

Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes

par Martine MEHEUT

Lycée E. Delacroix, Maisons-Alfort
Institut National de Recherche Pédagogique, DP 1
LIREPT, Université Paris 7

Les directions de rénovation de l'enseignement de la chimie au lycée et à l'Université sont nombreuses : utilisation de techniques informatiques, développement de Travaux Pratiques en relation avec la vie quotidienne et les applications industrielles ... On peut citer en particulier les Olympiades, les nombreuses productions du réseau ReCoDiC, les travaux du CIFEC, du GREDIC, du GREDISPEN * ...

Se sont développés également ces dernières années des travaux d'évaluation des résultats de l'enseignement de cette discipline, évaluation des acquisitions conceptuelles et méthodologiques. Ainsi, une importante enquête [1], concernant environ 400 étudiants de 1ère année de DEUG scientifique a permis de mettre en évidence des lacunes dans la construction de champs conceptuels tels que ceux de la structure de la matière d'une part, des réactions acido-basiques d'autre part. Dans le domaine des démarches scientifiques une enquête concernant environ 400 élèves de classes de terminales scientifiques et 90 enseignants de lycée a permis de faire apparaître certaines limites du travail expérimental proposé dans l'enseignement secondaire et a conduit les auteurs à formuler des propositions pour améliorer l'impact de ce travail expérimental, tant au niveau de la motivation des élèves que des acquisitions méthodologiques [2].

* ReCoDiC : Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie, Université de Poitiers.

CIFEC : Centre International Francophone pour l'Éducation en Chimie.

GREDIC : Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

GREDISPEN : Groupe de Recherche sur l'Enseignement des Sciences Physiques de l'École Normale (St Cloud).

L'analyse des représentations que les élèves peuvent avoir élaborées préalablement à l'enseignement et des obstacles que peuvent constituer de telles représentations pour la conceptualisation des phénomènes chimiques est par contre moins développée que pour d'autres disciplines (mathématiques, physique, biologie par exemple). Les études réalisées dans cette perspective concernent la construction-appropriation de concepts fondamentaux de la chimie tels que corps pur, élément, réaction chimique.

On trouvera dans le Bulletin de l'Union des Physiciens de nombreuses publications qui explicitent, par une analyse historique [3] [4] ou par une analyse épistémologique [5] [6] les liens étroits entre ces concepts.

Les transformations chimiques auxquelles réfèrent ces études sont principalement des combustions. Ces phénomènes constituent un domaine d'initiation à la chimie dans différents pays : Grande Bretagne, Nouvelle Zélande, Suède par exemple ; elles figurent également en France aux programmes des classes de 6ème, 5ème et 3ème. On peut remarquer que les phénomènes dont l'étude est proposée aux élèves lors de cette première approche des réactions chimiques ne sont pas toujours simples : combustions d'une bougie, de bois, de tabac, d'essence, d'alcool, de méthane, oxydations du fer ... La raison qui préside à ces choix consiste à s'appuyer sur les connaissances que les élèves ont pu acquérir par l'observation de leur environnement, à ne pas établir de rupture entre vie courante et apprentissage scolaire scientifique.

Les enquêtes que nous présentons ci-après, conduites dans plusieurs pays auprès d'élèves de 11 à 15 ans permettent de cerner les schémas explicatifs que les élèves sont susceptibles de se construire pour interpréter ces phénomènes ; leurs conclusions permettent, nous le verrons, de discuter les choix évoqués ci-dessus.

1. COMMENT DES ÉLÈVES DE 11 À 15 ANS SE REPRÉSENTENT-ILS DES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES ?

Les questions soumises aux élèves concernent différents aspects des combustions : transformations du combustible, formation des produits de combustion, rôle de l'air. Les écarts entre les réponses attendues et les réponses données par les élèves présentent, nous allons le voir, deux lignes de forte cohérence.

Schéma 1, centré sur la flamme

La flamme est dotée de propriétés :

- produire de la chaleur (chaleur / vapeur / buée / eau) ;
- transformer les «objets» placés à son voisinage, que ce soit le

combustible ou l'air ; cette transformation consiste en une disparition de matière, ou en une transformation de matière en gaz, de masse inférieure à celle de l'«objet» de départ.

Dans ce schéma explicatif n'apparaît aucun invariant.

Schéma 2, des invariants, mais...

Un tiers environ des élèves font intervenir, dans leurs explications, des invariants :

- invariance de la masse, mais la masse prise en compte dans ces raisonnements est celle d'un objet, l'objet combustible ; l'oxygène n'intervient pas dans le bilan de masse ;
- invariance des substances et non des éléments : le bois brûlé est encore du bois, l'alcool quand il brûle reste de l'alcool, il ne fait que s'évaporer, les métaux ne peuvent que fondre, l'eau obtenue lors d'une combustion était déjà présente dans le combustible ...

D'après ces enquêtes l'enseignement, dans différents pays, conduit les élèves à prendre en considération les produits gazeux (disparition de l'oxygène, formation de nouveaux gaz). Cette progression dans la lecture des expériences ne semble cependant pas leur permettre de restructurer profondément leur manière de «voir» les combustions. Ils envisagent une transformation du combustible d'une part, de l'oxygène ou de l'air d'autre part. Même après un enseignement, les notions d'interaction entre le combustible et l'oxygène apparaissent très peu dans leurs explications.

1.1. Transformation de combustible

Combustions de solides

L'expérience commune des élèves réfère à des combustions de mélanges organiques souvent complexes bois, tabac ... De cette expérience commune, que retirent-ils ?

Considérons la question suivante (figure 1), soumise à des élèves anglais (48 élèves de 11 ans environ) avant et après un enseignement de chimie comportant l'étude de combustions variées [7].

Cette question écrite venait après la présentation d'une balance équilibrée par deux morceaux de bois de même masse et la combustion de l'un d'entre eux. La pesée présentée dans la question (cendres-morceau de bois) n'était pas effectuée.

Avant enseignement, les deux tiers des élèves (67%) répondent que les cendres seront plus légères (*schéma 1*), les raisons principalement évoquées sont que :

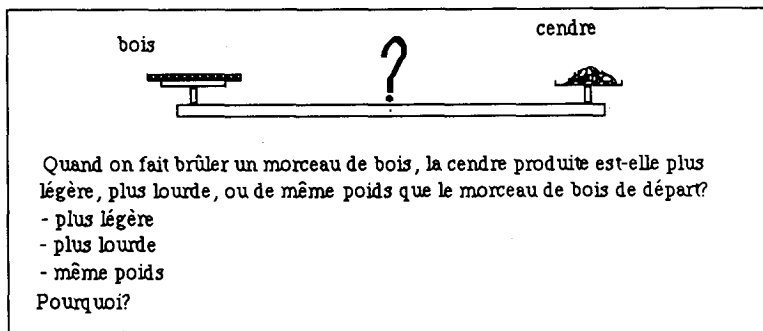


Figure 1

- «quelque chose a disparu» (21%),
- «les poudres sont plus légères» (19%).

Presque un tiers d'entre eux (31%) considèrent que la masse est restée la même (*schéma 2*) «car c'est toujours le même morceau de bois».

Après enseignement, ils sont plus nombreux à considérer que la masse des cendres sera plus petite (88%), les réponses en termes de «quelque chose a disparu» restent importantes (27%), un autre argument important (19%) consiste à prendre en considération les fumées produites (19%).

Comme le montrent les réponses à la question suivante, les résidus sont fréquemment considérés par les élèves comme les parties non combustibles du solide de départ :

«Quand du carbone brûle, cela ne fait pas de cendre mais quand le magnésium brûle, il s'en forme beaucoup.
Comment expliques-tu cela ?»

A cette question, un petit nombre d'élèves (13%) répondent, avant et après enseignement, que le carbone en brûlant forme un gaz, alors que le magnésium forme un solide. Ils sont plus nombreux à interpréter l'abondance des «cendres» par le fait que le magnésium contient une substance qui ne brûle pas (31% avant enseignement ; 17% après).

L'hypothèse d'une image prototypique de la combustion comme «disparition» d'une partie de l'objet combustible, et obtention d'un «reste» non combustible (*schéma 1*) est renforcée par les réponses à la question suivante (*figure 2*).

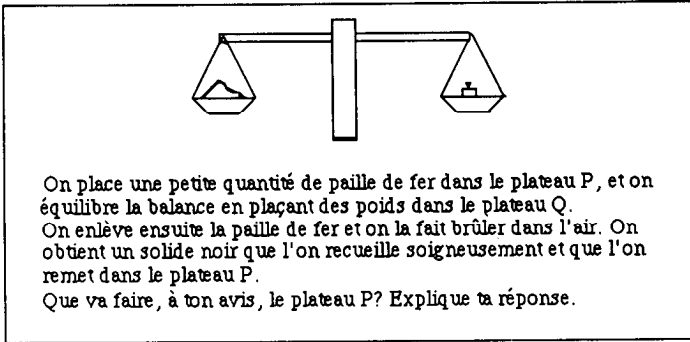


Figure 2

La moitié des élèves (50%) répondent en effet en termes de diminution de masse (*schéma 1*), que ce soit avant ou après enseignement ; seules les justifications diffèrent légèrement :

	Avant	Après
Une partie de fer a brûlé	15 %	6 %
Un gaz/de la fumée se sont formés	2 %	25 %
Les cendres sont plus légères que le fer	27 %	10 %
Autres	6 %	8 %

On retrouve comme effet de l'enseignement le fait que les élèves envisagent la formation de produits de combustion gazeux et de fumées.

Un peu plus d'un quart (29 % avant - 27 % après) répondent en termes d'invariance de la masse (*schéma 2*).

	4 %	10 %
On a récupéré tout	17 %	10 %
Simple changement d'apparence	8 %	6 %
Autres		

Un peu moins d'un quart seulement choisissent, avant (21%) et après (23%) enseignement, l'augmentation de la masse, les explications de ce choix étant très dispersées ; deux élèves seulement, après enseignement, évoquent la combinaison de l'oxygène et du fer ; deux font allusion à l'addition d'un gaz.

Ces questions, lorsqu'elles sont posées avant enseignement, ont l'intérêt de faire connaître la manière dont les élèves peuvent, indépendamment de tout enseignement structuré, intégrer des faits nouveaux à leurs cadres de pensée (représentations-conceptions ...).

On peut par contre se demander si, après enseignement, les élèves disposent bien de toutes les informations nécessaires pour répondre correctement à ces questions (état physique des oxydes formés dans les conditions de l'expérience). C'est pourquoi il est intéressant de s'attarder aux réponses des élèves dans le cas d'une combustion réalisée dans un flacon fermé. Ici, aucune connaissance des propriétés des oxydes obtenus n'est nécessaire pour affirmer la conservation de la masse. Cette question (figure 3) a été posée à des élèves anglais (11 ans) dans le cadre de l'étude déjà citée [7], mais également à environ 3 000 élèves suédois (12-15 ans) après un enseignement de chimie comportant l'étude de combustions [8].

Un morceau de phosphore est placé dans un flacon, comme l'indique le schéma. La masse du flacon et de son contenu est égale à 205g. On fait converger les rayons du soleil sur le phosphore, qui alors s'enflamme. La fumée blanche produite se dissout lentement dans l'eau. Après refroidissement, le flacon et son contenu sont à nouveau pesés. Penses-tu que cela pèsera

- plus de 205g - 205g - moins de 205g Explique ta réponse

Figure 3

D'après l'étude réalisée en Grande Bretagne, un quart des élèves (23%) choisissent la conservation de la masse avant enseignement ; cette proportion passe à environ la moitié (46%) après enseignement. L'argument principal est qu'il s'agit d'un système fermé (rien n'entre, rien ne sort). Ils sont par contre 48% avant enseignement et encore 31% après à affirmer que la masse va diminuer (*schéma 1*), les arguments principaux étant que la fumée ne pèse rien, est légère, plus légère que le solide ou que le phosphore a brûlé, disparu, a été détruit.

Ces catégories de réponses se retrouvent dans des proportions voisines dans l'étude suédoise.

Combustions de liquides

Les questions portant sur la combustion de liquides sont moins nombreuses ; on peut cependant citer une enquête réalisée en France auprès d'une centaine d'élèves de CM2, donc avant tout enseignement de chimie [9].

Les réponses des élèves à une question sur la combustion d'alcool nous ayant conduit à faire l'hypothèse d'une confusion entre combustion et évaporation, nous leur avons posé la question suivante (figure 4) :

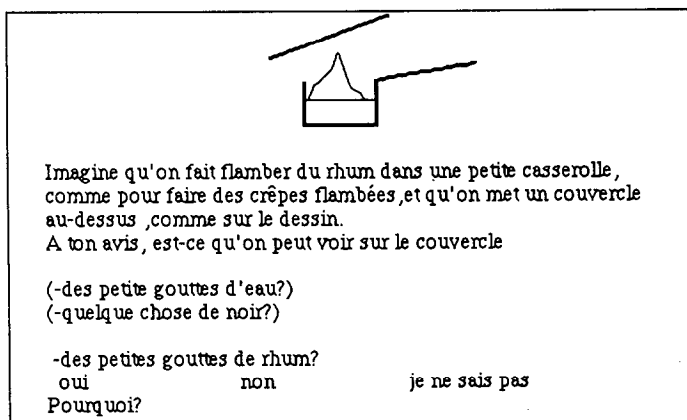


Figure 4

Un peu moins de la moitié des élèves (44%) optent pour la réponse «non». Certains justifient ce choix par la distinction entre deux types de transformations «brûler-flamber» et «bouillir-évaporer». D'autres affirment que le rhum s'est évaporé mais que la vapeur obtenue est de l'eau. Ils sont cependant près d'un tiers à choisir la réponse «oui» en affirmant que la transformation ne change pas la nature de la substance (schéma 2) :

- «parce que le rhum s'évapore et se transforme en goutte de rhum»
- «c'est le rhum qui est en vapeur»

Considérons également la question suivante, extraite de l'enquête suédoise déjà citée [8] :

Une automobile pèse 1000kg. On remplit le réservoir avec 50 kg d'essence. La voiture roule jusqu'à ce que le réservoir soit vide. Son poids

est alors à nouveau 1 000 kg. Quel est le poids des gaz d'échappement qui ont été produits pendant le trajet ?

- plus de 50 kg
- moins de 50 kg
- 50 kg.

Explique ton raisonnement le plus précisément possible.

Près de la moitié des élèves (46%) considèrent que les gaz de combustion sont moins lourds que l'essence (*schéma 1*), les arguments principaux étant ici encore que les gaz sont plus légers que les liquides (14%) ou que l'essence a été brûlée, transformée en énergie (14%).

Un tiers d'entre eux considère que la masse des gaz est la même que celle de l'essence (*schéma 2*). Ils sont seulement 5% à considérer que la masse des gaz est supérieure à celle de l'essence.

1.2. Origine des produits de combustion

Les enquêtes décrites ci-dessus sont centrées sur le devenir de l'objet combustible et sur des aspects de conservation de la masse.

Une approche complémentaire consiste à interroger les élèves sur les origines des produits formés. Prenons le cas d'un produit de réaction commun à de nombreuses combustions : l'eau.

D'après l'étude conduite en France, en fin de CM2, entre la moitié et les deux tiers des élèves considèrent qu'une combustion peut bien donner lieu à la formation d'eau. Les explications qu'ils donnent de cette formation d'eau ne réfèrent pas à la composition du combustible mais à la flamme, la chaleur (*schéma 1*).

- «*parce que la chaleur se transforme en vapeur d'eau*»
- «*on peut voir des petites gouttes d'eau car la flamme chauffe et la chaleur part en vapeur et après ça devient de l'eau*»,

Un quart d'entre eux cependant n'envisagent pas qu'une combustion puisse conduire à la formation d'eau (allumette 22% - bougie 32% - rhum 24%). L'argument principal donné à ce type de réponses repose sur la composition de l'objet combustible (*schéma 2*) :

- «*il n'y a pas d'eau dans une bougie*»
- «*le rhum n'est pas fait d'eau*»

Cette argumentation se retrouve dans les réponses à une question sur la composition de la fumée d'un feu de bois ou d'une bougie. Pour environ une moitié des élèves (feu de bois 50% - bougie 50%), la fumée ne peut pas comporter de vapeur d'eau

- «*parce que la bougie ou la mèche n'est pas imprégnée d'eau*»
- «*parce que si le bois est bien sec il ne contient pas d'eau*».

La formation d'eau peut donc renvoyer à la composition de l'objet combustible (qui peut en comporter) mais aussi à une propriété du feu, de la flamme, cette propriété consistant à produire de la chaleur qui apparaît ici mal différenciée de la vapeur (d'eau).

1.3. Rôle de l'oxygène

D'après une enquête [10] réalisée en France auprès d'une centaine d'élèves de classe de cinquième (programmes 1977) donc après enseignement sur les combustions, deux tiers des élèves (64%) placent la combustion de l'alcool dans la catégorie «réaction chimique». Les justifications données à ce classement ne permettent pas de conclure que le concept de réaction chimique soit cependant très élaboré. En particulier, l'air ou l'oxygène n'interviennent nullement dans les arguments des élèves.

Cette première indication est confortée par les réponses à la question suivante (figure 5), partie d'une enquête effectuée par la Direction des Collèges [11].

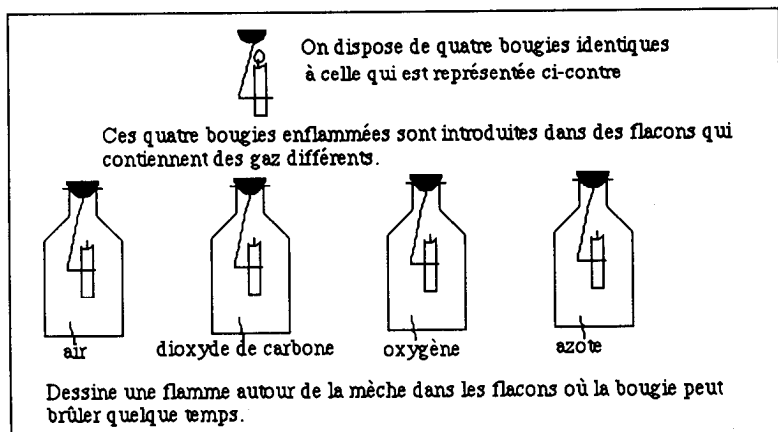


Figure 5

L'analyse des réponses des élèves (43% de bonnes réponses) conduit les auteurs de cette étude à conclure que : «la nécessité de la présence de l'oxygène pour entretenir une combustion, notion fondamentale présentée dès la sixième, est ignorée par plus de la moitié des élèves».

Les résultats d'une étude réalisée en G.B. [7] sont plus optimistes. La question était la suivante (figure 6) :

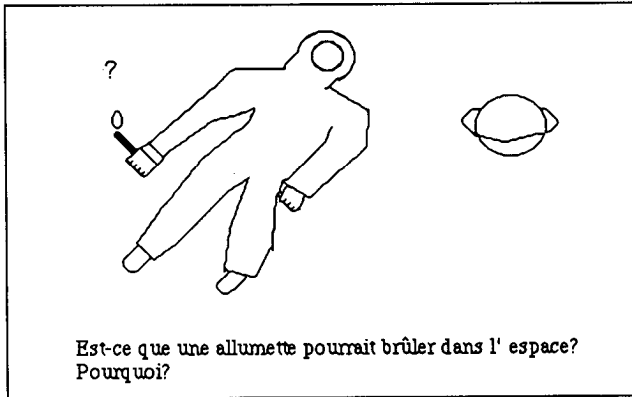


Figure 6

La réponse quasi-unanime à cette question (85% avant enseignement, 98% après) est que l'allumette ne brûlera pas ; les raisons invoquées sont :

	<i>Avant</i>	<i>Après</i>
<i>le manque d'oxygène</i>	33 %	73 %
<i>le manque d'air</i>	29 %	19 %

D'après les études préalablement citées, l'air ou l'oxygène n'apparaissent pas, avant enseignement, dans les explications que donnent les élèves des transformations du combustible ou de la formation des produits de combustion ; dans les bilans de masse, lorsque des arguments de conservation sont évoqués, ils ne portent que sur la masse de l'objet combustible. L'enseignement peut conduire les élèves à prendre conscience du caractère nécessaire de la présence d'oxygène. Ceci ne les conduit cependant pas à envisager une interaction entre le combustible et l'oxygène. Des recherches réalisées en France peuvent laisser penser qu'il s'agit là d'un obstacle important ; l'une d'entre elles [12] concerne 28 élèves d'une classe de CM2, les deux autres [9] et [13] concernent des élèves de classe de sixième. D'après ces études, après un travail expérimental très développé, les explications que donnent les élèves de l'extinction d'une bougie s'arrêtent à :

— la disparition de l'oxygène : «L'oxygène s'use», «L'oxygène s'est épuisé»

— sa transformation en un autre gaz : «*La flamme prend de l'oxygène et le remplace par du gaz carbonique*», «*Il part en fumée, il se transforme en un autre gaz*».

Dans les explications données par les élèves, les transformations du combustible et de l'oxygène ne sont liées que par une cause commune : la chaleur, le feu, la flamme.

2. QUELQUES ÉTAPES POSSIBLES DANS LA CONCEPTUALISATION DES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES

On peut souligner, à juste titre, la complexité des phénomènes étudiés et, au fond, les «pièges» que recèlent de telles situations :

— caractère fascinant de la flamme

— présence de gaz, incolores et inodores, parmi les réactifs et les produits de réaction.

Un premier type de conclusion possible est que «Les combustions ne sont pas un bon moyen d'introduire la notion de réaction chimique» [10]. Au delà de cette première conséquence, on peut sans doute poursuivre et tenter de proposer quelques directions de réflexion et d'intervention pédagogique.

2.1. Combustions de substances organiques ?

L'expérience commune des élèves s'appuie sur de telles combustions. Nous avons vu que cette expérience les conduit à une conception des combustions difficile à faire évoluer.

Peut être serait-il donc souhaitable d'aborder l'étude des combustions en utilisant des combustibles inorganiques, des métaux en particulier ; l'étude de la combustion ou de l'oxydation lente des métaux a été historiquement déterminante pour l'analyse de l'air et la conceptualisation du rôle de l'oxygène dans les combustions. Elle a permis en particulier de montrer que la masse des produits de combustion est supérieure à la masse du combustible.

2.2. Les combustions mettent en jeu des gaz, ceci est une source de difficultés

Ceci plaiderait en faveur du développement de l'étude des propriétés physiques et chimiques de différents gaz usuels (dihydrogène, dioxygène, dioxyde de carbone...).

Quelles sont les propriétés communes à ces différents gaz ? Une étude

réalisée auprès des élèves de sixième [14] permet de proposer quelques étapes dans cette étude de l'état gazeux.

Quelles sont les propriétés qui en font des «objets» différents ? Un objectif important, à ce stade, serait que les élèves soient capables d'identifier quelques gaz usuels.

2.3. La flamme, le feu fascinent les élèves ; ceci les empêche de se centrer sur les substances réellement impliquées dans la réaction

On peut envisager de supprimer, dans un premier temps, toute réaction chimique donnant lieu à, ou utilisant pour l'amorçage, une flamme. C'est possible ; cela supprime de nombreuses réactions.

On peut, au contraire, centrer l'attention sur la flamme avec pour but de bien la situer comme le réacteur dans lequel s'effectue la réaction. Un objectif fondamental serait ici que les élèves parviennent à bien distinguer le système réactionnel, sur lequel porte la transformation du réacteur, domaine spatial aux contours plus ou moins nets dans lequel s'effectue la transformation. Il s'agit là, semble-t-il, d'une difficulté importante dans l'apprentissage de la chimie. Lors d'une transformation chimique, quels systèmes étudie-t-on ? Il s'agit de systèmes difficiles à définir, aux frontières floues. Les réacteurs, mieux localisés (un bécher, une flamme...) sont souvent ouverts. Une direction possible serait donc d'étudier dans une première étape des réactions en réacteur fermé (le problème de la conservation peut alors être plus facilement posé) et de n'aborder qu'ensuite des réactions en réacteur ouvert, en mettant l'accent sur la distinction entre réacteur et système réactionnel.

2.4. Transformations physiques et combustions

Un nombre significatif de réponses peuvent être expliquées par une confusion entre combustion et changement d'état ou séparation des constituants d'un mélange. Lorsque des invariants sont évoqués, il s'agit des substances constituant le combustible.

Une démarche pédagogique reposant sur une comparaison de ces deux types de transformations (fusion, évaporation, combustion d'acide stéarique ; distillation d'un mélange eau-alcool, évaporation et combustion d'alcool par exemple) paraît donc souhaitable.

Pour différencier ces deux catégories de transformations, il faut être en mesure d'identifier les réactifs et les produits de réaction comme des espèces chimiques différentes. D'après une enquête récente [15], les connaissances des élèves de quatrième, en France, apparaissent sur ce point

très réduites. Ils sont très peu nombreux (17%) à proposer au moins une technique de séparation (évaporation ou séparation par densité) et les critères d'identification des corps purs qu'ils proposent sont encore imprécis (21% font appel à la couleur, l'odeur, le goût ou la consistance). De plus, pour certains élèves (20%), «pur» est considéré comme synonyme de «naturel». Cette signification peut sans doute être un obstacle à la construction du concept de corps pur, les espèces chimiques se trouvant bien rarement sous forme de corps pur à l'état naturel. Ces constatations suggèrent, nous semble-t-il, qu'il pourrait être fructueux de renforcer, dans l'initiation aux sciences chimiques, l'apprentissage de techniques de séparation et d'identification des substances [16] [17].

3. PERSPECTIVES

Les enquêtes présentées ci-dessus permettent de comprendre certaines difficultés que peuvent rencontrer des élèves de 11 à 15 ans dans la conceptualisation de phénomènes chimiques. Elles permettent d'éclairer les choix relatifs à l'élaboration de situations d'enseignement. Ces éclairages concernent le choix des objectifs conceptuels que l'on peut fixer à une première approche des phénomènes chimiques et le choix des situations expérimentales servant de base à la construction de ces concepts. Ces propositions doivent faire l'objet d'expérimentations complémentaires qui permettront de les préciser, de les valider... et d'en constater les limites, pour les critiquer et les améliorer !

Pour faciliter la construction des concepts de corps pur, d'élément et de réaction chimique, une stratégie adoptée par ailleurs consiste à introduire des modèles de structure de la matière. Différentes démarches pédagogiques ont été utilisées pour introduire ces modèles : nettement inductives dans les curricula Nuffield ou Science for the 70's, beaucoup plus dogmatiques dans l'enseignement français par exemple. Les évaluations de différents cursus [18] [19] conduisent à une conclusion commune : les propriétés des particules les moins bien assimilées sont celles qui sont le plus éloignées des propriétés perceptives de la matière.

On peut remarquer qu'une définition de la molécule comme «la plus petite partie d'un corps pur qui possède toutes les propriétés de ce corps pur» ou une définition d'un atome comme résultant de «coupures» successives risque de renforcer de telles erreurs.

Ce qui pose ici problème est l'existence de propriétés macroscopiques qui ne résultent pas d'une simple addition des propriétés intrinsèques de chaque particule mais de leur organisation et de leurs interactions.

Ces difficultés, soulignées par des recherches relatives au tout début

de l'initiation aux sciences chimiques semblent perdurer. En effet, l'enquête réalisée en France auprès d'étudiants entrant à l'Université montre que «les constituants de la matière sont très bien connus des étudiants mais que les interactions entre ces constituants sont totalement inconnues ou sont l'objet de sérieuses erreurs» [1]. Cette même enquête signale le caractère formel, peu fonctionnel des connaissances des étudiants. Elle montre en particulier la forte prégnance du modèle de Bohr qui, s'il permet d'interpréter des propriétés spectroscopiques, n'est guère opérant dans le domaine des réactions chimiques. Un regard sur les ouvrages scolaires [15] [20] montre par ailleurs que différents modèles particuliers peuvent apparaître dans un même chapitre, sans souci de leurs aspects contradictoires.

Les résultats de ces enquêtes, réalisées auprès d'élèves de différents niveaux montrent l'importance de proposer, dans l'enseignement, des modèles fonctionnels dans des domaines bien spécifiés, en faisant apparaître les nécessaires évolutions permettant de rendre le modèle fonctionnel dans un champ différent ou plus vaste.

Ces résultats suggèrent également de développer des activités pour que ces modèles deviennent bien pour les élèves des outils pour comprendre, pour prévoir et acquièrent ainsi une signification par rapport aux phénomènes observables. C'est dans cette perspective que nous avons entrepris un travail visant, dans une première étape, à faire fonctionner un modèle particulière de la matière dans le domaine des transformations physiques et à faire pratiquer par des élèves (classe de quatrième) des activités d'élaboration et de validation de ce modèle.

4. RÉFÉRENCES

- [1] CROS D. et col., 1984, Atome, Acides-Bases, Equilibre. Quelles idées s'en font les étudiants arrivant à l'Université ? *Revue Française de Pédagogie* 68, 49-60.
- [2] ROLETTO E., CARRETTO J., VIOVY R., 1988, Les travaux pratiques de chimie dans l'enseignement secondaire français : quels buts leur assigner ? *Le Bulletin du CIFEC* 3, 24-41.
- [3] BENSUADE B., 1984, Regards sur l'histoire de l'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 666, 1273-1285.
- [4] FERREIRA N.C., 1989, Premiers pas en chimie. Une interview avec Lavoisier, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 710, 69-81.
- [5] MARTINAND J.L., VIOVY R., 1979, La notion d'élément chimique en classe de cinquième : difficultés, ressources et propositions, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 613, 878-884.

- [6] VIOVY R., 1984, La notion d'élément chimique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 663, 901-910.
- [7] KNOX J.J., 1984. *A study of secondary students ideas about the process of burning*. The University of Leeds.
- [8] ANDERSSON B., 1984, *Chemical reactions*, EKNA report n°12.
- [9] MEHEUT M., 1982. *Combustions et réactions chimiques dans un enseignement destiné à des élèves de sixième*. Thèse de 3ème cycle, Université Paris 7.
- [10] LAVAL A., 1985, Premiers contacts avec la chimie, *Rencontres pédagogiques*, 3, 89-111.
- [11] MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, 1982, *Évaluation pédagogique dans les collèges*, Fin de cycle d'observation, Sciences physiques.
- [12] MARESCOT R., 1976, *Les combustions*, rapport interne INRP.
- [13] CAUZINILLE E., MEHEUT M., SERE M.G., WEIL-BARAIS A., 1985, The influence of a priori ideas on the experimental approach, *Science Education*, 69, 201-211.
- [14] SERE M.G., 1985, *Analyse des conceptions de l'état gazeux et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris 6.
- [15] BARBOUX M., CHOMAT A., LARCHER C., MEHEUT M., 1987, *Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième*, rapport de fin de recherche INRP.
- [16] BOURDON M., 1975, Module «Espèces chimiques - Réactions chimiques. *Bulletin de liaison du groupe de Travail de la Commission de Renovation de l'Enseignement de la Physique et de la Technologie*, 1, 35-39.
- [17] MARTIN J.P., 1985, Chimie à l'école élémentaire, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 670, 461-468.
- [18] BROOK A., BRIGGS H., DRIVER R., 1984, *Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter*, The University of Leeds.
- [19] MITCHELL A.C., NOVICK S., 1982. Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish Integrated Science Course. *European Journal of Science Education*, 4, 429-440.
- [20] ARNAUD P., 1988, Forme et fonction des éléments figuratifs dans la littérature didactique en chimie, *Bulletin de Psychologie*, 386, 577-586.