

# 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...

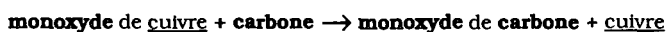
## 1.2. Nos propres hypothèses

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--O<sub>2</sub> ; S--O<sub>2</sub> ; H<sub>2</sub>--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'accrocher 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

<b>1. L'étude d'une transformation de la matière</b>	
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.

<b>2. La caractérisation de la transformation observée</b>	
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.

<b>3. La non conservation apparente de la masse</b>	
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 ( <b>PO1</b> ).
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 ( <b>DGI</b> **).
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.

<b>4. La nature et l'origine du gaz formé</b>	
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.

<b>5. L'origine des atomes d'oxygène des molécules de dioxyde de carbone</b>	
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.

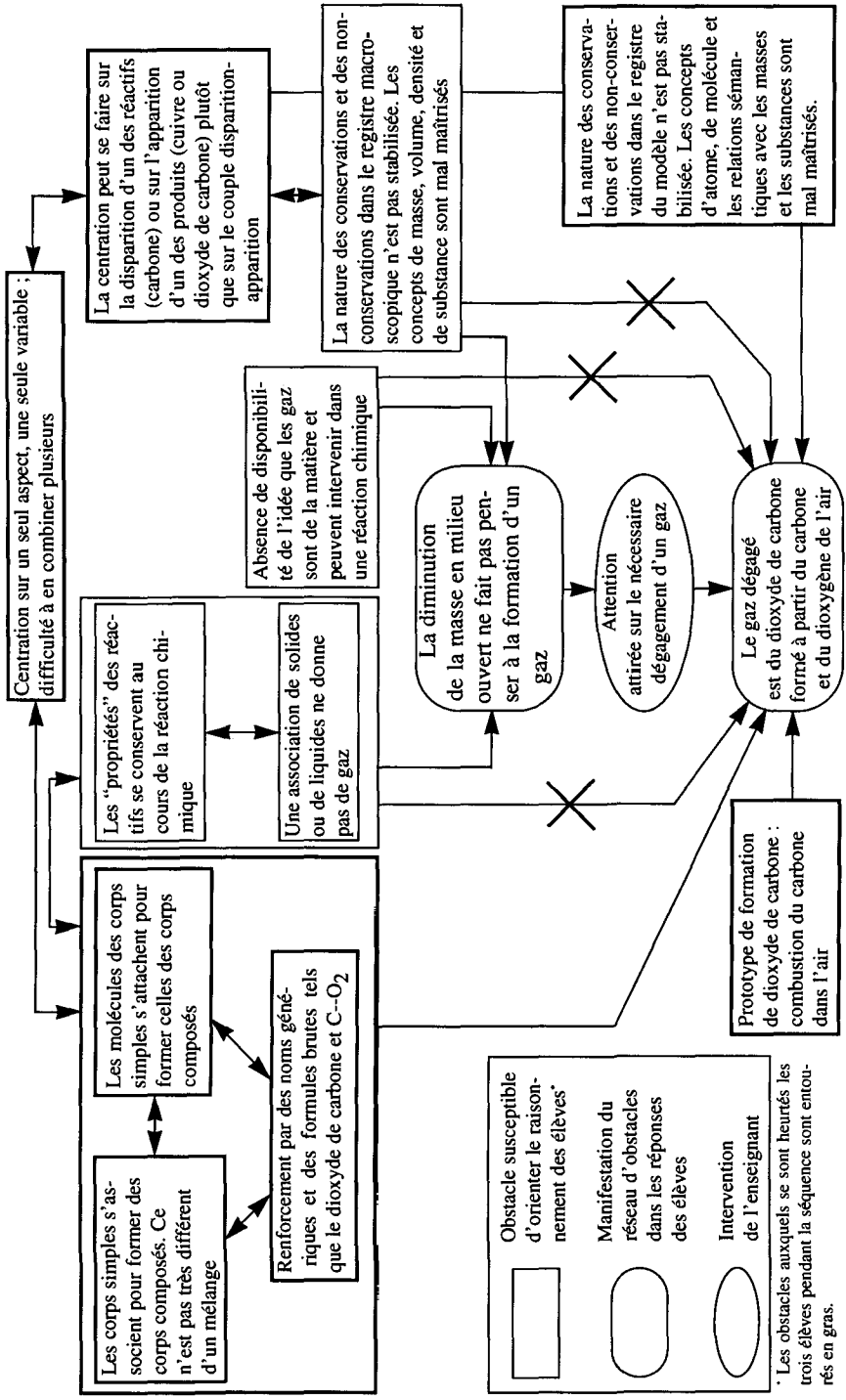
Dans cette situation d'enseignement, le premier passage obligé qui focalise les élèves sur la perte de masse pendant la réaction, nous a permis de constater que les trois élèves observés ne semblent pas être tous au même niveau par rapport au franchissement de certains obstacles liés directement à la 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 E<sub>2</sub>, 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.

un plan identique pour les trois parties du cheminement

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

un 1<sup>er</sup> PO correspond aux obstacles liés directement à la perception

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.

• **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.

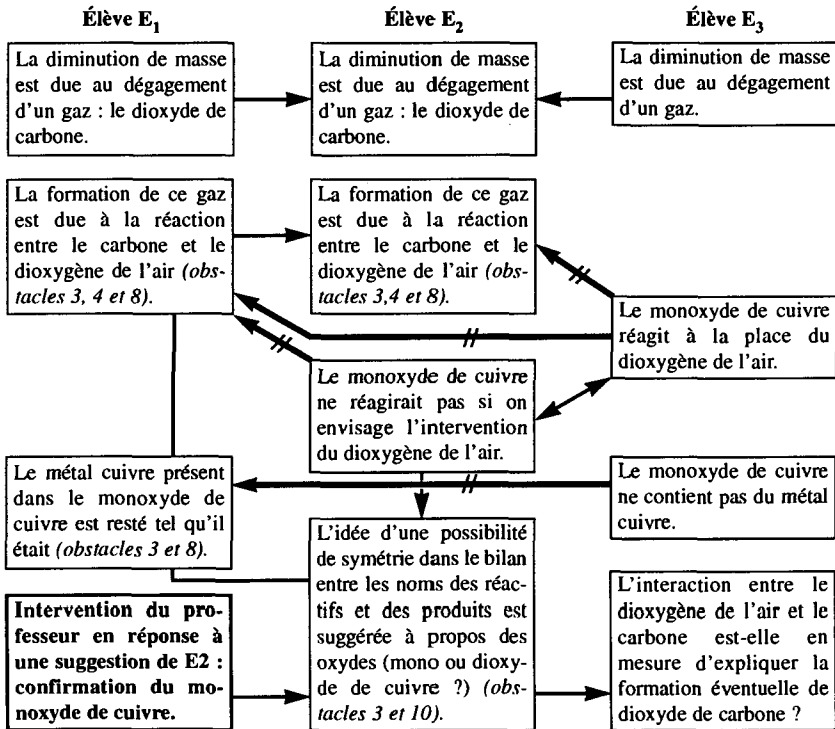
deux élèves  
ont déjà franchi  
les obstacles liés  
directement  
à la perception

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 E<sub>1</sub> et E<sub>3</sub> convainquent aisément E<sub>2</sub> 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.

Ensuite l'élève E<sub>2</sub> est séduit dans un premier temps par l'idée de E<sub>1</sub> 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 E<sub>2</sub> émet une objection en disant qu'alors le monoxyde de cuivre n'interviendrait pas. E<sub>1</sub> 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

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

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<sup>ème</sup> 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

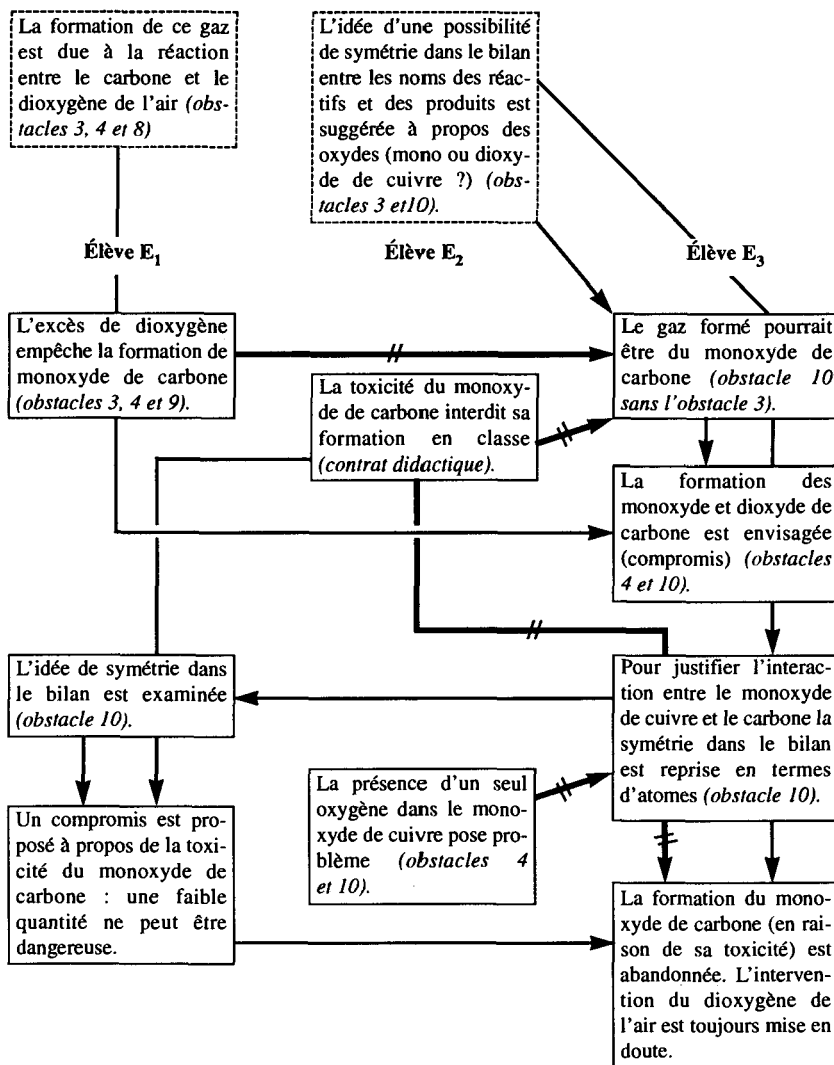
L'intervention du professeur à la fin de la première discussion de groupe, qui certifie que l'oxyde de cuivre est bien un monoxyde, a des effets différents sur les hypothèses émises par les élèves  $E_2$  et  $E_3$ . Elle amène l'élève  $E_2$  à abandonner, pour un temps, l'idée de symétrie et à reprendre 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 E<sub>1</sub> commence à s'opposer à l'idée de E<sub>3</sub> : "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<sup>ème</sup> 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 E<sub>1</sub> : *"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 E<sub>2</sub> : *"Ils proviennent de l'air et/ou du monoxyde de cuivre."*

L'élève E<sub>3</sub> : *"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**

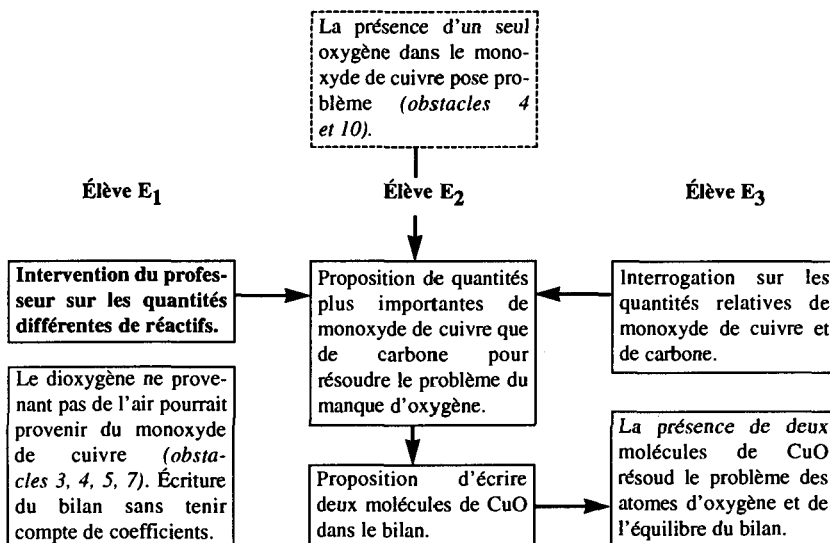
Cette dernière discussion de groupe est organisée pour résoudre la tâche suivante : élaborer une explication logique de la formation du cuivre et du dioxyde de carbone à partir du monoxyde de cuivre et du carbone. La consigne n'impose pas de registre d'explication dans le but d'observer si les élèves 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 E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> ne semblent pas totalement convaincus par le verdict de la double expérience malgré ce qu'ils ont écrit précédemment. L'élève E<sub>1</sub> répète à plusieurs reprises : "ça ne vient pas de l'air" comme pour se convaincre ; l'élève E<sub>2</sub> 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 E<sub>1</sub> 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  $\text{CuO}$  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<sup>e</sup>  
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.