont réellement confrontés les élèves. Comme par ailleurs, les professeurs ne laissent qu'une très faible autonomie d'expression aux élèves, ces pratiques leur masquent les obstacles.

La construction de la séquence d'enseignement s'est organisée selon une double logique :

- la mise en œuvre d'un raisonnement s'appuyant sur la démarche expérimentale ;
- la mise en place d'un parcours de travail d'obstacles ; la résolution d'un premier obstacle conduisant les élèves à tomber dans un second qu'ils seront conduits à travailler à son tour.

Cette double logique permet d'assurer un compromis entre coutume didactique (la démarche expérimentale) et pratique correspondant à une logique nouvelle (le travail d'obstacles).

les pratiques pédagogiques transmissives ne permettent pas aux élèves d'exprimer et de remettre en cause leurs représentations

une double logique de construction de la séquence : la démarche expérimentale, le travail des obstacles

la réaction chimique support de la séquence d'enseignement

L'objet d'enseignement, qui a été retenu, est la réaction chimique entre l'oxyde de cuivre II (1) et le carbone qui conduit à la formation de dioxyde de carbone et de cuivre. Son équation-bilan est :



une stratégie avec des passages obligés pour les élèves

La stratégie pédagogique adoptée prend le contre-pied des pratiques traditionnelles d'enseignement. Elle a consisté à engager les élèves, en les encadrant, dans une démarche expérimentale qui leur permet de passer, par eux-mêmes, de la réaction chimique à son équation-bilan. Par une série de situations expérimentales et de questionnements, nous les avons guidés vers certaines questions que nous voulions qu'ils se posent afin qu'ils se heurtent à certaines idées-obstacles. Ces passages obligés font suite ou précèdent des expériences (proposées par le professeur ou par les élèves) qui ont pour but, pour certaines, de les surprendre et ainsi d'améliorer la dévolution de la situation. Ils sont au nombre de trois et sont situés :

- après la mise en évidence expérimentale de la perte de masse ;
- avant la caractérisation du gaz formé ;
- après la mise en évidence de la non-intervention du dioxygène de l'air.

À chaque fois, le questionnement a pour but de recentrer la réflexion des élèves sur un point du savoir dont nous avons fait l'hypothèse qu'il devait permettre l'activation d'idées-obstacles.

une gestion de classe variée pour permettre aux élèves d'exprimer et de confronter leurs idées

Par une gestion de classe variée, les élèves ont été placés en position d'exprimer personnellement leurs idées et de les confronter à celles de leurs camarades lors de discussions de groupes ou en classe entière. Cette dynamique d'ensemble conduit les élèves à un véritable travail sur les obstacles.

D'un point de vue méthodologique, pour être en mesure de déterminer le cheminement de la pensée des différents élèves, nous avons croisé les sources d'informations. D'une part, pour connaître les idées personnelles des élèves, chacune des discussions de groupe a été précédée et suivie d'un recueil, par écrit, des idées de chaque élève aux questions posées par le professeur. D'autre part, nous avons enregistré au magnétophone les trois discussions de groupe. Ces enregistrements ont été transcrits sur papier. Les transcriptions ainsi obtenues nous ont permis d'étudier la dynamique de transformation ou de résistance des idées au cours des interactions entre les élèves.

La séquence est présentée sous la forme d'un scénario conceptuel (doc. 2) qui permet, par un découpage en pages autonomes, de cerner la logique de sa construction et de son organisation. Dans chacune des pages, l'articulation entre les activités matérielles et intellectuelles est présentée.

(1) Avec les élèves, nous l'avons appelé monoxyde de cuivre pour qu'ils puissent passer seuls à la formule chimique.

On y trouvera aussi les positionnements des passages obligés (notés PO) et des discussions de groupe (notées DG) pendant lesquels les élèves sont confrontés aux obstacles que nous avons présentés précédemment.

Document 2. Scénario conceptuel de la séquence

1. L'étude d'une transformation de la matière	
1.a. Présentations	Les corps mis en présence et leurs noms (monoxyde de cuivre et carbone) sont présentés.
1.b. Réalisation (selon un premier protocole)	L'expérience est réalisée par chaque élève. Le test de reconnaissance du dioxyde de carbone n'est pas inclus dans ce protocole.
1.c. Schématisation	Le dispositif expérimental est schématisé individuellement.

2. La caractérisation de la transformation observée	
2.a. Observation	La couleur du tube est observée.
2.b. Émission d'hypothèses	Des hypothèses sont émises individuellement sur la nature du contenu du tube. Récapitulation collective des différentes réponses.
2.c. Mise à l'épreuve des hypothèses et validation de l'une d'entre elles	Les différentes hypothèses sont mises à l'épreuve par des tests de reconnaissance réalisés par le professeur. Les élèves observent et schématisent les expériences. L'hypothèse de la formation de "cuivre" est validée.
2.d. Caractérisation de la transformation	Cette caractérisation est réalisée individuellement à partir de la question suivante : "Est-ce une réaction chimique ? Si oui, écrire son bilan partiel". Reprise collective des réponses.

3. La non conservation apparente de la masse	
3.a. Réalisation (selon un deuxième protocole)	Le professeur réalise l'expérience précédente mais en introduisant un aspect quantitatif (pesées avant et après la réaction). Observation et expression collective de la perte de masse (PO1).
3.b. Émission d'hypothèses	Des hypothèses sont émises individuellement sur les causes de la diminution de la masse. Récapitulation collective des différentes réponses.
3.c. Confrontation des hypothèses	Des groupes sont formés pour permettre une confrontation des différentes hypothèses personnelles (DGI **).
3.d. Évolution des idées des élèves	Expression écrite individuelle de l'évolution des idées personnelles des élèves.
3.e. Expression d'un consensus	Les différentes idées sont récapitulées collectivement. Expression d'un consensus : un gaz s'est échappé.

* PO : passage obligé. ** DG : discussion de groupe.

4. La nature et l'origine du gaz formé	
4.a. Émission d'hypothèses	Des hypothèses sont émises individuellement sur la nature du gaz qui s'est échappé (PO2). Récapitulation collective des réponses.
4.b. Confrontation des hypothèses	Des groupes sont constitués pour permettre une confrontation des différentes hypothèses (DG2).
4.c. Évolution des idées des élèves	Expression individuelle de l'évolution des idées des élèves. Récapitulation collective : deux hypothèses sont émises (formation du monoxyde et du dioxyde de carbone).
4.d. Mise à l'épreuve d'une hypothèse	Appel à l'acquis : collectivement les élèves proposent un protocole pour permettre l'identification du dioxyde de carbone. Réalisation de l'expérience par les élèves. Schématisation individuelle. Le professeur affirme qu'il ne se forme pas du monoxyde de carbone.
4.e. Expression d'un consensus	Récapitulation collective : consensus sur la formation de dioxyde de carbone.

5. L'origine des atomes d'oxygène des molécules de dioxyde de carbone	
5.a. Émission d'hypothèses	Des hypothèses sont émises par chaque élève sur l'origine des atomes d'oxygène. Récapitulation collective ; deux origines sont proposées : le dioxygène de l'air et le monoxyde de cuivre.
5.b. Mise à l'épreuve des hypothèses	Un protocole pour tester les deux hypothèses*** est élaboré collectivement. Deux élèves réalisent ce protocole (PO3).
5.c. Évolution des idées des élèves	Expression individuelle de l'évolution des idées personnelles des élèves.
5.d. Réalisation d'un bilan de la réaction chimique étudiée	Des groupes sont formés pour permettre l'élaboration, par confrontation des idées entre élèves, d'une explication logique de la formation du cuivre et du dioxyde de carbone (DG3).

***Chauffage dans les mêmes conditions de deux tubes dont l'un contient un mélange de monoxyde de cuivre et de carbone et l'autre, uniquement du carbone.

Note : Dans l'intention de départ de l'enseignant, les différents passages obligés devaient permettre de confronter les élèves aux idées obstacles suivantes :

dans PO1 : obstacles 1 et 2 liés directement à la perception ;

dans PO2 : obstacles 3 et 4 liés aux représentations sur les réactions chimiques ;

dans PO3 : - obstacles 3 et 5 des réactions chimiques envisagées comme des réalisations ou des séparations de mélanges,

- obstacle 8 lié à la difficulté à construire des raisonnements à plusieurs variables.

3. LE CHEMINEMENT DE TROIS ÉLÈVES DANS UN LABYRINTHE D'OBSTACLES

Dans le cadre d'une étude de cas concernant les échanges entre trois élèves placés dans la situation d'enseignement qui vient d'être présentée, cette partie se propose de montrer :

une étude
de cas
concernant
les échanges
entre trois élèves

- que certains des obstacles retenus, s'organisent en réseau et sont activés ou non suivant les situations proposées et la catégorie d'élève (en difficulté ou non) ;
- que les élèves ont des cheminements différents dans ce que l'on peut appeler un labyrinthe d'obstacles et qu'ils s'influencent plus ou moins au gré des échanges selon leur personnalité, leur rapport au savoir et leur statut social dans le groupe.

Cette étude s'inscrit aussi dans l'optique d'une approche sociale de l'apprentissage. La maîtrise par l'élève de certaines coordinations lui permettant de participer à des interactions sociales plus élaborées devient source de développement cognitif (W. Doise et G. Mugny, 1981). L'interaction sociale n'agit pas sur le développement cognitif de façon linéaire mais plutôt de façon spiralaire (A.-N. Perret-Clermont, 1979).

3.1. Le profil des trois élèves

Ce sont ce qu'on appelle généralement trois bons élèves mais dont les caractéristiques sont cependant assez différentes aussi bien du point de vue de leur personnalité, de leur rapport au savoir et de leur statut social et scolaire au sein du groupe.

L'élève E_1 est reconnu comme le meilleur élève de la classe. Cette image lui confère, vis-à-vis de ses camarade un rôle d'"expert". Très réfléchi et méthodique, il est sûr de lui et a beaucoup d'ascendant sur les autres élèves. Il s'appuie sur ses propres capacités de raisonnement mais aussi sur les connaissances acquises en classe. Le statut scolaire et le rapport au savoir de cet élève, mais aussi sa personnalité très affirmée l'empêchent, comme nous le verrons, de remettre en cause ses propres idées et de faire preuve d'imagination pour émettre ou accepter des hypothèses nouvelles.

les trois élèves
n'ont pas
les mêmes
personnalités,
rapports au
savoir et statuts
dans le groupe

L'élève E_2 a un esprit vif et frondeur. Il remet facilement en cause les idées émises par les autres (même celles du professeur). C'est le moins "scolaire" des trois élèves. Il fait plus confiance à ses capacités de raisonnement et à ses acquis extra-scolaires qu'aux connaissances du cours. Nous pensons que le rôle qu'il s'est construit au sein de la classe (et vis-à-vis des professeurs) le pousse à proposer de nouvelles idées non conformistes même si elles ne sont pas toujours en cohérence avec le savoir déjà construit. Par ses questions et ses initiatives, il déstabilise à plusieurs reprises le groupe.

L'élève E_3 est très appliqué ; il essaie d'utiliser au mieux les connaissances du cours et les méthodes conseillées par le professeur. Il fait une très grande confiance à l'institution scolaire ce qui le conduit souvent à douter de ses propres idées. C'est l'élève le plus ouvert aux idées de ses camarades qu'il passe cependant au crible des connaissances du cours. Par son image d'élève soucieux d'éviter les incohérences entre les idées nouvelles de ses camarades et celles apportées par le professeur, il influence, par sa rigueur, profondément le groupe.

3.2. Le réseau d'obstacles susceptible d'être activé par la séquence d'enseignement

Dans cette séquence d'enseignement, selon les situations proposées aux élèves certains obstacles sont activés tandis que d'autres restent tapis dans l'ombre. Mais cette activation-désactivation des obstacles dépend aussi du niveau d'élaboration et de maîtrise des concepts par les élèves. Pour une même situation, les élèves n'activent pas les mêmes idées-obstacles. Cela est particulièrement sensible dans les classes hétérogènes où les élèves ne sont pas au même niveau par rapport au franchissement des obstacles.

Pour visualiser l'activation ou non de certaines idées-obstacles par rapport à l'ensemble de celles qui ont été relevées, nous avons constitué le réseau d'obstacles (2) (doc. 3) présenté à la page suivante. Dans ce réseau, lorsqu'une réponse d'élève est la manifestation d'une ou plusieurs idées-obstacles, nous avons lié par une ou plusieurs flèches les différentes idées-obstacles et leurs manifestations dans la réponse de l'élève. Lorsque certains obstacles empêchent l'émergence de certaines formulations, nous avons barré les flèches. Par exemple, l'absence de stabilité du principe de conservation de la masse empêche l'émergence de la réponse "un gaz s'est échappé".

Les idées-obstacles du réseau auxquelles se sont heurtés les trois élèves observés ont été entourées d'un rectangle gras. Elles ne représentent qu'une partie de l'ensemble des idées-obstacles potentielles auxquelles peuvent être confrontés les élèves de Troisième dans une telle situation. Nous avons pu constater que dans des classes plus faibles, la majorité des élèves ne sont pas en mesure de surmonter spontanément les différents obstacles liés directement à la perception.

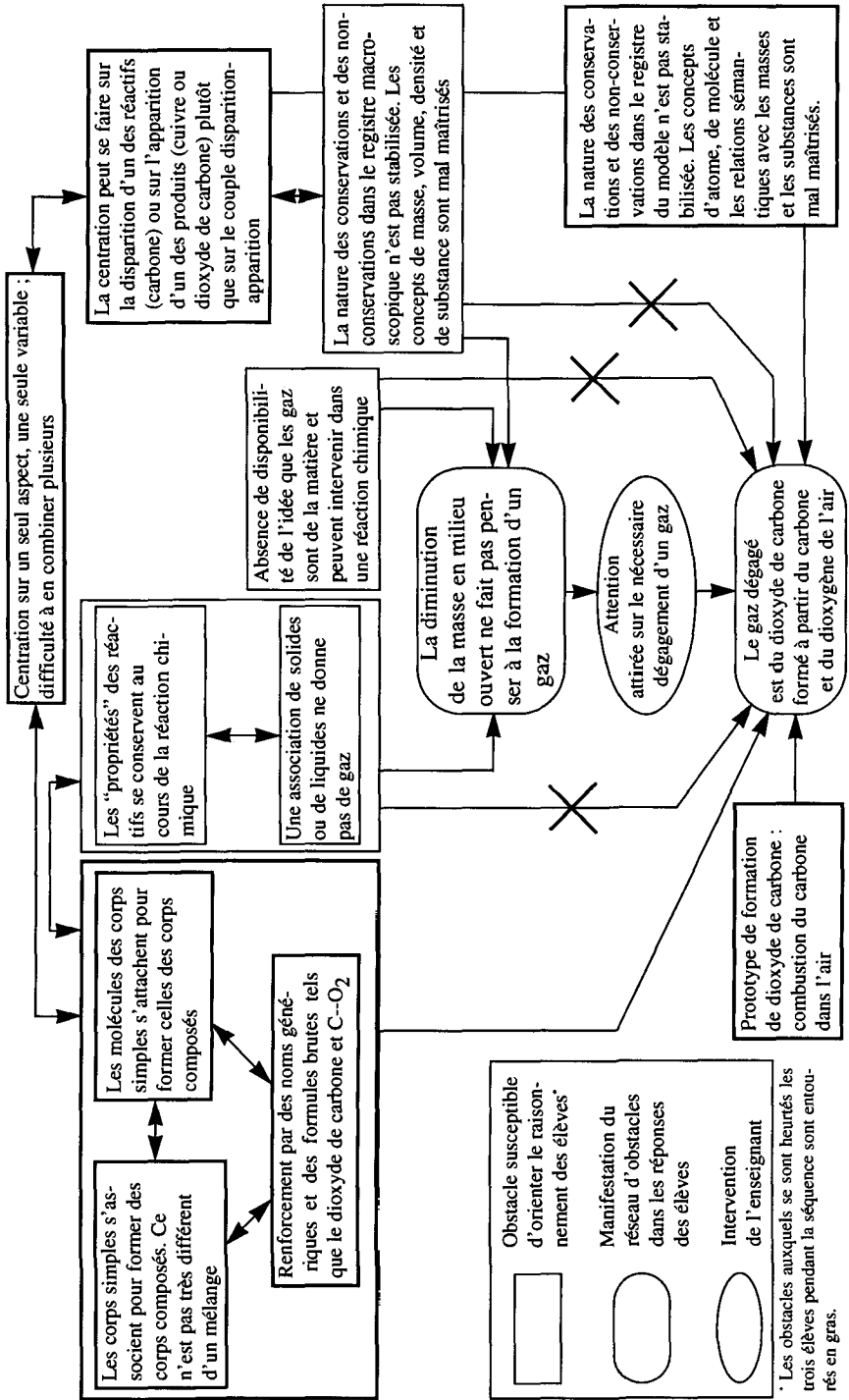
Dans cette situation d'enseignement, le premier passage obligé qui focalise les élèves sur la perte de masse pendant la réaction, nous a permis de constater que les trois élèves observés ne semblent pas être tous au même niveau par rapport au franchissement de certains obstacles liés directement à la perception. En effet, nous verrons que pour deux des trois élèves observés (E_1 et E_3), qui se trouvaient être

les obstacles
s'organisent
en réseau

suivant le niveau
des élèves et
la situation
proposée
certains
obstacles
sont activés
et d'autres non

(2) Ce réseau d'obstacles a été élaboré en collaboration avec D. Rebaud et B. Peterfalvi.

Document 3. Le réseau d'obstacles



* Les obstacles auxquels se sont heurtés les trois élèves pendant la séquence sont entourés en gras.

sensiblement au même niveau, la diminution de la masse en milieu ouvert leur a fait penser immédiatement à la formation d'un gaz pendant la réaction chimique. Nous avons donc fait l'hypothèse qu'ils avaient surmonté (du moins dans cette situation) cet obstacle lié directement à la perception et celui dû à une mauvaise maîtrise du principe de conservation de la masse au cours d'une réaction chimique. Par contre, pour l'élève E₂, qui n'a pas spontanément pensé à la formation d'un gaz, notre avis est plus réservé. Cependant, il a accepté sans aucune opposition cette idée dès qu'elle a été exprimée par ses camarades.

En revanche, les dernières parties de la séquence concernant la nature du gaz formé et l'origine des atomes d'oxygène nécessaires à sa formation activent, chez ces trois élèves, tous les obstacles liés indirectement à la perception et aux modes spontanés de raisonnement.

3.3. L'évolution des idées des trois élèves pendant la séance

Pour rendre compte de l'évolution des idées de chacun des trois élèves au cours de la séance, nous avons choisi de scinder cette étude en trois parties correspondant aux trois passages obligés (PO) qui ont été imposés aux élèves par le professeur.

Pour chacune de ces parties, nous présentons tout d'abord les idées personnelles initiales des élèves.

Ensuite les principales idées échangées, lors de la discussion de groupe qui suit, sont rassemblées dans un tableau synoptique. Elles sont reliées par deux sortes de flèches dont les significations sont les suivantes :

- les flèches \longrightarrow indiquent une reprise d'idée (modifiée ou non)

- les flèches \dashrightarrow indiquent une opposition d'idée.

Le sens des flèches informe sur le sens de l'influence ou de l'opposition. Les idées, qui sont reprises d'une discussion de groupe précédente, sont placées au dessus du tableau dans des rectangles en pointillés. Pour des raisons de lisibilité, nous avons été amenés, pour des idées éloignées dans le tableau, à faire passer certaines flèches derrière les cadres d'autres idées.

Enfin, chaque tableau est suivi d'une analyse de la dynamique de transformation et/ou de résistance des idées de chaque élève au cours des interactions.

Les idées des élèves lors du premier passage obligé

Ce premier passage obligé, imposé par le professeur, correspond à la mise en évidence expérimentale de la perte de masse du tube et de son contenu. Nous faisons l'hypothèse que cette situation est en mesure de nous permettre d'observer dans les réponses des élèves si ils ont ou non dépassé les idées-obstacles (1 et 2) liées directement à la perception.

un plan identique pour les trois parties du cheminement

un 1^{er} PO correspond aux obstacles liés directement à la perception

• **Les idées préalables des élèves**

Avant une première discussion de groupe, on propose aux élèves de répondre individuellement à la question suivante : *“Quelle est, d’après toi, la cause de la diminution de la masse du tube et de son contenu ?”*

Les réponses des trois élèves du groupe ont été les suivantes :

- l’élève E_1 : *“Le carbone brûlant dans le dioxygène a entraîné la formation de dioxyde de carbone qui est un gaz moins dense que l’air. Celui-ci s’est donc échappé du tube et donc diminue la masse du résidu.”*
- l’élève E_2 : *“changement physique du corps”*
- l’élève E_3 : *“ Je pense que la masse initiale n’est pas perdue. Le monoxyde de cuivre est formé par un atome de cuivre et un d’oxygène. La fumée qui part est la différence de masse.”*

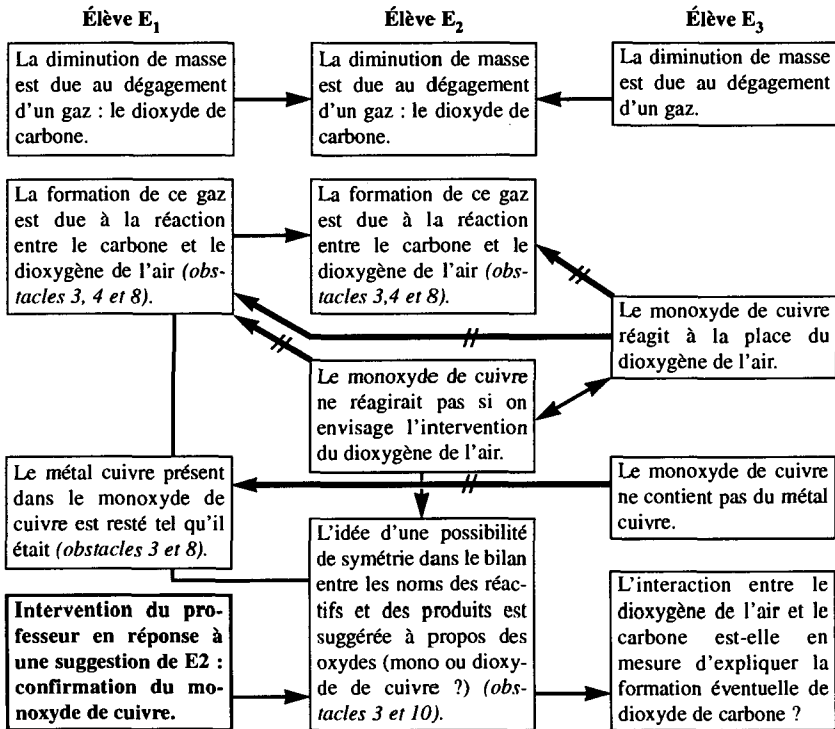
Pour expliquer la diminution de masse observée, tous les élèves se placent dans le registre macroscopique qui est suggéré par la question. Mais l’élève E_3 tente spontanément de se situer, au cours de son explication, dans l’autre registre sans aller cependant au bout de son raisonnement.

deux élèves
ont déjà franchi
les obstacles liés
directement
à la perception

L’élève E_1 propose la formation de dioxyde de carbone qui s’échappe du tube et l’explique par un prototype de réaction (idée-obstacle 4) qui pour cette question ne le détourne pas, remarquons-le, de la réponse pertinente. Pour les élèves E_1 et E_3 le concept de gaz est disponible : les idées-obstacles 1 et 2 liées directement à la perception semblent surmontées. Ils appliquent spontanément le principe de conservation de la masse au cours d’une réaction chimique. Cependant, on peut signaler que les quelques fumées qui se dégagent inmanquablement du tube au cours de cette expérience peuvent induire partiellement la réponse aux élèves.

Par contre, malgré la brièveté et l’ambiguïté de sa formulation, nous pouvons avancer que l’élève E_2 ne semble pas penser à l’éventualité de l’échappement d’un gaz (malgré la présence de fumées). Le concept de gaz et le principe de conservation de la masse ne semblent pas opératoires pour lui dans cette situation. La première discussion de groupe montrera qu’il ne défend pas son idée et qu’il se rallie immédiatement à celle proposée par ses camarades.

• **La première discussion de groupe DGI**
 - **Une vue synoptique des échanges de DG1**



- **Une analyse des échanges**

Au début de la première discussion de groupe, les élèves E₁ et E₃ convainquent aisément E₂ que la diminution de la masse est due au dégagement d'un gaz. À cet instant, les trois élèves semblent avoir surmonté les idées-obstacles 1, 2 et 6 liées à l'absence de disponibilité des gaz et de maîtrise de la conservation de la masse.

l'idée-obstacle de la réaction prototypique est exprimée par un élève

Ensuite l'élève E₂ est séduit dans un premier temps par l'idée de E₁ qui utilise l'argument de la réaction prototypique (idée-obstacle 4) entre le carbone et le dioxygène de l'air pour expliquer la formation du dioxyde de carbone : *"comme l'expérience se passe dans l'air ... quand on a le dioxygène ... il est donc ... le dioxygène en réagissant avec le carbone ... il se forme du dioxyde de carbone et dans ce cas on peut émettre comme hypothèse que le dioxyde de carbone s'est échappé du tube et que c'est comme ça que la masse du mélange a diminué..."*

Mais aussitôt E₂ émet une objection en disant qu'alors le monoxyde de cuivre n'interviendrait pas. E₁ propose alors une explication à la formation du cuivre qui montre qu'il n'a pas surmonté les obstacles 3 (les corps composés sont des mélanges de corps simples) et 8 (centration sur un seul

les élèves
s'affrontent
à propos
de plusieurs
obstacles

réactif à la fois) : *"le cuivre, à mon avis, il est resté comme il était, ... il a rougi c'est tout"*.

Simultanément l'élève E_3 s'oppose aux deux explications de E_1 en essayant de réinvestir des connaissances du cours : *"le (monoxyde de) cuivre, ça réagit pareil"* puis *"le monoxyde de cuivre, ce n'est pas du cuivre"* et encore *"c'était du monoxyde de cuivre avant, ça devient du cuivre."* Il s'appuie sur le fait que des noms différents de corps purs correspondent à des corps purs différents et que le monoxyde de cuivre peut réagir puisqu'il est présent (reprise de l'objection de E_2).

À la fin de la discussion, pour conforter son objection, E_2 demande au professeur *"si c'est bien du monoxyde de cuivre ?"*. On peut faire l'hypothèse qu'une autre idée a germé dans l'esprit de cet élève : si on avait du "dioxyde" de cuivre à la place du monoxyde de cuivre, il pourrait envisager alors que le dioxygène nécessaire, pour lui, à la combustion du carbone proviendrait de l'oxyde de cuivre à la place de l'air. Cela permettrait de faire intervenir le deuxième réactif et ainsi de supprimer une contradiction. L'obstacle de la réaction prototypique serait en partie dépassé car le dioxygène ne proviendrait plus de l'air mais de l'oxyde de cuivre. Par contre, cela met alors en évidence une deuxième idée-obstacle -3- : l'oxyde de cuivre serait un mélange de cuivre et de dioxygène (il reprend ainsi l'idée proposée par l'élève E_1 à propos de la formation du cuivre). Au cours de la transformation, le carbone brûlerait avec ce dioxygène pour former le dioxyde de carbone. Ce raisonnement n'a pas été franchement exprimé mais plusieurs phrases dites par les élèves E_1 et E_2 , dans la suite de la séance, peuvent permettre de le valider en partie (obstacle 10).

Dans cette discussion l'élève E_1 ne change pas d'idées et semble ne pas entendre les propositions de E_2 et E_3 . Par contre, ces élèves qui sont séduits (surtout E_2) par l'idée-obstacle de la réaction prototypique avancée par E_1 voudraient cependant faire intervenir le deuxième réactif. Un raisonnement spontané peut les amener à sortir de cette contradiction : c'est la recherche de symétrie par permutation au niveau macroscopique (obstacle 10). Les noms des différents corps purs qui interviennent dans le bilan peuvent les y aider par une symétrie séduisante pour l'esprit :

"dioxyde de cuivre" + carbone \longrightarrow cuivre + dioxyde de carbone

Cette idée, qui est en train de s'élaborer dans l'esprit de ces deux élèves, est peut-être à l'origine de la question que pose l'élève E_2 au professeur à propos du monoxyde ou du dioxyde de cuivre.

Ce raisonnement spontané fait avancer le raisonnement des élèves sur deux points :

- il facilite la mise en place d'une interaction entre les deux réactifs ;
- il les aide à construire un raisonnement plus complexe à plusieurs variables.

la recherche
de symétrie
dans le bilan fait
avancer
le raisonnement
des élèves...

... mais ce n'est pas un contre-poids suffisant pour empêcher la mise en œuvre de l'obstacle de la réaction prototypique

Cependant, il n'est pas un contre-poids efficace à l'idée-obstacle de la réaction prototypique. En effet, les élèves (surtout E_2 mais beaucoup moins E_3) semblent prêts à la réinvestir en l'associant à une autre idée-obstacle - 3 - concernant les corps composés qui seraient des mélanges de corps simples (le "dioxyde de cuivre" contiendrait du dioxygène susceptible de permettre la combustion du carbone).

Nous verrons, dans la troisième discussion de groupe, que les idées-obstacles 3 et 4 sont confortées par la symbolique chimique (en particulier les formules brutes de certains corps composés).

• *L'évolution des idées des élèves*

Après la discussion, on demande individuellement à chaque élève de dire si son opinion a changé. Les réponses montrent que l'élève E_1 ne semble pas avoir été ébranlé dans ses convictions au cours de la discussion.

la première discussion de groupe semble avoir fait progresser un des élèves...

L'élève E_2 dit avoir changé d'opinion mais ne précise pas ; y a-t-il conflit dans son esprit entre des idées contradictoires non stabilisées ? On peut le penser ; c'est peut-être la cause de son silence.

Enfin E_3 semble avoir progressé dans sa réflexion et est convaincu du rôle du monoxyde de cuivre dans la réaction : *"Mon opinion s'est approfondie. Je pense que le monoxyde de cuivre et le carbone ont formé du cuivre et du monoxyde de carbone (qui est peut-être la fumée)."*

Il émet pour la première fois l'hypothèse de la formation de monoxyde de carbone. Il n'indique pas les raisons de son choix mais il écrit le bilan avec les noms des corps purs de la réaction où apparaît manifestement une symétrie entre les parties situées à gauche (monoxyde de cuivre et carbone) et à droite de la flèche (monoxyde de carbone et cuivre) (obstacle 10).

Les idées des élèves lors du deuxième passage obligé

un 2^{ème} PO correspond aux obstacles liés aux représentations sur la réaction chimique dans le registre macroscopique

Ce deuxième passage obligé fait suite à la question suivante posée par le professeur : *"Quel pourrait être ce gaz ?"*. Il est réalisé avant la caractérisation du gaz formé. Nous pensons que cette situation peut conduire les élèves à exprimer des idées-obstacles liées à leurs représentations sur les réactions chimiques dans le registre macroscopique.

On peut remarquer que les élèves avaient déjà ressenti la nécessité de répondre à cette question pour justifier leurs réponses sur l'origine de la diminution de la masse observée. Cette question a été malgré tout posée de nouveau dans le but d'amener les élèves à faire le point sur leurs idées et nous permettre d'observer si ils étaient en mesure de lever les incohérences qu'ils commençaient eux-mêmes à constater dans leurs explications.

• **Le point sur les idées des élèves**

Individuellement les élèves ont exprimé les idées suivantes.

L'élève E_1 : "L'expérience se déroulant dans l'air, le carbone a donc pu réagir avec le dioxygène de l'air et donc donner du dioxyde de carbone."

L'élève E_2 : "Ce gaz pourrait être du CO_2 car, le cuivre donnant toujours du cuivre, le CO_2 serait formé avec le dioxygène de l'air et le carbone."

L'élève E_3 : "Ce gaz pourrait être le monoxyde de carbone. Au début, on a du carbone et du monoxyde de cuivre formé d'atomes de cuivre et d'oxygène. L'atome de carbone s'est assemblé avec l'atome d'oxygène et l'atome de cuivre reste comme il est. Ce gaz pourrait être aussi du dioxyde de carbone dû au dioxygène de l'air."

... mais les deux autres sont influencés par l'idée-obstacle de la réaction prototypique

Nous constatons que l'élève E_1 conserve son interprétation sur la formation du dioxyde de carbone sans être nullement influencé par le débat précédent. Il n'éprouve pas le besoin de faire interagir les deux réactifs tellement est forte l'idée-obstacle de la réaction prototypique.

L'élève E_2 fait sienne l'interprétation de E_1 et exprime la même idée mais aussi celle relative à la formation du cuivre (qui serait contenu à l'état de corps simple dans l'oxyde de cuivre). Il semble abandonner une éventuelle interaction entre le monoxyde de cuivre et le carbone.

celui qui a progressé recherche une symétrie par permutation dans le bilan et éprouve le besoin de changer de registre

Quant à l'élève E_3 , il ressent spontanément le besoin de changer de registre d'explication pour mieux justifier son hypothèse de formation de monoxyde de carbone à partir d'une interaction entre les deux réactifs. Il exprime une combinatoire simple en termes d'atomes (échange d'un atome d'oxygène entre la molécule de monoxyde de cuivre et l'atome de carbone pour former la molécule de monoxyde de carbone). Il semble séduit par la symétrie due à une permutation au niveau des atomes (obstacle 10). Cependant en fin d'explication, il semble douter de son raisonnement et reprend l'hypothèse de E_1 avec l'obstacle de la réaction prototypique entre le carbone et le dioxygène de l'air. Cet élève est hésitant et prêt à régresser (à nos yeux), sous l'influence de ses camarades, en reprenant à son compte l'idée-obstacle 4 (la réaction prototypique) qu'il ne formulait pas auparavant.

l'intervention du professeur a des effets différents sur les élèves

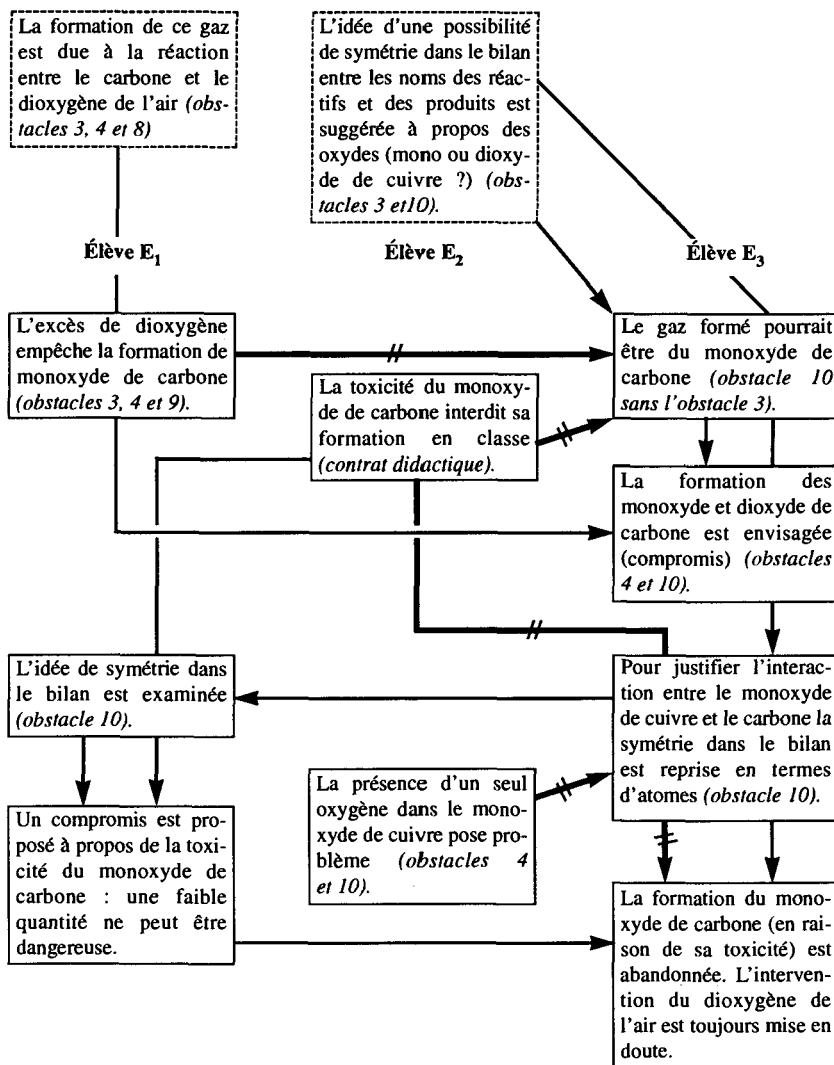
L'intervention du professeur à la fin de la première discussion de groupe, qui certifie que l'oxyde de cuivre est bien un monoxyde, a des effets différents sur les hypothèses émises par les élèves E_2 et E_3 . Elle amène l'élève E_2 à abandonner, pour un temps, l'idée de symétrie et à reprendre celle de E_1 (intervention du dioxygène de l'air) qui conduit à la formation du dioxyde de carbone (obstacles 3 et 4).

Par contre, E_3 modifie et adapte sa recherche de symétrie par permutation en associant la formation du monoxyde de carbone à la présence du monoxyde de cuivre dans les réactifs (obstacle 10). Cependant cette adaptation ne semble pas

conciliable, pour le moment, avec la formation du dioxyde de carbone.

• **La deuxième discussion de groupe DG2**

- **Une vue synoptique des échanges de DG2**



- **Une analyse des échanges**

Dans la deuxième discussion de groupe, l'élève E₁ commence à s'opposer à l'idée de E₃ : "Pour avoir du monoxyde de carbone ... il faut avoir ... puisque le carbone est en excès, en fait, dans l'histoire, et là comme on est dans l'air, il y a

plus de dioxygène que de carbone... " (obstacles 3, 4, 9). Ensuite, il devient sensible aux arguments de symétrie du bilan exprimé par E_3 (obstacle 10) et assouplit sa position sur l'impossibilité de formation de monoxyde de carbone : *"... en fait, c'est monoxyde de cuivre plus carbone égal ... donne ... monoxyde de carbone, en fait c'est CO ... mais dans les réactifs, il n'y a pas de O dans l'histoire ..."* Il semble en accepter l'idée, malgré deux arguments contraires (excès de dioxygène et toxicité du monoxyde de carbone). En effet, sur la fin des échanges, E_1 minimise ce dernier aspect en raison des faibles quantités de gaz formé: *"en petite quantité, ça peut pas nous tuer"*.

Mais après la discussion, seul devant sa feuille, l'élève E_1 rejette la possibilité de formation du monoxyde de carbone en raison de la présence d'un excès de dioxygène et revient à son idée première de formation du dioxyde de carbone par la combustion du carbone dans le dioxygène (obstacles 3, 4, 9).

un aspect
du contrat
didactique
influence
le raisonnement
des élèves...

E_2 s'oppose nettement à l'idée de E_3 en avançant surtout un argument : la toxicité de ce gaz : *"... mais aussi c'est un gaz dangereux"*, mais aussi peut-être par un manque d'atome d'oxygène : *"il faudrait de l'oxygène"* (un atome d'oxygène ?). Il conserve son avis après la discussion bien que celui-ci soit nettement moins tranché qu'au début : *"... mais on l'a fait en petite quantité"*.

Pendant les échanges, l'élève E_3 tente à plusieurs reprises d'entraîner ses camarades dans le registre du modèle pour justifier la formation du monoxyde de carbone et ainsi leur expliquer que l'atome d'oxygène du monoxyde de carbone peut provenir du monoxyde de cuivre : *"oxyde veut dire oxygène"* puis *"si, dans le monoxyde de cuivre il y en a (un atome d'oxygène)"* (obstacle 10).

Mais simultanément, il doute de plus en plus de cette formation en raison surtout de sa toxicité : *"... mais c'est un gaz dangereux, je pense pas qu'on nous l'aurait fait faire ..."*. Il en arrive à proposer un compromis avec la formation simultanée des deux gaz. Au cours de la phase de réflexion individuelle, il abandonne complètement l'idée de la formation du monoxyde de carbone à cause de sa toxicité (*"... le monoxyde de carbone est un gaz toxique et donc je pense que le professeur ne nous en aurait pas fait respirer"*) et accepte celle du dioxyde de carbone sans préciser quelle pourrait être son origine (obstacles 10 et 4).

Cette discussion conduit à un recul du raisonnement que commençait à amorcer l'élève E_3 . En effet, à l'idée d'interaction possible entre le carbone et le monoxyde de cuivre qui conduit, par effet de symétrie, à la formation de monoxyde de carbone et au cuivre est opposé un élément lié au contrat didactique fortement intériorisé chez les élèves.

... en les faisant
reculer dans leur
raisonnement...

Les élèves E_2 et E_3 ne peuvent envisager la formation du monoxyde de carbone en raison de sa toxicité qu'ils connaissent. Un professeur ne pouvant transgresser les règles de sécurité, cet élément tacite du contrat didactique établi

entre le professeur et les élèves gêne l'installation d'une recherche de symétrie par permutation dans le bilan de la réaction. Il ne permet pas à l'idée d'interaction entre le monoxyde de cuivre et le carbone de faire son chemin.

Cependant, nous observons qu'après discussion les élèves sont prêts à faire quelques concessions dans ce domaine : ils accepteraient la formation en faible quantité de ce gaz toxique ; le professeur restant juge du danger.

Ainsi l'intervention de E_2 sur la toxicité du monoxyde de carbone incite E_3 à se déplacer de l'avancée qu'il proposait (interaction entre le monoxyde de cuivre et le carbone) vers la formation de dioxyde de carbone (réponse correcte mais avec la tentation de l'expliquer avec la réaction prototypique). Le contrat didactique joue aussi un rôle dans ce retournement de situation. Il y a donc un déplacement de la conjonction de l'impact de certains obstacles vers d'autres. Cela montre l'instabilité des idées des élèves bien que certaines conjonctions d'obstacles fassent davantage cheminer vers une réponse correcte.

Un autre élément est aussi à l'origine du recul du raisonnement des élèves. Ces derniers (surtout E_1 et E_2) ne voient pas comment on peut justifier l'obtention du monoxyde de carbone et encore moins celle du dioxyde de carbone à partir d'une interaction entre le monoxyde de cuivre et du carbone. On peut le comprendre si on suppose qu'ils font intervenir simultanément les idées-obstacles 4 et 3 suivantes :

- celle des réactions prototypiques : la formation du monoxyde ou du dioxyde de carbone ne peut provenir que de combustions entre le carbone et le dioxygène (quelle que soit son origine) ;
- celle des corps composés envisagés comme des mélanges de corps simples. Mais ici les élèves sont gênés par le nom monoxyde de cuivre car ils ont du mal à envisager qu'il puisse contenir du dioxygène qui leur permettrait d'activer l'idée-obstacle précédente.

Seul l'élève E_3 , qui ressent fortement la nécessité de changer de registre pour avancer dans la compréhension de cette réaction chimique, peut sortir ses camarades de l'impasse dans laquelle ils se trouvent. Malheureusement malgré plusieurs tentatives, il ne réussit pas à les entraîner dans sa démarche. Seule une question posée par le professeur orientera ces élèves vers ce registre de description.

Les idées des élèves lors du troisième passage obligé

Après le test de reconnaissance du dioxyde de carbone, la question suivante, imposant aux élèves un changement de registre, a été posée individuellement aux élèves : *"D'où proviennent les atomes d'oxygène présents dans les molécules de dioxyde de carbone ?"* Elle a pour but de permettre aux

... surtout
que d'autres
idées-obstacles
ne sont pas
surmontées

à moins
qu'un
changement
de registre...

un 3^{ème} PO
correspond...

... aux obstacles liés aux représentations sur la réaction chimique dans le registre du modèle

élèves d'exprimer leurs représentations sur les réactions chimiques dans le registre du modèle et de vérifier la cohérence de leurs descriptions dans les deux registres. Elle permet ainsi le travail des idées-obstacles 3 et 5 et de l'obstacle 8 lié à la difficulté de construire des raisonnements à plusieurs variables.

La troisième discussion de groupe fait suite à deux expériences simultanées (3) dont l'objectif est de montrer que le dioxyde de carbone formé ne résulte que de l'interaction du monoxyde de cuivre avec le carbone.

• **Le point sur les idées des élèves**

les descriptions des élèves sont cohérentes dans les deux registres

Avant la réalisation des deux expériences simultanées, on constate une cohérence entre les deux registres (macroscopique et celui du modèle) dans les réponses des élèves. Voici les réponses de chacun des élèves.

L'élève E₁ : *"La combustion (se déroulant dans le dioxygène de l'air), les atomes de carbone n'ont sûrement pu se combiner qu'avec ces derniers pour former le dioxyde de carbone"*. Cet élève a inscrit dans la marge "pas sûr" en face du début de la phrase.

L'élève E₂ : *"Ils proviennent de l'air et/ou du monoxyde de cuivre."*

L'élève E₃ : *"Je pense qu'ils proviennent du monoxyde de cuivre et du dioxygène de l'air. Les atomes d'oxygène du monoxyde de cuivre se sont séparés de ceux du cuivre pour former du dioxyde de carbone."*

et ils semblent tous accepter le verdict de l'expérience

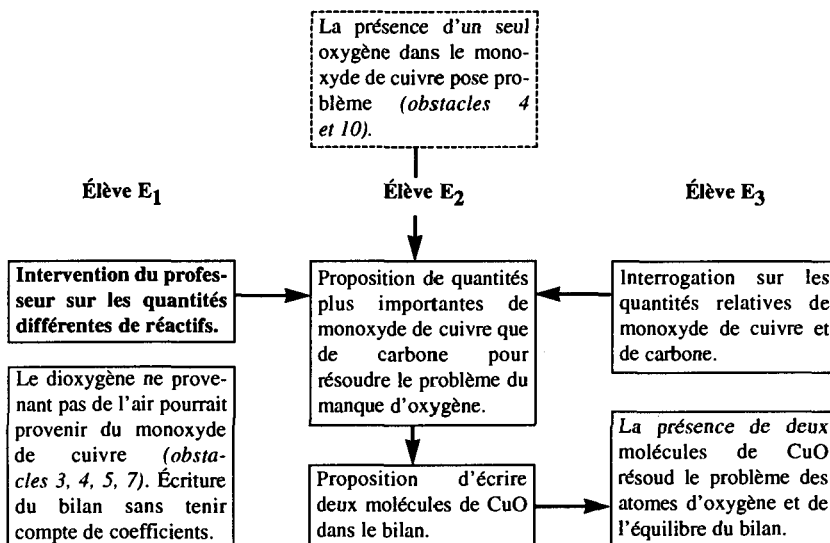
Après la mise en évidence expérimentale de la non intervention du dioxygène de l'air, tous les élèves expriment clairement que les atomes d'oxygène contenus dans les molécules de dioxyde de carbone proviennent des molécules de monoxyde de cuivre. À cet instant, ils semblent accepter le verdict de cette double expérience.

• **La troisième discussion de groupe DG3**

Cette dernière discussion de groupe est organisée pour résoudre la tâche suivante : élaborer une explication logique de la formation du cuivre et du dioxyde de carbone à partir du monoxyde de cuivre et du carbone. La consigne n'impose pas de registre d'explication dans le but d'observer si les élèves continuent néanmoins à modéliser.

(3) Chauffage simultané, dans les mêmes conditions, de deux tubes dont l'un contient un mélange de monoxyde de cuivre et de carbone et l'autre, uniquement du carbone.

- Une vue synoptique des échanges de DG3



- Une analyse des échanges

Dans la discussion de groupe, les élèves E₁ et E₂ ne semblent pas totalement convaincus par le verdict de la double expérience malgré ce qu'ils ont écrit précédemment. L'élève E₁ répète à plusieurs reprises : "ça ne vient pas de l'air" comme pour se convaincre ; l'élève E₂ semble remettre en cause l'expérience : "je pense qu'il n'y a pas que ça de possible".

Le fait que le dioxygène de l'air n'intervienne pas oblige E₁ à envisager une explication alternative : le dioxygène proviendrait du monoxyde de cuivre. Pour cet élève, qui emploie indistinctement les mots oxygène et dioxygène, le corps simple dioxygène, qui semble toujours servir à la combustion du carbone, est contenu dans le monoxyde de cuivre : "le dioxygène ne provient que du monoxyde de cuivre ; de toute façon, il n'y a que ça". Bien qu'exprimant un bilan en terme de destruction de molécules et de reconstruction de molécules nouvelles, il ne semble pas avoir réellement dépassé les trois idées-obstacles 3, 4 et 5 liées indirectement à la perception ; la réaction prototypique de formation du dioxyde de carbone est toujours présente dans son esprit même s'il accepte à contrecœur que le dioxygène ne provienne pas de l'air. Il pense maintenant qu'il provient du monoxyde de cuivre.

Ces trois idées-obstacles l'empêchent de se poser le problème d'une reconstruction de nouvelles molécules à partir d'atomes provenant de plusieurs molécules de monoxyde de cuivre (raisonnement complexe).

cependant l'idée-obstacle de la réaction prototypique est réadaptée pour tenir compte de l'expérience

Les élèves E_2 et E_3 sont amenés à construire une autre interprétation qui est en rupture avec celle de leur camarade. La nécessité d'avoir deux atomes d'oxygène pour construire la molécule de dioxyde de carbone à partir de la molécule de monoxyde de cuivre, qui n'en possède qu'un, les oriente vers un questionnement sur les quantités différentes de monoxyde de cuivre et de carbone à utiliser. Citons l'élève E_3 : "...Si ça vient uniquement du monoxyde de cuivre et si c'était la même quantité, bien, le monoxyde de cuivre a qu'un seul atome d'oxygène et donc il en faudrait deux ..." et puis : "Au début, a-t-on les mêmes quantités de monoxyde de cuivre et de carbone ?"

La réponse négative du professeur à ce sujet les conforte dans leur idée : "il faudrait prendre deux molécules qui s'associent pour en former une seule". Ils passent ensuite pratiquement sans transition aux nombres différents de molécules et enfin à l'équation-bilan équilibrée.

le besoin de revenir au registre macroscopique fait avancer le raisonnement dans l'autre registre

Ces deux élèves ont éprouvé le besoin de revenir au concret, c'est-à-dire au registre macroscopique, pour donner du sens à la modélisation qui leur impose d'utiliser deux molécules de monoxyde de cuivre. Le fait d'avoir imaginé (même de façon très imparfaite ; mais pouvait-il en être autrement ?) ce que pouvait représenter le coefficient 2 devant CuO dans l'équation-bilan, sur le plan phénoménologique, leur aura donné une alternative de pensée intéressante. Ils semblent avoir ainsi surmonté, dans cette situation, les trois idées-obstacles liées indirectement à la perception. Cela semble avoir pu se faire grâce à un va-et-vient entre les deux registres de description. La modélisation réalisée par ces deux élèves paraît avoir pris du sens par la création de relations sémantiques entre certains des attributs du modèle et des propriétés phénoménologiques correspondantes. Par la même occasion, ils ont été amenés à construire un raisonnement complexe à plusieurs variables.

L'ensemble de cette analyse fait apparaître nettement qu'une dynamique positive, conduisant à une construction progressive du savoir scientifique, s'est créée entre les élèves E_2 et E_3 . Alors que les propositions de E_1 ont pratiquement toujours provoqué un blocage et même souvent un recul des idées proposées par ses camarades.

Nous faisons l'hypothèse que cette situation est due aux personnalités de chacun des élèves et à leurs statuts différents au sein du groupe.

la personnalité et le statut des élèves dans le groupe ont été des éléments cruciaux de la réussite du groupe

- À plusieurs reprises l'élève E_2 , imaginatif et contestataire, a apporté des idées nouvelles (idée de symétrie par exemple) que l'élève E_3 , plus tenace et appliqué, a exploitées en s'appuyant sur des connaissances mieux maîtrisées. La capacité d'écoute et de synthèse de cet élève a permis au groupe de fonctionner et d'aboutir au résultat recherché en surmontant certains obstacles.

- L'élève E_1 , qui en raison de son image de très bon élève, sûr de lui et de ses idées, ne s'est pas remis en cause. Il n'a

pas réellement pris en compte les idées de ses camarades. Bien qu'ayant accepté une partie des résultats de ses camarades, nous faisons l'hypothèse qu'il n'a pas surmonté la plupart des idées-obstacles auxquelles il s'est heurté.

CONCLUSION

l'étude montre que le passage de la réaction chimique à son équation-bilan n'est pas naturel pour un élève...

L'analyse des échanges entre ces trois élèves montre que le passage du phénomène observable que constitue une réaction chimique à son équation-bilan, qui en est sa modélisation, n'est pas naturel et spontané pour eux. Lorsqu'on laisse les élèves s'exprimer à propos de ce changement de registre de description, on constate qu'ils se posent de nombreuses questions et que certaines représentations et modes de raisonnement spontanés viennent entraver la construction du savoir scientifique.

Nous pensons qu'en ne prenant pas en compte ces difficultés dans leur enseignement, les professeurs n'aident pas les élèves à construire le concept de réaction chimique. En effet, toutes les idées-obstacles, que nous avons pu faire émerger par notre analyse, demeureront intériorisées et ressurgiront ultérieurement dans des situations semblables.

Le placage de l'équation-bilan sur le phénomène de la réaction chimique, sans réelle réflexion de la part de l'élève, esquivé une confrontation avec des obstacles qui est nécessaire à la construction du concept de réaction chimique. Seul un passage raisonné et conscient d'un registre de description à l'autre, réalisé par les élèves, peut leur permettre de surmonter les obstacles et de construire réellement le concept.

Notre étude a permis de faire apparaître plusieurs idées-obstacles dont certaines ont joué un rôle central dans ce moment-clé de la construction du concept de réaction chimique.

... qui est confronté à de nombreuses conceptions spontanées qui sont autant d'obstacles pour lui

- En ce qui concerne les obstacles directement liés à la perception, nos élèves ont été en mesure de les surmonter. Dans une séquence de même nature menée dans une classe plus faible, nous avons constaté que, pour la plupart des élèves, le concept de gaz n'était pas disponible. Il était alors illusoire de vouloir aborder la suite de la séquence alors que ces obstacles liés à la perception n'étaient pas franchis. Un essai de passage "en force" s'est d'ailleurs traduit par un échec sur toute la deuxième partie de la séquence.

- Deux idées-obstacles liées indirectement à la perception ont été particulièrement prégnantes sur le plan des deux registres de description :

- celle de la réaction prototypique de formation de certains corps composés ;
- celle de la vision des corps composés comme des mélanges de corps simples, idée renforcée par l'assimilation des

réactions chimiques à des réalisations ou des séparations de mélanges.

Ces idées-obstacles, qui se renforcent mutuellement, empêchent les élèves de construire une représentation de la réaction chimique en termes de destruction puis reconstruction de molécules par réorganisation des atomes. Elles permettent aussi à l'élève de réaliser une économie de pensée. La nouvelle représentation de la réaction chimique que les élèves doivent construire est plus coûteuse du point de vue cognitif mais elle est incontournable. Elle seule permet de distinguer cette transformation, des autres transformations de la matière.

- Parmi les obstacles liés aux modes de raisonnement, celui qui recherche un effet de symétrie par permutation a eu un double effet. Au début, il a permis de faire avancer le raisonnement des élèves en les aiguillant vers l'idée d'interaction entre les deux réactifs en créant une alternative à l'idée de réaction prototypique. Ensuite associé aux deux obstacles précédents, il a renforcé leurs effets et ainsi empêché une évolution positive des idées.

Des éléments du contrat didactique établi de façon implicite entre le professeur et les élèves peuvent avoir aussi une grande influence sur les idées que ces derniers se permettent de formuler.

la connaissance
par le professeur
des obstacles
à l'apprentissage
de ses élèves...

Sur le plan de la stratégie didactique utilisée, nous avons vu que le fait de guider fermement les élèves dans des passages obligés, tout en leur laissant une liberté d'expression, permet au professeur, qui s'en donne les moyens, de connaître les obstacles à l'apprentissage que rencontrent ses élèves. Ce guidage permet aussi aux élèves de construire eux-mêmes, lors des discussions de groupe, du savoir en chimie que le professeur institutionnalisera ensuite.

L'étude fait apparaître aussi que la dynamique des échanges et par suite les éléments de savoirs construits sont fortement influencés par la personnalité et le rapport au savoir de chacun des élèves mais aussi par leur statut au sein du groupe.

... peut lui
permettre
d'y remédier

Nous pensons que c'est en proposant, de temps à autre, une telle démarche réellement expérimentale (même si celle-ci est fortement guidée), pour permettre le passage du registre macroscopique au registre du modèle, qu'on amènera les élèves à mieux construire le concept de réaction chimique. Cette véritable activité de modélisation, avec des aller et retour entre les deux registres, permet à l'élève, en les mettant en relation de façon progressive, de donner du sens à ce concept central de la chimie. Cette stratégie pédagogique, que nous ne proposons pas de généraliser à toutes les réactions chimiques du programme, permet à l'élève de se poser des questions mais aussi de laisser entrevoir ses représentations au professeur. En prenant conscience des idées et modes de raisonnement qui font obstacle à la construction du savoir chez ses élèves, le professeur a à sa disposition

des éléments qui peuvent lui permettre de construire de nouvelles situations d'apprentissage pour y remédier. Ainsi nous pensons qu'un plus grand nombre d'élèves sera en mesure d'accéder à ce concept central de la chimie.

Pierre FILLON
Collège Charles Péguy, Paris 19^e
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP.

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in : *Modèles pédagogiques 1, Aster*, 16. Paris : INRP.

CARRETTO J., VIOVY R. (1994). "Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique", in : *La réaction chimique, Aster*, 18. Paris : INRP.

DOISE W., MUGNY G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Interéditions. Paris.

FILLON P. (1993). "Sciences physiques", in : COLOMB J. (dir.), *Les enseignements en Troisième et en Seconde — ruptures et continuités*, Paris : INRP.

GOFFARD M. (1993). "Réflexion post-bac", in : *Bulletin de l'union des physiciens*, 759, Paris.

JOHSUA S. (1989). "Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire", in : *Expérimenter, modéliser, Aster*, 8. Paris : INRP.

PERRET-CLERMONT A.-N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Peter Lang.

ROLETTO E., PIACENZA B. (1994). "Faut-il construire le concept de substance ?", in : *La réaction chimique, Aster*, 18. Paris : INRP.

SOLOMONIDOU C. (1991). *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du Collège*, Mémoire de thèse, Université de Paris VII.

STRAVIDOU H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude de conceptions des élèves*, Mémoire de thèse, Université de Paris VII.

LA DUALITÉ MICROSCOPIQUE-MACROSCOPIQUE UN OBSTACLE SOUS-JACENT AUX DIFFICULTÉS EN CHIMIE DANS L'ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE

Roger Barlet
Dominique Plouin

Divers obstacles observés lors de l'enseignement à l'université montrent la persistance de conceptions issues du "sens commun" et l'absence de "conscience microscopique" face aux phénomènes observables à l'échelle macroscopique.

Ces obstacles liés à la dualité microscopique-macroscopique sont développés ici dans quatre champs spécifiques à la chimie :

- les mécanismes réactionnels en chimie organique à entrée dominante microscopique ;
- la stéréoisométrie à entrée à la fois microscopique et macroscopique ;
- le conflit entre stabilité et réactivité des espèces chimiques qui dépend des situations expérimentales ;
- l'antagonisme entre la pression et le volume des gaz qui ne sont pas régis par les mêmes lois d'additivité.

La prise en compte de ces obstacles nécessite un enseignement plus intégré basé sur un réel rapport dialectique entre les aspects microscopiques et phénoménologiques. Diverses propositions didactiques sont faites en ce sens.

L'apprentissage en chimie présente une double entrée assez spécifique :

- une entrée qualitative et modélisée, fondée sur la compréhension des faits expérimentaux et la conceptualisation nécessaire à leur interprétation ;
- une entrée quantitative, exploitant les mesures et les calculs liés aux phénomènes observés.

L'un d'entre nous propose la présentation, dans une revue de chimie, des risques didactiques liés à une approche trop algorithmique des phénomènes quantitatifs en thermochimie en premier cycle universitaire et montre que la réussite dans des exercices "calculatoires" n'est pas toujours gage de compréhension en profondeur (1).

Nous voudrions ici montrer que dans l'ensemble du cursus universitaire des obstacles caractéristiques et persistants, liés plutôt à l'approche "qualitative" et au "sens" des concepts en chimie, sont tout aussi lourds au plan de leurs conséquences didactiques.

(1) BARLET R., MASTROT G. (1997). "L'algorithmisation-refuge, un obstacle à la conceptualisation" soumis à l'*Actualité chimique*.

1. DIVERSITÉ ET PERSISTANCE DES OBSTACLES

1.1. Les différents obstacles

Nous reprendrons à notre compte la définition des obstacles, "noyau dur" des conceptions ou représentations des élèves, donnée par Jean-Pierre Astolfi et Brigitte Peterfalvi (2). Selon ces auteurs, à partir du double statut de la représentation (écart au savoir savant, fonctionnalité dans le système explicatif de l'élève), l'obstacle, à "caractère plus général et plus transversal, peut expliquer et stabiliser en profondeur" une ou plusieurs représentations.

obstacles
engendrés
par la dualité
et l'antagonisme
microscopique-
macroscopique

Ainsi, à notre sens, les conceptions bien connues comme le duo *agent-patient*, relatives à la réaction chimique (3), ou l'*unilatéralité réactif-produit*, à propos des équilibres chimiques (4), relèveront d'un même obstacle caractéristique de la chimie : l'antagonisme microscopique-macroscopique pour lequel nous proposons, par le présent article, d'apporter de nouveaux exemples.

Nous nous fonderons sur la classification des obstacles de Brousseau (5) et distinguerons les obstacles didactiques directement liés à l'acte d'enseignement, des autres obstacles qui peuvent précéder l'acte d'enseignement lui-même et dont il faut évidemment tenir un large compte dans l'enseignement :

- les obstacles épistémologiques, caractéristiques du développement de la discipline ;
- les obstacles ontogénétiques, liés au développement personnel de l'apprenant ;
- les obstacles culturels, liés à la vie sociale et à l'évolution de la société.

1.2. La modélisation microscopique, un obstacle épistémologique en chimie

Le développement de la chimie s'est finalement opéré, au fil de l'histoire, selon une double direction :

- l'identification et la caractérisation, par leurs propriétés, de milliers et aujourd'hui de millions d'espèces chimiques (on a franchi le cap des 15 millions en 1997) ;

-
- (2) ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales". *Aster*, 16, p. 103-141.
- (3) SOLOMONIDOU C., STAVRIDOU H. (1994). "Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique". *Aster*, 18, p. 75-95.
- (4) JOHNSTONE A., MACDONALD J., WEBB G. (1977). "Chemical equilibrium and its conceptual difficulties". *Education in chemistry*, 14, p. 169-171.
- (5) BROUSSEAU G. (1983). "Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques". *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 4.2, p. 164-197.

- la structuration et la généralisation, permettant d'organiser cette diversité sur des bases structurales communes telles que les modèles de la liaison, les lois de la thermodynamique et de la cinétique, la stéréoisomérisation etc.

la chimie
s'est développée
une fois acceptée
la dualité espèces-
structures...

Si le premier aspect relève plutôt de la chimie moléculaire, le second aspect est inhérent aux études de chimie physique et cette dualité espèce-structure, qui caractérise également la biologie, peut être considérée comme une composante épistémologique de la discipline. Il suffit de se souvenir des débats qui ont occupé pratiquement tout le 19^{ème} siècle en France et qui ont opposé les "équivalentistes", plus préoccupés de nouveaux composés et de nouvelles synthèses (Berthelot, Ste Claire-Deville...) et les "atomistes", désireux de disposer de modèles structuraux explicatifs (Wurtz, Laurent...). Cette dualité, présente déjà en filigrane chez les penseurs grecs et les alchimistes, n'a pris un tour véritablement scientifique que très tardivement au 19^{ème} et au 20^{ème} siècle lors de la modélisation atomique et moléculaire.

... et la modélisation
microscopique
a permis une
rationalisation

Cette modélisation, que nous qualifierons de *modélisation microscopique*, caractérise aujourd'hui pleinement la discipline. C'est elle, en particulier, qui permet :

- d'identifier et de représenter les espèces ;
- de décrire et comprendre la chimiodiversité ;
- de favoriser la double "culture" du macroscopique et du microscopique ;
- d'éviter toute déconnexion entre bases structurales et propriétés des espèces.

Cette modélisation constitue un enjeu didactique reconnu au cœur de chacune des réformes intervenant dans l'enseignement secondaire. Pour éviter que cette modélisation ne se transforme en véritable obstacle, nombreux sont les auteurs qui prônent une approche macroscopique de la réaction chimique suivie d'un apprentissage liant macroscopique et microscopique (6) (7). C'est bien l'esprit des nouveaux programmes mis en place à partir de la rentrée 1993.

1.3. La nature simplificatrice de la transposition didactique

Les obstacles épistémologiques, internes à la discipline, ne peuvent être réellement repérés que si l'apprentissage a été suffisant pour permettre un véritable conflit cognitif. Ce conflit risque d'être évacué par un discours enseignant gommant difficultés et aspérités.

La centration très fréquente de l'enseignant sur la cohérence et la structure de son discours, plutôt que sur la nature et

(6) VOGELZELAND M.J. (1987). "Development of the concept of chemical substances : some thoughts and arguments". *Int. J. Sc. Educ.*, 9, 519-528.

(7) CARRETTO J., VIOVY R. (1994). "Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique". *Aster*, 18, p. 11-26.

la transposition didactique, peu centrée sur les difficultés d'apprentissage, source d'obstacles didactiques

les difficultés de l'apprentissage de l'élève, engendre ce risque de minimiser les difficultés de l'apprenant. Ce risque existe plus encore à l'université qu'au collège ou au lycée.

On peut cependant craindre qu'à l'université la nature "lissante" de la transposition didactique ne soit renforcée par la concomitance de plusieurs facteurs :

- forme de l'enseignement universitaire (cours magistral d'un côté, TD d'application de l'autre) ;
- proximité avec le savoir savant (nécessité de choix des résultats significatifs face à l'accroissement exponentiel des connaissances) ;
- enseignement de masse en premier cycle ;
- modelage de la transposition par le contrat didactique, explicite ou implicite, et la nature de l'évaluation (reproduction plutôt que résolution, saupoudrage plutôt qu'approfondissement, exercices et solutions-types plutôt qu'approche qualitative donnant sens et ordre de grandeur).

Dans ces conditions on ne peut exclure la création d'obstacles didactiques, liés à l'enseignement et renforçant les obstacles épistémologiques.

1.4. L'enseignement en premier cycle universitaire, un champ privilégié d'apparition des obstacles

la première année d'université, rupture plutôt que transition, favorable à l'expression d'obstacles divers...

De façon générale l'émergence des obstacles, révélés ou latents, ne peut qu'être favorisée par le contexte d'enseignement en DEUG. Il est en effet devenu banal de souligner l'hétérogénéité des étudiants arrivant à l'université, l'ampleur des difficultés qu'ils y éprouvent et les nombreuses situations d'échec qu'ils y rencontrent. Dans ce contexte, les éléments favorables à une large mise en évidence des obstacles sont nombreux :

- large échantillonnage de population scolaire et large éventail des performances de "pensée formelle" ;
- perte de repères psychologiques et affectifs pour beaucoup d'étudiants ;
- rupture lycée-université entraînant un changement de mode d'enseignement, de méthodes de travail et un moindre encadrement ;
- immersion brutale dans le travail plus personnalisé et plus autonome.

1.5. La persistance des obstacles en deuxième cycle

Par différents questionnaires nous avons mis en évidence, en DEUG, des difficultés et erreurs dans des domaines très variés : stéréochimie et effets électroniques en chimie organique, chimie des gaz et confrontation stabilité-réactivité en chimie physique.

... obstacles persistants, même à bac+4

Il est remarquable de constater, par passation de questionnaires identiques en second cycle, que ces erreurs et difficultés persistent très largement, quelquefois même sans atténuation très sensible.

Ce caractère persistant, à différents niveaux successifs d'enseignement, accrédite l'hypothèse de véritables obstacles, sous-jacents aux difficultés et erreurs aussi largement repérées.

1.6. Le champ d'expérimentation

Nous avons élaboré trois questionnaires (Stéréochimie, Gaz, Effets électroniques) qui ont été soumis dans les mêmes conditions à des étudiants de différents niveaux. Selon les cas, ces niveaux se répartissaient entre DEUG scientifique MIAS première année, DEUG scientifique SM première et deuxième année pour le premier cycle, licence et maîtrise de sciences physiques pour le second cycle.

Les étudiants de second cycle appartiennent à la filière de formation à l'enseignement (futurs professeurs de lycées et collèges pour l'essentiel avec quelques étudiants se destinant au professorat des écoles). Cette filière est une formation généraliste maintenant un équilibre entre la physique et la chimie. La passation des questionnaires dans cette filière nous a permis de recueillir des données dans une certaine continuité de formation, en évitant la spécialisation disciplinaire poussée des licences et maîtrises de recherche en chimie. Cette précaution méthodologique n'exclut pas l'intérêt qu'il y aurait, au vu de la persistance des obstacles, à interroger également les étudiants de telles licences et maîtrises.

Nos résultats relèvent d'une même source d'obstacle : la dualité microscopique-macroscopique, particulièrement typique de la chimie. Cet obstacle nous paraît présenter un double aspect épistémologique et didactique.

2. UN OBSTACLE ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE : LA DUALITÉ MICROSCOPIQUE-MACROSCOPIQUE

2.1. Une dualité caractéristique de la chimie

les phénomènes macroscopiques s'expliquent par leurs aspects microscopiques : il y a toujours les deux niveaux de description

Nous avons vu que la modélisation microscopique, associée à la dualité espèce-structure est une caractéristique épistémologique de la chimie.

Nous savons aussi que la chimie, science éminemment expérimentale, met au premier plan les phénomènes observables c'est-à-dire le niveau macroscopique. La résolution des problèmes et exercices de chimie liés à des descriptions ou des prévisions phénoménologiques s'exerce ainsi, le plus

souvent, à partir de ces observables macroscopiques (volume, concentration, pression etc.). Ces observables sont le résultat de réactions et d'interactions entre des nombres gigantesques d'entités moléculaires, atomiques ou ioniques, constituantes du niveau dit microscopique.

2.2. Un enjeu épistémologique

Cette dualité qui est aussi une complémentarité a été longue à atteindre son équilibre au 19^{ème} siècle lors de la lente émergence des bases structurales de la chimie. L'exemple du modèle gazeux et de la stéréoisomérie est à cet égard très édifiant.

Les "équivalentistes" ne s'intéressaient qu'aux résultats expérimentaux et pas du tout à la structure et à la modélisation. Leur démarche était typiquement macroscopique. À l'inverse, les atomistes cherchaient à confronter résultats expérimentaux et interprétations microscopiques mais il a fallu attendre Cannizzaro et sa définition de la molécule gazeuse diatomique pour que la théorie atomique puisse intégrer les résultats expérimentaux touchant les gaz.

La stéréochimie peut présenter une entrée macroscopique, liée au pouvoir rotatoire en particulier, et une entrée microscopique, à l'échelle moléculaire, lors de l'analyse tridimensionnelle des espèces. La première entrée est historiquement celle de Pasteur et de son tri binoculaire des cristaux de tartrate énantiomères. La seconde entrée est celle du "carbone tétraédrique" de Le Bel et Van't Hoff qui a permis d'interpréter le pouvoir rotatoire des composés actifs.

2.3. Un enjeu didactique

La compréhension profonde des phénomènes macroscopiques (et de leurs traductions symboliques ou mathématiques) passe nécessairement par des représentations correctes de leurs aspects microscopiques. Les enseignants se déplacent facilement, sans toujours l'indiquer, entre ces aspects macroscopiques et microscopiques comme nous avons déjà eu l'occasion de le souligner (8). Ces mêmes enseignants négligent ou sous-estiment souvent les capacités conceptuelles que cela demande aux lycéens ou aux étudiants (9) (10).

les deux niveaux de description sont nécessaires pour comprendre les phénomènes

-
- (8) BARLET R., PLOUIN D. (1994). "L'équation-bilan en chimie, un concept intégrateur source de difficultés persistantes". *Aster*, 18, p. 27-56.
- (9) BENZ-ZVI R., EYLON B., SILBERSTEIN J. (1988). "Theory, principles and laws". *Education in chemistry*, p. 89-92.
- (10) BENZ-ZVI R., EYLON B., SILBERSTEIN J. (1987). "Students visualisation of a chemical reaction". *Education in chemistry*, p. 117-120.

2.4. Étude de cette dualité

Nous avons mené l'analyse de cette dualité microscopique-macroscopique à l'université de Grenoble, pour plusieurs secteurs importants de l'enseignement de la chimie dans le champ d'expérimentation déjà mentionné. L'objectif était de vérifier, à travers tests, questionnaires et copies d'examen, dans quelle mesure cette bivalence était assumée par les étudiants sur le plan cognitif ou, au contraire, constituait de véritables obstacles.

Ces deux entrées nous paraissent en fait assez souvent décalées et peu mises en relation de façon explicite. Nous avons choisi de vérifier cette hypothèse.

3. LES MÉCANISMES RÉACTIONNELS EN CHIMIE ORGANIQUE : UNE ENTRÉE MICROSCOPIQUE

3.1. Une situation didactique spécifique

approche
essentiellement
microscopique :
cas
des mécanismes
réactionnels en
chimie organique

L'introduction massive de l'étude des mécanismes réactionnels en chimie organique, au début des années 1960, faisant enfin passer l'enseignement d'une culture de la description à une culture de la rationalisation a typiquement fait naître de nouveaux obstacles.

Pour nous en tenir simplement à la dualité microscopique-macroscopique il est incontestable que la présentation classique des mécanismes se fait essentiellement à partir de la distribution électronique sur les entités isolées. L'enseignant fait traditionnellement au tableau une présentation et une lecture microscopiques, amenant à développer sur le substrat, séparé de son environnement, les aspects structuraux et électroniques avec l'objectif de localiser les charges partielles et les sites de réactivité, nucléophiles ou électrophiles.

Cette entrée par le microscopique privilégie la localisation des charges électroniques sur des sites précis de la molécule substrat. La symbolique des flèches, modélisant les transferts d'électrons (11), présente ainsi le risque de donner une vision duale de la réactivité où l'espèce-réactif choisit un seul substrat-cible en un lieu bien localisé et prévisible à l'avance.

le réactif sait
à l'avance
où il doit frapper

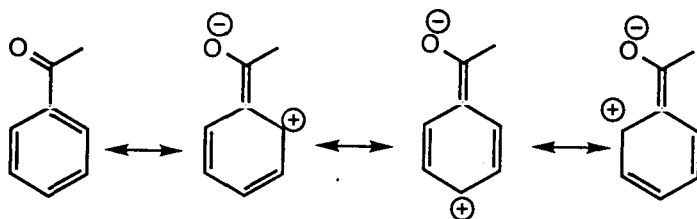
3.2. Exemples

- *Étude des règles d'orientation dans les substitutions électrophiles S_E*

Dans ces substitutions on considère, *a priori*, que l'électrophile E⁺ attaque un noyau aromatique nucléophile.

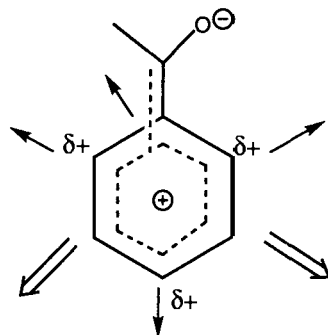
(11) ARNAUD P. (1971). "Pourquoi des flèches ? Fondement et utilité des mécanismes réactionnels en chimie organique". *Unichimie*, n° 3, p. 5-11.

Si on examine, par exemple, l'effet d'orientation du carbonyle, l'entrée strictement moléculaire permet d'écrire les formules limites suivantes :



on observe le "syndrome du réactif intelligent" qui reconnaît les points sensibles du substrat

Les étudiants arrivent ainsi à penser, très logiquement, qu'un électrophile E^+ n'attaquera que les sites nucléophiles ou moins électrophiles, c'est-à-dire les sites en *mé*ta à l'issue d'une sorte de *té*léguidage. On retrouve ici le caractère agent-patient mis en évidence dans la réaction chimique. Cette vision de la réactivité substrat-réactif débouche sur une véritable conception anthropomorphique, un "syndrome du réactif intelligent", qui sait à l'avance où il doit frapper, entraînant ainsi une sous-estimation des effets cinétiques et thermodynamiques et une méconnaissance du fait que tous les sites du substrat sont réactifs et que l'attaque de E^+ se fera de façon aveugle dans une grande diversité de chocs. La vision scientifique est que certains de ces chocs seront simplement plus efficaces (en particulier sur le cycle plutôt que sur O^-), sur la base d'une énergie d'activation suffisante et d'une stabilité thermodynamique différente des intermédiaires formés :

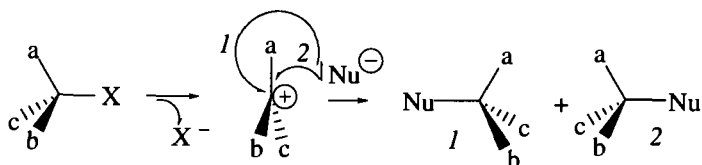


en fait la réaction entre E^+ et la molécule substrat aura lieu sur tous les sommets,

mais l'attaque des sommets en position *mé*ta, par rapport au carbonyle sera plus efficace (\Rightarrow).

• Étude de la stéréochimie dans les réactions de substitution nucléophile S_N1

Il est classique de présenter, dans le mécanisme S_N1 , la formation d'un carbocation intermédiaire indépendant (n'ayant plus d'interaction avec le groupe partant ou le solvant) pour justifier l'absence de stéréospécificité :



Dans ce schéma, le carbocation, formé dans une première étape, est alors attaqué avec la même probabilité sur ses deux faces et conduit au mélange en proportion rigoureusement égale de 1 et 2 (*racémisation*).

En fait, expérimentalement, ces cations sont rarement complètement séparés de leur anion X^- ou du solvant et leur grande diversité d'interactions microscopiques n'entraîne pas une racémisation totale mais un taux de rétention plus ou moins élevé (si le produit de départ était optiquement actif).

3.3. Les risques

On voit ainsi sur ces deux exemples que l'entrée microscopique dominante dans les mécanismes réactionnels peut conduire les étudiants à deux difficultés relevant du même obstacle :

- négliger l'aspect cinétique et thermodynamique (exemple de la S_E) ;
- rigidifier la pensée et favoriser les réponses toutes faites et dogmatiques (exemple de la S_N1).

Dans les deux cas la modélisation trop prédictive risque d'être mise en défaut par les résultats expérimentaux et cet écart entre la présentation du point de vue microscopique et les résultats macroscopiques constituera un obstacle important s'il ne donne pas lieu à la nécessaire dialectique modélisation-expérimentation dans une science expérimentale comme la chimie.

Nous avons pu repérer ces raisonnements, de façon massive, sur diverses copies d'examen en licence et maîtrise de sciences physiques et également lors d'oraux dans la même filière.

4. LA STÉRÉOCHIMIE : UNE ENTRÉE À LA FOIS MICROSCOPIQUE ET MACROSCOPIQUE

Nous avons déjà évoqué la double entrée macroscopique (pouvoir rotatoire) et microscopique (analyse moléculaire tridimensionnelle) de l'enseignement en stéréochimie. Nous pensons que cette double entrée est source d'obstacle. Nous avons choisi de vérifier cette hypothèse par un questionnaire-enquête (annexe I) soumis aux étudiants scientifiques de Grenoble lors de l'année universitaire 1996-1997.

la modélisation
trop prédictive
créée
de nouveaux
obstacles

approche
à la fois
microscopique
et macroscopique

4.1. Résultats du questionnaire

Ce questionnaire a été soumis à l'ensemble des étudiants de licence de sciences physiques = LSP (69 questionnaires recueillis) et à un groupe de DEUG 2^{ème} année section SM_b (sciences de la matière à orientation chimie, 19 questionnaires recueillis).

Nous nous limiterons, dans cette étude, à l'interprétation que font les étudiants, d'une part, de la projection de Newman qui représente la conformation précise d'une molécule et, d'autre part, du passage de ces conformations instantanées au niveau global macroscopique.

Il était proposé trois projections de Newman de quatre composés organiques, accompagnées de deux questions :

a) *Les trois conformations du composé sont-elles chirales ? Dans le cas où vous répondez oui, justifiez.*

b) *À l'échelle macroscopique, le composé se comporte-t-il comme un composé chiral ? Justifiez.*

des conformations
chirales
à l'activité
optique

Dans cette formulation, nous avons utilisé, à l'échelle microscopique comme à l'échelle macroscopique, le terme "chiral" pour bien faire sentir le changement d'échelle. Nous parlons alors, à l'échelle macroscopique, d'un composé "se comportant" comme un composé chiral (activité optique par exemple) bien que le terme chiral ne soit strictement valable que pour un objet ou une molécule unique et non pour une collection d'entités.

Les résultats généraux sont reportés dans le tableau suivant :

	Questions a						Question b	
	décalée (1)		éclipsée (2)		gauche/décalée (3)			
	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non
(a)	10	(78)	9	(79)	(33)	55	4	(78)
(b)	9	(79)	13	(75)	(33)	55	7	(72)
(c)	45	(40)	34	(51)	(62)	23	30	(40)
(d)	(67)	16	(68)	18	(66)	17	(54)	16

(a) éthane

(b) 1,2-dichloroéthane

(c) (R, S) -2,3 - dichlorobutane

(d) (R, R) -2,3 - dichlorobutane

Les réponses exactes sont entre parenthèses,

les non-réponses ne sont pas comptabilisées dans le tableau.

Chaque question se rapporte volontairement aux deux états de description d'un composé.

- Les deux premières parties ont pour but de déterminer si les étudiants maîtrisent bien le concept de chiralité qui se rapporte à une molécule, dans une conformation donnée, et surtout comment ils expliquent qu'une forme gauche est toujours chirale.

- La troisième partie est posée pour savoir comment les étudiants interprètent le passage d'une molécule à un ensemble

les conformations
gauches toujours
chirales...

de molécules dans lequel chaque conformation est statistiquement présente avec son symétrique (éventuellement énantiomère s'il s'agit d'une conformation chirale, les conformations chirales formant alors, deux à deux, des mélanges racémiques).

Dans l'enseignement, cette dualité microscopique-macroscopique est peu abordée et on peut s'attendre à ce que les étudiants raisonnent sur la formule semi-développée pour déterminer le nombre de carbones asymétriques : par exemple, l'éthane, choisi ici malgré sa faible barrière d'énergie de rotation, ne présente pas de carbone asymétrique et sera donc, dans cette vision des choses, toujours achiral, quelle que soit sa conformation.

• **Cas de l'éthane (a) et du 1,2-dichloroéthane (b)**

Les résultats relatifs à ces deux composés sont identiques.

- Pour les conformations décalées ou éclipsées, toutes deux achirales (centre de symétrie pour les premières, plan de symétrie pour les secondes), les réponses sont très majoritairement exactes aussi bien en SM_b qu'en LSP.

- En revanche, pour les conformations gauches, qui sont chirales, près des 2/3 des étudiants fournissent une réponse inexacte (90 % en SM_b , 45 % en LSP).

- Les réponses à l'échelle macroscopique (il s'agit de composés non actifs) sont exactes à plus de 90 % mais les justifications données pour interpréter ce passage de conformations gauches chirales à un composé inactif, se comportant comme un composé achiral, sont incohérentes ou inexactes. En effet, outre le fait que plus de 65 % des étudiants justifient l'absence de chiralité par l'absence de carbones asymétriques pour les deux composés, on peut noter quelques arguments qui ne prennent en compte arbitrairement qu'une partie de la situation microscopique :

- . "l'éthane a, quelle que soit sa conformation, un plan de symétrie" ;
- . "la conformation la plus fréquente sera la plus stable, la forme décalée, qui est non chirale" ;
- . "il y a une majorité de molécules non chirales" ;
- . "il n'y a pas d'élément de symétrie, donc ce ne sera pas chiral".

• **Cas du (R, S)-2,3-dichlorobutane (c)**

Ce composé méso présente des taux de réponses justes, très voisins en LSP et SM_b .

- C'est la conformation décalée dans laquelle les groupes identiques ne sont pas en position antiparallèle, la seule chirale, qui présente, paradoxalement, le meilleur taux de bonnes réponses (73 %) devant la conformation éclipsée (60 %) et la conformation décalée dans laquelle les groupes identiques sont antiparallèles (47 %).

... peuvent
conduire
à un composé
inactif...

- Ces réponses sont cependant peu cohérentes et témoignent de sérieuses difficultés puisqu'on observe seulement 20 % de réponses exactes pour l'ensemble des trois conformations.

• **Cas du (R, R)-2,3-dichlorobutane (d)**

Les réponses pour ce composé chiral sont meilleures (près de 80 % de bonnes réponses pour les trois conformations, 60 % pour le passage au macroscopique) et voisines en LSP et SM_b.

... lorsqu'il n'y a pas antagonisme micro-macro

Il est vrai que c'est le seul composé pour lequel il n'y a pas décalage entre la prévision effectuée à partir d'un point de vue macroscopique (composé actif) et celle d'un point de vue microscopique (les trois conformations sont toutes les trois chirales).

4.2. Analyse de l'obstacle

Le passage de la situation microscopique à la situation macroscopique est très mal établi. Seule une faible minorité (de l'ordre de 10 %) fournit une interprétation cohérente dans le cas des trois premiers composés non chiraux : c'est la "compensation racémique" de chaque conformation chirale par une conformation énantiomère de même population qui justifie l'absence de "comportement chiral" au plan macroscopique.

Cette difficulté à mobiliser une interprétation scientifique et à affronter l'obstacle de la dualité microscopique-macroscopique nous paraît prendre trois formes, explicitées ci-après.

• **Attribution de propriétés macroscopiques à des entités microscopiques**

le passage d'un niveau de description à l'autre est source de difficultés

La notion de "carbone asymétrique" est utilisée par les étudiants comme une particularité de la molécule elle-même, mais cette notion est immédiatement transférée à l'échelle macroscopique. Les deux niveaux sont confondus.

- 25 étudiants (pour l'éthane) et 21 étudiants (pour le dichloroéthane) utilisent uniquement cette propriété microscopique d'absence de carbone asymétrique pour justifier que ces deux composés se comportent de façon "achirale" à l'échelle macroscopique mais sans faire intervenir la compensation des populations de conformères.

- 55 étudiants sur 88 affirment, à tort, que les deux conformations gauches de ces mêmes composés sont achirales par défaut de carbone asymétrique mais sans réellement considérer la réalité microscopique.

• **Méconnaissance de la libre rotation et des propriétés des conformères**

À l'échelle macroscopique, il existe pour les trois composés achiraux (a), (b) et (c) une infinité de conformations, les

confusion
des propriétés
microscopiques
et macroscopiques

unes chirales, les autres achirales, mais chaque forme chirale est présente dans le mélange avec son énantiomère (ensemble "racémique").

ignorance
d'une notion
essentielle :
la libre rotation...

Certaines explications des étudiants laissent penser qu'ils considèrent les formes comme figées et semblent ignorer que la libre rotation permet d'obtenir toutes les formes possibles ; parmi les justifications erronées, on peut relever :

- oui, l'éthane est chiral car *"seule la conformation éclipsée est achirale, donc à l'échelle macroscopique on a beaucoup de molécules chirales"* ;
- *"cela dépend du pourcentage de molécules dans telle ou telle conformation"* ;
- *"la plupart du temps, la molécule d'éthane se trouve dans une conformation décalée et est achirale"* ;
- *"une partie des conformations ne sont pas chirales donc l'ensemble ne peut l'être"*.

• **Prise en compte exclusive
de certaines conformations**

... qui est
à l'origine
de conceptions

Pour justifier que l'éthane est achiral à l'échelle macroscopique, des étudiants ne considèrent que la forme décalée, car c'est la plus stable et donc la plus peuplée. Cet argument est fréquent dans le cas du 1,2-dichloroéthane :

- *"le composé est achiral car il se trouve tout le temps en conformation décalée"* ;
- *"les représentations les plus présentes ne sont pas chirales"*.

5. LA STABILITÉ ET LA RÉACTIVITÉ DES ESPÈCES CHIMIQUES : UNE ENTRÉE MICROSCOPIQUE ET MACROSCOPIQUE

5.1. Chimie et pensée formelle

pour être bon
chimiste, il faut
avoir atteint
le stade formel
défini par Piaget

La plupart des concepts de la chimie, liés en particulier à la modélisation microscopique sont abstraits et nécessitent que les étudiants, pour maîtriser ces concepts, aient accédé au 4^{ème} stade du développement cognitif de Piaget, le stade formel (12) (13).

Les évaluations internationales convergent cependant pour affirmer que le nombre d'étudiants qui accèdent au stade opérationnel-formel, à l'entrée à l'université, a été longtemps

-
- (12) HERRON J.-D. (1975). "Piaget pour les chimistes : où on explique que les 'bons' étudiants ne peuvent pas comprendre". Traduction du *J. Chem. Ed.*, 3, p. 146-150.
- (13) TSAPARLIS G., GEORGALDOU A. (1993). "Improvement of chemistry teaching, using suggestions from developmental psychology". *Proceedings of 2nd European conference on research in chemical education (2nd ECRICE)*, Pisa, p. 345-350.

surestimé et qu'il n'excède par 50 % (12) (14) (15). Des résultats que nous avons observés par ailleurs à Grenoble (16) (17) sont cohérents avec ces évaluations.

- Les primoinscrits au DEUG présentent de sensibles différences de performances et la proportion d'accès au stade opérationnel-formel se situe entre 25 et 50 % sur la base de tests de pensée logique passés en 1991-1992 et 1992-1993.

- L'évolution de la pensée formelle se poursuit à l'université et il y a interaction positive entre la formation et la capacité formelle (observation faite sur des étudiants choisissant le DEUG en trois ans).

Les rapports entre la stabilité et la réactivité des espèces chimiques, qui nécessitent un degré d'abstraction élevée, nous paraissent requérir le stade de la pensée formelle et nous formulons l'hypothèse que le franchissement des obstacles inhérents à ces concepts est lié au développement psycho-cognitif des étudiants comme l'a déjà signalé Herron pour des concepts proches (12).

5.2. Stabilité et réactivité des espèces chimiques

Il convient de distinguer les espèces chimiques isolables, réactifs ou produits de réaction, et les espèces chimiques à faible durée de vie, c'est-à-dire les intermédiaires de réaction.

• Composés isolables

Dans le cas des composés isolables, les espèces les plus stables énergétiquement sont les moins réactives ; on peut alors opposer, au plan thermodynamique, stabilité et réactivité. Le cas des couples acido-basiques en solution aqueuse constitue un exemple typique.

- L'acide fort HA ($pK_a < 0$) est totalement dissocié, donc instable et très réactif avec l'eau ; inversement sa base conjuguée A^- , formée spontanément, est tellement stable qu'elle ne peut pas se recombinaison avec H_3O^+ (ni d'ailleurs avec H_2O) :



- L'acide faible ($0 < pK_a < 14$) l'est d'autant plus qu'il est stable et moins réactif, ce qui se traduit par un équilibre en

(14) STORK H. (1992). "Piaget's development psychology, a help in chemistry teaching". Conference, 1^{re} ECRICE, Montpellier, actes, vol. 1, p. 31-39

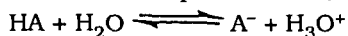
(15) INGLE R.B., SCHAYER M. (1971). "Conceptual demands in Nuffield O-level chemistry". *Education in chemistry*, 8, p. 182-183.

(16) MONTAGNÉ M. (1992). "Maîtrise de la pensée formelle par les étudiants de première année à l'Université. Conséquences didactiques". *Actes des séminaires du Laboratoire de Pédagogie Universitaire et de Didactique de la Chimie*, 1990-1991, p. 61-74.

(17) BARLET R., MONTAGNÉ M. "Évolution de la pensée formelle, la dynamique de la formation", en cours de rédaction.

stabilité
et réactivité
s'opposent :
composés
isolables

milieu aqueux ; plus cet acide est faible, plus sa base conjuguée est forte (moins stable et plus réactive) :



- L'acide très faible ($\text{p}K_a > 14$) est tellement stable qu'il ne réagit pas avec l'eau alors que sa base conjuguée, très forte, est totalement détruite dans l'eau.

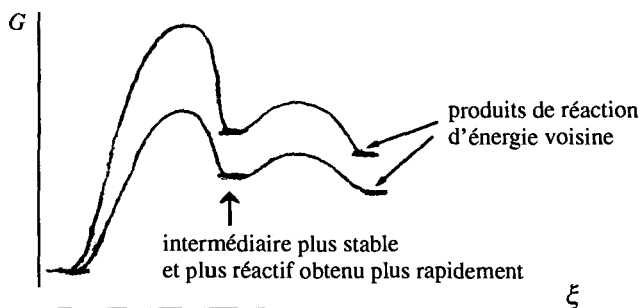
• Intermédiaires de réaction

Dans ce cas, où les espèces intermédiaires ne sont pas isolables, on se trouve dans une situation qui, le plus souvent, conduit à une convergence "apparente" entre stabilité et réactivité.

La formation des intermédiaires thermodynamiquement les plus stables est cinétiquement plus rapide que celle des intermédiaires les moins stables en raison d'une énergie d'activation plus faible.

Ces intermédiaires les plus stables (ou plutôt les moins instables) sont ceux qui réagissent le plus facilement (carbocation tertiaire par rapport à carbocation primaire dans une $\text{S}_{\text{N}}1$, radicaux tertiaires par rapport à radicaux primaires dans une substitution radicalaire S_{R}). Ils se forment en effet en bien plus grande quantité que les intermédiaires les moins stables. Finalement, à partir d'un même composé de départ, l'intermédiaire le plus stable est le plus réactif car dans un mécanisme compétitif, où plusieurs chemins thermodynamiques sont possibles, la voie la moins consommatrice en énergie sera favorisée.

stabilité
et réactivité
vont de pair :
intermédiaires
de réaction



Ainsi, dans le cas où il existe deux possibilités d'orientation en compétition, par exemple lors d'une addition électrophile (ou radicalaire) sur les alcènes, il se forme plus rapidement le carbocation (ou le radical) le plus substitué. C'est donc bien l'espèce la plus stable qui réagit le mieux : il y a convergence entre stabilité et réactivité.

5.3. Stabilité et mésomérie

La mésomérie (résonance entre formules limites) stabilise d'autant plus qu'elle fait intervenir des formules limites de

stabilité
et réactivité
compliquées
par la mésomérie

contribution voisine. Elle vient donc encore compliquer le rapport stabilité-réactivité précédent. La difficulté, là encore relevant d'un haut degré d'abstraction, est double :

- les formules limites ne sont pas des espèces réelles isolables mais des limites mathématiques qui contribuent plus ou moins, par un poids variable, à l'hybride de résonance ;
- leur contribution respective est très différente et la nature des formules limites (formes neutres ou ionisées, proximité ou éloignement des charges...) joue un rôle décisif dans la stabilisation.

5.4. Questionnaire-test sur les effets électroniques

Pour analyser cet obstacle stabilité-réactivité nous avons soumis un questionnaire (annexe II) à des étudiants de 2^{ème} année de DEUG SM_b (un groupe de TD = 20 étudiants), de licence de sciences physiques (LSP = 59 étudiants, ensemble de l'effectif), de maîtrise de sciences physiques (MSP = 41 étudiants, ensemble de l'effectif). Ces passations se sont faites au cours de l'année universitaire 1996-1997.

stabilité
et réactivité :
questionnement
des étudiants
sur les effets
électroniques

Le questionnaire comporte 3 questions.

La première question a pour but de déterminer si la mésomérie est davantage perçue comme la propriété d'un ion plutôt que d'une molécule neutre ; le fait que les doublets libres des hétéroatomes ne sont pas mentionnés (alors que les charges le sont) induira-t-il la réponse ?

Dans la deuxième question, il s'agit de déterminer si les étudiants sont capables d'associer plusieurs concepts et donc d'établir le lien entre mésomérie, stabilité et réactivité en prenant comme support d'étude les réactions acido-basiques du phénol et du cyclohexanol.

La troisième question se rapporte au cation allylique. Ici l'objectif est de vérifier si les étudiants maîtrisent bien le concept de mésomérie des carbocations α -éthyléniques lors de réactions S_N1 et le concept d'hybride de résonance dans lequel la contribution du carbocation secondaire est plus importante que celle du carbocation primaire.

Nous analyserons successivement les réponses aux trois parties du questionnaire.

• *Partie I : acides carboxyliques*

La forme acide, comme la forme basique, donne lieu à mésomérie (question Ia). Sur un total de 120 étudiants, 51 donnent la bonne réponse (42,5 %) tandis que 59 (50 %) pensent que seule la forme basique ionique présente une structure mésomère. Une faible minorité (8 %) donne une réponse incohérente (absence de mésomérie ou mésomérie de l'acide et pas de la base).

Cependant dans la question Ib la moitié seulement des étudiants ayant répondu exactement à Ia interprètent correc-

tement l'acidité de RCOOH (acide faible assez dissocié) sur la base d'une meilleure stabilisation de la forme basique.

Les résultats sont du même ordre dans les trois filières pour la comme pour Ib.

Au total, une faible minorité (23/120 = 19 %) donne une réponse correcte à l'ensemble de la question.

• **Partie II : comparaison de l'acidité du phénol et du cyclohexanol**

À la question IIa la réponse est globalement satisfaisante (80 % en LSP, 73 % en MSP et 75 % en SM_b de réponses en faveur de la plus grande acidité du phénol) mais les justifications sont alors très insuffisantes.

- La moitié des étudiants de SM_b ayant répondu correctement pensent que la forme acide est davantage stabilisée par mésomérie que la forme basique contre 18 % en LSP et 26 % en MSP. Cette réponse est d'une part erronée, la formule limite bi-ionique de l'acide contribue très peu à l'hybride, d'autre part incohérente puisque la stabilisation de la forme acide devrait entraîner un affaiblissement de l'acidité.

- Une minorité seulement des étudiants, parmi ceux ayant indiqué que le phénol est plus acide, pensent que le phénol peut être stabilisé par mésomérie (respectivement 12 % et 30 %).

• **Partie III : mésomérie du cation allylique**

Cette partie est globalement la plus faible. La réponse correcte aux questions IIIa et IIIb (le mélange est obtenu en même proportion parce que le cation intermédiaire présente une mésomérie) n'est fournie que par 10 % des étudiants en SM_b, 24 % en LSP et 15 % en MSP.

Sur un total de 22 étudiants qui donnent une réponse exacte (18 %), seuls 8 étudiants ont répondu correctement à l'ensemble de la question III.

• **Conclusion**

stabilité
et réactivité :
l'utilisation
des concepts
subit
une évolution
très limitée
sur trois ans

On observe que les moins mauvaises performances sont pour la filière LSP, puis la filière MSP mais les résultats sont cependant assez voisins dans ces trois filières situées à bac + 2, bac + 3 et bac + 4.

Tout se passe comme si l'évolution cognitive liée à l'utilisation des concepts de stabilité, réactivité et mésomérie était très limitée. L'obstacle se manifeste dans plusieurs directions.

- La mésomérie paraît affecter plus facilement les formes ioniques que les formes neutres (RCOO⁻ plus que RCOOH).

- La stabilisation relative des espèces est mal évaluée et en particulier la résonance entre formule limite neutre et formule limite bionique [R-CO-OH ↔ R-C(O)⁻ = O⁺H] n'est pas

perçue comme moins forte que la résonance entre formules identiques $[R-C(=O)-O^- \leftrightarrow R-C(O^-)=O]$.

- Le carbocation mésomère n'est pas perçue comme un hybride unique mais comme un équilibre entre les deux carbocations allyliques (*"les 2 carbocations sont mésomères l'un de l'autre et le carbocation secondaire est plus stable que le primaire"*).

- Plus du quart des étudiants (près de la moitié en SM_p) qui affirment à juste titre que le phénol est plus acide que le cyclohexanol cochent la case "non" dans la proposition *"la forme basique est davantage stabilisée par mésomérie que la forme acide"* ; ils ont ainsi du mal à se représenter que la stabilité de la base est antagoniste de sa réactivité.

L'examen de copies en LSP et MSP sur ces quatre dernières années universitaires montre que des questions relatives au classement par acidité croissante de phénols substitués sur le noyau aromatique par des donneurs ou accepteurs mésomères conduisent à plus du tiers de résultats erronés. Les étudiants de second cycle sont ainsi loin de posséder une maîtrise correcte des rapports entre stabilité et réactivité des espèces stables.

stabilité
et réactivité :
faible maîtrise
des rapports
entre
ces deux notions

6. LES MÉLANGES GAZEUX : UNE ENTRÉE MACROSCOPIQUE

6.1. Introduction et conceptions sur les gaz

Des études effectuées sur les gaz, chez des enfants de 11-13 ans, révèlent quelques conceptions caractéristiques (18) (19) (20) :

- l'air enfermé et l'air libre sont décrits différemment ;
- l'air apparaît par chauffage ;
- le gaz est souvent dépourvu de masse.

les obstacles liés
aux grandeurs
physiques
pression
et volume
des gaz
en mélange

Piaget (21) a d'ailleurs montré que les enfants acquièrent d'abord la conservation de la quantité, puis celle de la masse et enfin celle du volume.

De même nous formulons l'hypothèse qu'à l'entrée à l'université il existe un obstacle particulièrement lourd lié aux rapports entre les grandeurs physiques (pression et volume)

(18) SÉRÉ M.-G., TIBERGHEN A. (1989). "La formation des concepts décrivant les états de la matière au collège". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, p. 911-929.

(19) SÉRÉ M.-G. (1992). "Guider le raisonnement d'élèves de collège avec des modèles particuliers de la matière". *Aster*, 14, p. 77-102.

(20) STAVY R. (1988). "Children's conception of gas". *Int. J. Sci. Educ.*, 10, p. 553-560.

(21) PIAGET J., INHELDER B. (1968). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé.

de chacun des gaz d'un mélange. Cet obstacle nous paraît d'origine mixte avec des composantes diverses :

- composante didactique, liée à la forte diminution du volume d'enseignement sur le modèle du gaz parfait dans les nouveaux programmes du second degré (voir 6.2.) ;
- composante épistémologique, associée à la difficulté de concevoir que les gaz, quelle que soit leur nature, présentent, pour une même quantité, un volume identique (cf. difficultés historiques d'acceptation au 19^{ème} siècle de la loi d'Avogadro-Ampère) ;
- composante psycho-cognitive due à la difficulté d'évocation d'images mentales relatives aux gaz en mélange et à la dualité microscopique-macroscopique (difficulté de se représenter les molécules isolées et leur distance, les changements d'état conduisant à des gaz, l'évaporation à toute température...) ;
- composante culturelle amenant à la conception de sens commun de l'air qui n'exerce de pression qu'en mouvement (18) ou qui n'a de réalité chimique que pollué.

Un questionnaire soumis aux étudiants de 1^{ère} année au début de l'année universitaire 1996-1997 et portant sur les mélanges de gaz (annexe III) nous a permis de mettre à l'épreuve ces différentes composantes.

6.2. Antagonisme pression partielle et volume total

antagonisme
pression-volume

L'état gazeux présente des propriétés macroscopiques (pression et volume très variables) et des propriétés microscopiques (grande distance des molécules entre elles) qui le distingue fondamentalement des deux états condensés, liquide et solide. Cette spécificité est source de nombreuses difficultés ou erreurs pour les lycéens et les étudiants.

• Volume molaire

Le volume molaire normal des gaz a une valeur bien définie (22,414 L) déterminée par l'équation d'état du gaz parfait dans des conditions précises de température et de pression (conditions normales : $T = 0\text{ °C}$ et $P = 1\text{ atm}$). L'enseignement a longtemps abusé de cette valeur référence, déterminée dans des conditions particulières (mais paradoxalement indépendante de la nature du gaz), sans expliciter le fondement microscopique de ce volume molaire : *l'éloignement des atomes et des molécules considérées comme indépendantes et sans volume propre dans un modèle idéal.*

le volume
des gaz
indépendant
de la nature
de ces derniers

Dans les nouveaux programmes de sciences physiques, l'enseignement sur le modèle du gaz parfait a pratiquement disparu et en classe de Seconde les compétences exigibles sur ce sujet consistent à relier les quantités de matière aux volumes. Les commentaires précisent que cette notion ne fera l'objet de développements ni théoriques ni expérimentaux.

taux et que les élèves utiliseront ce volume molaire comme facteur de conversion :

$$\begin{array}{l} n \text{ mol} \longrightarrow V \\ 1 \text{ mol} \longrightarrow V_m \end{array}$$

• **Pression partielle**

L'équation d'état $PV = nRT$ fonde la notion de pression partielle. À température et volume constants elle conduit à $P/n = RT/V = \text{constante}$.

La pression est proportionnelle à la quantité de matière et deux cas de figure peuvent se présenter :

chaque gaz
a sa propre
pression

- le gaz est un constituant pur, la pression est la pression totale dans l'enceinte ;
- le gaz est un mélange de constituants, la pression totale P_T est alors la somme des pressions partielles des constituants 1,2.. avec les relations $P_1/n_1 = P_2/n_2 = P_T/n_T$

$$\text{et } n_1 + n_2 + \dots = n_T$$

$$P_1 + P_2 + \dots = P_T$$

• **Volume total**

Dans un mélange, chacun des gaz n'exerce donc qu'une pression partielle par rapport à la pression totale et se comporte comme s'il était seul. Le mélange des gaz ne change pas le comportement de chacun d'entre eux. Chaque gaz occupe tout le volume disponible et ne dispose pas d'un quelconque "volume partiel", analogue de la pression partielle.

chaque gaz
occupe tout
le volume
disponible

Cette notion de mélange gazeux ou chacun des gaz occupe l'ensemble du volume offert prend appui sur la théorie cinétique des gaz et cet antagonisme entre la pression qu'il exerce (une partie seulement de la pression totale) et le volume qu'il occupe (la totalité du volume offert) nourrit une difficulté dont on verra qu'elle se transforme en véritable obstacle.

6.3. Analyse d'ensemble du questionnaire

la quasi-disparition
de l'enseignement
des gaz au lycée...

93 étudiants de première année de DEUG (46 étudiants en MIA5 et 47 étudiants en SM_b) ont répondu au questionnaire sur les gaz, figurant dans l'annexe III, en tout début d'année universitaire 96-97.

Les enseignants de l'université considèrent traditionnellement ces notions (modèle du gaz parfait en particulier) comme un pré-requis pour les études universitaires alors même qu'elles ne sont plus vraiment traitées au lycée.

• **Le volume**

Les étudiants devaient répondre à cinq questions sur le volume occupé par les différents constituants d'un mélange gazeux (la sur un mélange ternaire de CO₂, O₂ et N₂ ; IIb₁ et

...peut-elle expliquer cette conception de "volume partiel" pour les gaz en mélange ?

I**b**₂ sur l'air ; IIIc et III d sur un mélange équimoléculaire de N₂ et O₂).

Dans les trois cas on trouve une forte conception que nous appellerons la conception du "volume partiel" qui consiste à penser que les gaz n'occupent pas tout le volume offert mais un volume proportionnel à leur pourcentage en quantité de matière.

Pour la question I, cette conception explicite recueille 85 % de réponses (79 étudiants) avec des réponses identiques en MIAS et SM. Elle reste à un très haut niveau (72 %) pour la question II sur l'air, que le récipient soit fermé ou ouvert, mais avec cette fois-ci, un caractère plus affirmé en SM (plus de 80 %) qu'en MIAS (de 43 à 52 %).

On retrouve dans la question III, où on ajoutait du dioxygène à un mélange équimolaire de N₂/O₂ sans changement de volume, la conception d'additivité des "volumes partiels" (10 % seulement de bonnes réponses) :

- pour 17 étudiants (18 %) le volume reste égal à 0,5 L alors que celui du dioxygène passe à 0,7 L, malgré l'indication de volume constant fournie dans l'énoncé ;
- pour 50 % d'étudiants, en MIAS comme en SM, le volume total reste inchangé mais, comme on ajoute 2/10 de litre, les "volumes partiels" passent à 7/12 de litre de O₂ et 5/12 de litre de N₂.

• La pression

Les résultats relatifs aux pressions partielles sont globalement meilleurs que ceux relatifs aux volumes mais la cohérence entre les réponses exactes est moins bonne.

Résultats

- Pour la question I (mélange CO₂, O₂, N₂) 45 étudiants (48 %) déterminent correctement la pression partielle mais 38 (41 %) considèrent que chacun des gaz exerce une pression égale à la pression totale.

Si on confronte les résultats sur les volumes et les pressions on note dans le tableau ci-après que plus de la moitié des étudiants ont répondu correctement à la question sur les pressions partielles, que leurs résultats soient bons ou mauvais sur les volumes.

Réponses à la question I

	P justes	P faux	autres	total
V juste	5	4	1	10
V faux	40	31	8	79
autres		3	1	4
total	45	38	10	93

autres = non réponses ou réponses non significatives

Ces résultats permettent de penser que près de la moitié des étudiants considèrent que la pression et le volume dans un

la pression partielle est un concept assez largement acquis...

... qui induit
chez la moitié
des étudiants
la notion
de "volume partiel"

mélange gazeux sont régis par des lois similaires d'additivité.

Il est par ailleurs remarquable de constater que 31 étudiants, le tiers, pensent que les volumes sont additifs comme s'ils ne se mélangeaient pas et que pourtant chaque gaz exerce une pression égale à la pression totale. Cette conception doublement inversée, par rapport à la réalité physique, témoigne de l'importance de l'obstacle sur les gaz.

- Dans la question II sur l'air, on ne pouvait pas prévoir la pression en l'absence d'indication sur la quantité de matière et la température (60 % de réponses exactes) mais une forte minorité (27 %) associe spontanément "air" et "pression atmosphérique".

- Dans la question III sur le mélange équimoléculaire, 68 étudiants (75 %) sont conscients que la pression totale a augmenté si on a rajouté 0,2 L dans le même volume mais seulement 33 (35 %) répondent avec exactitude pour la pression partielle de dioxygène (28 soit 80 % de ceux-là et 30 % du total répondent exactement aux 2 questions).

Cohérence

L'examen des corrélations des réponses entre les questions I et III apporte les informations suivantes.

- Il n'y a que 45 % des étudiants (20/45) qui répondent correctement à la fois à la question Ib sur les pressions partielles des constituants du mélange CO_2 , O_2 , N_2 et à la question III_b sur les pressions partielles du dioxygène dans le mélange équimoléculaire de O_2 et N_2 .

- Une forte minorité de 26 % des étudiants (10/38) donne des réponses fausses à la question Ib mais donne la bonne réponse à la question III_b.

7. PROPOSITIONS DIDACTIQUES

7.1. Un autodiagnostic nécessaire à l'action didactique

Le poids, la persistance et la faible réduction, au fil de la progression universitaire, des obstacles que nous venons d'analyser montrent que l'action didactique, pour avoir un minimum d'efficacité, doit tenir compte de la nature de ces obstacles.

Il n'est évidemment pas envisageable de trouver, pour chacun d'eux, le levier d'action privilégié, le déclic spécifique qui permettrait une réduction décisive et immédiate. Tout au plus, peut-on penser qu'une action didactique, "éclairée" par la nature et le mode de blocage des obstacles, permettra de mieux les contourner ou de mieux les affronter. Cette sorte d'autodiagnostic du fonctionnement didactique est le

mieux connaître
les obstacles

préalable nécessaire pour engager des actions limitées et progressives.

7.2. Un cadre général d'intégration des concepts et de rigueur du langage

mieux intégrer
les concepts

Tous les enseignants connaissent bien les ravages exercés par le cloisonnement des concepts et des formes d'enseignement sur l'apprentissage étudiant. Il secrète la rigidité et empêche les confrontations et les mises en relations fécondes. Engendré ou renforcé par les contraintes du système didactique il trouve un large écho chez l'apprenant qui préfère souvent manipuler des tiroirs étanches.

Mieux intégrer TD et cours ou TP et cours amène toujours un bénéfice pédagogique mais les conditions actuelles d'affaiblissement du potentiel d'encadrement à l'université rendent cette intégration très illusoire.

Une proposition plus opératoire, dans le cadre actuel, serait la recherche permanente d'intégration des concepts : comment lier et confronter microscopique et macroscopique, les différents états de la matière, thermodynamique et cinétique, diversité des espèces et éléments structuraux etc.

clarifier
le langage

Le langage qui joue un rôle symbolique très fort en chimie est très lié à la conceptualisation et nous rappellerons ici, pour mémoire, la clarification langagière que nous avons proposée à propos de l'équation-bilan et des équilibres chimiques (22) et qui n'est pas sans rapport avec l'étude des obstacles que nous venons de faire :

- proscrire l'expression "équilibrer une réaction" et la remplacer par "égaliser une équation de réaction" ;
- distinguer l'équation-bilan et l'équation de réaction ;
- bannir le terme "réversible" pour un équilibre chimique et lui substituer le terme "renversible".

7.3. L'approche systémique et sociologique de la réactivité en chimie organique

montrer
que la réalité
expérimentale
en chimie
organique
est complexe

En chimie organique les étudiants ont le plus grand mal à percevoir le caractère multifactoriel et systémique de la réactivité et à faire le passage du microscopique au macroscopique :

- plusieurs facteurs interviennent simultanément et peuvent s'opposer (substrat, réactif, solvant, température, catalyseur etc.) ;
- il faut prendre en compte l'ensemble de ces facteurs et ne pas mettre en œuvre un raisonnement linéaire causal ne prenant en compte que deux d'entre eux ;
- l'approche globale, holistique, est souvent en porte à faux avec la présentation singulière et moléculaire de tel ou tel composé.

(22) Voir note (8).

Il faut permettre aux étudiants, souvent décontenancés, de maîtriser cette complexité et d'acquérir le minimum de "culture moléculaire" permettant de hiérarchiser les facteurs et d'éviter les contre sens ou le refuge, comme nous l'avons vu, dans une vision purement microscopique des mécanismes.

Nos propositions sont les suivantes :

être rigoureux
dans la symbolique
de représentation

- figurer clairement les doublets non liants autour des différents atomes afin d'identifier les divers sites de réactivité ;
- créer les liaisons nouvelles à partir de ces doublets et non pas des charges négatives ;
- montrer l'importance du solvant et des interactions de solvation aussi bien auprès du substrat que du réactif ;
- recourir en permanence aux informations cinétiques ou thermodynamiques pour ne pas négliger ces deux aspects ;
- montrer que la majorité des réactions conduit à l'établissement d'équilibres chimiques que l'on peut déplacer en fonction des conditions expérimentales ;
- montrer qu'un réactif peut donner des chocs n'importe où sur une molécule mais que généralement on observe expérimentalement une dualité de comportement du réactif (nucléophile ou base, électrophile ou acide) contrôlée par les énergies d'activation relatives.

prendre
en compte
la diversité des
comportements

7.4. Dialectique microscopique-macroscopique, cas de la stéréochimie et de la stabilité et réactivité des espèces chimiques

Pour favoriser le dépassement de la dualité microscopique-macroscopique il nous paraît indispensable de mieux intégrer ces deux niveaux et de recourir, lors des séquences d'enseignement, à un va-et-vient continu permettant de développer une prise en compte du microscopique (image mentale) nécessaire à la compréhension conceptuelle et à l'interprétation des observations expérimentales macroscopiques. Ce va-et-vient doit s'opérer de façon claire et explicite.

favoriser
une dialectique
microscopique-
macroscopique

• Stéréochimie

Les concepts de la stéréochimie nécessitent le passage continu d'un niveau de description à l'autre et la dialectique permanente entre ces deux niveaux nous paraît une nécessité didactique.

associer
microscopique
et macroscopique
en stéréochimie...

- La représentation spatiale en 3 D ne peut s'effectuer qu'au niveau microscopique.

- Le pouvoir rotatoire est une propriété mise en évidence expérimentalement au niveau macroscopique mais il est lié à la chiralité au niveau microscopique.

- Il convient de montrer, chaque fois que possible, que l'absence de pouvoir rotatoire peut être due à une compensation macroscopique (racémique séparable en ses

énantiomères) ou microscopique (molécules gauches formant deux à deux des ensembles racémiques).

- La loi du centre de chiralité (portant nécessairement des ligands différents) présente un double fondement macroscopique et microscopique (les molécules actives chirales à l'échelle microscopique ne donnent pas de compensation de cette activité à l'échelle macroscopique).

... de même
que conformations
et configurations

- L'étude simultanée des configurations et des conformations, nécessaire à la bonne compréhension de la stéréochimie, implique cette double approche et l'analyse conformationnelle est par définition une étude liant ces deux approches (sociologie moléculaire).

Une entrée simultanée par les deux niveaux de description permettrait probablement de limiter les raisonnements erronés des étudiants.

- Par une entrée microscopique exclusive ils négligent les aspects cinétiques et thermodynamiques du niveau macroscopique (une molécule n'existe que sous sa conformation la plus stable, ce qui ignore la libre rotation et donc le passage, pour les composés optiquement inactifs, pas des formes chirales qui se compensent).

- Par une entrée macroscopique ils transfèrent des propriétés macroscopiques au niveau moléculaire (la molécule n'est pas chirale puisqu'elle ne possède pas de carbone asymétrique, une réaction stéréospécifique telle que l'élimination E_2 nécessite l'utilisation de conformations décalées, totalement figées).

• **Réactivité et stabilité des espèces chimiques**

La double entrée microscopique-macroscopique est nécessaire pour relier stabilité et réactivité des espèces chimiques.

- L'aspect microscopique permet d'interpréter au niveau moléculaire les résultats expérimentaux observés au niveau macroscopique.

- L'opposition ou la convergence entre stabilité et réactivité (selon les cas l'espèce la plus stable est la moins réactive ou la plus réactive) ne peut être appréhendé qu'en référence à la thermodynamique et à la cinétique qui doivent être discutées, dans chaque cas, aux deux niveaux de description plutôt qu'au seul niveau observable.

7.5. Décloisonnement et confrontation cinétique-thermodynamique, cas de la réactivité des espèces

Dans le cas de la prise en compte des aspects cinétiques et thermodynamiques, on se situe obligatoirement à un niveau statistique macroscopique. À ce niveau homogène on peut créer un nouveau cloisonnement. C'est le cas de l'enseignement sur les équilibres, présenté trop souvent à partir de la seule thermodynamique (constante d'équilibre, énergie libre)

intégrer évolution
vers les équilibres
et évolutions
cinétiques

et en négligeant l'aspect cinétique qui pourtant permet d'expliquer l'état dynamique d'un équilibre : la vitesse de disparition des réactifs diminue tandis que celle de formation des produits augmente et à l'équilibre elles sont égales et ne varient plus.

présenter
l'antagonisme
contrôle
cinétique/contrôle
thermodynamique

Un exemple très intéressant et trop négligé dans les enseignements de base est la question du contrôle cinétique et du contrôle thermodynamique des réactions (addition électrophile 1,2 cinétique ou 1,4 thermodynamique sur les diènes conjugués en chimie organique, synthèse de NH_3 à partir de N_2 et H_2 en chimie minérale favorisée thermodynamiquement à basse température mais nécessitant une température assez élevée pour se dérouler suffisamment vite).

La maîtrise conceptuelle de la dualité stabilité-réactivité est, comme nous l'avons vu, particulièrement délicate puisque la marge de progression, évaluée par notre test, est très faible de bac+2 à bac+4. Les exigences didactiques pour permettre une évolution un peu plus significative nous paraissent les suivantes :

visualiser par
des diagrammes
les évolutions
énergétiques

- bien distinguer espèces isolables ou non isolables ;
- expliciter les différences entre espèces isolables et espèces mésomères, entre espèces en équilibre et hybride de résonance ;
- recourir aux diagrammes énergétiques permettant une visualisation et une confrontation des paramètres énergétiques, cinétiques (énergie d'activation) et thermodynamiques (énergie libre), associés à l'avancement de réaction.

7.6. Modélisation des états physiques, le cas des gaz

Des trois états de la matière, l'état gazeux est celui qui pose le plus de problèmes aux débutants en chimie (23). Les résultats du questionnaire sur les gaz montrent que les difficultés persistent largement à l'université et que les propriétés des gaz doivent faire l'objet d'un traitement spécifique.

La remédiation à cet obstacle à multiples composantes nous paraît devoir se situer principalement dans le champ psycho-cognitif. Elle devrait viser l'amélioration de la capacité à évoquer des images mentales et un modèle microscopique opératoire avec les points d'appui suivants :

traiter les gaz
de façon
spécifique

- recours à la théorie cinétique des gaz montrant la multiplicité des chocs et leur relation avec la pression ;
- enseignement du modèle du gaz parfait maintenant absent des programmes du secondaire ;
- comparaison avec les autres états physiques montrant que les mélanges de gaz constituent toujours des mélanges homogènes et que chacun d'entre eux occupe tout le volume disponible ;

(23) Voir note (19).

- modélisation du processus d'évaporation et de l'équilibre liquide-gaz à toute température.

CONCLUSION

L'ensemble des obstacles examinés dans l'enseignement universitaire nous paraît constituer un signal d'alerte pour la didactique de la chimie. La motivation pour la chimie nous semble pourtant en progression à l'université (24) et les nouveaux programmes du secondaire devraient favoriser cette évolution.

On peut cependant craindre que la transition entre secondaire et supérieur ne souffre d'une présentation plus vivante mais moins structurée de la chimie si l'université ne fait pas l'effort d'adaptation nécessaire. Nous espérons que cet article pourra contribuer à éclairer le diagnostic et à situer les enjeux disciplinaires.

Roger BARLET
Dominique PLOUIN
Laboratoire Interdisciplinaire
de Didactique des Sciences
Expérimentales
Université Joseph Fourier, Grenoble 1

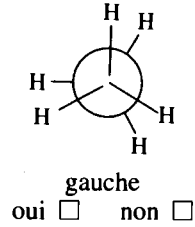
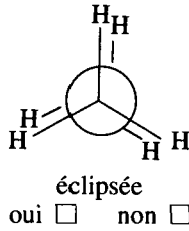
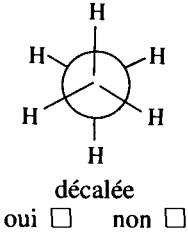
(24) BARLET R. (1995). "Entre physique et biologie, la chimie en mal d'identité ?". *12^{èmes} JIREC*, Strasbourg, Actes, p. 60-64.

ANNEXE I

Stéréochimie

Question I

a) Les 3 conformations ci-dessous de l'éthane sont-elles chirales ?



b) Dans le cas où vous répondez oui, justifiez

c) À l'échelle macroscopique (grand nombre de molécules de conformation variable) l'éthane se comporte-t-il comme un composé chiral ?

oui

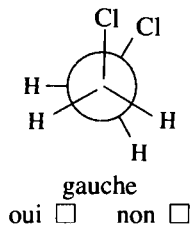
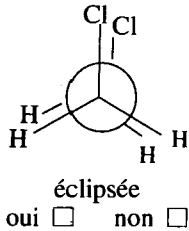
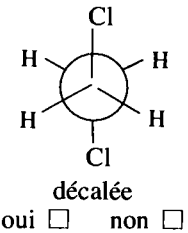
non

Justifiez

.....

Question II

a) Les 3 conformations ci-dessous du 1,2-dichloroéthane sont-elles chirales ?



b) Dans le cas où vous répondez oui, justifiez

c) À l'échelle macroscopique le 1,2-dichloroéthane se comporte-t-il comme un composé chiral ?

oui

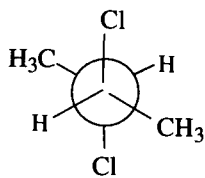
non

Justifiez

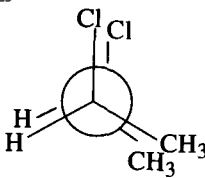
.....

Question III

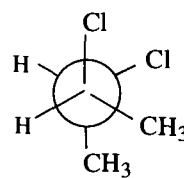
a) Les 3 conformations ci-dessous du 2,3-dichlorobutane *RS* sont-elles chirales ?



oui non



oui non



oui non

b) Dans le cas où vous répondez oui, justifiez

.....

.....

c) À l'échelle macroscopique le 2,3-dichlorobutane *RS* se comporte-t-il comme un composé chiral ?

oui

non

Justifiez

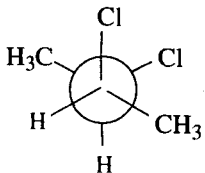
.....

.....

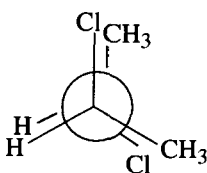
.....

Question IV

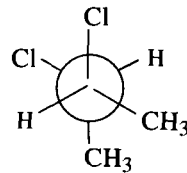
a) Les 3 conformations ci-dessous du 2,3-dichlorobutane *RR* sont-elles chirales ?



oui non



oui non



oui non

b) Dans le cas où vous répondez oui, justifiez

.....

c) À l'échelle macroscopique le 2,3-dichlorobutane *RR* se comporte-t-il comme un composé chiral ?

oui

non

Justifiez

.....

.....

.....

ANNEXE II

Effets électroniques

I - Les acides carboxyliques RCOOH sont des acides faibles.

- a) La forme acide RCOOH donne-t-elle lieu à mésomérie ? oui non
 La forme basique RCOO⁻ donne-t-elle lieu à mésomérie ? oui non

b) RCOOH est un acide faible :



- parce que la forme acide est davantage stabilisée par mésomérie que la forme basique :

oui non

- parce que la forme basique est davantage stabilisée par mésomérie que la forme acide :

oui non


Justifiez

II - a) Le phénol  est-il plus ou moins acide que le cyclohexanol  ?
 plus acide moins acide

En fonction de votre première réponse, répondre soit à b) + c) soit à d) + e).

b) Si le phénol est plus acide que le cyclohexanol c'est parce que dans les couples acide-bases correspondants :

- le phénol est plus stable que le cyclohexanol : oui non

- le phénate  est plus stable que le cyclohexanolate : oui non

c) Si le phénol est plus acide que le cyclohexanol c'est parce que dans le couple phénol/phénate :

- la forme acide est stabilisée par mésomérie oui non

- la forme basique est stabilisée par mésomérie oui non

- la forme acide est davantage stabilisée par mésomérie que la forme basique :
 oui non

- la forme basique est davantage stabilisée par mésomérie que la forme acide :
 oui non

d) Si le phénol est moins acide que le cyclohexanol c'est parce dans les couples acides bases correspondants :

- le cyclohexanol est plus stable que le phénol oui non

- le cyclohexanolate est plus stable que le phénate oui non

e) Si le phénol est moins acide que le cyclohexanol c'est parce que dans le couple phénol/phénate :

- la forme acide est stabilisée par mésomérie oui non

- la forme basique est stabilisée par mésomérie oui non

- la forme acide est davantage stabilisée par mésomérie que la forme basique :
 oui non

- la forme basique est davantage stabilisée par mésomérie que la forme acide :
 oui non

III - Dans un solvant protique l'halogénure $\text{CH}_3\text{CHCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$ (A) et l'halogénure $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$ (B) subissent une hydrolyse de type $\text{S}_{\text{N}}1$ qui conduit à un mélange d'alcools : $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ (C) et $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$ (D).

a) Ce mélange est-il obtenu en même proportion quand l'hydrolyse est réalisée à partir de (A) ou à partir de (B) : oui non

b) Si oui c'est parce que le cation formé intermédiairement est mésomère

oui non

pour une autre raison

oui non

c) Si non, peut-on donner l'interprétation suivante :

- (A) conduit au carbocation $\text{CH}_3\text{CH}^+-\text{CH}=\text{CH}_2$ qui conduit d'abord à l'alcool (C) puis secondairement à l'alcool (D) oui non

La raison en est la mésomérie du carbocation secondaire

oui non

- (B) conduit au carbocation $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2^+$ qui conduit d'abord à l'alcool (D) puis secondairement à l'alcool (C) oui non

La raison en est la mésomérie du carbocation secondaire

oui non

ANNEXE III

Mélanges de gaz

I - Un mélange de gaz se compose de 30% de CO_2 , 20% de O_2 , et 50% de N_2 . On place ce mélange dans un récipient de 2 L.

a) Quel est le volume occupé par chacun des constituants :

CO_2	0,6 L <input type="checkbox"/>	0,9 L <input type="checkbox"/>	2 L <input type="checkbox"/>	je ne sais pas <input type="checkbox"/>
O_2	0,4 L <input type="checkbox"/>	0,6 L <input type="checkbox"/>	2 L <input type="checkbox"/>	je ne sais pas <input type="checkbox"/>
N_2	1 L <input type="checkbox"/>	0,5 L <input type="checkbox"/>	2 L <input type="checkbox"/>	je ne sais pas <input type="checkbox"/>

b) La pression du mélange placé dans le récipient est de 1 atm.

Quelle est la pression exercée par chacun des constituants :

CO_2	1 atm <input type="checkbox"/>	0,3 atm <input type="checkbox"/>	0,7 atm <input type="checkbox"/>
O_2	1 atm <input type="checkbox"/>	0,2 atm <input type="checkbox"/>	0,8 atm <input type="checkbox"/>
N_2	1 atm <input type="checkbox"/>	0,5 atm <input type="checkbox"/>	1,5 atm <input type="checkbox"/>

II - L'air est un mélange de 4 parts de N_2 et 1 part de O_2 en volume.

a) L'air peut-il être constitué de :

4 mol de O_2 et 1 mol de N_2	oui <input type="checkbox"/>	non <input type="checkbox"/>
2 mol de O_2 et 2 mol de N_2	oui <input type="checkbox"/>	non <input type="checkbox"/>
0,4 mol de N_2 et 0,1 mol de O_2	oui <input type="checkbox"/>	non <input type="checkbox"/>
1 mol de N_2 et 0,25 mol de O_2	oui <input type="checkbox"/>	non <input type="checkbox"/>

b) Dans un récipient fermé de 1 L rempli d'air, le diazote occupe un volume de :

0,2 L <input type="checkbox"/>	0,8 L <input type="checkbox"/>	1 L <input type="checkbox"/>
--------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Dans un récipient ouvert de 1 L rempli d'air, le diazote occupe un volume de :

0,2 L <input type="checkbox"/>	0,8 L <input type="checkbox"/>	1 L <input type="checkbox"/>
--------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Dans un récipient fermé de 0,5 L rempli d'air, la pression est de :

1 atm <input type="checkbox"/>	0,5 atm <input type="checkbox"/>	on ne peut pas prévoir <input type="checkbox"/>
--------------------------------	----------------------------------	---

III - Un récipient de 1 L est rempli d'un mélange équimolaire de N_2 et O_2 . Ce mélange est à la pression atmosphérique ($P = 1$ atm). Le récipient est surmonté d'un col étroit fermé par une membrane en caoutchouc imperméable.

On introduit, dans le récipient, 0,2 L de O_2 , à la même température et à la même pression, au moyen d'une seringue fine. La seringue une fois retirée, l'élasticité de la membrane empêche le mélange de ressortir et le volume du récipient reste inchangé.

a) Quelle est la pression du nouveau mélange dans le récipient :

2 atm <input type="checkbox"/>	1,2 atm <input type="checkbox"/>	1 atm <input type="checkbox"/>	0,5 atm <input type="checkbox"/>
--------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

b) Quelle est la pression du dioxygène :

0,2 atm <input type="checkbox"/>	1 atm <input type="checkbox"/>	0,7 atm <input type="checkbox"/>	1,2 atm <input type="checkbox"/>
----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

c) Quel est le volume occupé par le dioxygène :

1 L <input type="checkbox"/>	0,5 L <input type="checkbox"/>	0,7 L <input type="checkbox"/>	$\frac{7}{12}$ de L <input type="checkbox"/>
------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--

d) Quel est le volume occupé par le diazote :

1 L <input type="checkbox"/>	0,5 L <input type="checkbox"/>	$\frac{5}{12}$ de L <input type="checkbox"/>	0,3 L <input type="checkbox"/>
------------------------------	--------------------------------	--	--------------------------------

LA PERTURBATION CONCEPTUELLE : OUTIL POUR DÉPASSER LES OBSTACLES

Marie-Louise Zimmermann-Asta

La "perturbation conceptuelle" s'appuie sur la prise en compte des "conceptions-obstacles" des apprenants. Utilisée dans un enseignement centré sur l'élaboration du savoir par l'apprenant elle permet à l'élève de construire des conceptions de plus en plus scientifiques. Seize années d'expérimentation sur le terrain éducatif, dans des conditions réelles, ont permis de tester ses effets et de préciser ses conditions d'utilisation.

1. LE CONCEPT

Le concept de "perturbation conceptuelle" (Zimmermann-Asta, 1990) recouvre tous les éléments perturbateurs choisis par l'enseignant pour déstabiliser les modèles explicatifs de l'élève. Plutôt que de tenter de définir ce nouveau concept, ce qui serait une gageure, voici quelques idées qui permettront de le clarifier par comparaison à d'autres concepts didactiques.

Conçue comme moyen pour agir sur les conceptions, la "perturbation conceptuelle" s'appuie, entre autres, sur la connaissance des "conceptions-obstacles" qui ont été définies comme des "conceptions initiales qui n'évoluent pas" si on ne leur fait pas subir des traitements particuliers (Zimmermann-Asta, 1990). Ces "conceptions-obstacles" ne sont pas considérées comme "des obstacles à éliminer mais comme des "ponts" vers la construction de conceptions plus évoluées" (Zimmermann-Asta, 1996).

nouveau
concept

La "perturbation conceptuelle" est utilisée dans le cadre d'un modèle d'apprentissage et non d'un modèle d'enseignement et c'est en termes constructivistes que le processus d'apprentissage est décrit. Caractérisée par le fait qu'elle s'appuie sur des éléments en opposition avec la pensée des élèves, la perturbation conceptuelle a été conçue dans le cadre d'une approche qui privilégie la construction du savoir par l'apprenant, *l'apprentissage par l'autonomie*, et qui a été influencée par le constructivisme didactique avec les axiomes suivants : "*l'apprenant est l'artisan de ses propres connaissances*", "*la connaissance se construit en prenant appui sur les connaissances précédentes*" et "*la connaissance se construit à partir des perturbations et grâce aux conflits*".

conflits

Alors que le "conflit conceptuel" (Giordan et De Vecchi, 1987) se centre sur le conflit de l'élève face à la réalité expérimentale ou face à ses pairs, la "perturbation conceptuelle" est un procédé didactique choisi et exploité par l'enseignant,

qui conçoit son enseignement en fonction des turbulences qu'il veut mettre en œuvre. Le conflit est fondamental pour provoquer les changements conceptuels, mais il doit être géré par l'enseignant de façon à ce que les apprenants puissent opérer ces changements.

Le "conflit socio-cognitif" (Perret-Clermont, 1986) met plus particulièrement l'accent sur l'opposition des opinions exprimées dans des relations sociales relativement codifiées. La perturbation conceptuelle le met en jeu, mais comme un moyen parmi d'autres.

Elle s'appuie sur l'étonnement, – et nous rejoignons Legrand (1972) quand il dit que *"c'est la culture de l'étonnement chez l'enfant qui pourra seule entretenir et enrichir une ouverture intellectuelle indispensable à tous progrès ultérieurs"* –, mais elle n'en fait pas le ressort unique de création de turbulences.

Elle ne se centre pas sur le "développement conceptuel" (Désautels, 1989), mais sur les conditions qui favorisent ce développement conceptuel.

"L'idée de confrontation apparaît comme un des éléments essentiels dans l'approche des mécanismes du développement conceptuel" (Giordan et De Vecchi, 1987). En contradiction avec les conceptions de l'apprenant, la perturbation conceptuelle suscite une démarche personnelle de changement. Elle crée donc "un déséquilibre culturel" qui facilite une évolution, et semble être un élément favorable à la conceptualisation.

nouvelle
stratégie

Elle s'utilise dans le cadre d'une certaine "stratégie du dérangement épistémologique" (Désautels, Larochelle, 1993) qui s'appuie sur les éléments suivants : le savoir scientifique est construit ; le savoir scientifique est négocié. Dans le cadre dans lequel j'enseigne, les apprenants sont bien conscients que de véritables situations de recherches ne sont pas proposées, que les solutions ont déjà été trouvées et qu'ils sont dans une situation de redécouverte. Néanmoins, dans la classe, le savoir est discuté, négocié entre pairs. En aucun cas la réponse n'est divulguée ou imposée par l'enseignant. La classe joue alors le rôle d'une "micro-société scientifique" élaborant un "micro-consensus scientifique". Ce travail permet de démythifier la science.

Il ne suffit pas d'une évidence empirique contradictoire pour amener l'élève à abandonner ses conceptions et à en acquérir d'autres plus scientifiques. Diverses perturbations sont souvent nécessaires pour provoquer un changement conceptuel. Elles viennent compléter les stratégies didactiques déjà connues et augmentent ainsi la variété des tactiques éducatives.

Comme le soulignent Maria Arca et Silvia Caravita (1993), *"apprendre à évaluer des processus d'apprentissage, différents pour chaque enfant, est particulièrement difficile et ne correspond pas aux objectifs de "standardisation culturelle" que l'école s'est fixés"*. La perturbation conceptuelle ne peut

donc s'utiliser que dans un contexte où un contrat didactique autre a été établi, où la diversité individuelle est considérée et où l'évaluation ne porte pas, comme traditionnellement, sur les connaissances acquises mais prend en compte les processus d'apprentissage (évaluation de la qualité de la démarche, de la participation à la mise en commun, etc.).

2. L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE "APA"

2.1. Qu'est-ce que "l'apprentissage des sciences par l'autonomie" ?

L'approche pédagogique, appelée *apprentissage des sciences par l'autonomie* (APA) (1), que j'ai créée et expérimentée depuis seize ans à l'École de Culture Générale Jean Piaget de Genève (2), s'inscrit directement dans la ligne des travaux de didactique et d'épistémologie des sciences, et particulièrement dans le cadre des travaux du laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences (LDES).

Centrée sur celui qui apprend, elle vise à lui permettre de s'approprier concepts et démarches scientifiques en évitant de plaquer des informations sur ses structures de pensée ou de lui faire répéter des formules vides, des mots creux dont il n'a compris ni le sens ni l'utilisation.

C'est ce qu'on pourrait appeler une "pratique pédagogique structurée". En situation de terrain, cette pratique pédagogique s'est précisée, modifiée, étendue à plus d'élèves, plus d'enseignants, ainsi qu'à d'autres degrés d'enseignement, tout en restant limitée à l'enseignement de la physique, car c'est pour ce champ d'action que, pour le moment, tous les auxiliaires didactiques ont été conçus. C'est aussi une pratique structurée. Elle s'est nourrie de diverses théories de la construction du savoir, de pratiques pédagogiques, de nouvelles recherches, de travaux réalisés avec les enseignants de l'École Jean Piaget et l'équipe de recherche du LDES. On peut donc parler d'un modèle pédagogique issu d'une pratique théorisée.

APA pratique
pédagogique
structurée

-
- (1) Pour plus de détails se référer à : ZIMMERMANN-ASTA M.-L., PAILLARD B., (1987), *Apprentissage des sciences par l'autonomie APA*, Genève, LDES, Université de Genève.
- ZIMMERMANN-ASTA M.-L., (1996), *Sur les chemins de l'apprendre*, Genève, Les Éditions du CEFRA.
- (2) École Jean Piaget : élèves en scolarité post-obligatoire (16 à 19 ans), entreprenant trois années d'études pour obtenir un diplôme de culture générale. Dans le cadre de l'école de culture générale pour adultes (ECGA), l'école reçoit des étudiants adultes désirant obtenir un diplôme ou des compléments scientifiques au diplôme.

À l'École Jean Piaget, cette nouvelle pratique pédagogique a été généralisée par décision du corps professoral concerné, pour tout l'enseignement des sciences expérimentales (physique et chimie) en première année (âge moyen des élèves : 16 ans). Des analyses effectuées sur des populations d'une cinquantaine d'élèves chacune ont montré que les connaissances acquises par les élèves en pédagogie APA étaient meilleures que celles qu'obtenaient les élèves suivant un enseignement traditionnel.

Le modèle APA demande aux enseignants un changement de conceptions pédagogiques ; il ne peut être imposé. En 2ème et 3ème année (physique) deux pratiques pédagogiques coexistent donc dans cette école : l'enseignement traditionnel et l'APA. Les thèmes et les examens sont communs.

Certains maîtres de physique d'un cycle d'orientation genevois (3) utilisent cette pédagogie.

2.2. Caractéristiques générales

L'élève est pris en compte au niveau de ses caractéristiques propres, mais aussi au niveau de ses conceptions et de ses mécanismes d'apprentissage. Le développement de l'autonomie est considéré comme un élément fondamental pour soi-même et pour la réussite des études ultérieures.

Le travail de l'enseignant ne consiste plus à transmettre des connaissances à l'élève, mais à lui offrir les conditions d'une appropriation du savoir scientifique. Le maître se situe un peu en retrait, laissant la scène à l'apprenant. Son rôle n'est pas négligeable, mais il est différent. Il est un médiateur entre les connaissances et l'élève, et ceci dans un contexte institutionnel qui n'est pas occulté, même s'il n'apparaît pas directement sur le schéma de la page suivante.

L'enseignant s'appuie sur les contenus d'enseignement, les théories de l'apprentissage, son expérience pédagogique pour construire des aides didactiques appropriées. Celles-ci sont conçues pour amener l'élève à chercher, à réfléchir.

appropriation
du savoir

(3) Cycle d'orientation de Bois Caran à Genève. Un cycle d'orientation est une école obligatoire du secondaire inférieur, accueillant les élèves de 12 à 15 ans.

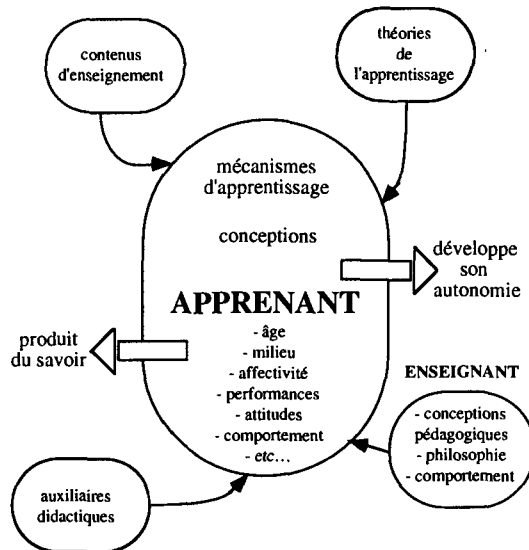


Schéma extrait de *Sur les chemins de l'apprendre*
(Zimmermann-Asta, 1996)

2.3. Les différentes phases

Cette pédagogie se caractérise par trois phases spécifiques : phase de recherche, phase de mise en commun, phase de réinvestissement des connaissances. Ces phases sont souvent bien séparées, mais elles peuvent aussi agir les unes sur les autres.

• Phase d'investigation

C'est une phase de recherche dont l'enseignant fixe les thèmes et où l'élève donne libre cours à sa créativité pour formuler hypothèses et réponses.

Travaillant généralement en binômes, les élèves consultent documents, livres et ont libre accès au matériel pour réaliser leurs expériences. Conscient de la diversité des démarches possibles, l'enseignant les laisse parcourir leur propre chemin, mais ils devront toutefois examiner leur démarche, la préciser, et même la justifier, accomplissant ainsi une réflexion face à l'activité qu'ils sont en train de déployer. Créant un débat véritable, les deux coéquipiers confrontent leurs conceptions.

L'apprenant prend donc peu à peu conscience de ses conceptions scientifiques et des procédures qu'il met en œuvre pour élaborer une réponse. Pour ce faire, le question-

créativité

recherche des
conceptions et
des procédures

nement (4) effectué par l'enseignant est essentiel. Il suscite une évocation du cheminement expérimental parcouru, qui joue comme un moyen de comprendre, de clarifier et de mettre en mémoire les stratégies.

Dans cette phase d'investigation, la perturbation conceptuelle est utile pour franchir les blocages. Lorsque l'apprenant se trouve dans une situation conflictuelle face à ses propres conceptions, il est obligé de chercher des éléments plus pertinents. Cette confrontation intra-individuelle est souvent dynamisante et donne du tonus pour chercher.

Les faces cachées de cette phase nécessitent que l'enseignant ait une connaissance des conceptions initiales générales des élèves sur le thème étudié, mais c'est surtout sa connaissance de leurs conceptions-obstacles qui est importante. Pour amener celles-ci à évoluer, il présente des éléments imprévus : des expériences surprenantes, des documents contradictoires, des situations problématiques. Ce sont des outils permettant de briser les conceptions spontanées. Comme le précise Giordan (1993), c'est à la fois avec, en prenant appui sur, et contre les conceptions qu'il faut travailler. Il est donc nécessaire que l'enseignant ait élaboré avec soin les auxiliaires didactiques.

• Phase de mise en commun

Dans cette phase, essentielle, l'élève réalise une mise en relation des différents éléments cognitifs en prenant appui sur une évocation des expériences et recherches effectuées lors de la phase précédente.

statut de l'erreur

Chacun développe sa dialectique afin de convaincre les autres de la validité de son raisonnement. L'erreur est dépenalisée puisque révélatrice des conceptions et des conceptions-obstacles des apprenants. Les conclusions auxquelles chaque groupe de travail aboutit sont confrontées et critiquées par tous les élèves de la classe. Pour que ces confrontations interindividuelles aient lieu dans de bonnes conditions, il faut que les règles de communication soient établies et respectées. Prénotions rémanentes, concepts intermédiaires et connaissances scientifiques s'y côtoient, sont jaugés et discutés.

Les élèves élaborent une réponse commune, valable pour une classe donnée, à un moment donné. Celle-ci n'est pas forcément la solution scientifique, mais elle est caractéristique des niveaux de formulation et de résolution auxquels ils sont arrivés.

(4) Le séminaire "*Comment développer les capacités d'apprentissage*" propose une formation à l'utilisation de différents questionnements pédagogiques. Il est animé par Marie-Louise Zimmermann-Asta dans le cadre de la formation continue de l'Université de Genève (renseignements : LDES-FPSE, Université de Genève, 7 rte de Drize, CH 1227 Carouge, (tel : 0041-22 705 96 18 ; fax : 0041-22 342 89 24).

confrontations

L'enseignant qui dirige la discussion a pour mission de ne pas intervenir comme expert. Pendant tout le débat, il provoque les élèves pour les inciter à affiner leurs argumentations, mais en aucun cas ne parachute une réponse. Il emploie les perturbations conceptuelles comme un instrument pour que les apprenants avancent sur le chemin de la conceptualisation. Il cherche à rendre la communication aussi aisée que possible. Gérer un tel échange n'est pas chose facile car, tout en restant en retrait, il doit veiller à sauvegarder l'équilibre entre la discussion anarchique et le monologue que tenteront certains. Le but est d'obtenir un "micro-consensus scientifique", donc une réponse négociée et acceptée par tous les participants.

L'élaboration d'un savoir n'est ni une accumulation, ni un empilement de briques de connaissances. C'est une modification, une restructuration continue devenant de plus en plus complexe. Le débat scientifique favorise cette structuration des connaissances en l'inscrivant dans l'espace et dans le temps.

synthèse structurante

Afin de favoriser la mémorisation des éléments essentiels, une synthèse structurante est élaborée en commun au cours de la discussion. On utilise les techniques du "schéma heuristique" (Buzan, 1984), basées sur une mémoire dynamique, sur une conduite inventive et qui traçent le contour d'une démarche intellectuelle et sa structuration. Les mots-clefs et/ou les images sont disposés autour d'un point central et reliés les uns aux autres. Le centre du schéma est le thème étudié (par exemple : les forces, le changement d'état, etc.). L'importance relative de chaque idée est clairement indiquée. Les liens entre concepts sont perceptibles. Un schéma est retranscrit (en général par l'enseignant) sur le tableau blanc. Chaque élève peut réaliser son schéma, qui possède alors son originalité propre, mais il y a élaboration commune lors de la synthèse structurante.

Conservera-t-on des éléments qui seraient "erronés" ? Cela supposerait des conceptions qui résistent à tout ce qui a été mis en place. Si le cas se produisait, on pourrait noter sous forme de questions en suspens les problèmes non résolus, mais c'est peu probable car les documents, les perturbations, les auxiliaires didactiques ont été conçus pour déstructurer les conceptions inadéquates.

• Phase de réinvestissement

Le réinvestissement des connaissances, des stratégies de résolution de problèmes, des démarches d'expérimentation peut être concrétisé de différentes façons lors de nouvelles expériences ou recherches, ou sous une forme particulière dans les tests : tests de connaissances, tests de réflexion et tests pratiques.

les tests

Les premiers font plus particulièrement appel à la mémorisation et ont pour but la vérification des connaissances réellement acquises par les élèves. Ce sont des tests sommatifs,

tout à fait classiques mais ils ne sont jamais annoncés aux élèves afin d'éviter les interférences de la mémoire immédiate.

Les deuxièmes sont axés sur la compréhension, la réflexion et l'imagination. Ils font référence aux situations créées en classe, aux connaissances acquises, mais ils exigent un réajustement de celles-ci à l'occasion d'une question originale qu'il faudra décoder et auquel il faudra apporter une solution.

Quant aux derniers, ils mettent en œuvre un savoir-faire : une utilisation concrète, une mémorisation de démarche, une réflexion, une mobilisation de l'imagination puisque les situations proposées ont toujours un aspect inédit. Sans aucun document de référence, chaque élève reproduit une partie d'une expérience déjà réalisée, mais il est confronté, en outre, à un problème nouveau. Ses capacités d'imagination, de réflexion, son ingéniosité sont donc testées. À l'aide de grilles d'observation, le maître suit la progression de l'élève et vérifie ses savoir-faire, son autonomie, son ingéniosité, ses capacités de réflexion, sa rapidité, etc. L'évaluation porte sur la prise en compte des démarches, de l'argumentation, des connaissances acquises, des progrès effectués.

l'évaluation

2.4. La perturbation conceptuelle

Ne nous leurrions pas. La perturbation conceptuelle permet une évolution des conceptions, elle n'est pas une recette pédagogique. Elle intervient dans chacune des trois phases de la méthode APA, mais c'est dans la phase de mise en commun qu'elle est le plus utilisée. Elle ne se pratique qu'avec des effectifs faibles (12 à 14 élèves), de façon continue, et non pas simplement pour étonner les élèves.

La pratique de la perturbation conceptuelle demande une formation préalable. En effet, si l'enseignant n'est pas habitué à prendre en compte ses divers éléments, il n'est pas non plus prêt à assumer les conflits qu'elle provoque.

Elle demande à l'enseignant de connaître les conceptions des apprenants sur les thèmes étudiés. Pour cela, il peut faire des enquêtes ou étudier les publications des travaux de recherches. Il identifiera ainsi les conceptions et les conceptions-obstacles de ses apprenants afin de concevoir son cours, cibler les perturbations conceptuelles nécessaires, et les utiliser au moment qu'il jugera adéquat. Sa prise de décision est justifiée par l'observation des raisonnements des apprenants. Il doit donc avoir, à disposition dans la salle, matériel et documents.

Elle nécessite du temps : temps pour s'adapter à la particularité des apprenants, temps de cheminement de chacun. L'enseignant est attentif à ce que les plus rapides ne s'ennuient pas, que les plus lents travaillent sans frustration et que chacun soit suffisamment dynamique.

temps
nécessaire...

Elle exige une gestion particulière de la classe : non directivité pour les démarches de recherches, pour les argumentations ; consignes strictes (élaborées par la classe) concernant la sécurité et l'attitude en classe.

3. EXEMPLES DE PERTURBATIONS CONCEPTUELLES

Ci-après sont présentés quelques questions, expériences, documents perturbateurs, successions de perturbations. En eux-mêmes, ces éléments ne suffisent pas à créer la perturbation, qui dépend de l'exploitation qu'en fait l'enseignant.

3.1. Les questions perturbatrices

- **Question N°1**

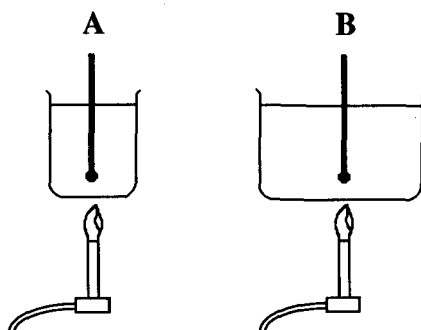
Quelle différence y a-t-il entre 90 km/h et 25 m/s ?

qu'est-ce qui perturbe ?

La formulation de la question peut être perturbatrice, car elle insiste sur la différence alors que ces deux valeurs sont identiques, mais exprimées dans des unités différentes.

- **Question N°2**

Dans les deux récipients ci-dessous, l'eau bout



Quelle température le thermomètre A va-t-il indiquer ?

- la température indiquée par A est supérieure à celle indiquée par B

- la température indiquée par A est la même que celle de B

- la température indiquée par A est inférieure à celle indiquée par B

Expliquez pourquoi vous avez choisi cette réponse.

Dans cette situation, les éléments troublants sont la question posée et la situation proposée. La formulation de la question est perturbatrice. On demande "quelle température le thermomètre A va-t-il indiquer ?" et aucune valeur n'est

la physique
naïve
des élèves...

proposée dans les réponses possibles. C'est en fait une comparaison qui doit être réalisée. Ceci induit des réponses du type "*inférieure ou supérieure*", alors que la température est la même !

Le fait que le récipient A soit plus petit que le récipient B conduit souvent les apprenants à une réponse erronée. Les élèves s'attachent au fait que l'eau bout "*plus vite*" dans le récipient A, puisqu'il contient une plus petite quantité de matière. La physique naïve des élèves est souvent liée aux processus, alors que le professeur tente d'imposer une physique des états et plus particulièrement des états stables. Le fait de souligner "*l'eau bout*" n'est pas suffisant pour attirer l'attention de tous les élèves sur cette situation particulière.

Et si l'on dessine des bulles pour indiquer l'ébullition de l'eau ? Elles sont décodées par certains élèves comme bulles de gaz carbonique !

• Question N°3

Dans une pièce, vous touchez la poignée de la porte, un tapis, un journal.

a - Quel est le corps qui vous paraît le plus chaud ?

b - Quel est le corps qui vous paraît le plus froid ?

c - Classez les corps du plus chaud au plus froid.

d - Est-ce que le classement par température est le même ?

Si oui : pourquoi ?

Si non : lequel est-il ?

Dans un premier temps, on propose à l'apprenant de faire une anticipation en fonction de ses conceptions, puis de réaliser ce qui est demandé, et enfin de confronter les résultats expérimentaux obtenus avec ses conceptions sur la température et la chaleur.

Or l'élève ne sépare pas toujours clairement ce qui est du niveau des sensations ressenties au toucher et ce qui fait appel à des mesures avec un thermomètre. Il y a bien équilibre thermique, donc des températures identiques, mais des sensations différentes. La sensation est liée à la conductibilité thermique. Ces concepts d'équilibre et de conductibilité ne s'acquièrent pas facilement.

L'item d de cette question est formulé de manière perturbatrice. Il faudra que les élèves décodent la question : "*le classement des corps par température est-il le même que le classement par sensation ?*". Selon leurs réponses, ils proposeront un nouvel ordre. Or, en fait, la température de tous les objets est identique, puisqu'il y a équilibre thermique.

3.2. Les expériences perturbatrices

expériences en
contradiction
avec les
conceptions

Elles sont choisies en fonction de l'aspect contradictoire qu'elles présentent aux conceptions des élèves. À titre d'exemple, voici une expérience perturbatrice concernant le changement d'état.

À juste raison, les élèves ont l'habitude de considérer que les métaux fondent à température élevée. Dans le but d'élargir leur domaine de connaissance, l'enseignant propose de réaliser la fusion de différentes substances. Avant d'expérimenter, les apprenants font des pronostics. Pour perturber les conceptions liées à la vie quotidienne, le maître choisit aussi un alliage (métal de Wood) dont la température de fusion est inférieure à 100°C.

prégnance des conceptions

Certains élèves ne voient pas que le métal de Wood est en train de fondre, tant ils sont convaincus que la température doit être élevée. Dans ce cas ils recommenceront l'expérience. Il faut souvent insister pour qu'ils continuent à relever la température suffisamment longtemps afin que le "palier", lié au fait que la température est constante pendant le changement d'état, soit net.

les limites des conceptions

Les *contre-expériences* sont utilisées à un moment de la discussion pour remettre en question ou l'expérience préalable de l'élève ou l'interprétation que celui-ci en fait. Par exemple : à ceux qui affirment que la température d'ébullition de l'eau ne changera jamais (ce que l'on peut considérer comme une conception acquise par l'expérience scolaire scientifique), l'enseignant propose de faire bouillir de l'eau à la température ambiante (sous vide). L'intérêt est de leur faire prendre conscience que leurs conceptions sont vraies seulement dans des domaines limités. Un fait expérimental n'est toutefois pas suffisant pour dépasser une contradiction. En effet, certains élèves, après avoir vu l'eau bouillir et lu la température (20°C), hésitent à porter le récipient, de peur de se brûler !

Pour qu'en soient appréhendés les divers éléments et qu'ils soient confrontés à une affirmation antérieure, la nouvelle expérience doit être discutée par toute la classe. Au cours de cette discussion entre élèves, le maître peut proposer de nouvelles contre-expériences, susceptibles de faire cheminer l'apprenant vers la construction des concepts. Parfois ceci suffit pour que les apprenants dépassent leurs conceptions-obstacles. Dans le cas contraire l'enseignant propose d'autres expériences, présente d'autres documents pour ébranler les conceptions des élèves.

3.3. Les documents perturbateurs

Voici deux exemples de documents perturbateurs.



Que répond Madame le Professeur Coquelicot à son amie Madame Rose ?
 (- Voyons ma chère amie votre sucre ne fond pas, il se dissout.)

confusion liée
 au langage
 courant

Dans la vie courante les élèves parlent comme Madame Rose et confondent "dissoudre" et "fondre". Une perturbation au niveau des conceptions familières est donc nécessaire. En classe, des expériences suivies de débat font préciser ces notions différentes. Au vu des réponses données, l'image ci-dessus, proposée en test, permet de vérifier si les conceptions ont bien évolué vers des conceptions plus scientifiques.

développer
 l'esprit critique

On peut aussi soumettre une publicité à la critique. L'objectif est double : d'une part les apprenants mobilisent leurs éléments d'analyse, leur argumentation, d'autre part ils prennent peu à peu l'habitude de ne pas considérer comme vérité tout ce qui est écrit.



conceptions
publicitaires

Cette publicité utilise le vocable "pure" parce qu'il est plus évocateur que le vocable "potable". On pourrait presque parler de "conceptions publicitaires" dont l'objectif est de vanter un produit. Après une critique personnelle, un débat au sein de la classe souligne les diverses positions, les argumentations de chacun, et aboutit à une réponse jugée acceptable par tous. Le contexte d'utilisation du vocable doit être précisé.

3.4. La succession de perturbations

L'utilisation progressive d'expériences ou de documents perturbateurs rend possible une vérification du niveau d'élaboration des concepts.

Considérons le concept de force de pesanteur.

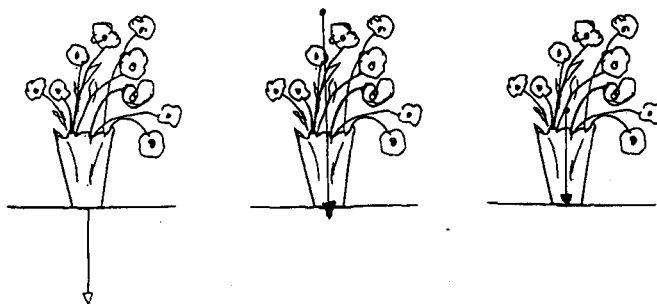
élaboration
d'un concept

Ces élèves de 16 ans ont appris que l'on représente la force de pesanteur par une flèche indiquant direction, sens et grandeur et s'appliquant au centre de gravité. On suppose qu'ils ont compris que cette force, représentée par un vecteur, agit verticalement.

Dans un premier temps, on leur demande de représenter la force pesante du pot de fleurs ci-dessous :



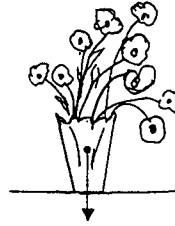
Les dessins ci-après, produits par les élèves lors d'une phase de réinvestissement, montrent que, pour certains apprenants, cette force doit obligatoirement partir de la table ou arriver sur la table. Donc, peu important le lieu du centre de gravité et l'échelle utilisée pour représenter la force.



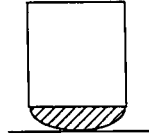
Après une mise en commun, l'enseignant s'assure que les élèves savent représenter la force de pesanteur du corps, c'est-à-dire qu'ils la représentent en indiquant sa direction,

son sens, sa grandeur (en précisant l'échelle), son point d'application.

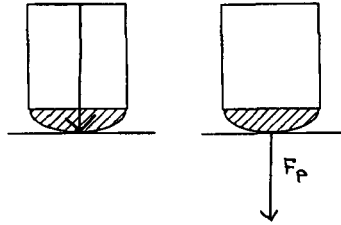
échelle : 1cm \longleftrightarrow 1 [N]



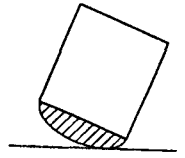
Il introduit alors une nouvelle perturbation en demandant de représenter la force de pesanteur du corps lesté ci-dessous.



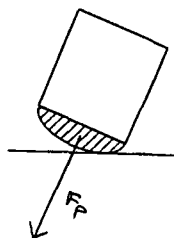
Ce corps n'est pas homogène. Son centre de gravité est donc déplacé vers le bas. Voilà une situation troublante pour certains élèves qui placeront le centre de gravité comme ci-dessous.



Une autre perturbation consiste à incliner le corps.



Il n'est pas rare de trouver la représentation de la force de pesanteur avec une direction oblique.



L'ensemble de ces situations perturbatrices oblige à réfléchir profondément sur ce que signifient direction, sens (souvent confondu avec direction), verticale, etc. Peu à peu, grâce au conflit créé par les situations proposées, grâce aux échanges et aux confrontations lors de la mise en commun, les élèves construiront ce concept de force pesante.

Mais pour certains il faudra proposer d'autres situations et, parfois, il y a nécessité d'un entretien individuel avec l'apprenant afin de comprendre ce qui fait obstacle. En effet, représenter la direction verticale de la force de pesanteur est acquis scolairement, mais le même élève peut "savoir" que cette direction est verticale et la représenter oblique !

4. UTILISATION DES PERTURBATIONS

Un même questionnement sera perturbateur ou ne le sera pas. Cela dépend du contexte, des élèves et de l'enseignant. Ce dernier propose des situations perturbatrices, mais il peut aussi se trouver face à des perturbations non attendues et, dans ce cas, il partira à la découverte de ce qui pose problème. Les activités qu'il va offrir, sa façon de les mettre en œuvre et de les gérer dans l'optique d'une recherche d'un savoir commun acceptable par la classe, seront le reflet de sa souplesse. D'une classe à l'autre, on ne réalise pas forcément le même type d'expériences.

Les éléments perturbateurs ne sont pas choisis au hasard. L'enseignant s'appuie sur sa connaissance des élèves, des conceptions-obstacles et du programme : l'élément dérangeant doit l'être suffisamment pour créer une recherche de cohérence, mais ne doit pas l'être trop, afin de ne pas démotiver l'apprenant.

Le maître créera une situation conflictuelle en formulant une question problématique pour laquelle il sait que la solution scientifique heurte les conceptions d'un grand nombre d'élèves. Devant un blocage, il proposera des documents perturbateurs ou des contre-expériences réalisables immédiatement. Cela suppose que le matériel soit continuellement dans la classe et que l'enseignant soit capable d'une grande souplesse car cette démarche doit être ajustée en fonction de chaque élève ou groupe d'élèves.

L'intervention de certains élèves, qui n'ont pas la même opinion ou la même explication face à une observation ou un problème posé, crée des situations conflictuelles que le maître peut exploiter. Il n'éliminera pas le conflit en prenant la bonne la réponse comme cela se fait dans la pédagogie traditionnelle, mais il l'utilisera dans un but didactique. Chaque élève devra ajuster ses arguments face à l'adversaire. Cette discussion permettra une clarification de certaines idées et une évolution vers des conceptions plus élaborées.

Pour répondre à leur objectif, les perturbations conceptuelles nécessitent de la part de l'enseignant une "intuition pédagogique structurée". Je parle d'intuition pédagogique, car il est nécessaire de prendre en compte globalement tous les éléments de la situation momentanément créée. Cette intuition est structurée, car l'utilisation et l'exploitation des perturbations doivent être systématisées et rationalisées pour pouvoir être transférables à d'autres cas. Elle exige souvent une prise de décision extrêmement rapide pour utiliser un document ou proposer d'entreprendre une expérience particulière.

Le recours aux perturbations conceptuelles requiert qu'on s'intéresse aux conditions nécessaires pour les créer et les gérer. Stratégies didactiques faisant évoluer les conceptions, elles nécessitent la maîtrise non traditionnelle de la gestion d'une classe. Cette gestion peut être difficile, car elle demande une prise en compte de nombreux éléments. Elle présume que l'enseignant entende tous les arguments des élèves afin de provoquer, au bon moment, une perturbation.

Le questionnement de l'élève est tout à fait particulier. L'enseignant utilise l'écoute active lorsqu'il est centré sur la mise en lumière des conceptions utilisées par l'apprenant. Il ne porte aucun jugement sur les explications données. Parfois il reformule, s'assure que la pensée n'a pas été déformée, demande des informations complémentaires. L'attitude du maître doit convaincre l'élève que ce qu'il dit est digne d'intérêt. Pour cela, il faut que le maître en soit lui-même convaincu.

questionnement
particulier

CONCLUSION

Le vocable de perturbation conceptuelle comporte un certain flou. Expériences perturbatrices, contre-expériences, documents dérangement, situations conflictuelles, informations contradictoires, tout ceci est perturbateur.

La perturbation conceptuelle est conçue comme une stratégie permettant de travailler sur les conceptions des élèves. Le maître va donc préparer son enseignement et présenter des activités en fonction des perturbations qu'il désire mettre en œuvre. Ce choix nécessite la connaissance des conceptions-obstacles et une très bonne approche des capacités des apprenants.

Cette stratégie fait également appel à une grande rapidité de prise de décision et d'intervention de l'enseignant, qui va de pair avec une connaissance approfondie de nombreux moyens exploitables. Il est vrai qu'il est difficile de prévoir toutes les perturbations nécessaires, mais l'enseignant doit accepter de quitter des pistes bien damées pour se lancer dans du hors piste éducatif.

L'usage de la perturbation conceptuelle, dépendant très fortement du contexte (lieu, temps, personnalités, etc.), exige un certain art.

Marie-Louise ZIMMERMANN-ASTA
LDES / Université de Genève
École Jean Piaget Genève

BIBLIOGRAPHIE

- ARCA M., CARAVITA S., (1993). "Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes", in : *Aster N°16*, Paris, INRP, p. 77-101.
- BUZAN T., (1986). *Une tête bien faite*, Paris, Éd. Organisation.
- DÉSAUTELS J., (1989). "Développement conceptuel et obstacle épistémologique", in : *Actes du Colloque international, obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif*, Ottawa, ARC, p. 258-267.
- DÉSAUTELS J., LAROCHELLE M., (1993). "Constructivistes au travail. Propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science", in : *Aster N°17*, Paris, INRP, p. 13-40.
- GIORDAN A., DE VECCHI G., (1987). *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- GIORDAN A., (1993). "Les conceptions des apprenants", in : *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*, Paris, ESF, p. 259-274.
- LEGRAND L., (1972). *Pour une pédagogie de l'étonnement*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- PERRET-CLERMONT A.-N., (1986). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*, Berne, Peter Lang.
- ZIMMERMANN-ASTA M.-L., (1990). *Concept de chaleur, Contribution à l'étude des conceptions d'élèves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage*, Thèse N° 172, Genève, FPSE, Université de Genève.
- ZIMMERMANN-ASTA M.-L., PAILLARD B., (1987). *Apprentissage des sciences expérimentales par l'autonomie APA*, Genève, LDES, Université de Genève.
- ZIMMERMANN-ASTA M.-L., (1996). *Sur les chemins de l'apprendre*, Genève, Les Éditions du CEFRA.

STRATÉGIES DE TRAVAIL DES OBSTACLES : DISPOSITIFS ET RESSORTS

Jean-Pierre Astolfi
Brigitte Peterfalvi

Les stratégies didactiques pour s'affronter aux obstacles s'avèrent diversifiées. Elles ne se limitent pas en tout cas à la mise en contradiction logique d'élèves affichant des points de vue différents, ni à l'élaboration d'une progression conçue comme un raisonnement "crucial". Nous rendons compte de divers essais didactiques effectués dans le cadre d'une recherche portant sur les transformations de la matière, dans l'enseignement de la biologie et celui de la chimie. Après avoir décrit quatre dispositifs choisis pour leurs contrastes et leurs logiques différentielles, nous en extrairons différentes dimensions d'analyse et systématiserons un certain nombre de "principes dynamiques" susceptibles de construire autant de ressorts positifs pour le travail des obstacles.

Les recherches concernant les obstacles épistémologiques en situation didactique sont héritières de celles portant sur les conceptions alternatives des élèves (Bednarz & Garnier, 1989 ; Giordan, Girault & Clément, 1994), moyennant un approfondissement de la perspective et un souci d'efficacité plus aigu quant à leur dépassement. L'approfondissement consiste à délaisser une conception descriptive et "cartographique" des représentations - préalable qui fut sans doute nécessaire -, basée sur l'inventaire des réponses fréquentes des élèves relatives à chaque concept scientifique, pour accéder à ce qui les explique et les stabilise en profondeur. Les obstacles peuvent ainsi être décrits comme des structures et modes de pensée résistants, qui souvent font système entre eux et qui s'instancient diversement dans chaque objet d'apprentissage scientifique. Quant à la perspective d'efficacité didactique supérieure, elle est liée à la focalisation intentionnelle et explicite de certaines séquences sur des obstacles définis, afin d'instaurer des conditions didactiques optimales pour s'en affranchir dès lors qu'on se fixe comme objectif leur dépassement (Martinand, 1986 ; Astolfi, 1992).

évolutions
et inflexions

Les travaux que nous avons développés ces dernières années, au sujet des obstacles à la compréhension des transformations de la matière et de leur travail didactique, ont conduit à un certain nombre d'évolutions et d'inflexions qu'il faut d'abord préciser. Par rapport à un article antérieur, déjà publié dans *Aster* (Astolfi & Peterfalvi, 1993), la problématique de notre équipe de recherche s'est précisée sur deux points importants. D'abord, de façon beaucoup

l'obstacle
comme délice

plus nette, la notion d'obstacle recouvre son acception bachelardienne initiale, en se présentant comme une facilité intellectuelle invisible à celui qui y est engagé, et contraste ainsi nettement avec l'idée d'une difficulté dans l'apprentissage. La difficulté, en effet, suppose que le sujet éprouve une contradiction, une résistance, voire une aporie, ce qui renvoie plutôt aux idées piagétiennes de *perturbation* et de *déséquilibre* dès lors qu'un conflit cognitif est manifeste (Piaget, 1975). Chez Bachelard tout au contraire, l'obstacle reste implicite et inconscient, de telle sorte que le sujet qui fonctionne mentalement avec lui y "baigne" plutôt avec confort sinon avec délice ! Rien ne résiste à l'obstacle, puisqu'au contraire tout l'accompagne. C'est ce qui a fait écrire à Michel Fabre, avec qui nous cheminons parallèlement sur ces thèmes, que l'inconscient bachelardien relève du principe de plaisir. Loin du caractère tragique de l'inconscient freudien, il relève plutôt du comique ! Le réveil nous trouve toujours un peu désappointés et vaguement penauds, tant les obstacles une fois dépassés s'avèrent dérisoires : "*la seule issue est dans l'ironie : se moquer de soi-même*" (Fabre, 1995). Dépasser un obstacle n'est pas surmonter une difficulté mais renoncer coûteusement à un fonctionnement (trop) bien installé, avec ce qu'il entraîne de satisfaction pour le sujet qui ne demande qu'à le conserver. D'où l'idée bachelardienne d'ascèse et de catharsis, avec la violence symbolique que cela suppose, pour un bénéfice tout d'abord incertain.

on rit jaune !

La deuxième évolution de la problématique de recherche tire la conséquence de cette analyse en prenant en compte l'idée que les obstacles ainsi compris ne sont et ne seront jamais abolis. Par définition, on y succombe, on y revient, on s'y complait. L'obstacle est une rengaine. Dans le meilleur des cas, on parvient à en cantonner le jeu dans l'analogie et l'usage métaphorique, ce qui permet d'articuler notre incapacité à nous en défaire totalement avec les exigences reconnues d'une pensée scientifique. Le terme d'un travail d'obstacle - si terme il peut y avoir - ne peut donc être son franchissement, puisqu'il n'est jamais, à coup sûr, dépassé. Ce qu'on peut alors raisonnablement viser, c'est de développer l'alerte à son sujet afin de reconnaître lucidement son jeu (même quand ce n'est qu'*a posteriori*), de mieux en identifier les occurrences périodiques, avec un sourire... même un peu jaune ! Il en résulte que le schéma proposé dans l'article déjà cité (p. 119) a dû être repris (Peterfalvi, 1997), notamment pour substituer à la succession :

Repérage → **Fissuration** → **Reconstruction** → **Automatisation**
une échelle du type :
Déstabilisation → **(Re)construction alternative** → **Identification**
par l'apprenant

laquelle ne fournit pas nécessairement les étapes d'une progression et dont nous illustrerons plus loin diverses variantes.

au-delà
de la capitulation
conceptuelle

Surtout, cela nous a conduits à privilégier la recherche de dispositifs didactiques évitant de se fonder sur la seule réfutation rationnelle des idées des élèves, même si cette composante logique ne doit pas être négligée. Il s'agit de prendre la mesure de l'insertion de la dimension de raisonnement au sein d'un ensemble argumentatif, persuasif et appropriatif beaucoup plus large. Une idée trop fréquente chez les enseignants, c'est en effet qu'il devrait suffire de sélectionner et de présenter des contre-exemples dirimants pour que les élèves doivent se rendre à leur évidence. À défaut de cette "capitulation conceptuelle", ceux-ci sont vite taxés de carence logique quand ce n'est pas de déficience intellectuelle, alors que la résistance, passive ou active, peut simplement traduire la difficile reconnaissance de l'obstacle avec lequel ils fonctionnent mentalement, et pointer le coût d'une "pensabilité alternative" des choses. Bref, on confond raisonner et penser, comprendre et adhérer. Cela rejoint d'ailleurs les positions épistémologiques contemporaines, insistant sur le caractère illusoire et rétrospectif des expériences dites "*cruciales*" en sciences expérimentales (Raichvarg, 1997).

1. STRATÉGIES DIDACTIQUES POUR TRAVAILLER LES OBSTACLES

1.1. Les principes retenus

un point de vue
interséquentiel

Selon le cadre qui vient d'être rappelé, les équipes d'enseignants associés à cette recherche ont mis au point et expérimenté un certain nombre de situations et dispositifs didactiques, dont nous recherchions *a priori* la divergence afin d'explorer les possibles. Un certain nombre de ces dispositifs font d'ailleurs l'objet de contributions spécifiques, dans ce numéro d'*Aster* et dans le précédent. Dans le présent article, nous adopterons un point de vue différent, qu'on peut qualifier d'"interséquentiel", destiné à analyser de manière plus comparative et contrastive les logiques qui y sont mises en œuvre. Nous rappellerons d'abord les principes qui ont guidé l'ensemble de la recherche, sachant qu'ils s'avèrent diversement respectés et traduits selon les dispositifs que nous présentons ci-dessous.

l'obstacle
au cœur

• ***S'assurer que c'est bien le traitement de l'obstacle qui guide la logique du dispositif, ou qui au moins y occupe la place centrale.*** Cela peut paraître évident puisque c'est l'objectif annoncé et partagé de la recherche, mais ne l'est pas toujours, et cela pour deux raisons. La première est qu'il est fréquent que d'une "logique de l'obstacle" on glisse insensiblement vers une logique différente, tant la forme scolaire dominante est prégnante et l'habitude de tout combiner ancrée (Astolfi, 1991). La seconde est que cette situation peut être involontairement renforcée par le fait que les

obstacles se constituant fréquemment en réseau, cela complique la focalisation didactique sur eux et peut en définitive conduire à les reléguer au second plan.

- **Favoriser l'investissement réel des élèves dans les tâches proposées**, en évitant qu'ils fonctionnent intellectuellement *a minima*, soit parce qu'ils se cantonnent à une "logique du faire" sans véritable mobilisation cognitive, soit parce que l'emporte chez eux le "métier d'élève" avec son jeu de décodage des attentes magistrales (Perrenoud, 1994). Sans investissement suffisant, il semble en effet difficile de faire bouger les obstacles, qui justement résistent. On peut jouer sur des "ressorts" variés sur lesquels nous reviendrons, tels que la recherche d'engagement personnel dans un "débat scientifique" (Johsua & Dupin, 1989), la sécurisation nécessaire pour qu'ils s'autorisent l'expression de leurs propres idées, la prise au sérieux pour la conduite de la séquence des idées qu'ils émettent, etc. En d'autres termes, il s'agit de chercher des entrées favorisant la dévolution, le pilotage effectif de la tâche par la classe.

l'identification
a posteriori
par les élèves

- **Accorder une place plus importante à l'identification a posteriori de l'obstacle** par les élèves, c'est-à-dire faire en sorte qu'ils puissent le reconnaître comme tel dans ses occurrences ultérieures et en surveiller les nouvelles manifestations (*cf. supra*). Il s'agit là d'une sorte d'équivalent de la métacognition sur le plan du travail des obstacles (Peterfalvi, 1997).

- **Être sensible à la "faisabilité" didactique des dispositifs proposés dans les conditions didactiques normales.** Certains dispositifs peuvent être intrinsèquement intéressants mais nécessiter une durée et un approfondissement tels que cela en interdira de fait la reprise hors du cadre de recherche, et posera peut-être même des problèmes à l'intérieur de ce cadre.

1.2. Quelques dispositifs contrastés

- **"Nourriture gazeuse et chair de tomate"**

- a) **Descriptif de la séquence** (classe de Sixième)

Sur un même schéma didactique général, plusieurs séquences ont pu être expérimentées avec des variantes sensibles (Sauvageot, ce numéro). Nous n'esquisserons ici qu'une version "moyenne" inévitablement réductrice. Toutes les études montrant que les élèves de Sixième ne pensent majoritairement la nutrition de la plante qu'en termes d'éléments puisés dans le sol et que le CO₂ est, lui, perçu comme un gaz respiratoire rejeté et nocif, la séquence se propose de les faire évoluer sur ces questions.

le sol ou le CO₂

Les idées des élèves et leur déstabilisation

L'outil d'expression des représentations est un dessin non légendé d'un pied feuillé de tomate, portant des fruits et

renforcement
transitoire

enraciné dans le sol (voir p. 112). Ce dessin permet aux élèves de préciser, à l'aide de flèches et légendes, comment selon eux se nourrit la plante. Les élèves proposent des expériences pour appuyer leurs idées, puis est établi le caractère nutritif de l'eau et des sels minéraux, justement perçus par les élèves comme les aliments de la plante. Le parti est ainsi pris de "renforcer" transitoirement leurs représentations dans ce qu'elles ont de pertinent, mais aussi avec l'espoir de pouvoir ainsi mieux les déstabiliser.

La preuve par l'INRA

Van Helmont
et les cultures
hors sol

Vient alors une double déstabilisation, produite d'abord par l'évocation de l'expérience de Van Helmont (1) (la masse de la plante augmente sans que celle de la terre diminue), puis par l'analyse des données agronomiques fournies par l'INRA. Il s'agit de résultats de cultures hors-sol de tomates montrant une augmentation de taille et de rendement, ainsi qu'une meilleure précocité des fruits, lorsqu'on élève la teneur de l'air des serres en CO_2 :

- la culture est effectuée hors-sol ;
- elle illustre un "vrai problème": celui des professionnels qui cherchent à obtenir et à mettre sur le marché de grosses tomates hors saison, même en hiver ;
- les résultats sont légitimés par le caractère scientifique des publications de l'INRA.

Le CO_2 nutritif

de la matière
gazeuse ?

Établir que l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2 peut être corrélée à une augmentation de la masse des tomates récoltées joue sur les caractéristiques que les élèves attribuent spontanément à la matière, et développe la probabilité qu'ils considèrent dès lors le CO_2 comme pouvant être de la matière, au même titre que solides et liquides. Le CO_2 peut alors être "étiqueté" comme nutritif, puisqu'il produit une augmentation de matière. Ses attributs "matériels" sont alors précisés (caractère pesant, constitué de particules...). La "matière tomate" (chair, pépins, jus) peut être mise en relation avec les éléments eau, sels minéraux, CO_2 : il peut être établi que l'une est formée à partir des autres.

b) Les obstacles en jeu

Les obstacles en jeu dans cette séquence forment un réseau complexe et cohérent, pouvant s'exprimer de la façon suivante :

- l'alimentation consiste en une ingestion de matière,

(1) Il est clair que l'usage qui est ici fait de l'expérience de Van Helmont s'éloigne considérablement des problèmes que celui-ci étudiait, lesquels ne concernaient que très indirectement la nutrition des plantes vertes. Ce n'est donc pas dans une perspective d'utilisation didactique de l'histoire des sciences qu'il faut comprendre cette séquence, mais bien dans l'appui sur les résultats "surprenants" d'une expérience effectuée dans le passé de la biologie.

le CO₂
comme déchet

- la matière est envisagée comme de nature solide ou liquide, mais certainement pas gazeuse,
- les gaz interviennent dans les échanges respiratoires mais n'ont pas de fonction nutritive,
- le CO₂ est un "déchet" de la respiration, plutôt toxique.

Bref, c'est tout l'ensemble du nœud d'obstacles concernant le vivant, développé dans l'article précédemment cité, qui se trouve engagé dans la compréhension difficile de la nutrition des plantes vertes (Astolfi & Peterfalvi, 1993 : 108-111).

c) La stratégie didactique

raisonnement
interactif guidé

La stratégie choisie peut être qualifiée de raisonnement guidé interactif. En effet les étapes de la séquence se succèdent comme celles d'un raisonnement logique, les élèves devant être convaincus par le caractère décisif des arguments. Chaque étape est prévue à l'avance (raisonnement guidé) et des modalités de travail privilégient les interactions (confrontations entre élèves et avec les documents proposés). Les échanges, organisés selon des structures et modalités variées (groupe-classe, petites équipes dans des tâches d'inventions d'expériences, de modélisation, etc.) sont systématiquement organisés sur la base de productions personnelles et systématiquement repris individuellement. Tout cela vise à impliquer personnellement les élèves, mais dans le fil d'un schéma préconstruit.

le conflit socio-
cognitif espéré

Le dispositif a pour cœur la recherche d'un conflit socio-cognitif, dans la mesure où celui-ci permet de contredire de façon non dogmatique les conceptions premières des élèves. Il peut être schématisé de la façon suivante :

- faire émerger les représentations des élèves ;
- les mettre à l'épreuve en leur demandant d'imaginer des expériences ;
- les déstabiliser en provoquant des conflits socio-cognitifs en situation de résolution de problème ;
- élaborer une représentation alternative scientifiquement plus satisfaisante ;
- enfin, faire identifier l'obstacle par les élèves, grâce à une comparaison entre réponses initiales et réponses finales.

• "Lavoisier, Van Helmont, Berthelot"

a) Descriptif de la séquence (classe de Seconde)

l'obstacle
en fin d'année

Ce second dispositif est relativement bref (deux séances), et se situe en fin de Seconde. La séquence se propose d'amener les élèves à identifier un obstacle en tant que tel, à travers des activités de repérage d'erreurs dans différents textes, notamment des textes historiques. Il faut noter le caractère *a posteriori* de cette identification, après que les concepts visés aient été employés au long de l'année.

Corriger Lavoisier !

Les élèves sont d'abord invités individuellement à repérer des erreurs, dans une série de formulations, fournies par

corriger la copie
de Lavoisier

une autre classe, où l'obstacle se manifeste plus ou moins nettement. Puis, il leur est proposé un texte de Lavoisier, dans lequel corps simple et élément ne sont pas distingués d'une façon stable, où des termes différents selon les situations sont employés comme équivalent du concept actuel d'élément. Les élèves sont invités à "*corriger la copie de Lavoisier*" en fonction des connaissances actuelles en chimie qu'ils possèdent, et à retraduire son texte selon le vocabulaire actuel. On attire leur attention sur le fait que certains termes comme *oxygène* présentent une ambiguïté entre la désignation du corps simple *dioxygène* et l'*élément oxygène*. En tant que "bons correcteurs", on leur demande d'éviter ces expressions et d'employer les expressions non ambiguës.

Deux textes différents, l'un de Van Helmont, l'autre de Berthelot, sont ensuite proposés à deux moitiés de la classe. Par deux, les élèves sont invités à repérer les décalages et les ambiguïtés dans les expressions des auteurs, en regard de l'interprétation actuelle des phénomènes décrits, tant au niveau phénoménologique (référence au corps simple) qu'au niveau modélisé (référence à l'élément).

"L'effet miroir"

dédramatiser
ses erreurs

Une dernière phase de travail a pour but, par "effet de miroir", de faire prendre conscience aux élèves que les obstacles à caractère historique rejoignent – en partie – ceux qu'ils rencontrent eux-mêmes. Ils sont alors individuellement invités à reprendre les formulations d'élèves qu'ils avaient "corrigées" au départ et à revoir leurs corrections une fois l'obstacle ciblé. C'est là une façon de renforcer la dédramatisation de leurs propres erreurs (à travers des erreurs proches commises par d'autres élèves) et d'amorcer une identification par classes d'erreurs plutôt que par erreur unique.

b) Les obstacles en jeu

le "modèle
Velcro"

Il s'agit de travailler l'obstacle, central en chimie, qui fait confondre corps simple et élément, obstacle associé à ce qu'on a pu appeler le "*modèle Velcro*" de la réaction chimique. Par allusion à un mode d'accrochage entre particules, il peut s'énoncer comme suit dans le registre du modèle particulière :

Les molécules des corps simples dont l'assemblage constitue les molécules des produits initiaux d'une réaction, se séparent les unes des autres au cours de cette réaction. Elles se juxtaposent autrement pour former les molécules des produits finaux.

Ou bien, dans un registre plus phénoménologique :

La réaction chimique est une séparation de corps composés en corps simples et un réassemblage de ces corps simples en corps composés nouveaux (les corps composés étant considérés comme composés de corps simples).

Ce type de conception suppose que les particules "élémentaires" sont de même nature que les corps connus sous leur aspect phénoménologique : l'élément et le corps simple alors sont confondus. Ceci manifeste une difficulté à distinguer le plan du modèle et celui du phénomène, et une tendance à survaloriser les conservations de ce qu'on connaît sur le plan du sensible (les corps simples).

Le travail des textes historiques permet de faire repérer aux élèves des degrés dans la confusion :

- chez Van Helmont, les corps composés se conservent comme tels dans la combustion ;
- chez Lavoisier, corps simple et élément, à travers une fluctuation du vocabulaire, sont parfois indistincts ;
- chez Berthelot le langage employé ne permet pas de distinguer le niveau manipulatoire (référence au corps simple, corps qu'on met en présence pour provoquer la réaction) et le niveau interprétatif (référence à l'élément, à ce qui constitue un corps composé déjà formé).

c) La stratégie didactique

Les caractéristiques de ce second dispositif sont les suivantes.

- L'obstacle est travaillé par la recherche de dissonances entre textes historiques et connaissances actuelles. L'obstacle étant indiqué par l'enseignant, les élèves n'ont pas à le formuler eux-mêmes, mais à en retrouver les manifestations dans les textes qui leur sont soumis.

- Le travail de l'obstacle passe par une reprise conceptuelle *a posteriori* et vise l'identification d'obstacles qui ont d'abord été "vécus" en cours d'année.

- Placer les élèves en position de correcteur de savants relève d'une utilisation ludique de l'histoire des sciences, dans le but de dédramatiser les erreurs, faire les mêmes que Lavoisier étant plutôt flatteur !

- On vise à une prise de conscience que les erreurs et approximations font partie intégrante de tout apprentissage, grâce à l'"*effet miroir*" entre erreurs historiques et erreurs scolaires.

• "L'air à l'école primaire"

a) Descriptif de la séquence (niveau CM2)

L'activité commence comme une intrigue puisqu'on demande aux élèves d'apporter en classe des gaz... ou tout au moins les moyens d'en obtenir. Ils viennent avec de nombreux objets et idées, mais évidemment, il ne s'agit jamais d'air ! Après cette introduction, il leur est proposé une succession d'activités sans qu'ils perçoivent nécessairement d'emblée les liens didactiques qu'elles entretiennent. Ces diverses activités sont présentées sommairement ci-après (Plé, 1997).

histoire
des sciences
et didactique

apporter de l'air
en classe !

L'eau monte-t-elle dans un verre vide ?

On renverse sur un récipient rempli d'eau, en le tenant bien verticalement, un verre au fond duquel on a collé un sucre. Il est demandé aux élèves de prévoir ce qui va se passer : l'eau va-t-elle monter jusqu'en haut du verre et dissoudre le sucre ? La réalisation de la manipulation entraîne des discussions et des désaccords : certains élèves déclarent voir monter l'eau jusqu'en haut, d'autres reconnaissent que le sucre n'est pas mouillé mais contestent la conclusion selon laquelle l'eau ne serait pas montée : *"Peut-être que l'eau monte à ras du sucre sans le mouiller."*

montrer sans mouiller

Et pourtant, elle ne monte pas

Les élèves sont alors mis au défi de trouver eux-mêmes des expériences probantes, en rendant mieux perceptible ce qui l'était mal dans la première. Plusieurs essais sont réalisés, avec de l'eau colorée, un bouchon flottant, un chiffon occupant l'espace intérieur du verre... À la surprise des élèves, tous vont à l'encontre de leurs prévisions.

Faire monter l'eau... quand même

On leur demande alors de trouver moyen, par groupes, de faire entrer l'eau dans le verre. Une des propositions, consistant à percer un trou dans la partie émergée du verre, déclenche une vive réaction : *"Ça ne marchera pas, l'eau ne pourra pas entrer par là."* Ils sont prêts à percer des trous pour faire entrer l'eau... mais pas pour laisser sortir l'air ! Il leur faut, pour admettre cela, se pencher sur le gobelet et sentir physiquement l'air avec leur joue.

Le "canon à patate"

On présente alors un tube transparent, fermé aux deux bouts par un bouchon de pomme de terre et ils doivent anticiper par écrit ce qui va se passer quand on exercera une poussée sur l'un des deux bouchons. Les prévisions sont très partagées. La propulsion des bouchons réjouit évidemment la classe, mais certains "canons" ne fonctionnent pas et les élèves sont invités à trouver la panne : *"il y a des fuites dans le bouchon, ou un trou dans le tube"*. Ces interprétations sont récusées par une élève qui s'étonne que l'air sorte du tube pour aller vers la classe, et non l'inverse.

prévisions partagées

L'air pèse !

À la question maintenant posée : *"Est-ce que l'air pèse ?"*, seuls deux élèves répondent affirmativement. La vérification expérimentale ne sera pas contestée mais créera une grande surprise : *"Mais alors, on en a lourd sur les épaules"*, *"C'est bizarre qu'on ne le sente pas quand on bouge"*, ou encore plus fondamentalement : *"Oui, mais l'air c'est quoi ?"*. Ce sera le moment choisi pour introduire l'idée que l'air est de la matière et pour restructurer tous les acquis en dépassant l'anecdotique et l'émotionnel des expériences précédentes.

l'air c'est quoi ?

b) Les obstacles en jeu

Cet ensemble d'activités, échelonnées sur plusieurs séances, tourne évidemment autour de l'obstacle qui nous empêche de considérer facilement l'air comme étant de la matière. Un autre obstacle, différent même s'il lui est souvent lié (évoqué au début de la séquence mais rapidement négligé), consiste à ne pas considérer l'air comme étant un gaz. Les gaz, en effet, ne sont pas nécessairement eux non plus considérés comme de la matière, mais au moins sont-ils "quelque chose" – souvent vu comme dangereux ou "chimique" –, alors que l'air est lui synonyme de vide. Il n'est "rien"... surtout quand il n'est pas en mouvement. L'origine de cet obstacle résulte du caractère aperceptif de l'air et des gaz, ce qui conduit régulièrement à les oublier quand on cherche à comprendre et à interpréter divers phénomènes. C'est un obstacle très résistant, lié à la pensée enfantine comme l'a montré Piaget, mais qui la déborde largement puisque l'histoire des sciences en montre maintes occurrences chez les savants, la plus célèbre étant sans doute l'expérience de J.-B. Van Helmont, déjà analysée dans *Aster* (Campestrini, 1992).

rien,
quelque chose

Les phases successives de cette séquence montrent qu'il ne suffit pas de prendre conscience de l'existence de l'air, même quand on en a senti les effets sensibles contre sa joue, pour en saisir les caractéristiques et en comprendre la nature. Les élèves butent sur chaque conséquence nouvelle, telle que sa capacité à pousser de la matière solide ("canon à patate") et, *a fortiori*, son caractère pesant. Leurs dernières interrogations dubitatives à ce sujet montrent d'ailleurs que, jusqu'au terme, l'obstacle reste obstacle ! Le dépasser vraiment supposera un très grand nombre de réorganisations cognitives qui ne sont pas encore terminées au collège (Séré, 1982).

caractère pesant

c) La stratégie didactique

Ici, un obstacle pilote donc directement les activités, la stratégie consistant à multiplier les angles pour mieux l'attaquer et s'employant à développer des conflits socio-cognitifs. Pourtant, on ne recherche pas de situations "cruciales" visant l'extraction quasi-chirurgicale de l'obstacle. Chaque fois, on produit plutôt une déstabilisation qu'on sait partielle et provisoire, et le questionnement se déplace. Toutes les activités ne jouent d'ailleurs pas sur le même plan. Avec le "canon à patate" et, plus tard, les "moulinets", sont identifiés des attributs de l'air déjà admis pour les exemplaires plus paradigmatiques de matière (solides et liquides). Mais on ne commence pas par là puisque l'expérience du "verre vide" joue d'abord sur le plan de la figurabilité, en fournissant des images fortes de l'air capable de s'opposer à l'eau. Quant à la pesée de l'air, elle fournit un argument d'ordre logique, mais qui est introduit après une sérieuse déstabilisation obtenue par d'autres moyens. Au total, la séquence

images fortes

joue sur des images fortes et paradoxales, qui donnent du sens aux raisonnements, et introduisent une dimension ludique et même jubilatoire.

preuve
ou dévolution

Dès la première activité, en mettant les élèves au défi de corroborer leur idée par une "preuve" expérimentale, commence le processus de dévolution, par lequel le problème qui était celui du maître devient l'affaire de la classe. Le rôle de l'enseignant demeure fondamental, notamment parce qu'il pousse souvent la classe à l'erreur, mais celui-ci sait qu'aucune construction intellectuelle ne vaut si elle n'est pas véritablement celle des élèves.

• **"Croissance végétale, molécules, atomes..."**

a) Descriptif de la séquence (classe de Seconde)

interdisciplinarité

Il s'agit du premier essai d'une séquence de biologie, conçue en interdisciplinarité avec la physique-chimie (voir Monchamp, ce numéro). Le professeur demande de rédiger régulièrement de façon individuelle, annonçant aux élèves qu'ils ne seront jamais jugés car le but du travail est de comprendre leurs erreurs et difficultés.

Problème principal et problèmes dérivés

Il est d'abord demandé aux élèves d'écrire individuellement, sur une feuille qui sera ramassée en fin de séance, comment ils se représentent la croissance d'une plante. La consigne est de ne pas communiquer pour le moment avec les voisins, parce qu'on le fera après. Une chaîne de trois problèmes est ensuite posée, autour de la fiction de l'aménagement d'une capsule spatiale.

Problème (a) : Dans une enceinte close transparente on met une plante avec les éléments dont elle a besoin pour vivre (eau, engrais, air). On constate que la croissance cesse.

Problème (b) : Dans la même enceinte, on place un cosmonaute, avec de l'air et des aliments. Hélas, il meurt !

Problème (c) : Dans la même enceinte encore, on place cette fois une plante et le cosmonaute. On constate maintenant que le cosmonaute survit et aussi que la plante continue maintenant de croître.

la survie
du cosmonaute

Les élèves sont invités à traiter successivement ces problèmes (le troisième intégrant les données des deux premiers) et à proposer pour chaque cas une explication écrite individuelle. Suivent des situations diverses où les élèves, alternativement, tentent de se mettre d'accord par l'échange en petits groupes, réécrivent personnellement leurs conclusions en modifiant si nécessaire leurs idées précédentes, mettent en commun les points de vue sous la conduite du professeur avec utilisation du tableau. La discussion porte notamment sur le fait de savoir si l'asphyxie du cosmonaute est due au CO_2 ou au manque d' O_2 . Une dernière consigne conduit à revenir au problème principal et à la première

écriture individuelle concernant la croissance de la plante, afin d'en modifier la formulation à la suite de ces phases intermédiaires.

De la biologie à la physique-chimie

retour à la chimie

Un rappel est d'abord fait, en situation dialoguée, des notions travaillées en physique-chimie sur les atomes et les molécules, molécules qui peuvent être très complexes dans le vivant. La question est posée de savoir si ces notions peuvent constituer un élément de compréhension de la croissance. Comme précédemment, une mise en commun permet l'expression du résultat des discussions, groupe après groupe. On distribue alors un document à chaque élève, représentant un modèle de molécule de cellulose (formule plane). Invités à observer et décrire cette formule, les élèves repèrent l'existence d'oxygène, d'hydrogène et de carbone, ainsi que l'existence d'un motif hexagonal régulier. La consigne consiste à rechercher quels liens peuvent exister entre la discussion sur les problèmes "plante/cosmonaute" et la structure de la cellulose. Un élève ayant proposé que les atomes de CO_2 de l'air puissent venir se mettre sur cette chaîne et l'agrandir, le professeur demande si c'est possible "étant donné vos connaissances en chimie".

CO_2 et cellulose

le schéma de Lewis

La classe ne sachant comment répondre, il propose d'appliquer le "schéma de Lewis" à la molécule de CO_2 . C'est le déclic pour plusieurs, qui s'exclament alors par un "Ah oui !", et se replongent dans leur cours de chimie antérieur. Ils évoquent les nombres d'électrons des éléments O et C et celui des couches externes, le tableau de Mendeleïev, etc. L'enseignant inscrit au tableau, en la faisant évoluer à mesure de la discussion, la formule de CO_2 avec les liaisons covalentes, puis une partie de la formule de cellulose. Il demande aux élèves d'y retrouver le carbone et les deux oxygènes d'un CO_2 , avec le nombre voulu de liaisons covalentes. Vérification est faite point par point sur la séquence de la formule de cellulose inscrite au tableau. Après une phase dialoguée où il est question de ruptures de liaisons et de réarrangements pour qu'une molécule de CO_2 puisse donner de la cellulose, vient une nouvelle consigne d'écriture individuelle autour de la question : "Comment concevoir que le dioxyde de carbone puisse être associé à une molécule de cellulose ?".

b) Les obstacles en jeu

Comme dans la première séquence, l'un des obstacles est celui du rapport qu'entretiennent les gaz absorbés et émis par les êtres vivants avec leur nutrition. Il est aussi proche de celui de la précédente séquence conduite à l'école primaire, concernant la prise en compte des gaz. Évidemment, c'est ici de façon beaucoup plus raffinée qu'au CM, puisqu'il

obstacle vitaliste

ne s'agit plus d'un "oubli" dû à leur caractère aperceptif, mais de la difficulté à les considérer comme un aliment possible. D'autant que s'y conjugue un obstacle vitaliste (selon lequel la matière du vivant serait d'une nature distincte de celle du non-vivant), obstacle renforcé par le cloisonnement habituel des disciplines.

Il s'agit plus précisément de rendre pensable par les élèves le fait que le CO_2 soit la source de carbone des plantes vertes, et que cela est possible parce que, lors de la photosynthèse, sa molécule peut s'intégrer à la chaîne carbonée des molécules du végétal (cellulose).

c) La stratégie didactique

interactions changeantes

L'activité démarre, comme à l'école primaire, par des problèmes d'allure ludique (la plante et le cosmonaute), mais les ressorts sont très différents. Il s'agit en effet, non plus d'essais à réaliser et de manipulations à réussir, mais de simples "jeux logiques" testant les capacités déductives des élèves placés dans des interactions changeantes (écriture individuelle, travail par groupe, synthèse collective).

Un autre ressort, absent des dispositifs précédents, est celui de l'interdisciplinarité puisque, partant de la biologie, on en vient à manipuler les connaissances antérieures de chimie organique pour les remettre en chantier dans un contexte nouveau. Cette interdisciplinarité paraît remplir deux fonctions principales.

rendre pensable la nutrition carbonée

- La première, c'est de rendre opératoires des savoirs chimiques qui ont d'abord été appris pour eux-mêmes, dans une autre discipline. On le voit quand il est fait référence au modèle de Lewis et que les élèves, un peu surpris, lâchent un "Ah oui" et se replongent dans leur cours de chimie.

- La seconde, c'est de permettre aux savoirs chimiques de rendre pensable la nutrition carbonée des plantes vertes, toujours un peu "magique", et pas seulement pour les élèves... Comment diable en effet le CO_2 peut-il participer à la croissance de la plante ? Le passage du macroscopique au microscopique, et surtout la "bonne forme" que constitue la formule développée de la cellulose, permettent d'y "lire" l'insertion possible d'une molécule de CO_2 . La pensabilité s'appuie ici sur la figurabilité.

• Comparaison et extension

a) Comparaison synoptique des stratégies décrites

Comme le lecteur l'aura compris, les exemples de séquences décrits ci-dessus ne constituent en aucune façon des "modèles" que la recherche aurait validés et qui seraient ici présentés comme des solutions didactiques au travail des obstacles. Ils constituent plutôt quelques exemples contrastés de ce que les enseignants associés à la recherche ont su imaginer, mettre en œuvre, analyser et discuter collectivement. Ce sont donc des résultats qui se situent principale-

la détermination
du possible

ment du côté de la détermination du "possible", et qu'il faut donc comprendre dans un paradigme à la fois praxéologique et herméneutique (Astolfi, 1993). Ils doivent aussi s'analyser en termes de formation des maîtres (*cf.* tableau).

b) Diversité des dimensions d'analyse

Les réalisations obtenues dans le cadre de la recherche sont en réalité bien plus diversifiées qu'il n'a pu être montré à travers les exemples qui précèdent et l'on peut, pour terminer ce point, lister leur multidimensionnalité.

Obstacle ciblé ou réseau d'obstacle

Certaines séquences se focalisent sur une seule idée-obstacle, quand c'est l'ensemble d'un nœud d'obstacles que d'autres tentent de travailler. Des solutions intermédiaires sont possibles, plutôt orientées vers un obstacle, mais sensibles à la prise en compte, même discrète, du réseau d'idées associées.

Longueur des séquences

Recoupant partiellement les distinctions précédentes, on peut distinguer des séquences courtes, orientées vers un obstacle défini qu'elles cherchent à faire évoluer à court terme (même sans mésestimer leur retour possible) et des séquences longues, voire de véritables "séries", au long desquelles le travail des obstacles sert de repère et de point d'appui aux interventions de l'enseignant. Certains essais ont aussi consisté à repérer le retour des mêmes obstacles, en nombre limité, à travers la succession des chapitres d'un programme.

Dédramatiser l'erreur, et même... l'espérer

Travailler les obstacles suppose un changement dans le climat de la classe et le contrat didactique. Doit en effet pouvoir affleurer, sans trop de risque, ce qui d'ordinaire reste masqué grâce aux ressources du "métier de l'élève", faute de quoi on risque de ne pas les y reprendre. Plusieurs modalités ont été développées pour suspendre l'évaluation, pour faire volontairement "échouer" les élèves afin de renforcer leur vigilance ultérieure.

Aussi pour les transformer en "correcteurs de savants" – avec la valorisation ressentie – en réécrivant par exemple un texte de Lavoisier, chez qui l'usage des termes de molécule, d'atome ou d'élément n'est pas stabilisé comme aujourd'hui.

Diversifier l'ordre des phases du travail d'obstacles

Si la succession logique paraît pouvoir se décliner en : *déstabilisation des idées initiales, construction d'une alternative, repérage de ce qui fait obstacle, prise de conscience et identification*, rien ne dit qu'il s'agisse là d'une progressivité nécessaire. Les essais ont également joué sur ce type de

"faire échouer"
les élèves
pour accroître
leur vigilance

Comparaison synoptique des quatre séquences étudiées

<p><u>NOURRITURE GAZEUSE ET CHAIR DE TOMATE</u> (Sixième)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CENTRATION SUR UN RÉSEAU D'OBSTACLES <ul style="list-style-type: none"> – la matière n'est pas gazeuse, les gaz sont concernés par la respiration mais non par la nutrition, le CO_2 est un "déchet" toxique de l'organisme • UN ENSEMBLE DE SÉQUENCES ARTICULÉES <ul style="list-style-type: none"> • LOGIQUE DE PROGRESSION PAR RAISONNEMENT INTERACTIF <ul style="list-style-type: none"> – déstabilisation par contradictions logiques – raisonnement progressif – confrontations entre élèves et avec des documents ayant fonction d'autorité 	<p><u>LAVOISIER, VAN HELMONT, BERTHELOT</u> (Seconde)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CENTRATION SUR UN OBSTACLE <ul style="list-style-type: none"> – le "modèle Velcro" : la liaison chimique vue comme un accrochage adhésif entre particules (confusion entre corps simple et élément) • DEUX SÉANCES EN FIN D'ANNÉE <ul style="list-style-type: none"> • LOGIQUE DE L'HISTOIRE DES SCIENCES COMME MIROIR D'OBSTACLES <ul style="list-style-type: none"> – retour rétrospectif sur des obstacles déjà vécus – détour ludique par l'histoire des sciences – dramatisation des erreurs (qu'on retrouve chez des savants)
<p><u>L'AIR À L'ÉCOLE PRIMAIRE</u> (CM2)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CENTRATION SUR UN OBSTACLE <ul style="list-style-type: none"> – l'air n'est pas de la matière • UNE LONGUE SÉRIE DE SÉANCES <ul style="list-style-type: none"> • LOGIQUE DE FLASHES ET CONTROVERSES <ul style="list-style-type: none"> – effets de surprise et de défi – angles d'attaque multiples – adaptation de la progression aux réactions des élèves – dimension ludique et jubilatoire – images fortes 	<p><u>CROISSANCE VÉGÉTALE, MOLÉCULES, ATOMES</u> (Seconde)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CENTRATION SUR UN DOUBLE OBSTACLE <ul style="list-style-type: none"> – le CO_2 gazeux ne peut être source de carbone pour les plantes vertes <ul style="list-style-type: none"> . parce qu'il n'est "pas vivant" . en raison de sa nature gazeuse • UNE SÉANCE INTERDISCIPLINAIRE <ul style="list-style-type: none"> • LOGIQUE DE LA PLAUSIBILITÉ AVEC APPUI VISUEL <ul style="list-style-type: none"> – transfert opératoire de connaissances (appel aux savoirs chimiques) – travail sur la plausibilité plus que sur la validation – appui sur la visualisation (usage des formules développées)

des surveillants
d'obstacles

variation, le point de départ chronologique pouvant tout aussi bien être la construction d'un modèle alternatif (à partir duquel on reviendra sur les conceptions initiales des élèves), voire même le renforcement transitoire et "calculé" d'une représentation (pour rendre mieux saillants les deux termes du conflit cognitif). Des fonctions originales et attrayantes pour certains peuvent être développées, par exemple en investissant certains élèves d'une fonction de "surveillants d'obstacles" dans la classe, chargés d'y rester désormais vigilants et de signaler les "rechutes" individuelles ou collectives.

Déborder la contre-argumentation logique

fonctionnement
de la dévolution

L'archétype du travail efficace d'obstacle paraît être la recherche et la mise au point d'une objection imparable, censée obliger les élèves à s'incliner et à "rendre les armes". C'est oublier que la logique n'est pas le tout de la compréhension et qu'il existe bien des moyens pour un sujet d'ignorer, de minorer ou de fuir ce que l'enseignant analyse comme une contradiction incontournable. Le fonctionnement de la dévolution, inégalement mise en œuvre dans les exemples précédents, est essentiel pour que les élèves n'acceptent pas les objections d'une façon extérieure, comme du "bout des lèvres", sans engagement ni mobilisation cognitive véritables. De même, argumentation n'est pas toujours persuasion ni intime conviction, tant il faut que le système conceptuel de substitution soit non seulement compris dans ses "pas de raisonnement" mais aussi en mesure d'être pensé et figuré mentalement. Les images fortes, les expériences éprouvées, les émotions contrôlées sont ainsi quelquefois d'une importance aussi grande que les aspects démonstratifs limités à la sphère cognitive.

Jouer sur le rythme et les étapes

au-delà
du "pas à pas"

Si la progressivité paraît souvent une vertu première de l'enseignement, elle peut s'inscrire dans la recherche d'un guidage "pas à pas" (qui assimile sans doute trop la visée rhétorique d'explication aux possibilités cognitives d'appropriation), quand d'autres stratégies peuvent tout aussi efficacement jouer sur des effets-chocs, des "attaques" par facettes multiples, de brusques "à-coups" suivis de retours, des décalages et abandons provisoires, des reprises par surprise, etc.

ingrédients
potentiels

Bref, la liste est longue et, plutôt que de classifier des techniques pédagogiques du travail d'obstacles, nous proposerons succinctement, dans la seconde partie, d'analyser les ingrédients potentiels que chaque enseignant peut recombinaison de façon quasi infinie en fonction du contenu conceptuel, du niveau du cursus, de la diversité de la classe... mais aussi de son équation personnelle et de son modèle pédagogique.

2. LE TRAVAIL DES OBSTACLES : PRINCIPES DYNAMIQUES

C'est dans cet esprit que nous présentons maintenant, sous forme de tableaux, une "carte des possibles", construite en extrayant des expérimentations précédentes et de nombreuses autres dont il n'est pas possible ici de rendre compte, différents "ingrédients" auxquels on puisse se référer et sur lesquels on puisse faire levier, pour travailler diversement et efficacement les obstacles. Cette carte doit être lue comme une sorte de "boîte à outils" de dispositifs disponibles, comme une source d'idées diversifiées, mais sans souci normalisateur.

une "boîte
à outils"

2.1. Trois aspects des dispositifs

• *Déstabilisation, construction, identification*

Trois aspects des dispositifs sont distingués dans ces tableaux, selon qu'ils concernent, ce que nous avons déjà nommé :

- la déstabilisation d'un obstacle ;
- la construction (ou reconstruction) conceptuelle ;
- l'identification de l'obstacle.

L'hypothèse d'un parallélisme entre les processus intellectuels qui concernent la construction conceptuelle et ceux qui permettent le dépassement des obstacles, a conduit à proposer trois sous-rubriques parallèles, pour chacun de ces aspects :

- (1) les premières concernent les processus de **prise de conscience**, de validation ou de compréhension ;
- (2) les secondes concernent les processus qui **rendent "pensables"** les constructions nouvelles, qui favorisent leur réévocation dans de nouvelles situations, notamment pour ce qui touche à l'emploi d'images mentales, de métaphores et de symboles (la "pensabilité" de la construction concerne la façon dont on parvient à se la figurer ; elle s'oppose à la recherche d'une preuve, sur le plan logique de la "vérité" ou de la "fausseté" de la construction) ;
- (3) les troisièmes concernent les processus qui **installent** ces nouvelles élaborations dans des réseaux plus diversifiés, qui rendent leur utilisation plus **coutumière**, qui transforment les "objets" en "outils". Par définition même, ces troisièmes séries s'inscrivent dans un plus long terme que les deux précédentes, et dépassent le cadre circonscrit de telle séquence de travail singulière consacrée au travail des obstacles.

trois sous-
rubriques



• **Principes et modalités**

Une autre distinction peut être repérée sur ces tableaux, entre "principes dynamiques" et "dispositifs didactiques":

- un petit nombre de **principes dynamiques** correspondent aux processus intellectuels qu'on cherche à induire ou à provoquer chez les élèves ;
- et des listes plus étoffées de **dispositifs didactique** sont destinés à les favoriser. Ces listes ne sont qu'indicatives et peuvent être complétées ou nuancées, un même dispositif pouvant se révéler apte à stimuler parallèlement des processus intellectuels de divers ordres.

DÉSTABILISATION DE L'OBSTACLE	
PRINCIPES DYNAMIQUES	ÉLÉMENTS DE DISPOSITIFS
(1) <i>Renforcer transitoirement l'obstacle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Constituer des groupes d'opinions convergentes
(2) <i>Repérer et expliciter ses représentations</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Faire écrire les idées des élèves • Demander des prévisions avec justifications • Faire construire des maquettes ou modèles analogiques
(3) <i>Prendre conscience de discordances ou de dissonances</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Introduire des données hétérogènes issues d'autres classes • Présenter un modèle en rupture avec les idées précédemment exprimées • Introduire un texte historique surprenant • Proposer une expérience surprenante • Développer des jeux de rôles, dans lesquels chacun argumente un autre point de vue que le sien • Constituer divers groupes, disposant de matériaux différents, avec une tâche qui nécessite leur coopération • Faire un " panel " de représentants des groupes d'opinions convergentes • Constituer des groupes divergents succédant à des groupes convergents

CONSTRUCTION (OU RECONSTRUCTION) CONCEPTUELLE	
PRINCIPES DYNAMIQUES	ÉLÉMENTS DE DISPOSITIFS
(1) <i>Fonder la validité de la construction conceptuelle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en relation des résultats expérimentaux • Valider une idée par une expérience "cruciale" visant à établir la preuve • Faire mettre en relation divers éléments dans une certaine "forme", soit donnée, soit à trouver (motivée par une communication à d'autres)
(2) <i>Rendre pensable la construction conceptuelle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Faire élaborer un ou plusieurs modèles et les utiliser systématiquement • Faire construire un schéma de synthèse • Utiliser explicitement métaphores et analogies, par comparaison terme à terme avec le concept
(3) <i>Acquérir la disponibilité "confortable" du nouveau concept (ou mode de pensée) (d'une manière prolongée au-delà de la séquence)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proposer des exercices variés qui mobilisent le concept à rendre disponible • Varier les formulations et codages symboliques • Multiplier les activités où il faut sélectionner un modèle approprié • Reprendre, après un certain délai, un exercice déjà fait ou un autre voisin • Résoudre un problème qui met en jeu "dans le désordre" des notions étudiées • Utiliser le concept pour comprendre une situation "hors labo" • Expliquer à d'autres (ou écrire pour d'autres) ce qu'on a compris • Faire des prévisions en utilisant le nouveau mode de pensée • Varier les formulations en changeant les niveaux d'analyse

IDENTIFICATION DE L'OBSTACLE	
PRINCIPES DYNAMIQUES	ÉLÉMENTS DE DISPOSITIFS
<p>(1) <i>Expliciter l'obstacle et pouvoir le nommer</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser des “textes à erreurs”, avec pour consigne d’y repérer un obstacle • Faire effectuer des rapprochements entre la production du moment et d’autres éléments, pour faire prendre conscience du caractère “transversal” de l’obstacle : <ul style="list-style-type: none"> - texte historique - productions d’autres élèves - productions antérieures sur le même travail - productions relatives à d’autres notions • Faire réfléchir au “pourquoi” de tel dispositif proposé à la classe • Faire reconstituer un raisonnement qui a conduit à une erreur (jeu de rôle)
<p>(2) <i>Symboliser l'obstacle</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> • Faire représenter l’obstacle graphiquement, ou par une courte expression
<p>(3) <i>Acquérir la compétence de reconnaître l'obstacle</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instituer, pour certains élèves, la fonction de “surveillant d’obstacle” • Faire “tomber l’autre dans le panneau” • Provoquer le retour de l’obstacle dans de nouvelles situations • Une fois l’obstacle identifié, donner à l’élève un statut de correcteur

• **Ne pas réifier l'outil**

une séquence
concrète

L'ordre proposé dans les tableaux ci-dessus ne constitue pas nécessairement une succession chronologique, et il ne faudrait pas réifier un outil avant tout destiné à guider les choix didactiques sans les imposer. Quand on examine ce qui se passe dans une séquence concrète, les processus distingués ne se différencient pas toujours en phases chronologiquement séparées. Et quand la distinction est possible, l'ordre peut être différent. Ainsi, par exemple :

- toutes les phases n'ont pas nécessairement lieu à chaque fois ;
- les phases peuvent être séparées dans le temps ;
- il peut y avoir plusieurs phases de fissuration ;
- une phase de fissuration peut inclure un début de construction ;
- une phase d'identification peut être amorcée, puis être reprise ultérieurement de façon "décalée", pour permettre de s'attaquer à l'obstacle d'une manière plus transversale.

deux écueils
symétriques

Bref, ces tableaux sont destinés à éviter deux écueils symétriques : confondre divers processus alors qu'ils obéissent à des logiques distinctes ou transformer en phases rigides et répétitives ce qui n'a été distingué que pour affiner les analyses.

2.2. La quatrième grille

temporalité
plus large

Les modalités précédentes constituent donc des repères et indicateurs pour construire, dans le détail de leur élaboration, des séquences didactiques qui soient mieux centrées sur le travail des obstacles. Mais d'autres modalités, qui concernent le cadre plus global de l'ensemble d'une séquence ainsi que celui de l'organisation des séquences scientifiques tout au long de l'année, peuvent donner à chacun des éléments de dispositifs précédents une "coloration" particulière. C'est pourquoi une quatrième grille, jouant sur des échelles temporelles plus larges, a été ajoutée. Certains dispositifs, apparemment circonscrits dans le temps d'une activité ponctuelle, peuvent acquérir une signification particulière en fonction du "climat" général de la classe, de la coutume didactique en vigueur, de la manière dont ils s'intègrent dans un problème scientifique que la classe s'efforce de résoudre, de la prise en charge effective de la recherche de solutions par les élèves, etc.

ASPECTS GLOBAUX DES ACTIVITÉS	
PRINCIPES DYNAMIQUES	ÉLÉMENTS DE DISPOSITIFS
◆ Concernant le cadre général d'une séquence	
<i>Intégrer l'activité au sein de la résolution d'un problème</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ancrer le travail sur des questions liées à l'activité quotidienne, à l'actualité, à l'histoire des sciences • Procéder à des bilans périodiques afin que les élèves puissent se voir progresser
<i>Chercher à obtenir une "dévolution" du problème</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre au sérieux toutes les réponses (ou idées), en valorisant même celles qu'on sait être fausses • Impliquer les élèves (individuellement ou par groupes) par des prises de position de leur part, par des anticipations de résultats qui les engagent • Ajuster la suite de la progression au point où en est réellement la classe, aux problèmes avec lesquels elle est aux prises, pour mieux obtenir l'adhésion individuelle
◆ Concernant le cadre annuel de l'enseignement scientifique	
<i>Faire fonctionner la classe sur le mode des "débats scientifiques"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Développer le "droit à l'erreur" lors des propositions et interventions des élèves • Inciter les élèves à s'adresser les uns aux autres, et pas seulement à l'enseignant
<i>Développer la coopération au sein du groupe, comme condition de possibilité d'une "prise de risque" des élèves</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sécuriser, libérer la parole • Clarifier les temps qui relèvent de l'apprentissage et ceux qui relèvent de l'évaluation

prérequis
ou condition
de possibilité

Les activités didactiques relatives au travail des obstacles ne sont pas indépendantes de tels éléments. Elles supposent même la mise en œuvre d'un certain modèle pédagogique, volontiers qualifié de constructiviste. Pourtant, loin d'être un préalable à la mise en œuvre des dispositifs proposés, celui-ci peut être développé à l'occasion de ces séquences. Le modèle n'est donc pas prérequis, il constitue plutôt une condition de possibilité, qui se développera à mesure.

Jean-Pierre ASTOLFI
Université de Rouen
Équipe de didactique
des sciences expérimentales, INRP
Brigitte PETERFALVI
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI Jean-Pierre (1991). "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences", in : *Aster*, 13. Paris : INRP.
- ASTOLFI Jean-Pierre (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- ASTOLFI Jean-Pierre (1993). "Trois paradigmes pour les recherches en didactique", in : *Revue française de pédagogie*, 103. Paris : INRP.
- ASTOLFI Jean-Pierre & PETERFALVI Brigitte (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in : *Aster*, 16. Paris : INRP.
- BEDNARZ Nadine & GARNIER Catherine, dir. (1989). *Construction des savoirs : obstacles et conflits*. Ottawa : Agence d'Arc.
- CAMPESTRINI Pierre (1992). "Sortir de la logique de Van Helmont", in : *Aster*, 15. Paris : INRP.
- FABRE Michel (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.
- GIORDAN André, GIRAULT Yves & CLÉMENT Pierre, dir. (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- JOHSUA Samuel & DUPIN Jean-Jacques (1989). *Représentations et modélisations : le "débat" scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND Jean-Louis (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- PERRENOUD Philippe (1994). *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. Paris : ESF.

PETERFALVI Brigitte (1995). "Activités réflexives d'élèves en classe de sciences : des compétences méthodologiques au travail sur les obstacles", in : *Actes des XVII^{èmes} Journées internationales de Chamonix sur l'éducation scientifique*.

PETERFALVI Brigitte (1997). "L'identification d'obstacles par les élèves", in : *Aster*, 24. Paris : INRP.

PIAGET Jean (1975). *L'équilibration des structures cognitives*. Paris : PUF.

PLÉ Élisabeth (1997). "Transformations de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles", in : *Aster*, 24. Paris : INRP.

RAICHVARG Daniel (1997). "*L'expérimentation scientifique : décoder le réel*", TDC, 741. Paris : CNDP.

SÉRÉ Marie-Geneviève (1982). "À propos de quelques expériences sur les gaz : étude de schèmes mécaniques mis en œuvre par des enfants de 11 à 13 ans", in : *Revue française de pédagogie*, 60. Paris : INRP.

VÉRIN Anne & PETERFALVI Brigitte (1994). "Fonctions de l'écriture dans le travail d'obstacles en classe de sciences", in : *Actes des XVI^{èmes} Journées internationales de Chamonix sur l'éducation scientifique*.

QU'ENTENDRE PAR "ÎLOT DE RATIONALITÉ" ? ET PAR "ÎLOT INTERDISCIPLINAIRE DE RATIONALITÉ" ?

Gérard Fourez

*Cet article conceptualise et définit une pratique scientifique typique des technologies et des sciences de terrain, lesquelles se donnent des représentations de situations particulières et uniques. On différencie l'"îlot de rationalité" d'autres concepts, notamment des représentations spontanées. Il est défini comme une représentation théorique qui répond à la question "De quoi s'agit-il ?" dans une situation précise et en vue de projets contextualisés. On distingue les îlots interdisciplinaires de rationalité des constructions théoriques ne faisant pas appel aux disciplines établies. Enfin, l'intérêt culturel de ces pratiques est mis en évidence de même que leur importance en vue d'une éducation scientifique qui cherche à avoir du sens dans la vie des élèves.**

Je voudrais expliquer ici l'intérêt d'un nouveau concept technique : celui d'"îlot de rationalité". Il a déjà été présenté il y a quelques années (notamment in Fourez, 1991), et explicité dans cette revue en lien avec l'interdisciplinarité (cf. Fourez & al., 1993). Avec le temps, il peut être intéressant de mieux le préciser, voire de proposer une standardisation de sa définition (quitte à ce que son usage transgresse cette normalisation). Cette notion vise les savoirs construits par les gens ou par les scientifiques de terrain (les médecins, les ingénieurs, mais aussi chacun d'entre nous) lorsqu'ils sont confrontés à des situations précises dont la particularité est importante et pour lesquelles les savoirs disciplinaires standardisés conviennent mal (1). (cf. Layton & al., 1994 ; aussi : Fourez & al., 1997 ; Fourez, 1996 et Stengers, 1993).

Comme toute nouvelle notion, celle d'îlot de rationalité part d'une métaphore et vise à mettre en évidence des aspects que d'autres termes techniques laissent davantage dans l'ombre. C'est pourquoi, avant de l'introduire d'une façon informelle, puis d'en proposer une définition standard, je

* Ce travail a été réalisé en partie grâce à un P.A.I. (Pôle d'Attraction Inter universitaire) du Ministère de la Science du Gouvernement fédéral belge.

(1) Par exemple ainsi que nous le verrons dans la suite, un médecin, face à son patient diabétique, aura à construire son îlot de rationalité particulier. Celui-ci sera fort différent de la représentation – même interdisciplinaire – du diabète que les traditions médicales ont standardisée.

crois intéressant de distinguer ce concept d'autres notions avec lesquelles on pourrait le confondre, voire l'amalgamer.

Ce qu'un îlot de rationalité n'est pas

pas
les représentations
des didacticiens

Un îlot de rationalité n'est pas une représentation, du moins si l'on se réfère à la façon dont les didacticiens définissent ce terme. En effet, pour eux, comme le disent Astolfi & al. (1997), une représentation "*désigne les 'conceptions' d'un sujet, 'déjà-là' au moment de l'enseignement d'une notion*". Or un îlot de rationalité n'est pas une conception destinée, après apprentissage correct, à être éliminée par un savoir ultérieur "meilleur": c'est, au contraire, l'aboutissement établi d'une élaboration et d'une construction théorique (mais évidemment revisable, comme toute modélisation scientifique).

Ce n'est pas non plus une représentation dans le sens de Migne (1970) qui considère que ce terme désigne "*un mode de connaissance à prédominance figurative*" ou "*un modèle personnel d'organisation des connaissances*".

Un îlot de rationalité peut en effet être aussi abstrait que n'importe quelle théorie scientifique ; il peut aussi être fortement socialisé, voire standardisé dans une communauté particulière. Il n'est pas non plus une représentation dans le sens de Donnay et Charlier (1991) qui définissent ce mot comme une "*entité hypothétique multidimensionnelle, chargée affectivement qui cristallise des significations accordées à des particuliers, des classes ou des structures par une personne ou un groupe, à un moment donné, dans le cadre d'un projet particulier*". En effet, si un îlot de rationalité contient bien une charge affective – comme tout concept scientifique qui n'est jamais aussi neutre qu'on veut parfois le faire croire – il reste qu'il participe à l'idéal scientifique, déjà bien exprimé par Descartes, de garder une distance critique par rapport aux passions et à l'affectivité. Un îlot de rationalité est le résultat d'un processus intellectuel, et non uniquement d'une réaction affective (même si le processus intellectuel est toujours empreint d'affectivité).

mais semblable
aux
représentations
des
mathématiciens

Par contre, si l'on considère la définition que se donnent généralement des épistémologues, des géographes ou des mathématiciens d'une représentation (une construction mentale ou symbolique qui peut prendre la place d'une réalité ou d'une situation dans des débats ou des analyses), un îlot de rationalité en est une. Mais c'est, comme nous le verrons plus bas, une représentation d'un type particulier, ce qui légitime l'usage d'une conceptualisation et d'un terme spécifiques.

Ainsi que nous le définirons, un îlot de rationalité est une construction théorique parfois aussi élaborée que des concepts scientifiques disciplinaires, mais qui relève des sciences de terrain ou de la théorisation technologique.

La question fondamentale : "De quoi s'agit-il ?"

une représentation
permettant
de débattre

On raconte du maréchal Foch que, quand on lui amenait une affaire, il avait coutume de demander : "De quoi s'agit-il ?". En réponse, il n'attendait pas des informations fragmentaires, mais bien une relation de la situation qui reflète les principaux éléments dont il fallait tenir compte (2), ainsi que la complexité du tout. S'il posait cette question, c'est parce qu'il trouvait utile de disposer d'un rapport – synthétique mais suffisamment complet – pour qu'on puisse discuter de la situation et prendre des décisions en connaissance de cause. Sa question témoigne aussi d'une impatience par rapport à ceux qui voudraient débattre d'un cas sans s'en être d'abord donné une représentation adéquate (3).

tenant compte
de la globalité
de la situation

Cette recherche de représentation adéquate (disons déjà, en employant le terme technique : d'un îlot de rationalité) se manifeste dans bien des situations. Elle est au cœur des démarches des scientifiques (comme les ingénieurs, les médecins, les architectes, etc.) mettant en œuvre des "sciences à projets" dites encore "sciences de terrain" (4). Ainsi, un ingénieur digne de ce nom doit, s'il construit un pont, avoir une représentation de la situation qui aille au-delà des éléments purement "techniques" pour intégrer des composantes économiques et, si possible, sociales, juridiques, culturelles, etc. Car il ne s'agit pas seulement de technique, mais de bien plus. De même un médecin, en choisissant la thérapeutique qu'il va proposer, doit (ou devrait !) se représenter la situation de son patient bien au-delà de l'organique ou du biochimique. Son patient est aussi un individu, dans une famille, avec des questions économiques et culturelles. Une démarche similaire est mise en œuvre pour l'achat d'une voiture. Il s'agit, là aussi, de se représenter la situation en tenant compte d'éléments économiques, mécaniques, esthétiques, culturels, etc. La construction de telles représentations se fait assez spontanément dans bien des cas, surtout quand sont impliquées des décisions jugées importantes (que celles-ci soient techniques, éthiques ou politiques). Pensons, par exemple, à la représentation que se construit une famille délibérant pour décider que faire à propos d'un de ses membres âgé dont on

(2) Y compris des éléments affectifs,

(3) À l'inverse de cette attitude, on pourrait citer, comme représentation caricaturale, la chanson "Tout va très bien, Madame la Marquise". Dans cette chanson, à la question "Quelles nouvelles ?" le valet fidèle donne chaque fois des informations partielles qui ne permettent pas à la marquise de voir la complexité de la situation.

(4) La grande différence entre les deux approches (se ramenant d'ailleurs assez bien à la différence entre sciences fondamentales et technologies) est que les sciences fondamentales sont destinées à fonctionner dans les univers protégés et standardisés des laboratoires (lieux qu'on manipule de sorte qu'ils obéissent à des critères standards), tandis que les technologies doivent fonctionner chaque fois dans des contextes uniques et non standardisés.

envisage le placement en maison de repos. Ou encore à la représentation que certains se font d'une possible interruption volontaire de grossesse. Ou encore à celle qu'on peut se faire de l'introduction d'un four à micro-ondes dans un ménage, d'un fax dans un bureau, ou de n'importe quelle technologie dans un environnement). Ou, dernier exemple, lorsqu'il s'agit, pour une entreprise alimentaire, d'examiner les mesures à prendre pour pouvoir faire face à de possibles sabotages de sa production.

Dans chacune de ces situations, le modèle qu'on se construit pour répondre à la question "De quoi s'agit-il ?" est une représentation, c'est-à-dire qu'il est destiné à prendre la place de la situation complexe dans les discussions qui la concernent. Et il doit prendre en considération de multiples dimensions du problème.

Des îlots de rationalité

une métaphore :
un îlot dans
un océan
d'ignorance

Des représentations de ce genre peuvent être appelées îlots de rationalité pour plusieurs raisons. On fait d'abord appel à l'image d'un "îlot" au milieu d'un océan d'ignorance. En effet, pour se représenter une situation, il faut, à un certain moment, sélectionner les éléments qu'on jugera pertinents au projet que l'on a. Comme le savent les médecins et les ingénieurs, pour pouvoir discuter et décider, il est nécessaire de limiter les informations ou connaissances qu'on mettra en œuvre. Car vouloir tout connaître, c'est toujours se mettre dans une situation impossible, ne fût-ce parce que notre temps est toujours limité. Cette sélectivité des informations, ainsi que l'acceptation de certaines questions non résolues (5), est essentielle à n'importe quelle recherche scientifique. Même l'observation la plus simple exige une sélection des informations. Contrairement à ce que d'aucuns disent, la démarche scientifique ne veut jamais questionner jusqu'au bout, sous peine de ne rien connaître. Ce n'est pas en regardant pendant des heures un feu de bois qu'on le comprend scientifiquement !

On parle d'un îlot de "rationalité" puisque la sélection des informations et la structuration du modèle qu'est l'îlot a pour but – comme d'ailleurs toutes les modélisations scientifiques – de permettre une discussion de la situation qui ne se résume pas en un dialogue de sourds. Et l'on peut éviter un tel écueil dans la mesure où l'on précise le sens des termes et du modèle construit. Cette discussion – *in petto* ou avec d'autres – peut éclairer des processus décisionnels (même si ceux-ci ne se réduisent évidemment pas à leurs seules composantes rationnelles). Ces processus décisionnels peuvent cependant être qualifiés de "rationnels" dans la mesure où la rationalité peut être assimilée, au moins en première approximation, à une discussion ouverte et clarifiée des situations dans lesquelles on est impliqué. La

(5) Qu'on appelle aussi des "boîtes noires" non ouvertes.

construction d'un îlot de rationalité implique aussi, comme dans toute démarche scientifique, une prise de distance par rapport à une affectivité qui occulterait les contraintes du problème envisagé – ce que les psychologues appellent le "principe de réalité" et les philosophes "l'altérité".

Définition de l'îlot de rationalité

Dans la perspective proposée, il devient possible de définir un "îlot de rationalité". C'est la représentation qu'on se donne d'une situation précise, représentation qui implique toujours un contexte et un projet qui lui donnent son sens. Elle a pour objectif de permettre une communication et des débats rationnels (notamment à propos de prises de décisions).

un savoir relatif
à des contextes
et projets

Un îlot de rationalité est donc un savoir relatif à une situation. Sa caractéristique principale est d'être explicitement (6) relié à un contexte (7) et à un projet – contrairement aux savoirs disciplinaires dont les contextes et projets d'origine sont généralement oubliés.

Des îlots interdisciplinaires

Jusqu'ici nous nous sommes contentés de présenter la notion d'îlot de rationalité sans envisager ses liens possibles à des savoirs disciplinaires. La seule chose sur laquelle nous avons insisté est que l'îlot doit être pertinent par rapport au contexte et au projet qui le sous-tendent. Il est d'ailleurs possible de se construire une îlot de rationalité sans jamais se référer à des disciplines, ni à aucun spécialiste. C'est ce que font, par exemple, la plupart des gens se choisissant une nouvelle voiture ou un nouveau logement,

-
- (6) Le lien explicite est important dans cette définition. En effet, tout savoir prend son sens en fonction de contextes et de projets ; mais ceux-ci sont fréquemment oubliés et supposés comme allant de soi, notamment dans les savoirs disciplinaires. Dans cette perspective, par exemple, au sens strict, on ne parlera pas d'un îlot de rationalité sur la technologie du four à micro-ondes mais bien d'un tel îlot depuis tel ou tel point de vue particulier (par exemple, du point de vue du vendeur, ou du constructeur, ou de l'utilisateur, etc.).
- (7) Signalons que, parmi les éléments significatifs du contexte, il faut considérer les "destinataires" de la représentation à construire. On ne construira en effet pas le même îlot de rationalité au sujet de la situation d'un patient s'il doit servir à communiquer dans la famille, dans un groupe de médecins spécialistes ou dans le comité éthique de l'hôpital. Le degré de formation des destinataires est un des critères importants pour décider comment sera l'îlot (et notamment sa taille et sa complexité). De plus, le temps disponible pour construire l'îlot sera un élément important du contexte et déterminant pour la construction. Si l'on dispose de beaucoup de temps, on pourra approfondir bien des questions (on dira : ouvrir bien des boîtes noires), tandis que si l'on ne dispose que de peu de temps, la représentation devra être plus simplifiée.

même quand ils se construisent une représentation de ces situations. Mais, dans certains cas, on peut aussi, pour se construire la représentation visée, faire appel à des savoirs disciplinaires (8), éventuellement en consultant des spécialistes (9). Ainsi, dans le cas d'un placement d'une personne âgée dans une maison de repos, il est possible de faire appel à des savoirs disciplinaires comme ceux des psychologues, des sociologues, des géiatres, etc. Dans ces cas, la représentation construite aura bénéficié des savoirs organisés et standardisés (10) de diverses disciplines et l'on pourra, à bon droit, dire qu'elle est le résultat d'un travail interdisciplinaire (11).

utilisant la solidarité
des disciplines

On peut se construire spontanément des îlots de rationalité pertinents pour certaines situations, sans se référer aux savoirs standardisés dans les disciplines. Cependant, dans notre société moderne, on attend que, au moins pour les situations assez complexes, les savoirs qui seront incorporés à l'îlot aient la solidité de ce que peut offrir une discipline. Ainsi, si l'on veut se représenter la croissance des haricots dans une ferme, on attendra qu'une partie de l'apport provienne des résultats bien établis de la biologie. De même, si l'on veut se représenter le possible placement de quelqu'un dans une maison de repos, le travail deviendra vraiment interdisciplinaire si les avis d'un psychologue et des représentants d'autres disciplines sont sollicités. Le travail interdisciplinaire se caractérise ainsi par son appel aux disciplines pour éclairer des situations singulières (12). Il faut

-
- (8) Que l'on peut rencontrer soit grâce à des spécialistes, soit grâce à des publications.
 - (9) Il est devenu usuel dans la pratique de l'évaluation sociale des technologies (le Technology Assessment) de distinguer entre deux sortes de spécialistes : ceux qui relèvent d'une discipline (comme les physiiciens, les biologistes, les médecins, les sociologues, etc.) et les usagers qui, sans avoir de diplômes, ont des savoirs pertinents sur une situation (par exemple, les patients dans une situation médicale ou les personnes faisant la cuisine s'il s'agit d'un four à micro-ondes).
 - (10) C'est grâce à cette standardisation propre aux disciplines qu'on peut parler des savoirs des psychologues, par exemple, et non d'"un" psychologue.
 - (11) Dans cette perspective, on peut dire qu'un travail disciplinaire et un travail interdisciplinaire diffèrent par les critères mis en œuvre pour structurer les savoirs à produire. Dans le travail disciplinaire, les normes proviennent de la tradition de la discipline qui utilise des approches standardisées et stabilisées dans l'histoire pour construire et aborder son objet. Dans le travail interdisciplinaire, par contre, les normes de structuration des savoirs proviennent du contexte et du projet qui conduisent à structurer une représentation de la situation. Il faut que l'îlot interdisciplinaire construit soit pertinent en vue du projet et de son contexte (par exemple, la mise en maison de repos).
 - (12) Ce qui implique que le travail interdisciplinaire valorise le travail disciplinaire et montre le sens qu'il y a à disposer des savoirs standardisés des disciplines. Et il importe donc de distinguer du travail

donc distinguer une pédagogie qui introduit à des démarches interdisciplinaires et une pédagogie du projet ou une recherche sur des systèmes souples (Checkland, 1981). On peut en effet procéder par une pédagogie du projet sans jamais faire appel aux savoirs spécialisés des disciplines. Les deux démarches ont toutes deux leurs avantages et leurs limites (13). Dans le travail interdisciplinaire, les disciplines marquent une altérité qui canalise certaines spontanéités excessives et nous conduisent parfois à modifier nos représentations. Elles apportent aussi les résultats solides d'une tradition scientifique.

Quelques types particuliers d'îlots de rationalité

Il peut être intéressant de distinguer quelques types d'îlots de rationalité, notamment ceux se référant à une situation plus notionnelle que concrète, ou encore, ceux se référant plus à du culturel qu'à du pratique.

des îlots
de rationalité
autour de notions

On parlera d'un "îlot de rationalité autour d'une notion" quand il s'agit, dans un contexte et des projets précis (par exemple, ceux d'un groupe d'élèves) (14) de se représenter comment cette notion fonctionne dans notre culture. Ainsi y a-t-il un sens à se construire des îlots interdisciplinaires de rationalité autour de notions comme celles de pollution, de contagion, de dépression, d'évolution, d'énergie, de système, etc. Les îlots de ce type méritent d'être distingués de ceux qu'on construit autour d'une situation concrète, ou autour de l'usage d'une technologie, etc.

des îlots culturels

Cette recherche d'une représentation du fonctionnement d'une notion dans une culture peut se faire soit dans une perspective utilitariste (comme lorsqu'on veut comprendre les différents types d'isolants thermiques), soit dans une perspective proprement culturelle (comme quand on veut mieux comprendre la notion d'évolution). La possibilité de construire des îlots "culturels" répond à l'accusation de ceux qui estiment que l'insistance sur les contextes et les projets

interdisciplinaire la construction d'îlots de rationalité qui ne font pas appel à des savoirs disciplinaires : ils ont leur pertinence mais ce n'est pas à bon droit qu'on les nomme interdisciplinaires (même si la situation qu'ils apportent ne relève pas d'une seule discipline et pourrait bénéficier d'un véritable travail interdisciplinaire).

- (13) Ainsi, la pédagogie par projet est-elle souvent plus adaptée à l'école primaire où les élèves ne sont pas encore fort familiarisés avec des savoirs disciplinaires ; tandis que la familiarisation avec des démarches interdisciplinaires est essentielle pour l'enseignement secondaire où il s'agit de valoriser aussi les disciplines et leurs savoirs standardisés, le bon usage de spécialistes et celui de boîtes noires.
- (14) Dans la mesure où la construction d'une représentation d'une notion se fait à partir de ceux qui s'y intéressent, on se retrouve dans le cas de la construction d'une représentation d'une situation : celle de ceux qui se trouvent confrontés à ce phénomène de société qu'est une notion établie et standardisée.

oblitérerait la dimension culturelle des savoirs au profit d'un utilitarisme plat. Ainsi, on peut, avec des élèves, construire un îlot interdisciplinaire de rationalité autour de la notion d'évolution ou d'origine de l'univers. Il s'agit alors de se donner une représentation (en fonction du contexte des élèves – y incluant le temps disponible et leur situation culturelle – et de leurs projets) de ce à quoi se réfèrent ces termes. Et diverses disciplines pourront y contribuer, de la physique et la biologie à la philosophie ou la théologie. De tels îlots de rationalité ont à répondre à la question "De quoi s'agit-il ?" en partant du contexte et des projets des élèves (15).

Pour conclure : les îlots de rationalité et les enjeux de l'éducation scientifique

Lorsque des disciplines scientifiques, comme la physique ou la biologie, interviennent concrètement dans la vie quotidienne des jeunes, c'est généralement à travers la construction d'îlots de rationalité. Il s'agit, par exemple, de construire un circuit électrique concret, ou de se protéger contre la contagion d'une maladie, ou de se représenter les origines du monde. Dans chacune de ces situations, une réponse pertinente à la question "De quoi s'agit-il ?" implique le dépassement d'une approche disciplinaire et la construction d'un îlot interdisciplinaire de rationalité. C'est pourquoi la compétence à construire des îlots interdisciplinaires de rationalité autour de certaines notions comme autour de projets concrets, mériterait de tenir une bonne place dans les objectifs d'une éducation scientifique qui veut avoir du sens (c'est-à-dire être en relation avec la vie concrète des élèves). L'éducation scientifique ne peut se limiter aux sciences disciplinaires mais elle doit englober des démarches proches des sciences dites à projets ou de terrain (comme la médecine ou l'architecture, ce qui implique d'ailleurs de donner, dans la formation, une meilleure place aux technologies) (16). Cela exige aussi la valorisation et l'enseignement de quelques compétences concernant le bon usage des spécialistes, des boîtes noires, des savoirs standardisés, des modèles simples, etc. Ce qui

pour une
éducation
scientifique
ayant
du sens

-
- (15) Rappelons encore que, même à propos de situations paraissant profondément utilitaires (comme le contexte d'un four à micro-ondes dans un ménage), il y a une dimension culturelle et humaine qu'un îlot adéquat veillera à ne pas manquer (mais qu'oublie souvent les technocrates qui ne s'intéressent qu'au technique "pur").
- (16) Car les technologies ne sont pas, comme certaines pratiques scolaires pourraient le faire croire, des sortes de bricolages. Elles impliquent la construction de représentations théoriques de la situation et de ses possibilités. Elles exigent le plus souvent une approche interdisciplinaire. Les technologies, le plus souvent, ne sont pas des applications des sciences disciplinaires, mais elles impliquent la construction de savoirs selon des démarches autres que les sciences disciplinaires, à savoir les démarches de sciences à projets ou de terrain.

apprendre
aux élèves
à décoder leur
monde à eux

contribuerait enfin à rétablir un lien entre les savoirs et les sujets pour qui ces savoirs sont intéressants. Car, trop souvent, les élèves n'ont pas l'impression que les cours de sciences sont destinés à leur faciliter le décodage de leur monde à eux, mais plutôt qu'ils sont uniquement destinés à les faire entrer dans le monde des scientifiques.

Et si les élèves peuvent peut-être (bien que cela ne soit pas sûr) se passer de concepts métacognitifs du genre de celui de "îlot de rationalité", les enseignants, qui ont à se clarifier ce qu'ils font, doivent pouvoir maîtriser une métacognition suffisante.

Gérard FOUREZ
Université de Namur

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.-P., DAROT E., GINSBURGER-VOGEL Y., TOUSSAINT J., *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles, Éd. De Boeck Université, Coll. *Pratiques Pédagogiques*, 1997.
- CHECKLAND P. *Systems thinking, systems practice*. Chichester, John Wiley & Sons, 1981.
- DONNAY J. & CHARLIER E., *Comprendre des situations de formation*, Bruxelles, Éd. De Boeck Université, 1991.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V. & MATHY Ph., "Des finalités des cours de sciences" in *Cahiers Pédagogiques*, n° 298, novembre 1991, pp. 33-36.
- FOUREZ G., MATHY Ph., ENGLEBERT-LECOMTE V., "Un modèle pour un travail interdisciplinaire" in *Aster*, 17, 1993, pp. 119-141.
- FOUREZ G. & al., *Alphabétisation Scientifique et Technique*, Bruxelles, Éd. De Boeck Université, 1994.
- FOUREZ G., *La construction des sciences, les logiques des inventions scientifiques*, Bruxelles, Éd. De Boeck Université, 3^{ème} éd., 1996,
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V., MATHY Ph., *Nos savoirs sur nos savoirs*, Bruxelles, Éd. De Boeck Université, 1997.
- LAYTON D., JENKINS E., MACGILL S., DAVEY A. *Inarticulate science*, Driffield, Studies in Education, 1994.
- MIGNE J., "Pédagogie et représentation", in *Éducation permanente*, 8, 1970, pp. 67-87.
- STENGERS I., *L'invention des Sciences modernes*, Paris, La découverte, 1993.

Images numériques dans l'enseignement des sciences

Journées d'études CNAM,
Paris 15 -16 JUIN 1995

Coordination J. C. LE TOUZÉ, N. SALAMÉ

C'est dans le but d'identifier les problématiques actuelles dans le domaine des images numériques, les usages qui en sont faits dans la recherche, les ressources accessibles aux établissements scolaires, et les produits les plus significatifs développés pour l'enseignement, que ces journées ont été organisées.

Les communications rassemblées dans cette publication montrent l'étendue du champ d'application de l'image dans la recherche et la diversité des réalisations pédagogiques existant à ce jour. Elles sont organisées selon trois grands thèmes :

- . les problèmes généraux relatifs aux traitement, stockage et distribution des images par ordinateur, ainsi que les problèmes juridiques posés par les images numérisées ;
 - . les ressources disponibles dans les domaines satellital, moléculaire, médical et artistique ;
 - . les applications pédagogiques des images numériques dans l'enseignement des sciences.
- Deux tendances s'en dégagent : l'analyse et le traitement des images pour en extraire des informations significatives d'une part, et l'utilisation des images pour montrer ou pour démontrer d'autre part.

France (TVA 5,5 %) : 90 F ttc - Corse, DOM : 87,10 F
Guyane, TOM : 85,31 F - Étranger : 94 F

**Disponible en librairie ou
par correspondance auprès de l'INRP**



BON DE COMMANDE

à retourner à **INRP - Publications**
29, rue d'Ulm, 75230 PARIS CEDEX 05
Internet : <http://www.inrp.fr>

Nom
ou établissement
Adresse
Localité Code postal
Date Signature

Titre et code	Nb d'ex.	Prix	Total
<i>Images numériques dans l'enseignement des sciences</i> Code : BR 019			

Joindre à la commande le règlement à l'ordre de l'Agent Comptable de l'INRP