

RELEVÉ DE QUELQUES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES DANS L'APPRENTISSAGE DU CONCEPT DE RÉACTION CHIMIQUE

Josette Carretto
Roger Viovy

Une familiarisation précoce avec le concept de réaction chimique se justifie à la fois par l'effet de motivation, l'initiation aux dangers, l'explication de phénomènes de la vie courante. Mais les obstacles à l'apprentissage sont nombreux et les études concernant le cas des débutants sont rares. Cet article se propose de recenser les difficultés qui devraient être approfondies par des recherches méthodiques.

L'intérêt d'une familiarisation précoce avec la notion de réaction chimique semble être aujourd'hui généralement admis. C'est une donnée relativement récente ; en effet, avant l'introduction d'un programme, dit de technologie, comportant un peu de chimie en classe de troisième, le début de l'enseignement de la chimie avait lieu en seconde. Les "leçons de choses" ou "activités d'éveil" à l'école élémentaire contenaient très peu de chimie. Seuls les programmes des cours complémentaires, jusqu'à la fin des années 50, comportaient une initiation importante à cette discipline.

Parmi les raisons de ce choix, trois nous paraissent particulièrement importantes.

effet motivant du
spectaculaire et
du merveilleux

- Le caractère spectaculaire de certaines réactions a un effet motivant sur les enfants. Les changements de couleur, les combustions, les précipitations, sont autant de sujets d'émerveillement pour eux. Il s'ajoute à cela un aspect mystérieux, avec parfois une sensation d'insécurité, qui augmente encore l'émotion. La situation est un peu celle du personnage de la figure 1.

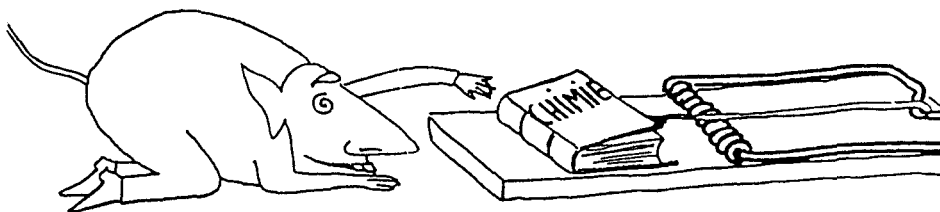


Figure 1
Dessin de Serge Gaspard

Le succès des boîtes du "Petit Chimiste" atteste cet intérêt.

– En contrepartie, il faut introduire des notions de sécurité face à tous les dangers des manipulations de produits chimiques qui font, aujourd'hui, partie de notre vie de tous les jours. Pour ne citer que quelques exemples particulièrement fréquents : allumage des combustibles, manipulations de produits ménagers. On pourrait reprendre un "clip" publicitaire : *"on ne peut être toujours derrière les enfants, alors prenons les devants !"*. La meilleure façon de le faire n'est-elle pas de les initier à la manipulation pour qu'ils puissent maîtriser eux-mêmes les conditions expérimentales ?

– On a souvent dit que la chimie était une science carrefour et il est vrai qu'on la retrouve très tôt dans d'autres disciplines, dès que l'on s'écarte de données purement systématiques ou descriptives. Les premières notions de biologie indispensables pour apprendre une hygiène de vie, telles que respiration et digestion, nécessitent des connaissances de chimie, souvent difficiles.

Une première approche de la chimie ne semble pas poser de graves problèmes. On choisit en général des réactions spectaculaires et bien typées qui peuvent motiver suffisamment les élèves. Cependant, on constate très vite des difficultés dans l'apprentissage de la notion intégrée de "réaction chimique" qui est nécessaire pour organiser les connaissances ou pouvoir faire certaines prévisions.

Des travaux de recherche réalisés avec des élèves de divers niveaux du second degré (1) montrent que le concept est mal assimilé. Il reste beaucoup d'hésitations dans la distinction entre "phénomènes physiques" et "phénomènes chimiques". L'identification de naturel à biologique et d'artificiel à chimique est très fréquente. On peut dire que les relations entre les espèces chimiques et leur utilisation ne sont absolument pas faites.

Il apparaît donc que, dans l'apprentissage de ce concept, certaines difficultés aient été sous-estimées.

Il est certain que, si nous disposons d'un certain nombre de données de recherche sur la façon dont les apprenants perçoivent la chimie (2), sur des résultats d'applications d'innova-

-
- (1) H. STAVRIDOU, 1990, *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude des conceptions des élèves*, Mémoire de thèse, Université Paris VII.
C. SOLOMONIDOU, 1991, *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du Collège*, Mémoire de thèse, Université Paris VII.
- (2) F. MATHEY, 1989, *Rapport de la Mission de réflexion sur l'enseignement de la chimie*, Ministère de l'Éducation nationale.

peu d'études sur
les obstacles

vations (3) ou sur certains concepts de chimie physique (4) (quantité de matière ou mole, en particulier), il n'y a pratiquement rien sur les obstacles épistémologiques à l'apprentissage du concept de réaction chimique et sur les remèdes à apporter.

L'objet de cet article est d'essayer de cerner quelques-unes des principales difficultés qui gênent l'acquisition du concept. Cette réflexion pourrait aider à analyser ces obstacles et à proposer éventuellement des démarches didactiques mieux adaptées à la nature des difficultés.

Nous procéderons d'abord à une étude du concept puis à une analyse didactique qui nous permettra de proposer quelques pistes.

1. ANALYSE DU CONCEPT

1.1. Problème de la définition

définir la réaction
chimique

L'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (UICPA) qui définit pour la chimie une nomenclature universellement utilisée, donne la définition suivante de "réaction chimique" : "La réaction chimique est le processus qui a pour résultat la conversion d'une ou de plusieurs espèces chimiques en une ou plusieurs autres espèces chimiques."

Il est intéressant de noter les deux points suivants.

– Cette définition officielle ne fait pas appel à la notion microscopique de molécule (ou d'ion ou d'atome), mais à la notion d'espèce chimique qui peut d'ailleurs être définie macroscopiquement par ses propriétés ou microscopiquement par sa structure électronique.

Il apparaît donc que la notion d'**espèce** est la pierre angulaire de tout travail sur la chimie.

– Si l'on consulte les manuels, il est très rare de trouver une définition précise de la réaction chimique. Elle vient presque

-
- (3) M.MÉHEUT, E. SALTIEL, A. TIBERGHIE, 1985, "Pupils' (11-12 years old) conceptions on combustion", *Eur. J. of Sci. Educ.*, 7, 83-93.
M. MÉHEUT, 1989, "Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes", *Bull. de l'Union des Physiciens*, 716, 997-1011.
S.B. BOUJAOUDE, 1992, "The relationship between Students' learning strategies and the change in their misunderstandings during a high-school chemistry course", *J. of Res. in Sci. Teaching*, 29(7), 687-699.
- (4) M.G. SÉRÉ, A. TIBERGHIE, 1989, "La formation des concepts définissant les états de la matière", *Bull. de l'Union des Physiciens*, 716, 911-929.
M.G. SÉRÉ, 1990, "Passing from a model to another one. Which strategy ?", in P.L. Lijnse et al. (Eds) : *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, 50-66 (Utrecht, CD-B Press).

toujours après les définitions microscopiques d'atome, de molécule... et reflète presque toujours cet aspect du phénomène.

en faisant appel
à la notion
d'espèce
chimique

On a un peu l'impression que, dans ce domaine – mais aussi dans d'autres car c'est, hélas, une tendance très courante – on a cherché à évacuer ce qui est de l'ordre des propriétés macroscopiques considérées comme trop terre à terre, pour choisir une présentation théorique et formelle des phénomènes. Il est vrai que la chimie a été trop longtemps un simple catalogue d'espèces chimiques dont on débitait les propriétés comme une litanie ! Mais, maintenant, l'organisation des connaissances permet d'occulter complètement la notion de réaction, pourtant au centre du phénomène chimique proprement dit.

Les travaux de recherche effectués, en particulier (5) sur l'introduction de modèles particuliers dans l'enseignement des sciences physiques, montrent qu'elle pose de nombreux problèmes. Comme, de toutes façons, pour parvenir à cette notion, il faut reconnaître la nature des particules et leur individualité, on augmente encore les difficultés.

Le passage de la structure moléculaire aux propriétés macroscopiques est donc très difficile à appréhender. Ce sont pourtant ces propriétés que les élèves perçoivent et qui devraient les aider à relier le phénomène au concept.

la définition du
concept de
molécule pose
problème

D'ailleurs, on sait bien que, même au niveau du spécialiste, la définition de l'entité chimique "molécule" pose des problèmes. Quand, dans une molécule, on change une liaison covalente (et en plus on s'interroge sur le phénomène de liaison), on admet sans difficulté que l'on change la nature de l'entité ; mais, en fait, les structures électroniques sont beaucoup moins stéréotypées. On introduit des pourcentages ioniques dans la liaison covalente ; les liaisons dites faibles, comme la liaison hydrogène ou les forces de Van der Waals, créent-elles des espèces particulières ?

Le phénomène courant de solubilisation – dans l'eau en particulier – pose des problèmes délicats.

La dissolution du sucre dans l'eau, qui se traduit par une dilution de molécules dans le solvant et ne modifie pas la structure, ne présente pas de difficulté. Il en est de même

(5) A. TIBERGHEN, A. WEIL-BARAIS, 1987, "Les modèles spontanés dans la pensée commune et enfantine", in A. Giordan et J.-L. Martinand (Eds) : *Modèles et simulations*, Paris.

A. CHOMAT, C. LARCHER, M. MÉHEUT, 1988, "Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième", *Aster*, 9, 143-184.

C. LARCHER, A. CHOMAT, M. MÉHEUT, 1990, "À la recherche d'une stratégie pour modéliser la matière dans ses différents états", *Revue française de pédagogie*, 93, 51-61.

A.K. GRIFFITHS, K.R. PRESTON, 1992, "Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules", *J. of Res. in Sci. Teaching*, 29(6), 611-628.

le cas des
dissolutions...

dans le cas du sel de cuisine, simple dilution d'ions (si l'on excepte les phénomènes électrostatiques de solvation).

Par contre, pour des structures qui ne sont pas purement ioniques, des problèmes se posent. Dans le cas de complexes des métaux de transition, la dissolution peut être une véritable réaction, les molécules d'eau, entrant dans la constitution d'une nouvelle espèce facilement caractérisée par sa couleur. On peut citer deux cas typiques : le sulfate de cuivre anhydre, blanc, devient bleu quand on le met dans l'eau ; dans les mêmes conditions, les sels de cobalt anhydres bleus deviennent roses.

et des
phénomènes
coopératifs

Les définitions sont encore plus complexes quand se produisent des phénomènes coopératifs ; ainsi, la modification ou la destruction de liaisons faibles (liaison hydrogène, en particulier) joue un rôle considérable en biologie : inactivation des enzymes, mutations intervenant sur les acides nucléiques, etc.

Ces quelques illustrations montrent à quel point la définition microscopique de la réaction chimique est délicate même pour un spécialiste. Si, du point de vue macroscopique, on peut répondre assez facilement à la question : "La cuisson d'un œuf est-elle une réaction chimique ?", en avançant des arguments concrets, c'est beaucoup plus difficile du point de vue microscopique.

Inversement, dans une approche macroscopique, la variété des réactions amène à prendre en compte une accumulation de faits souvent difficiles à classer. Certaines réactions, parmi les plus courantes comme acide/base, se produisent souvent sans modification sensible du système, et l'introduction d'un indicateur risque de compliquer l'explication. Dans les réactions de combustion, l'existence de produits gazeux (6) (7) introduit des difficultés difficiles à surmonter. Même sans chercher à donner une définition précise, cerner le concept de réaction chimique par un champ d'application n'est pas chose facile ; utiliser pour cela une méthode purement déductive ne l'est pas non plus.

La plus grosse difficulté tient à la diversité du champ d'application. Il est impossible de dégager un "noyau dur" qui serait d'exposition claire et que l'on pourrait ensuite étendre à un ensemble plus large et plus flou de phénomènes, moyennant certaines adaptations.

1.2. Description de la réaction chimique

Dans tous les problèmes portant sur une définition de la réaction chimique on s'intéresse essentiellement à l'état initial et à l'état final du système. C'est donc une approche tout à fait statique du phénomène.

(6) *Ibidem* note (3).

(7) J. CARRETTO, R. VIOVY et al., 1984, "Enquête par questionnaires sur quelques vocables d'orientation scientifique", *Revue française de pédagogie*, 68, 61-71.

donner une vision
dynamique de la
réaction

En réalité, il est essentiel d'en donner une vision dynamique : une réaction doit généralement être initiée ; elle se produit avec une certaine vitesse ; diverses causes provoquent son arrêt (consommation complète de l'un des réactifs au moins, existence d'un équilibre, changement des conditions expérimentales,...). Ces trois points, pourtant d'importance pratique considérable, sont rarement abordés au début de la présentation de la chimie et n'apparaissent jamais comme des phénomènes nécessairement associés aux phénomènes chimiques. Il y a certainement là une lacune, mais nous pensons aussi que cela peut constituer un blocage dans la compréhension du concept. Nous examinerons successivement ces trois points, en commençant par la fin de la réaction.

• *Terminaison des réactions*

Les recherches qui ont pu être faites sur ce sujet (8) (par exemple, "pourquoi une bougie s'éteint-elle ?") montrent que la notion de consommation des réactifs n'est pas aussi évidente qu'on pourrait le croire. Quand on écrit l'équation de la réaction - nous y reviendrons plus loin - on sous-entend toujours l'existence d'une réaction stœchiométrique qui, en fait, n'est pas souvent réalisée.

seuls les équilibres
sont étudiés au
niveau post-bac

Seuls les problèmes concernant les équilibres sont traités en détail au niveau supérieur car ils sont liés à la thermodynamique et faciles à formaliser ; ils donnent alors lieu à toute une série d'exercices faciles à noter.

Quant à la modification des conditions expérimentales au cours de la réaction, on l'oublie ou on évite d'en tenir compte ; pourtant, sauf cas très particuliers, c'est généralement ce qui se produit. Une réaction exothermique chauffe le système et peut l'amener dans un état où la réaction risque de s'emballer et devenir dangereuse. La consommation d'un produit conduit automatiquement à sa dilution dans le mélange réactionnel.

S'il n'est pas question de faire de cette notion le point central de l'apprentissage sur la réaction chimique, il paraît indispensable de l'y intégrer. La réponse à cette simple question : "pourquoi ne faut-il pas recongeler des aliments décongelés ?" nécessite de savoir que la décongélation permet aux processus de décomposition des substances organiques (qui avaient été bloqués par la congélation) de reprendre rapidement, et qu'un nouveau refroidissement ne permet pas de revenir en arrière. D'autre part, les manipulations entraîneront des discussions sur les conditions expérimentales de départ et les produits présents à la fin de l'expérience.

• *Cinétique*

Le champ des vitesses observées dans les diverses réactions chimiques est beaucoup plus étendu que celui des vitesses

(8) *Ibidem* note (3).

observées dans le domaine de la mécanique, plus familier aux élèves. Il peut être comparé à celui des réactions nucléaires.

prendre en compte la vitesse des réactions

C'est un des aspects fondamentaux de la réaction chimique qui est pourtant traité très tardivement dans l'enseignement français... et c'est la première chose que l'on supprime quand on décide d'alléger le programme ! Peut-être est-ce lié, comme pour les équilibres, à notre esprit cartésien, car la théorisation de la cinétique est difficile. Ceci est d'autant plus dommageable que le sujet permet des expérimentations intéressantes et qu'il est constamment pris en compte dans l'enseignement de la biologie.

Il y a, là aussi, une notion qui peut être un obstacle – ou une aide – à l'intégration du concept de réaction chimique.

• *Initiation*

C'est un phénomène lié au précédent, très souvent oublié mais qui frappe les élèves :

"Pourquoi a-t-on besoin d'une allumette pour déclencher une réaction de combustion qui peut être explosive ?"

déclencher une réaction

C'est une question que l'on aborde très tard avec les étudiants, toujours, probablement, pour les mêmes raisons : il faut pouvoir formaliser et parler de barrière de potentiel.

Que puisse exister une réaction très rapide et très énergétique, qui ne se déclenche pas spontanément même dans un mélange homogène de gaz, est très difficile à accepter, et nous pensons que c'est un aspect qui peut constituer un blocage dans la construction du concept de réaction chimique.

1.3. Les langages de la chimie

De nombreuses études (9) ont été réalisées sur les langages utilisés en chimie. Concernant la construction du concept de réaction chimique, on peut en distinguer trois types, en plus du langage mathématique (qui intervient assez peu).

• *Le langage naturel*

Des travaux de recherche, entrepris pour analyser les difficultés des résolutions de problèmes, ont montré que certaines d'entre elles provenaient, non de la mauvaise assimilation des concepts et méthodes scientifiques, mais de la méconnaissance de la langue française et, en particulier, des articulations logiques.

interférence du vocabulaire de la vie courante

D'autres travaux ont porté sur les mots-concepts de la chimie (associations de mots, mots composés, phrases...) et ont mis en évidence une grande sensibilité des jeunes élèves à la phonétique, à l'"idéologie" que les mots véhiculent pour eux, ainsi qu'au sens que certains de ces mots ont dans la vie courante.

(9) *Ibidem* note (7).

On a, en effet, utilisé beaucoup de mots du langage courant pour construire le langage scientifique, en leur donnant parfois des sens différents. On peut ainsi créer des confusions qui seront ensuite très difficiles à éliminer ; c'est le cas, par exemple, de mots comme corps, élément, matière...

Dans le même ordre d'idée, on peut se demander pourquoi on parle de "**réaction** chimique" au lieu d'"**action** chimique". On ne sait trop les raisons historiques de cette appellation, mais il est certain que l'existence du couple action-réaction en physique risque de perturber l'assimilation du concept.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce problème, qui n'est pas propre à la chimie, mais l'attention du didacticien doit toujours être attirée sur les relations entre problèmes linguistiques et compréhension des phénomènes scientifiques.

• *Le langage symbolique*

L'utilisation d'un langage symbolique date, en fait, des origines de la chimie ; c'était un moyen, pour les alchimistes, de garder leurs secrets. Bien sûr, depuis, le langage s'est stabilisé, a été codifié ; sa signification est connue de tous ceux qui veulent s'y intéresser.

Pour les spécialistes, ce langage ne pose aucun problème mais, pour les apprenants, la complexité de signification du symbole peut conduire à des conceptions erronées si des explications claires ne sont pas données.

La première difficulté rencontrée tient, là aussi, au langage employé ; il est emprunté aux mathématiques. Connaissant la rigueur avec laquelle les mathématiciens définissent et emploient leurs termes, on comprend que le transfert à un autre domaine et avec une signification différente – mais **pas complètement** différente – risque de générer des problèmes voire des blocages conceptuels. Ainsi, l'écriture symbolique d'une réaction chimique est appelée "**équation**" chimique. La confusion avec l'équation mathématique est dangereuse ; de plus, les deux membres de l'équation sont reliés par une flèche, on additionne des espèces différentes et on obtient des produits différents des réactifs, ce qui n'a aucun sens en mathématiques. On dit aussi que l'on "**équilibre**" l'équation qui peut représenter une réaction totale !

La seconde difficulté tient au fait que l'écriture symbolique (symboles et équations) a une signification à la fois microscopique et macroscopique. Dans les explications données par les ouvrages de chimie, on parle d'atome et de molécule quand on équilibre l'équation et, au cours des calculs, de quantité de matière et de mole. Parfois même, on introduit la notion d'élément chimique, notion macroscopique, en parallèle avec la notion d'atome et de molécule.

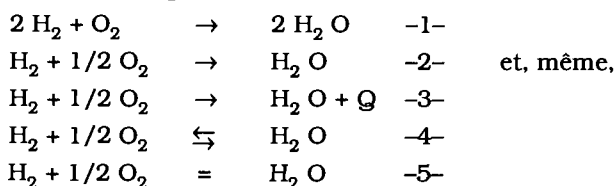
Au début de l'introduction de la "théorie atomique", on utilisait deux symboles différents pour éviter la confusion : la majuscule pour le macroscopique, la minuscule pour le

apprendre
l'usage du
langage
symbolique

distinguer le
macroscopique
du
microscopique

microscopique. Peut-être aurait-on pu continuer, mais les spécialistes pensent toujours que tout est simple !

Pour illustrer cette possibilité de confusion, cet exemple : pour représenter la réaction de synthèse de l'eau, on trouve les équations chimiques suivantes :



La forme -5- est généralement clairement définie comme une représentation stœchiométrique quantitative, sans signification chimique.

La forme -3- est, heureusement, presque abandonnée.

La signification de la double flèche, dans -4-, n'est pas toujours précisée, comme nous l'avons déjà remarqué.

La forme -2- ne devrait jamais être utilisée avec une interprétation microscopique, car il n'existe pas de demi-molécule d'oxygène ; ce serait un atome, et on devrait écrire O.

L'utilisation des équations (équilibrage ou problèmes à partir des quantités de matière) est beaucoup moins évidente que le simple raisonnement logique pourrait le faire croire (10). Des travaux l'ont montré et nous en avons une preuve personnelle : les résultats catastrophiques obtenus lors d'Olympiades internationales de la chimie, dans une question portant exclusivement sur la stœchiométrie de réactions intervenant dans la fabrication des superphosphates. Les candidats, par ailleurs, manipulaient, avec beaucoup d'aisance, orbitales et notions de chimie-physique !

• *Le langage expérimental*

Même s'il n'est pas courant de faire entrer l'expérience dans le chapitre sur les langages, nous pensons qu'il est logique de le faire. C'est en effet une médiation qui permet de transmettre la pensée sous une forme concrète. Pour une science du concret comme la chimie, il semble même que cette forme de langage devrait être privilégiée. C'est pourquoi nous n'avons pas voulu la traiter à part.

Tout le monde est convaincu de la nécessité de donner, en chimie, un enseignement appuyé sur une base expérimentale. Il paraît a priori inconcevable d'enseigner la réaction chimique avec seulement craie et tableau, ou papier et crayon. Pourtant, c'est bien souvent le cas lors des initiations à la chimie. De nombreuses raisons sont invoquées : installations défectueuses, manque de crédits, voire perte de temps. De fait, l'enseignement expérimental apparaît souvent comme un appendice de l'enseignement théorique, et

faire réellement
des expériences

(10) J.J. HESSE, C.W. ANDERSON, 1992, "Students' conceptions of chemical change", *J. of Res. in Sci. Teaching*, 29(3), 277-299.

ne jouait généralement, il y a peu de temps encore, aucun rôle dans les examens et concours. Il faut se réjouir de l'évolution qui semble se dessiner avec la prise en compte des travaux pratiques au baccalauréat.

Beaucoup de ces arguments sont fallacieux et il est possible de travailler à faible coût même dans des locaux peu adaptés, sans tomber dans le "bricolage expérimental". Des idées ont été développées ; nous-mêmes avons proposé quelques solutions (11).

Dans la conception du "langage expérimental", il reste malgré tout des difficultés, en particulier quand il s'agit de l'initiation. En effet, s'il est intéressant de présenter, ou de faire réaliser, des réactions spectaculaires pour motiver ou "accrocher" les élèves, ces manipulations présentent un certain nombre d'inconvénients :

inconvénients
des réactions
spectaculaires

- l'aspect spectaculaire risque de masquer des observations importantes ;
- souvent, les réactions spectaculaires conduisent à des produits peu identifiables ;
- elles sont souvent difficiles à interpréter et leur stœchiométrie n'est pas toujours simple ;
- ce sont souvent des réactions qui n'ont aucun intérêt pratique et ne s'intègrent pas logiquement à une progression didactique.

On doit donc souvent trouver des compromis pour adapter le choix des expériences aux objectifs que l'on s'est fixés.

2. ANALYSE DIDACTIQUE

Après avoir analysé les principales difficultés inhérentes au concept lui-même, nous allons essayer de dégager quelques lignes générales d'une approche didactique dans laquelle nous intégrerons des objectifs de formation, particulièrement liés à ce champ disciplinaire.

2.1. Nécessité d'une approche précoce

On pourrait penser, en considérant les difficultés d'apprentissage du concept, qu'il est nécessaire de retarder son enseignement pour attendre un certain état de développement de la pensée formelle des élèves et de meilleures possibilités d'intégration de ses divers aspects par l'accumulation de données scientifiques. Cette idée a prévalu longtemps puisque ce n'est qu'en 1977 que le début de l'étude de la

(11) J. CARRETTO, A. CHOMAT, M. MESMIN, R. VIOVY, 1979, "Matériel de chimie miniaturisé", *Bull. de l'Union des Physiciens*, 613, 896-905.

J. CARRETTO, 1986, "Minimatériel de chimie", *Bull. de l'Union des Physiciens*, 686, 1169-1179.

D. CROS, J. CARRETTO, G. LOUVEL, 1988, *Expériences de chimie utilisant du matériel miniaturisé*, 134 p, CIFEC, Montpellier.

un enseignement
précoce
appliqué à partir
de 1977

réaction chimique a été introduit dans le programme de toutes les classes de sixième. Il semble que cette pratique soit maintenant très largement répandue même si en France on a fait un sensible retour en arrière – pour des raisons plus conjoncturelles que scientifiques. Dégager l'intérêt scientifique de cet enseignement précoce est donc encore bien nécessaire, et permettra de mieux expliciter les objectifs de l'apprentissage.

Deux arguments paraissent primordiaux.

• **Premier argument**

C'est un concept central qui intervient dans d'autres disciplines (fig.2). En biologie, dès que l'on quitte la systématique, on débouche sur des réactions chimiques. Comment parler de respiration, digestion,... sans cela ? En géologie, on trouve la même situation. En physique, on aborde très vite les notions de changement d'état, et de nombreuses recherches (12) ont montré que la distinction entre changement d'état et réaction chimique est très difficile à appréhender ; la dialectique entre les deux notions semble très utile pour leur assimilation.

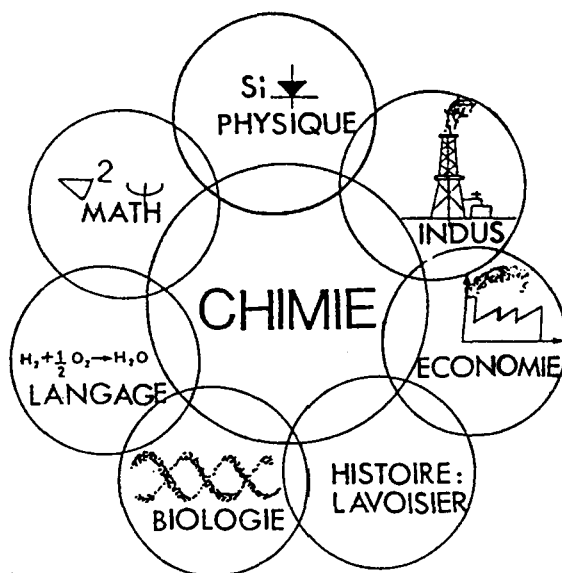


Figure 2

(12) Ibidem note (1).

H. STAVRIDOU, C. SOLOMONIDOU, 1989, "Physical phenomena - chemical phenomena : do pupils make the distinction ?", *Intern. J. of Sci. Educ.*, 11(1), 83-92.

M.R. ABRAHAM et al., 1992, "Understandings and misunderstandings of eight graders of five chemistry concepts found in textbooks", *J. of Res. in Sci. Teaching*, 29(2), 105-120.

le souci de la
sécurité et de
l'environnement

Dans le même ordre d'idées, il paraît indispensable d'asseoir le comportement du citoyen, vis-à-vis de l'extraordinaire variété des produits qui nous entourent, sur des concepts scientifiques clairs ; cette condition est nécessaire pour permettre un comportement non irrationnel. Le souci de la sécurité et celui de la préservation de l'environnement sont deux des aspects principaux de ce comportement. Les exemples de risques sont nombreux mais, parmi les plus évidents, on peut citer les combustions, les produits domestiques acides ou basiques, les solvants (toxicité et inflammabilité)... et en ce qui concerne la protection de l'environnement, que signifie "biodégradable" ?

• *Second argument*

intégrer des
faits variés

Il est plus didactique. Le concept de réaction chimique nécessite, pour sa compréhension, de considérer un nombre de faits important. La simple reconnaissance d'une espèce chimique déterminée demande de connaître plusieurs paramètres (on parle souvent de carte d'identité de la substance). Les manifestations de la réaction sont très variées : flamme, échauffement, changement de couleur, formation d'un solide dans une solution (précipitation), dégagement gazeux... ou rien ! Cet aspect multiforme ne facilite pas l'intégration de l'ensemble en un seul concept. Enfin, comme nous l'avons déjà signalé, la réaction chimique présente une phase d'initiation, une phase de déroulement, et une fin (on peut aboutir à un équilibre) : ces trois phases diffèrent considérablement d'une réaction à l'autre et, pour une même réaction, selon les conditions expérimentales. La vitesse peut aller de ce qui apparaît comme instantané (réactions explosives) à une extrême lenteur (vieillesse du vin), voire à une apparente immuabilité (mélange potentiellement explosif en l'absence d'initiateur). Tous ces paramètres sont nécessaires pour la compréhension du concept.

Il semble donc exclu qu'un apprenant puisse intégrer l'ensemble de ces données en une seule étape, même à un stade où il manipule bien les opérations formelles. Une solution raisonnable serait la construction par étapes de cette notion complexe ; elle nécessite une initiation précoce. Cette initiation, conduite en parallèle avec celle de la notion de changement d'état, permettrait, en mettant en évidence analogies et différences, de mûrir les deux concepts en dégageant la notion d'espèce chimique (ou corps pur) qui est le pivot central de cette construction.

2.2. Approche micro ou macroscopique

La tendance actuelle en France, mais aussi dans de nombreux pays étrangers, est de faire très tôt une approche microscopique, avec introduction des notions d'atome et de molécule. Les essais tentés lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des programmes issus de la commission

une présentation
théorique et
formelle

Lagarrigue – approche opératoire et macroscopique, suivie d'une présentation du concept à partir de l'élément chimique – ont été abandonnés pour revenir à une présentation plus traditionnelle. Les raisons en sont multiples.

– L'enseignement est fondé essentiellement sur une présentation théorique et formelle appuyée sur l'écriture de l'équation chimique. Dans ces conditions, la référence à l'atome et à la molécule devient le mode d'exposition le plus facile.

– La notion d'élément chimique n'a jamais été clairement définie et les enseignants n'ont pas l'habitude de l'utiliser comme support théorique. Les anglo-saxons utilisent le mot avec le sens de "corps simple".

Les arguments censés démontrer la simplicité de l'approche microscopique ne sont pourtant pas très convaincants : les mots utilisés, contrairement à ce que disent certains décideurs, ne sont pas familiers aux jeunes élèves. Des recherches ont montré que des élèves entrant en sixième ignorent tout du mot molécule, et donnent au mot atome des sens essentiellement liés au danger nucléaire (13). D'autre part, on a constaté que les questions d'échelle, de continuité/discontinuité, étaient très délicates à appréhender (14). Les idées fausses persistent longtemps, sont difficiles à éliminer et bloquent la compréhension des concepts dérivés. L'idée de structure particulaire de la matière étant longue à assimiler, il est encore plus difficile de concevoir la modification des particules.

Si l'on veut entreprendre tôt l'apprentissage de la réaction chimique et, surtout, si l'on veut qu'elle ne reste pas un concept théorique utilisé seulement pour l'équilibrage "d'équations chimiques" et pour résoudre des problèmes de masses et de volumes – mais bien plutôt que cette notion soit en relation avec la réalité pratique et expérimentale – il paraît tout à fait indispensable de commencer par une approche opératoire et macroscopique.

privilégier une
approche
macroscopique

Pour compléter les données recueillies entre autres par H. Stavridou et C. Solomonidou (15), il serait très utile de développer des recherches sur ce sujet, avec, pour objectif, d'arriver à proposer des idées de réalisations pratiques. On pourrait envisager de conduire un apprentissage par étapes, liant étroitement micro et macroscopique. D'après les données dont nous disposons, il semble indispensable d'y préparer les élèves.... Une introduction à la structure particulaire de la matière, basée sur les propriétés physiques des substances, permettrait d'aborder plus facilement l'aspect microscopique de la réaction chimique. Il faudrait, simultanément, aider les élèves à se familiariser avec l'aspect opératoire de la réaction chimique, en réalisant une présentation d'expériences. Cela suppose, comme nous

(13) *Ibidem* note (7).

(14) *Ibidem* note (5).

(15) *Ibidem* note (1).

l'avons dit plus haut, d'utiliser le concept d'espèce chimique (ou corps pur) comme pivot de cette approche. Pour cela, il serait peut-être intéressant de réhabiliter, dans une certaine mesure et sous une forme modernisée, les études monographiques.

2.3. Déroulement de la réaction

La présentation habituelle de la réaction chimique prend essentiellement en compte les bilans. Les questions de cinétique, d'équilibre, d'initiation, sont abordées très tardivement. Cette présentation schématique de la réaction laisse à l'élève la possibilité de se construire des modèles, comme, par exemple, d'imaginer la préexistence, dans les espèces de départ (les réactifs), des espèces que l'on trouve à la fin du processus (les produits) (15).

ne pas se limiter
aux bilans

Ne pas se limiter au bilan, mais parler du déroulement, permet de montrer qu'en chimie, le contrôle des conditions expérimentales est fondamental et que l'on n'obtient pas n'importe quoi n'importe comment. Ajoutons que, en ce qui concerne la pratique et la sécurité dans la vie courante comme au laboratoire, ce sont des notions qui ont une importance considérable. Combien de dégâts ont été causés par l'acceptation en toute confiance de l'idée commune : "plus on en met, plus c'est efficace" !

2.4. Écriture des équations de réactions

Quand on aborde l'écriture des équations des réactions, il faut préciser très clairement le contenu symbolique du nouveau langage. Comme la notion de quantité de matière (et de son unité, la mole) est d'un apprentissage difficile, il peut être intéressant d'utiliser un langage intermédiaire non traditionnel si on veut écrire des relations entre atomes ou molécules. En effet, du point de vue de la nomenclature légale, l'équation stœchiométrique est une relation molaire. On devrait aussi éviter d'utiliser les formules développées dans l'écriture d'une équation stœchiométrique.

2.5. Réalisation d'expériences

Il est probablement impossible de faire "découvrir" expérimentalement, par l'élève lui-même, le processus de réaction chimique. Une démarche d'exposition est donc toujours nécessaire.

peut-on
"découvrir" les
réactions
chimiques ?

Il est toutefois indispensable que l'apprenant manipule. Il est certain que les conditions matérielles ne se prêtent pas toujours à un tel travail individuel. Pourtant, il est possible, même dans des locaux peu adaptés et avec de faibles moyens, de faire manipuler les élèves. Diverses idées ont été proposées, par exemple dans le Bulletin de l'Union des

Physiciens, les ouvrages de l'UNESCO (16) et des revues d'éducation (17). Nous-mêmes avons mis au point un matériel miniaturisé, peu coûteux, qui permet de manipuler dans des conditions de sécurité satisfaisantes, même dans des locaux non spécialisés (8). Cette familiarisation des élèves avec l'expérience devrait être la base du processus d'apprentissage.

Il n'en reste pas moins que pour diverses raisons, motivation des élèves, discussions collectives, préparation du travail de la classe, l'expérience de cours reste nécessaire. Il y a lieu de réfléchir pour en améliorer les conditions. Par exemple, l'utilisation du rétroprojecteur pour rendre visibles par les élèves certaines expériences, tout en conservant un matériel de dimensions modestes et peu coûteux, n'est pas assez répandue (18).

CONCLUSION

Nous avons essayé, dans ce qui précède, de montrer la nécessité, mais aussi les difficultés d'une approche précoce de la notion de réaction chimique. Il n'est pas possible, contrairement au cas de certaines notions de physique (électricité, magnétisme,...), de trouver des modèles simplifiés ou intermédiaires – qui s'emboîteraient comme des poupées russes – sans introduire de notions inutiles ou inexacts.

Il existe pourtant un grand intérêt des jeunes enfants pour la chimie. Leur motivation va en s'estompant au cours des années pour en arriver trop souvent, en fin du secondaire, à un très faible intérêt pour cette discipline.

Cette évolution de l'intérêt des élèves pour la chimie doit nous interroger. Un phénomène aussi général – il n'est pas particulier à la France – montre qu'il est nécessaire de réaliser de nombreuses recherches sur les obstacles épistémologiques qui doivent être surmontés au cours de l'apprentissage du concept de réaction chimique ; on ne soulignera jamais assez son importance dans la compréhension des phénomènes vitaux dès que l'on dépasse l'aspect purement descriptif, dans la mise en œuvre de la protection de l'environnement et de l'amélioration des conditions de sécurité, ainsi que dans la prévision des effets écono-

-
- (16) Pour les revues d'enseignement expérimental en langue française (UNESCO), consulter le Centre International Francophone sur l'Éducation en Chimie (CIFEC) (Professeur D. Cros), Université Montpellier II, Place E. Bataillon, Case 016, 34095 Montpellier Cedex 5 (Fax : 16 67 54 30 79).
- (17) *Bulletin de l'Union des Physiciens, Education in Chemistry, School Science Review, Journal of chemical Education.*
- (18) J. CARRETTO, 1989, "Le rétroprojecteur, aide didactique polyvalente", in A. Giordan, J.L. Martinand et C. Souchon (Eds), *Actes des XI^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifique*, 47-52 (U.F. de Didactique des disciplines, Université Paris VII).

miques ; rendre plus efficace l'apprentissage du concept de réaction chimique paraît donc être un objectif prioritaire de notre enseignement.

Nous espérons que les quelques réflexions qui précèdent permettront aux enseignants de mieux percevoir certains obstacles pour aider plus efficacement les élèves à les franchir. Nous souhaitons aussi qu'elles encouragent le développement de recherches afin d'éclaircir des points d'ombre et peut-être détecter d'autres obstacles non encore mis en évidence.

Josette CARRETTO
LIREST
Université Paris-Sud Orsay
Roger VIOVY
LIREST
Professeur émérite ENS