

“EXPÉRIENCE-DÉCOUVERTE”, COMBUSTIONS ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

André Laugier
Maurice Padeloup

L'initiation à une démarche expérimentale constitue un des objectifs de l'enseignement scientifique à l'école primaire. À travers des "expériences-découvertes" autour de la situation de la combustion de la bougie, quelles connaissances, mais aussi quelles compétences est-il possible de faire construire par les élèves ? Le projet du maître et les préoccupations des élèves sont-ils de même nature ? Quel est le rôle des phénomènes observés par rapport aux démarches de l'élève ? Les obstacles qui se manifestent par rapport à la formation du concept de réaction chimique condamnent-ils ce type d'activité à l'école élémentaire ?

1. INTRODUCTION

Depuis les origines de l'école primaire en France, dans le curriculum de Sciences il y a toujours eu une petite partie relevant de la Chimie.

Cet enseignement présentait la composition de l'air et de l'eau au moyen d'expériences classiques, étudiait les combustions "domestiques" (bougie, lampe à pétrole, poêle) et insistait sur les précautions à respecter lors du fonctionnement de ces appareils. Si les instructions de 1980 maintiennent cet enseignement des combustions(1), les nouveaux programmes de 1985 n'y font plus référence.

Or la fréquentation régulière de classes de l'école élémentaire, les travaux que nous avons pu mener sur le statut de l'expérience en sciences physiques à l'école(2), des enquêtes récentes(3) sur l'usage des manuels par les maîtres nous montrent que les manuels de leçons de choses ainsi que les

une activité
"traditionnelle" à
l'école
élémentaire

- (1) "Déclencher, entretenir, activer ou ralentir une combustion. Mettre en évidence la disparition des produits de départ et la formation de produits nouveaux (eau, noir de fumée, ...). Découvrir la nécessité de l'air dans la combustion (bougie, lampe à pétrole, briquet à gaz)" Bulletin Officiel N°31 du 11 septembre 1980.
- (2) Laugier A. (1992). *Contribution au statut de l'expérience à l'École Élémentaire*. Mémoire de DEA. Sous la direction de M. Padeloup. Université Paul Sabatier. Toulouse.
- (3) Chaillé (1985). *Le manuel à l'école élémentaire*. Paris. Direction des écoles.

activités qu'ils véhiculent n'ont pas totalement disparu des salles de classes.

Un des volumes du guide du maître les plus utilisés par les enseignants de l'école élémentaire réserve 80 pages sur 300 à des activités centrées sur la combustion de la bougie(4).

Si ce thème de la combustion de la bougie fait toujours partie des sujets susceptibles d'être abordés en CE2 et en CM c'est qu'il présente plusieurs avantages pour l'enseignant :

très prisée par les
enseignants...

- il concerne un phénomène que les enfants connaissent, pour lequel ils ont un vécu en dehors du cadre scolaire (bougies des gâteaux d'anniversaire, voire, dans les régions viticoles, utilisation dans les chais pour détecter la présence de dioxyde de carbone dans les cuves à vin),
- il sert très souvent de point de départ pour l'étude du changement d'état de la cire ainsi que pour mettre en évidence l'existence de l'air autour de nous (programme du cours élémentaire),
- le matériel qui constitue souvent un frein à la pratique des activités expérimentales est ici bon marché et simple à mettre en œuvre,
- de plus il s'agit d'une activité bien rodée, pratiquée à l'école primaire depuis ses origines.

On peut s'interroger sur les raisons de cette disparition. Si des raisons pratiques motivaient la présence au programme d'une "technologie des combustions" celle-ci peut apparaître aujourd'hui comme moins importante (développement du chauffage électrique en milieu urbain). Par ailleurs les travaux conduits avec des élèves un peu plus âgés ont tous montré les difficultés de ceux-ci dans l'acquisition du concept de réaction chimique à partir des expériences de combustions dans l'air :

malgré des
difficultés
nombreuses et
non résolues

- R. Marescot(5) signale, l'existence de difficultés nombreuses et non résolues pour des enfants de CM2 (malgré un travail très important de plus d'un trimestre à raison d'une heure trente par semaine).
- M. Méheut(6) a travaillé sur l'aide que peut apporter l'utilisation d'un modèle particulière fourni à des élèves de sixième pour conceptualiser la notion de réaction chimique à partir de l'étude des combustions, l'acquisition du concept de réaction chimique s'appuyant sur une activité de modélisation.
- Cauzinille-Marmèche, Méheut, Séré, et Weil-Barais(7) ont conduit des travaux concernant des enfants plus âgés (classes de sixième et cinquième de Collège). Il s'agissait

(4) Dans la collection R. Tavernier (1980), *Le feu, la lumière, le temps qui passe*. Paris : Bordas.

(5) Marescot R. (1976). *Les combustions*. Rapport interne INRP.

(6) Méheut M. (1982). *Combustions et réaction chimique dans un enseignement destiné à des élèves de sixième*. Thèse de Troisième Cycle. Université de Paris VII.

(7) Recherche présentée dans *Les savants en herbe* (1983) des mêmes auteurs. Berne : P. Lang.

alors d'étudier le rôle des activités manipulatoires sur les protocoles expérimentaux proposés par les élèves pour tester l'effet des différents facteurs susceptibles d'intervenir dans la durée de la combustion. Les élèves devaient ensuite effectuer des mesures, leur travail se situant alors sur un mode quantitatif.

Toutes ces recherches mettent en évidence les difficultés pour conceptualiser la réaction chimique en prenant les combustions comme point d'appui.

Dans ces conditions faut-il ignorer cette activité avec des enfants de 9-10 ans ? Répondre immédiatement par l'affirmative n'est pas évident et mérite à notre avis que l'on examine la question avec soin.

Aujourd'hui, quand un enseignant de l'école élémentaire choisit de conduire une activité en sciences expérimentales, il doit le faire à l'intérieur d'un cadre institutionnel qui fixe à cet enseignement des objectifs précis :

D'une part "*l'enfant doit acquérir les connaissances et les compétences qui lui permettront d'accéder à la maîtrise intellectuelle et pratique du monde*". D'autre part "*cet enseignement a aussi pour objectif de faire acquérir les méthodes propres à la démarche scientifique (observer, analyser, expérimenter, puis représenter)*" (8).

L'accent à l'école élémentaire est mis sur les démarches de science davantage que sur l'acquisition de concepts scientifiques. Et c'est par rapport à cette priorité qu'il convient d'examiner l'intérêt et le fonctionnement de cette activité.

Dans les recherches dont nous avons parlé il s'agissait de favoriser l'acquisition du concept de réaction chimique (Marescot, Méheut) ou d'étudier le rôle des différents facteurs qui interviennent dans le phénomène de la combustion (Cauzinille-Marmèche et al.). Les résultats de ces recherches nous montrent que ces objectifs ne peuvent être atteints qu'à deux conditions :

- que les élèves maîtrisent la conservation des quantités physiques sur lesquelles ils devront effectuer des opérations logiques. Comme le souligne Vinh Bang (9) "*la conservation constitue la condition nécessaire à toute activité rationnelle*". Et ce n'est qu'à partir du moment où l'enfant a acquis cette "*certitude apodictique de l'invariance*" qu'il tire "*la connaissance objective de l'expérience réalisée sur le réel*" ;
- que les élèves aient déjà pu construire une représentation même sommaire pour le phénomène étudié. Cette représentation (par exemple ici ce sera : pour que la bougie brûle il faut qu'il y ait de l'air), en tant que premier système explicatif, servira de point d'appui pour modéliser

(8) Ministère de l'Éducation nationale. Direction des Écoles. (1991). *Les cycles à l'école primaire*. Paris : Hachette-CNDP.

(9) Giordan A., Henriques A., Vinh Bang (1989). *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne : P. Lang.

un enseignement
qui doit mettre
l'accent sur les
démarches

plutôt que sur la
construction d'un
concept difficile
à envisager chez
des enfants de
9-10 ans

ultérieurement la situation. C'est lors de cette modélisation qu'ils pourront élaborer des hypothèses, déterminer des facteurs et tester leur effet, l'activité tendant vers une approche de la démarche hypothético-déductive (enfants de 11-12 ans).

Notre étude a porté sur les conditions dans lesquelles les élèves pouvaient construire une première ébauche de ce système explicatif qui se situe en amont de la modélisation qui accompagnera l'acquisition du concept de réaction chimique. Pour cette raison notre travail s'est effectué avec des enfants de 8-10 ans (début de cours moyen) pour lesquels la conservation des quantités est en cours d'acquisition et qui pour la combustion de la bougie ne disposent pas non plus d'un cadre explicatif opératoire.

Nous avons regardé comment "l'expérience-découverte" intervenait dans cette construction en permettant de poser le problème, puis comment les "expériences-pour voir" aident l'enfant à affiner ce système, et enfin comment le débat avec ses camarades allait lui permettre de le formuler.

2. LE DISPOSITIF DIDACTIQUE

2.1. Les conditions de l'expérimentation

Nous avons souhaité respecter les contraintes de temps et pour cette raison le travail s'est réparti sur deux séquences de 45 minutes environ, dans une classe de 24 élèves (un élève absent à la première séquence).

Le travail prévu comportait trois phases brièvement présentées ci-dessous.

Première phase : c'est une phase de manipulations expérimentales libres pour découvrir des faits nouveaux. Dans ce type d'expérience que nous appelons "expérience-découverte" il ne s'agit pas d'élaborer un protocole permettant de répondre à une question que l'on se pose (il n'y a pas d'hypothèse *a priori*). Il s'agit plutôt ici de rencontrer l'expérience qui dérange afin de mettre les élèves face à des interrogations qui une fois formulées puis institutionnalisées au niveau de la classe deviendront le problème à résoudre. Ici ce sera le rôle de l'air dans la combustion.

Au départ c'est l'enseignant qui est à l'initiative de la situation. Ensuite après que l'élève ait utilisé le matériel **librement**, à l'intérieur d'une **consigne suffisamment ouverte** (les seules contraintes sont liées à la sécurité, et à la nécessité de communiquer ensuite le travail réalisé dans chaque groupe), c'est lui qui va s'emparer de la situation et être force de proposition et d'interprétation. C'est l'activité des élèves dans cette première phase d'exploration qui va permettre la dévolution du problème que l'enseignant a décidé d'aborder.

de l'expérience
pour découvrir
des faits
nouveaux...

à l'expérience
pour connaître la
réponse à une
question

Deuxième phase : Au cours d'un débat entre les élèves où ceux-ci communiquent leurs observations et leurs questions le problème auquel l'enseignant souhaite que la classe apporte une réponse est formulé(10).

L'expérience va être la même pour tout le monde ce n'est plus l'expérience "pour voir" de la phase précédente c'est une expérience proposée par le maître qui doit permettre de savoir, de répondre à une question et si possible de construire une connaissance.

Troisième phase : Il s'agit là d'une phase de tâtonnement dans laquelle l'élève doit résoudre un problème "technique" en imaginant des solutions possibles. L'activité de l'élève, attendue par l'enseignant, relevant ici de la "pensée divergente" (imagination, création) de M. Develay (11).

2.2. La fiche pédagogique

L'enseignant avait à sa disposition une fiche pédagogique (présentée dans l'encadré ci-après). Cette fiche, élaborée sous la responsabilité du chercheur mais en concertation avec l'enseignant, représentait une analyse *a priori* du déroulement attendu. La consigne donnée à l'enseignant était de respecter la fiche mais il avait la possibilité de s'en écarter s'il estimait que la situation l'exigeait.

(10) Nous aurons à revenir sur le décalage entre le projet que l'enseignant va essayer de faire partager à ses élèves et les préoccupations de ceux-ci.

(11) On trouvera dans l'article de M. Develay (Develay M. (1989). "Sur la méthode expérimentale" in : *Aster*, 8, INRP. Paris) une étude des différents modes de pensée mis en oeuvre au cours d'une démarche expérimentale.

LA FICHE PÉDAGOGIQUE

1. Objectifs

- * Découvrir des faits expérimentaux qui serviront de point de départ à la réflexion
- * Poser le problème du rôle de l'air dans la combustion de la bougie
- * Résoudre un problème par tâtonnement expérimental.

2. Matériel

Par groupe de trois élèves :

- une bougie de deux à trois centimètres de hauteur
- une soucoupe
- un pot en verre (taille différente suivant les groupes)
- des bouteilles en matière plastique sciées à la base et munies de leur bouchon
- une boîte d'allumettes
- une paire de ciseaux
- de la farine ou de la pâte à modeler.

3. Déroulement de la séquence.

Première phase

Présentation de la situation

L'enseignant distribue à chaque groupe une bougie, une soucoupe, les allumettes. Il fait nommer le matériel et rappelle les règles de sécurité.

Consigne.

“Vous allez allumer la bougie et manipuler ce matériel, vous noterez ce que vous faites et ce que vous observez”.

Déroulement

Les élèves, dans chaque groupe, allument la bougie et notent leurs observations à l'aide d'un schéma. (fusion de la cire, noircissement éventuel de la soucoupe mise au dessus de la flamme, etc.)

Bilan des observations libres.

Après une dizaine de minutes de manipulations libres à l'intérieur de la consigne de départ, l'enseignant organise une synthèse des observations des élèves et des questions qu'ils se posent. Ce bilan permet à l'enseignant de connaître les représentations des élèves et à ceux-ci de prendre conscience des interprétations différentes des mêmes phénomènes à l'intérieur de la classe.

Deuxième phase

Présentation de la situation

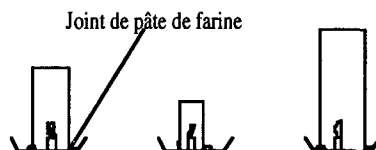
Le maître, à la suite de la discussion précédente propose aux enfants de réfléchir individuellement à ce qui se passerait si on recouvrait la bougie allumée avec un pot en verre.

une consigne ouverte pour découvrir des faits nouveaux

une consigne plus précise pour aborder le problème que l'enseignant veut traiter

Consigne

"*Tout à l'heure vous recouvrirez la bougie allumée avec un pot en verre que je vous remettrai. Chacun d'entre vous, sans discuter avec ses camarades, va expliquer, sur une feuille de papier, ce qui d'après lui, devrait se passer et pourquoi*".



Déroulement

Lorsque les élèves ont fait leur prévision l'enseignant organise une synthèse et une confrontation des prévisions puis leur propose de réaliser l'expérience projetée. Il faut noter qu'à ce stade l'enseignant s'efforce de rester neutre par rapport aux prévisions des enfants mais les laisse débattre entre eux.

Après que les élèves aient tous constaté l'extinction de la bougie, il les invite à discuter cette observation.

Troisième phase

Consigne

"*On va recouvrir la bougie allumée avec une grande bouteille en plastique fermée en haut par le bouchon et dont le fond a été scié. Que va-t-il se passer ?*" (la consigne impose de maintenir la bouteille posée sur le joint de pâte de farine)

Déroulement

- L'enseignant recueille les prévisions individuelles des élèves et, après avoir organisé le bilan des prévisions, il les invite à réaliser l'expérience : la bougie s'éteint.
- Il va alors demander aux enfants de réfléchir individuellement à ce qu'ils pourraient faire pour que la bougie, coiffée par la bouteille, ne s'éteigne pas.
- Il organise un bilan des prévisions puis invite les élèves à tester leurs propositions.

Le tâtonnement expérimental doit permettre aux enfants de trouver la solution du problème (un trou à la base de la bouteille et un trou au sommet pour assurer le renouvellement de l'air).

Lorsque tous les enfants ont résolu ce problème il organise une discussion à partir de questions du type :

- *à quoi peuvent servir ces deux trous ?* (mise en évidence d'un courant d'air par des petits bouts de papier)
- *qu'est-ce qui entre ? c'est de l'air* (l'allumette enflammée ne s'éteint pas).
- *Ce qui sort est-il de l'air ? Comment le savoir ?* (l'allumette enflammée s'éteint).

L'enseignant invite les élèves à rechercher dans leur environnement des dispositifs où on retrouve ce type de situation (cheminées à foyer fermé, normes de sécurité pour l'aération des pièces comportant une chaudière ou un chauffe-bain, etc.).

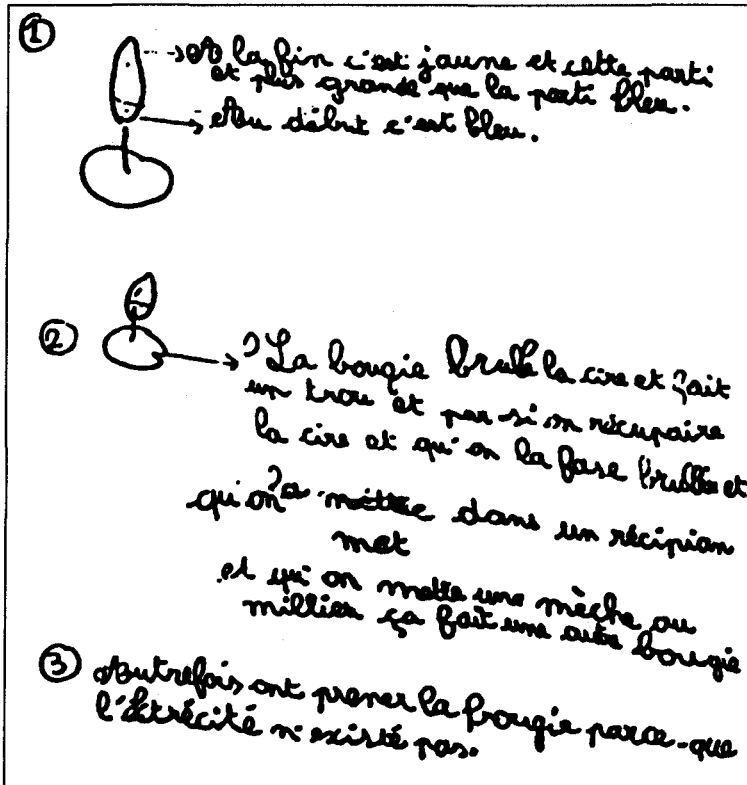
une troisième situation choisie pour faire découvrir la modification subie par l'air lors de la combustion

3. OBSERVATION DES ÉLÈVES

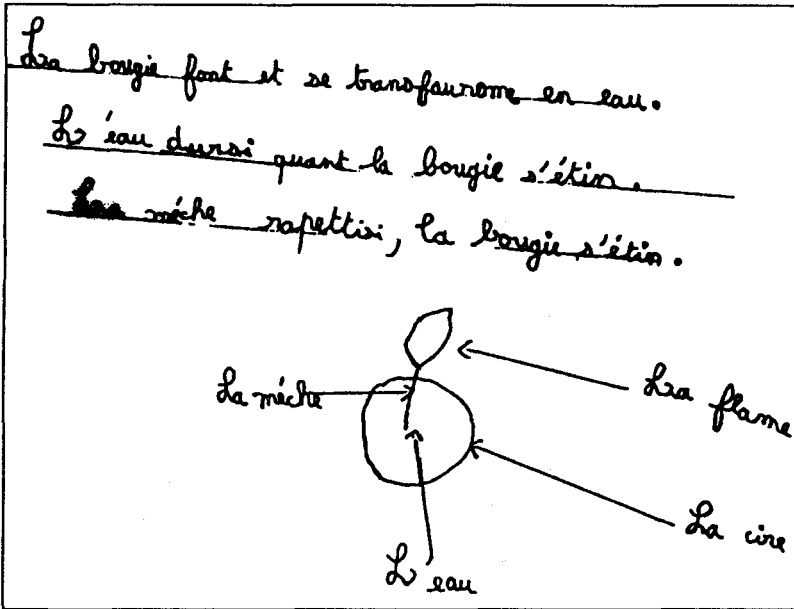
3.1. Première phase

pour les élèves la
cire n'est pas
consommée

- La plupart des élèves ont des difficultés pour allumer l'allumette, puis la bougie. Les élèves habitués au tout électrique et aux allumeurs piézo-électriques ne sont plus familiarisés avec l'utilisation d'allumettes.
- Très rapidement les réflexions des enfants montrent que pour la majorité d'entre eux la cire de la bougie n'est pas consommée dans la combustion. Simplement elle coule et se répand au pied de la bougie. La quantité de cire n'est pas affectée par la combustion de la bougie qui ne concerne que la mèche.



Les observations des enfants se focalisent très rapidement autour de la cire, aucun groupe ne fait référence à l'air.

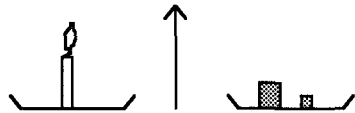


pour tenir compte des préoccupations des enfants, l'enseignant s'écarte de la fiche pédagogique...

Ces réflexions ne permettent pas à l'enseignant de poser directement le problème du rôle de l'air comme le prévoyait la fiche pédagogique qu'il avait sous les yeux. Pour tenir compte de ce qui constitue la préoccupation majeure des enfants, il pose le problème qui va faire l'objet de la discussion, se mettant ainsi en décalage par rapport à son propre projet.

• **Que devient la cire de la bougie pendant la combustion ?**

Pour faire fonctionner les conceptions des enfants nous leur demandons de prévoir individuellement (texte et schéma), le résultat de l'expérience ci-contre.



et se place délibérément en décalage par rapport à son propre projet

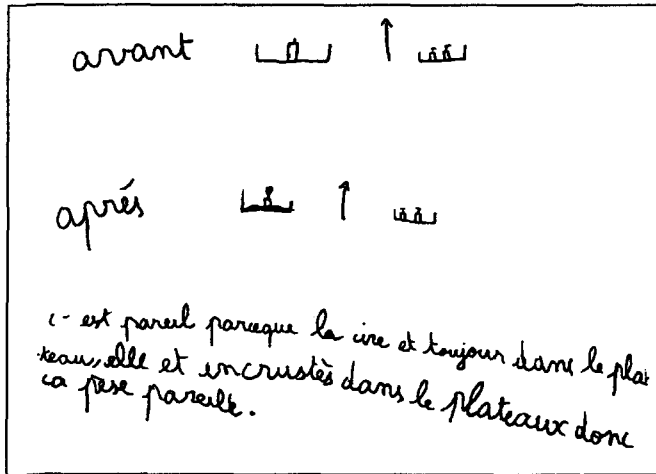
Après avoir réalisé l'équilibre, nous allons allumer la bougie. L'équilibre de la balance sera-t-il conservé ? Pourquoi ?

• **Résultats des prévisions**

l'équilibre est conservé	4 élèves
l'équilibre est détruit :	
le plateau avec la bougie est plus léger	15 élèves
l'équilibre est détruit :	
le plateau avec la bougie est plus lourd	1 élève
réponses non interprétables	3 élèves

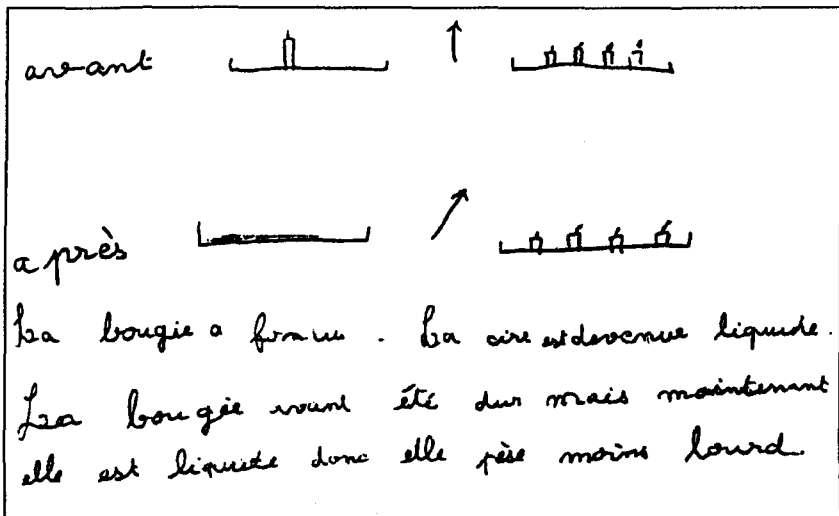
• **Analyse des réponses**

* Si l'équilibre est conservé comme l'écrit Julie "c'est parce que la cire est toujours dans le plateau, elle est incrustée dans le plateau donc ça pèse pareil".



des prévisions qui
révèlent des
conceptions
enfantines
erronées

* Si l'équilibre est détruit (plateau contenant la bougie plus léger), pour Hélène, c'est parce que: "la bougie avant était dure mais maintenant elle est liquide donc elle pèse moins lourd", ou alors comme pour Thomas "la cire quand elle est droite, elle est plus lourde que quand elle est couchée". Pour d'autres la prédiction du déséquilibre n'est pas accompagnée d'une interprétation et nous ne pouvons pas nous prononcer.



* Si l'ensemble est plus lourd c'est parce que "*il y a en plus de la bougie le poids de la flamme*". Cette dernière prévision est le fait d'un seul élève. Elle ne sera pas reprise par les autres enfants. Comme l'expérience contredit cette idée, elle sera très vite abandonnée.

A la suite de ces prévisions l'expérience est réalisée, un débat (que nous présentons et discutons dans la partie 4) s'instaure spontanément dans la classe dans lequel chacun argumente et propose "sa" lecture des faits et l'interprétation qu'il en fait.

3.2. Deuxième phase

l'enseignant revient à son projet initial sur le rôle de l'air

Après ce débat, des élèves ayant fait appel à l'air pour expliquer la disparition de la cire, le maître en profite pour reprendre son objectif initial tel qu'il est formulé dans la fiche pédagogique et pose le problème sous une autre forme, à travers l'expérience qui consiste à couvrir la bougie avec un bocal (phase 2).

• Résultats des prévisions à cette nouvelle expérience

la bougie reste allumée	1 élève
la bougie s'éteint : le manque d'air est invoqué	6 élèves
la bougie s'éteint : la présence de fumée est la cause de cette extinction	9 élèves
la bougie s'éteint pour des causes diverses	6 élèves
réponses non interprétables	2 élèves

• Analyse des réponses

mais pour les élèves si la bougie s'éteint c'est à cause de la fumée...

* Si pour un élève "*la bougie va s'éteindre parce que la chaleur l'éteint*", pour Claire : "*ça reste allumé parce que ça a resté [garde] au chaud*".

* Pour une partie importante de la classe (9 élèves), c'est la présence de fumée qui est la cause de l'extinction de la bougie(12).

(12) Cette conception erronée, partagée par un nombre significatif d'élèves, semble pouvoir être mise en relation avec la théorie du phlogistique pour laquelle la combustion de la bougie dans le flacon cesse, non par privation d'un élément aérien, mais par excès de phlogistique dans le flacon (voir dans le même numéro d'*Aster* l'article "Le concept de réaction chimique en gestation").



la bougie va
s'éteindre.

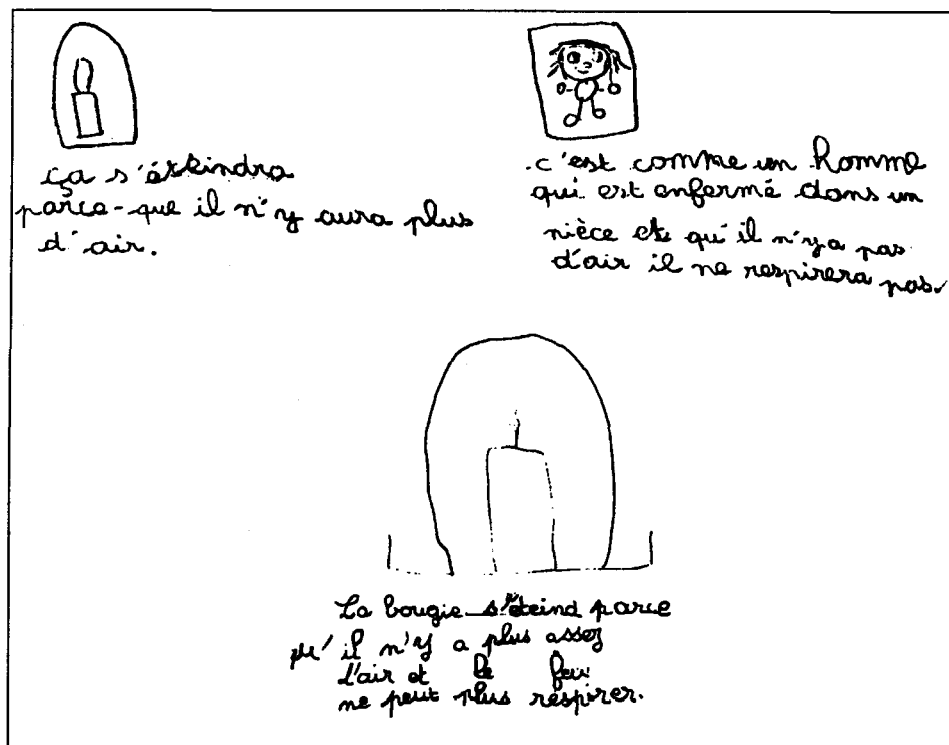
les va s'éteindre
par que la fumée
va resté dans le
bocal

Pour certains ce lien de causalité est très nettement explicité :

Quand la bougie est allumée
la fumée peut sortir
Mais en mettant le bocal
la fumée ne peut sortir donc
la bougie va s'éteindre.

ou par
"étouffement"
dû au manque
d'air

Si le manque d'air est invoqué c'est toujours en terme
"d'étouffement" : "le feu ne peut plus respirer", "la bougie
s'étouffe" :

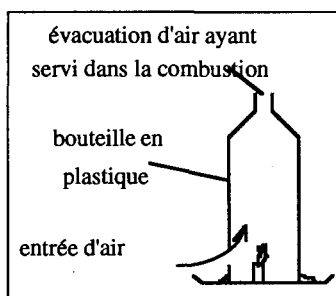


Aucune des prévisions des élèves ne fait référence aux dimensions du bocal.

3.3. Troisième phase

L'objectif de cette troisième phase était de mettre en évidence une circulation d'air autour de la flamme, cette circulation compensant le changement de la composition de l'air au cours de la combustion.

Pour atteindre cet objectif la consigne donnée aux enfants était de trouver une solution pratique pour que la bougie ne s'éteigne plus.



• Résultats des prévisions

faire un trou en haut	14 élèves
faire deux trous (un en haut et un en bas)	1 élève
faire un trou en bas	7 élèves
réponses non interprétables	2 élèves

• **Analyse des réponses**

une réussite technique

Pour une majorité d'élèves il faut faire un trou en haut pour que la fumée puisse s'échapper. Si cette fumée peut s'échapper la bougie doit rester allumée. Nous remarquons que ces élèves sont ceux qui lors de la phase 2 prévoient l'extinction de la bougie pour cause de fumée dans le bocal. Ils sont restés sur leur position.

Il n'y a que sept élèves qui expliquent que pour que la bougie reste allumée il faut que de l'air "neuf" puisse rentrer dans la bouteille.

Un seul élève prend en compte les deux facteurs simultanément : la fumée doit pouvoir sortir et de l'air entrer dans la bouteille.

A la suite de cette discussion les élèves expérimentent leur solution. En fait ceux qui prévoient de faire un seul trou, constatant l'extinction de la bougie, font très rapidement les deux trous comme le préconisait leur camarade.

Le maître pose la question :

Est-ce que ce qui sort de la bouteille c'est la même chose que ce qui rentre ?

- *"Ah non ! c'est de la fumée qui sort".*

Mais les enfants n'arrivent pas à voir comment caractériser le fait que le gaz qui sort de la bouteille n'est pas de même nature que celui qui y entre. A l'initiative du maître ils approchent une allumette enflammée du trou supérieur. L'allumette s'éteint. La même allumette approchée du trou inférieur reste allumée.

qui ne débouche pas sur une élaboration conceptuelle

Cette expérience, si probante pour le maître, ne permet pas aux enfants de conclure à une consommation d'un constituant de l'air, celui-ci "ressort avec la fumée" et c'est elle qui éteint la flamme.

Le maître pose alors la question : *La fumée qu'est-ce que c'est ?* - *"C'est fait avec de la cire", "c'est du noir", "c'est des poussières", "c'est du feu".*

Au cours de la discussion qui suit, les élèves n'arriveront pas à dépasser cette étape. Aucun élève n'arrivera à concevoir une interprétation dans laquelle la disparition constatée de la cire soit mise en relation avec la modification de l'air entrant dans le flacon.

4. DISCUSSION DE L'EXPÉRIMENTATION

4.1. Le problème de la disparition de la cire

- **Reste-t-il sur le plateau, autant de cire qu'avant la combustion ?**

Pour les quinze élèves, c'est-à-dire la majorité, qui pensent que le plateau contenant la bougie devient plus léger, l'expérience conforte dans un premier temps leurs prévisions.

la conservation
de la cire dans la
combustion :

Parmi ces quinze le problème va se poser pour ceux (8 élèves) qui attribuent ce fait à la diminution de la masse due au passage de l'état solide à l'état liquide. Pour ces élèves nous retrouvons les problèmes causés par les classiques décalages décrits par Piaget (13) dans les conservations entre la substance, le poids et le volume.

une conception
erronée

Lorsque la cire redevient solide dans le plateau, le déséquilibre de la balance est conservé. Ces élèves se trouvent alors, comme les quatre élèves qui ont prédit le maintien de l'équilibre, face à une expérience qui n'est pas conforme à leurs conceptions : la cire pour eux est toujours là, elle est solide, et pourtant le plateau la contenant est plus léger. Leur étonnement s'accompagne d'explications selon lesquelles *"on voit bien que la cire est toujours dans le plateau !"*.

La difficulté pour l'enseignant vient de ce que pour ces élèves l'expérience fonctionne non comme une réfutation de leurs idées mais comme une anomalie qu'il va falloir "absorber".

que l'expérience
ne permet pas
de réfuter

Au cours de la discussion, pour montrer que la quantité de cire se conserve, un élève propose de reconstituer la bougie en récupérant la cire qui a coulé, *"comme ça on verra bien qu'elle est pareille"*.

Cette expérience est réalisée par plusieurs groupes. Ses résultats semblent évidents : la quantité de cire qui coule et qui peut être récupérée est manifestement inférieure à la quantité de cire de départ. Et pourtant l'expérience ne permet pas aux enfants de se mettre d'accord.

Chacun ne voit dans la bougie reconstituée que ce qui conforte son opinion *a priori* (14). Après l'expérience les commentaires de ceux qui pensent que la cire n'est pas consommée sont les mêmes qu'avant : *"on voit bien qu'elle coule sur le papier"*, *"elle tombe de la bougie"*, *"si on la faisait redescendre en hauteur ça serait la même bougie"* etc.

Avec cette attitude résolument substantialiste la cire ne peut pas disparaître, cette éventualité leur paraît tout simplement inconcevable.

Paradoxalement l'argument qui va permettre l'évolution des opinions n'est pas un argument relevant de la rationalité scientifique, c'est un argument "économique" avancé par Jérémie : "mais alors si on peut tout récupérer ça sert à rien d'acheter des bougies neuves !"

(13) Piaget J. (1978) *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Quatrième édition. Paris : Delachaux Niestlé Spes, p. 30 à 59.

(14) Cet "aveuglement" n'est pas sans rappeler le slogan provocateur de 1968 *"Je ne vois que ce que je crois !"* que le célèbre chimiste Jean Jacques citait pour illustrer l'importance des parti-pris dans les discussions entre chimistes au début du XIX^e siècle. (Colloque Gay-Lussac, Ecole Polytechnique, 11-13 déc. 1978).

un argument non scientifique intervient dans le débat entre les élèves...

et permet une évolution de celui-ci

Là, la classe devient silencieuse, chacun se rendant compte que si on achète des bougies neuves c'est bien parce qu'elles s'usent et que la cire intervient dans ce qui se passe, au moins en partie.

Cette réflexion de Jérémie joue un rôle de détonateur conduisant, autorisant les enfants à changer leur lecture des faits. L'impression que nous avons alors est que les élèves qui étaient des partisans "malgré tout" de la conservation de la cire, sont soulagés de pouvoir abandonner une position qui devenait intenable face aux faits expérimentaux accumulés par leurs camarades (multiples expériences spontanées effectuées par les élèves pour prouver que la bougie que l'on peut refaire est forcément plus petite).

Ce changement d'opinion leur est possible puisque, dans le débat qui les oppose à leurs camarades, l'argument "officiel" qu'ils acceptent pour changer d'avis étant nouveau dans le débat, cela leur permet de sauver la face.

Après ce déclin les explications sur la "disparition" de la cire fleurissent brusquement dans la bouche des mêmes élèves qui l'instant d'avant se disaient convaincus du contraire : des idées du type "*quand on fait brûler une cigarette, après on ne peut pas la reconstituer*", montrent qu'une évolution est en train de se faire chez les enfants. Lors de la combustion de la bougie il s'est produit une transformation qui n'est pas totalement réversible.

• *Que devient la cire qui a disparu ?*

Pour exploiter cette idée de transformation d'un nouveau type, le maître, soucieux de mener à bien son projet concernant le rôle de l'air dans la combustion, insiste :

- *Mais alors qu'est devenue cette cire qui a "disparu" ?*
- *"Elle s'est éparpillée dans la feuille".*
- *"C'est parti dans l'air".*
- *"Elle s'est évaporée parce qu'elle est liquide".*
- *"La cire elle est pas évaporée, elle est faite avec des petits grains que tu peux pas voir, et ils s'en vont avec l'air quand ça brûle".*

la "disparition" de la cire est acceptée par les élèves...

Pour ce dernier élève qui invoque "*des petits grains qui s'en vont avec l'air*", un germe de modèle particulaire semble pouvoir être reconnu dans cette affirmation. C'est une explication correcte de l'évaporation, mais cette idée ne permet pas de faire progresser l'ensemble de la classe car l'air, s'il est évoqué, est considéré comme un gaz inerte. Ce point de vue peut être rapproché de celui exprimé au XVIII^e siècle par les phlogisticiens. De plus cette opinion, trop marginale par rapport au reste de la classe, ne peut pas être reprise ni développée.

Ce qui est exprimé par les enfants c'est l'idée de la disparition de la cire sous l'action de la chaleur. L'idée naît que dans une combustion il y a une transformation différente

d'une simple fusion qui se produit. La flamme accompagne cette transformation. La question se pose de savoir s'il faut considérer qu'il s'agit déjà là, chez ces élèves, d'un premier pas vers la formation du concept de réaction chimique, ou si cette idée traduit simplement une interprétation mécaniste du phénomène (transformation physique de type évaporation).

4.2. Quel est le rôle de l'air dans la combustion ?

Au cours des expériences faites par les élèves lors de la phase 2 (la bougie est coiffée par un bocal en verre) ceux-ci constatent très rapidement que la dimension du bocal, qu'ils n'avaient pas prise en compte dans leurs prévisions, intervient dans la durée de la combustion.

Pour comparer les durées des combustions pour les différents bocaux ils comptent lentement et à voix haute, "en seconde" selon leur expression, et arrivent à la conclusion que "*plus le bocal est grand plus ça dure longtemps*". Cette affirmation est reprise par l'ensemble des élèves qui la considèrent comme naturelle. La taille du bocal est liée à la quantité d'air disponible pour la combustion.

Nous remarquons que les neuf élèves qui pensent que si la bougie s'éteint c'est à cause de la fumée auraient pu interpréter ce fait en disant qu'un bocal plus grand permet de recueillir davantage de fumée. Mais ils ne l'ont pas fait. Nous pouvons penser que leur adhésion au système du phlogistique dont nous avons parlé montre ici ses limites et incite à une certaine prudence lorsque le didacticien est tenté de comparer des conceptions d'élèves avec des conceptions historiques erronées.

Au cours de la discussion (phase 2 et 3 de la fiche pédagogique) le maître est amené à poser le problème du rôle de l'air.

Les enfants qui reconnaissent qu'il faut de l'air pour que la bougie puisse brûler pensent qu'il n'est pas altéré par ce qui se passe dans la flamme. Ceci peut être mis en relation avec l'opinion précédemment exprimée selon laquelle la cire change de forme, voire pour certains élèves change d'état, mais se conserve.

La bougie "*elle a besoin d'air pour brûler*" mais celui-ci n'entre pas en relation avec la cire.

Certains élèves ont déjà vécu, dans leur environnement, des situations où la nécessité de l'air pour permettre une combustion a pu être évoquée (fonctionnement d'une cheminée, d'un chauffe-eau, d'une chaudière). Mais cette "connaissance commune" ne concerne que la nécessité de la présence d'air. Par contre le rôle de cet air n'est pas identifié. Comme le dit un élève "*il ressort avec la fumée*".

Ce qui est remarquable c'est que, même pour les rares élèves qui invoquent le manque d'air, aucun ne le fait intervenir d'une manière active dans le processus de combustion. Il est là pour permettre la combustion mais n'est pas

tandis que la présence d'air est reconnue comme nécessaire

mais le rôle de l'air n'est pas élucidé

reconnu comme un agent intervenant directement dans la combustion de la bougie.

Au cours de la discussion plusieurs élèves font un rapprochement avec la respiration : *"c'est comme le système de nous"*.

Nous retrouvons dans ces conceptions, l'empreinte de l'obstacle animiste, repéré par Bachelard (15) : *Le feu est vivant, il a besoin d'air*.

Il faut d'ailleurs noter que ces conceptions sont conformes au vocabulaire utilisé dans la vie de tous les jours en particulier dans les médias à propos des incendies de forêt : le feu couve, le feu reprend, le feu s'étend, le feu s'étouffe, etc.

Remarque

Au cours de la discussion une élève invoque la taille de la bougie comme devant intervenir dans la durée de la combustion.

Quand le maître demande comment on pourrait faire pour savoir si la taille de la bougie a de l'importance, les élèves proposent des expériences ponctuelles du type une grande bougie dans un grand flacon ou une petite bougie dans un petit flacon. Seule une élève intervient en soutenant qu'il faut prendre une petite bougie et une grande bougie avec deux flacons identiques *"parce que sinon ça ne compte pas"*.(16)

Ces propositions des élèves laissent entrevoir les difficultés qu'ils rencontreraient, dans l'élaboration d'un protocole correspondant à une démarche expérimentale.

CONCLUSION

A l'origine le projet de l'enseignant, tel qu'il apparaît dans la fiche pédagogique, est centré sur le rôle de l'air (phase 2). La fonction que l'enseignant assigne à l'expérience-découverte est de donner aux enfants l'occasion de se confronter à des faits dont l'étude constituera, pour l'ensemble de la classe, le problème à résoudre.

la séquence procède par une série de ruptures...

Nous avons vu comment se manifestait, lors de cette expérience-découverte, le décalage entre le projet de l'enseignant et les préoccupations effectives des élèves. Il faut souligner ici la capacité d'adaptation de l'enseignant qui sentant ce

(15) Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

(16) En fait ce qui interviendrait dans ce cas c'est plutôt le diamètre de la mèche, qui conditionne le débit de la cire liquide. Pour une étude très détaillée de la combustion de la bougie on peut se reporter aux conférences faites par Faraday en 1860 et 1861 au cours des fameuses séances de Noël de la "Royal Institution" pour la jeunesse. Le texte de ces conférences est paru sous le titre *"Histoire d'une chandelle"*, à Paris : Bibliothèque d'Éducation et de Récréation. J. Hetzel et cie.

décalage abandonne son projet initial et, pour raccrocher les élèves, formule le problème de la consommation (ou non consommation) de la cire.

auxquelles
l'enseignant
répond en
adaptant son
projet aux
préoccupations
des élèves

L'expérience de la balance que l'enseignant propose ensuite, peut être *a priori* considérée comme cruciale, car pour lui, elle ne peut s'interpréter correctement **que** par la consommation de la cire.

Si la situation ne fonctionne pas comme l'enseignant le prévoyait, c'est parce qu'il y a un **nouveau décalage** entre son projet et les préoccupations des élèves. Pour la plupart il n'y a pas de problème par rapport à la conservation de la cire. Pour eux, celle-ci est toujours là. De même pour l'expérience de la bougie placée sous le pot en verre, l'extinction peut être prévue et interprétée sans faire appel à l'air.

En s'appuyant sur **des conceptions erronées**, (la cire liquide ou étalée est plus légère que la cire solide ou répartie en hauteur, la fumée est la cause de l'extinction) les élèves **font des prévisions correctes** sur le résultat de l'expérience (le plateau contenant la bougie devient plus léger, la bougie s'éteint). Dans ce cas, non seulement l'enseignant qui voulait placer les prévisions des élèves en face d'une contradiction expérimentale en est pour ses frais, mais de par leur caractère opératoire les conceptions des élèves risquent de sortir renforcées de l'expérience (17). Même si par la suite les enfants reconnaissent que la cire ne reste pas liquide et que par conséquent si le plateau la contenant devient plus léger ce n'est pas pour cette raison, il y a là un risque et il faudra impérativement prévoir un dispositif d'apprentissage permettant aux élèves de dépasser cet obstacle. Si tous les didacticiens aujourd'hui reconnaissent que l'enseignement ne peut ignorer les conceptions des élèves, le "déjà là" dont parlait Bachelard et contre lequel les connaissances devront se construire, cet enseignement ne peut se contenter de faire s'exprimer les conceptions en espérant que leur confrontation aux faits en permettra le dépassement. Comme le signalait déjà G. Gohau (18), "*le risque de partir des erreurs premières des enfants c'est d'y rester*".

des difficultés
pour repérer les
paramètres
pertinents

Sur le plan d'une élaboration conceptuelle nous avons déjà dit que nous ne pouvons pas affirmer que les élèves ont pu repérer clairement les attributs caractéristiques du concept de réaction chimique. Les résultats que nous avons pu obtenir confirment sur ce point ceux d'autres travaux que nous avons déjà cités : Marescot (1976), Méheut (1982). En particulier aucun des élèves de la classe n'a noté dans ses observations de la première phase (expérience-découverte) la formation de gouttes d'eau ou le dépôt de noir de carbone (qui sont pourtant toujours présentés dans les manuels sco-

(17) En ce qui concerne les difficultés des élèves dans l'observation du fait expérimental et le rôle du débat scientifique on peut se reporter à l'article "Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen" de A. Laugier et R. Lefèvre (1993). *Aster*, 16, 143 -169.

(18) Gohau G. (1979), in : *Cahiers pédagogiques*, 175.

(qui sont pourtant toujours présentés dans les manuels scolaires comme des observations qui vont de soi, "tombant sous les sens"). Ces faits se situant en dehors de leur cadre de pensée (leur paradigme au sens de Kuhn) ils échappent à leur observation. Comme le souligne Goblot (19), "les données de l'expérience ne sont données qu'autant qu'elles sont saisies".

mais un premier pas conceptuel

Toutefois, nous avons observé, au cours des débats qui suivent les expériences, que les conceptions des élèves telles qu'ils les expriment évoluent. Ils finissent par admettre la consommation d'un des constituants (la cire), et la nécessaire présence d'un second (l'air) même s'ils n'arrivent pas à concevoir un devenir possible pour ces deux constituants. La portée de ce premier pas conceptuel doit être évaluée.

Si l'objectif visé par l'enseignement est la construction d'une connaissance qui passe par une élaboration conceptuelle achevée, c'est en effet difficile pour un enfant de cet âge-là. D'autant plus que comme nous l'avons souligné les structures mentales nécessaires pour analyser correctement les résultats des expériences (décalages dans la maîtrise des conservations comme dans celle du raisonnement hypothético-déductif) sont en cours d'élaboration.

dans une activité qui fait prendre conscience qu'il existe un problème

Mais l'objectif prioritaire à l'école élémentaire n'est pas l'acquisition du concept (nous avons rappelé que le concept de réaction chimique n'est pas au programme de l'école élémentaire). Si nous reprenons la distinction de B.M. Barth (20) en privilégiant la "formation d'un concept" par l'élève, par rapport à l'acquisition d'un concept, il n'est plus nécessaire que l'élève parvienne à la maîtrise de la totalité des attributs du concept de réaction chimique dès l'activité sur la combustion de la bougie. Alors que l'acquisition d'un concept consiste essentiellement à repérer la liste des attributs caractéristiques de ce concept qui est présentée par l'enseignant ; la formation d'un concept est un processus spontané, autonome, qui fonctionne dès le berceau et ce toute la vie. Dans ces conditions cette formation du concept de réaction chimique va se faire très progressivement. Une activité comme celle que nous avons décrite permet aux élèves de prendre conscience qu'il y a un problème de conservation ou non conservation des substances chimiques qui se pose. Cette prise de conscience est une condition indispensable pour un franchissement ultérieur de

(19) Goblot. Traité de logique. Cité par Barth B.M. (1987), in : *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz, p. 89.

(20) Barth B.M. (1987), *ibid* 19.

l'obstacle (21). Les travaux récents de Stavridou et Solomonidou (22) ont justement montré que cette difficulté à prendre conscience de la notion de substance et de son devenir constituait un des premiers obstacles que devaient franchir les élèves dans la construction du concept de réaction chimique.

Enfin ce qui est attendu de l'enseignement scientifique à l'école primaire c'est aussi qu'il permette à l'élève de développer des qualités d'investigation, de s'exercer à communiquer le compte rendu de ce qui a été fait et observé, de confronter ses idées *a priori* avec celles de ses camarades (phases 1 et 2 du travail en classe) pour finalement apprendre à poser un problème. Si la solution du problème passe par la mise au point d'une technique (phase 3) s'appuyant sur une meilleure maîtrise des opérations concrètes, c'est possible, et la réussite valorise l'enfant et son activité de recherche.

et qui s'inscrit
dans la logique
des activités
scientifiques à
l'école

André LAUGIER
IUFM d'Aquitaine
Bordeaux

Maurice PASDELOUP
Chimie physique moléculaire
Histoire et philosophie des Sciences
LEMME - Université Paul Sabatier
Toulouse

(21) Nous avons eu l'occasion de poser la même question (*l'équilibre de la balance est-il conservé ? pourquoi ?*) à des élèves de collège, de lycée et des étudiants de DEUG. Les résultats montrent que les pourcentages d'échec dans les prévisions restent élevés (66% en troisième, 33% en seconde, 21% en première S et 40% en DEUG Sciences). La question qui se pose, pour la réaction chimique comme pour beaucoup d'autres notions, et à laquelle nous n'apportons pas de réponse définitive, est de savoir dans quelle mesure l'enseignement interfère avec les conceptions initiales. Celles-ci sont-elles modifiées en profondeur ou bien simplement masquées ou refoulées temporairement par l'enseignement qui ne parviendrait pas à les intégrer ? Cette question dépasse évidemment la situation de la combustion de la bougie.

(22) Stavridou H., Solomonidou C. (1989) "Physical phenomena-chemical phenomena : do pupils make the distinction ?" *International Journal of Science Education*, 11, (1), 83-92.