

PRÉSENTATION DU NUMÉRO

Enseignement et réaction chimique : une délicate alchimie

Dominique Rebaud

La réaction chimique est un concept central dans l'étude des transformations de la matière. Les différents articles de ce numéro tentent d'apporter quelques éclairages autour de ce concept, y compris sur le plan historique. Certains auteurs analysent les sources de difficultés rencontrées dans l'enseignement de la chimie, tentent d'en donner des interprétations et apportent des éléments de réponse dans des propositions didactiques. D'autres ont centré leurs recherches sur l'étude de la mise en œuvre effective de certaines de ces propositions. Un auteur s'attache au problème de la formation des enseignants, un des domaines d'investigation de la didactique, sur le plan propositionnel, encore peu exploré.

Ainsi, des points de vues sur les relations entre les trois pôles (élève, savoir, enseignant) du triangle didactique sont plus ou moins largement évoqués dans ce numéro.

Les difficultés de l'enseignement de la chimie

un concept
difficile à
cerner...

L'article de R. Viovy et J. Carretto montre que le concept n'est pas simple à définir. Il renvoie au concept d'espèce chimique "pivot central" de la réaction chimique. La reconnaissance sur le plan macroscopique d'une espèce chimique suppose de prendre en considération un grand nombre de paramètres qui font appel à d'autres notions et entre autres à celle de changement d'état et de mélange. Les auteurs soulignent qu'au niveau microscopique, l'individualité des entités est délicate à déterminer même pour le chimiste : quand on casse des liaisons hydrogène, crée-t-on une nouvelle entité ? Si la dissolution du sucre dans l'eau se fait sans modification de structure, il n'en est pas de même de celle du sulfate de cuivre anhydre qui peut être envisagée comme une "véritable" réaction chimique. L'ion complexe formé par des liaisons de coordinence entre l'ion et les molécules d'eau donne une entité nouvelle bien définie qui confère une couleur bleue à la solution.

au plan
microscopique...

et
macroscopique

"L'aspect multiforme" du phénomène chimique, analysé par les auteurs, implique pour l'enseignement l'impossibilité d'isoler un noyau de réactions simples qui commanderait le reste de l'étude et qui s'étofferait d'un ensemble de réactions présentant des difficultés conceptuelles croissantes. Pour appréhender le phénomène chimique, il serait nécessaire de

certains aspects sont négligés dans l'enseignement	<p>décrire la réaction chimique en prenant en compte l'initiation, la terminaison et la cinétique dans un langage propre à la chimie, dont le langage symbolique n'est qu'une facette à laquelle les auteurs associent le langage expérimental. Pour ces auteurs, le début de l'enseignement de la chimie privilégie l'aspect statique de la réaction (état initial-état final) en gommant l'aspect dynamique, alors que l'étude des conditions expérimentales permettrait aux élèves de clarifier la signification de l'équation-bilan qui traduit une stoechiométrie rarement réalisée dans les réactions qui leur sont proposées.</p>
l'équation-bilan : un concept intégateur...	<p>R. Barlet et D. Plouin examinent les concepts sous-jacents au concept d'équation-bilan, base de tout travail quantitatif en chimie : atome, molécule, mole, quantité de matière et calculs afférents, réaction univoque ou réversible. Les auteurs précisent que l'on retrouve dans ce concept la dualité macroscopique-microscopique spécifique à la chimie, car en effet <i>"si on veut dépasser le bilan matière et donner du sens à l'équation de la réaction, il convient de recourir au niveau atomique et moléculaire"</i>. Cette dualité est une source de difficultés pour les élèves car elle demande une grande capacité d'abstraction. La polysémie du concept d'équation-bilan (analysée par les auteurs) est source de richesse mais devient obstacle pour les élèves. En effet par exemple, l'équation suivante : réactifs $\xrightleftharpoons[2]{1}$ produits, symbolisant un ensemble de deux réactions menant à un équilibre chimique peut, par son aspect bilan jouer un rôle d'écran par rapport à l'aspect dynamique. L'aspect stationnarité macroscopique occulte dans l'esprit des élèves la cinétique des réactions 1 et 2 dont les vitesses sont égales quand l'équilibre est atteint. Comme pour les auteurs précédents, mais à un autre niveau, c'est encore l'aspect dynamique de la réaction qui n'est pas appréhendé. R. Barlet et D. Plouin examinent la construction du concept d'équation-bilan non limité aux réactions totales dans les nouveaux programmes français et répertorient les types de difficultés et les erreurs persistantes jusqu'à l'université à partir de leurs travaux et de ceux d'autres recherches. Ils préconisent un va-et-vient continu entre l'aspect microscopique et l'aspect macroscopique de la réaction chimique pour lequel l'équation-bilan est un support privilégié. Ils font aussi quelques propositions en ce qui concerne le langage (actuellement porteur d'ambiguïtés) car celui-ci interagit fortement avec le concept.</p>
non perçu comme tel par les élèves...	<p>C'est aussi le point de vue de C. Larcher qui examine sur le plan conceptuel les conséquences de la non distinction entre les registres des phénomènes, des représentations symboliques, et du modèle à propos des équilibres chimiques et du verbe "équilibrer" une réaction. Si certains glissements de vocabulaire circulant dans ces trois registres sont possibles entre scientifiques parce qu'ils possèdent le même savoir, il convient d'être vigilant en situation scolaire.</p>
pourtant source de richesses...	<p>C'est aussi le point de vue de C. Larcher qui examine sur le plan conceptuel les conséquences de la non distinction entre les registres des phénomènes, des représentations symboliques, et du modèle à propos des équilibres chimiques et du verbe "équilibrer" une réaction. Si certains glissements de vocabulaire circulant dans ces trois registres sont possibles entre scientifiques parce qu'ils possèdent le même savoir, il convient d'être vigilant en situation scolaire.</p>
si les registres de description de la réaction sont différenciés	

du côté des
représentations...

Deux articles portant sur l'étude des conceptions des élèves sur la notion de substance pure (ce que d'autres désignent par "espèce chimique") montrent, que ce concept, pourtant clé de la réaction chimique, n'est pas construit. Parmi les cinq critères de catégorisation d'une substance pure, relevés par E. Roletto et B. Piacenza auprès d'élèves italiens de l'enseignement technique, le seul qui renvoie à un vocabulaire et un registre scientifique est erroné. En effet seuls les corps simples sont envisagés comme substances pures et les corps composés sont assimilés à des mélanges de corps simples. Un seul mot en italien "*elemento*", désignant aussi bien l'élément que le corps simple, renforce certainement cette représentation. D'autre part les élèves ne font pas spontanément appel, remarquent-ils, au modèle particulière. Ces travaux rejoignent ceux de C. Solomonidou et H. Stavridou qui ont constaté entre autres, par l'analyse de représentations qu'elles ont faite auprès d'élèves de 12 à 18 ans (grecs et français), qu'un élève peut donner une définition correcte de la réaction chimique sans que celle-ci soit opérationnelle pour catégoriser différentes transformations : le concept de substance au niveau manipulateur n'étant pas construit. Ce qui, pour les auteurs, ne favorise pas la mise en correspondance par les élèves des deux niveaux de la description de la réaction : celui du phénoménologique et celui du modèle.

un concept clé
non construit

un modèle qui a
perdu son statut
épistémologique

Les auteurs de plusieurs articles (R. Viovy et J. Carretto, E. Roletto et B. Piacenza, C. Solomonidou et H. Stavridou), s'accordent pour dire que l'épistémologie scolaire de plusieurs pays d'Europe a privilégié la modélisation dès le début de l'enseignement de la chimie au détriment de l'étude de la réaction sur le plan phénoménologique. Or la modélisation ne joue pas pleinement le rôle attendu dans la construction des connaissances, comme les études sur les représentations, précédemment citées, le mettent en évidence. On ne peut pas faire l'économie d'une approche au niveau manipulateur et macroscopique de la réaction chimique. Comme le font remarquer R. Viovy et J. Carretto, ce choix épistémologique s'est peut-être constitué en rupture avec un enseignement de la Chimie longtemps présenté comme un catalogue de monographies mais qui aboutit maintenant à une présentation trop formelle et théorique des phénomènes. On peut remarquer que sur ce point, les nouveaux programmes français réhabilitent timidement l'étude du concept de substance par construction de "cartes d'identité" qui seraient enrichies au cours de la scolarité.

des économies à
ne pas faire

Des propositions didactiques

construire le
concept de
substance sur le
plan
manipulateur...

C. Solomonidou et H. Stavridou proposent des activités susceptibles de faire évoluer le concept de substance au niveau manipulateur chez de jeunes élèves au cours de séquences expérimentales d'apprentissage (de type entretien). Elles ont provoqué ainsi une évolution de la notion de substance,

où le choix du référent empirique est important...

et différent suivant les stratégies !

favoriser les conflits cognitifs

la modélisation peut s'articuler avec l'expérimentation pour conceptualiser...

envisagée d'abord comme une substance objet puis comme une substance en interaction possible avec d'autres substances. Pour ces auteurs, le choix du référent empirique est déterminant dans cette évolution (en référence aux travaux de J.L. Martinand). Elles choisissent un référent qui permet l'extension des possibles et qui évite le domaine de la vie quotidienne car ce dernier limite, disent-elles, les propriétés des substances à celles qui sont appréhendées par la pensée commune (c'est-à-dire des propriétés essentiellement de type utilitaire). De plus le référent empirique choisi évite la conjonction de plusieurs obstacles comme par exemple le fait de ne pas concevoir une interaction entre substances et de ne pas prendre en considération les gaz en tant que matière. Se référant aux travaux de Wallon, le choix du référent associé à un certain type de questionnement, soulignent-elles, favorise l'extension de la pensée catégorielle nécessaire à l'évolution conceptuelle.

La séquence décrite par A. Laugier et M. Padeloup met en œuvre l'étude de la combustion de la bougie. Le choix de ce référent, diamétralement opposé au précédent, se justifie pour ces auteurs par le fait qu'il s'agit d'un phénomène connu des élèves et qui favorise donc le questionnement. À cet argument s'en ajoute un autre, d'ordre conjoncturel : le laboratoire disponible à l'école primaire est pauvre et la combustion de la bougie reste un référent empirique pratique pour les maîtres avec lequel ils peuvent aussi étudier les changements d'états. Cette étude a permis aux élèves de primaire d'envisager qu'une substance pouvait disparaître au cours de la combustion et que l'air devait être présent (sans que son rôle soit élucidé). Bizarrement, ce n'est pas l'expérience apportée par l'enseignant (se voulant cruciale) qui déclenche un conflit cognitif mais un argument d'ordre économique avancé par un élève : *"Mais alors si on peut tout récupérer, ça sert à rien d'acheter des bougies neuves"*. Cette analyse du conflit montre que des idées issues du quotidien peuvent intervenir dans l'évolution des conceptions des élèves.

Le projet de la séquence est construit sur l'hypothèse que des "expériences découvertes" permettent l'émergence d'un problème dont la résolution motivera l'acceptation de "l'expérience construite" proposée par l'enseignant. L'analyse de la séquence par les auteurs montre le décalage entre l'objectif de l'enseignant et les préoccupations des élèves quant au phénomène étudié, mais aussi les tentatives du maître pour s'y adapter. Cette modalité d'adaptation rappelle la caractéristique de certains dispositifs qualifiée de "souple-dure" par B. Peterfalvi et J.-P. Astolfi dans leur article *"Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales"*, *Aster*, 16, 1993.

Une alternative à l'étude préalable du concept de substance au niveau manipulatoire et macroscopique préconisée par C. Solomonidou et H. Stavridou, R. Viovy et J. Carretto, est proposée par C. Larcher, A. Chomat et C. Lineatte. À propos

de ce concept, les auteurs explorent la possibilité de construire (avec des élèves de cinquième) une séquence qui articule modélisation, expérimentation et conceptualisation. Disposant d'un modèle particulière qui leur a permis d'interpréter des transformations physiques, les élèves produisent des systèmes explicatifs sur des réactions chimiques, qui les incitent à s'interroger sur les substances au début et à la fin des expériences. L'exploration des limites des premiers modèles proposés par les élèves (particules emboîtées) amènera ceux-ci, à accepter un nouveau codage proposé par l'enseignant qui acquerra par son utilisation et sa pertinence un statut de nouveau modèle (particules accolées). Cette activité aura permis aux élèves d'envisager la formation de substances nouvelles au cours de la réaction.

pratiques de la recherche comme modèle pédagogique...

C.-J. Furió, J. Bullejos et E. de Manuel ont expérimenté au lycée un modèle pédagogique isomorphe aux pratiques de la recherche scientifique (se référer à l'article de G. Perez dans le n° 17 d'Aster), ce modèle étant susceptible de créer un triple changement auprès des élèves sur le plan conceptuel, méthodologique et des attitudes.

L'article explicite et justifie les objectifs qui sont à la base de la construction de programmes d'activités autour du concept de réaction chimique :

- différenciation de l'aspect phénoménologique et de l'aspect théorique dont les "noyaux durs " nous sont présentés ;
- centration sur les objectifs conceptuels pour lesquels les élèves ont des difficultés (un tableau met en regard les uns et les autres) ; c'est, selon les auteurs, une sélection d'objectifs-obstacles autour du concept de réaction chimique.

avec sélection d'objectifs-obstacles

Une évaluation des apprentissages sur la construction du concept de réaction chimique permet de mesurer la fécondité du modèle pédagogique expérimenté.

L'apport de l'histoire de la chimie

L'article de M. Padeloup et A. Laugier montre comment aux XVIII^e et XIX^e siècles, la chimie oscille entre une science de la matière centrée sur la structure et une science des réactions étudiant les affinités. Aujourd'hui, ces deux approches sont encore radicalement différentes. Avec la première, des calculs théoriques tentent d'élaborer des modèles de chemins réactionnels molécule à molécule. Avec la seconde, ce sont les lois de la thermodynamique qui régissent les réactions chimiques sur le plan macroscopique. Pour les auteurs, cette étude apportée par l'historien permet au didacticien de poser le problème du choix à faire sur le plan de l'épistémologie scolaire : une entrée "atomistique" ou une entrée "élémentale".

analyse du concept aux XVIII^e et XIX^e siècles

une aide pour l'épistémologie scolaire

Cette dernière entrée avait été adoptée dans les programmes de collège de 1977. On peut se reporter à l'analyse de celle-

ci proposée par J.-L. Martinand (1). Les raisons de son abandon en 1985 sont examinées dans l'article de R. Viovy et J. Caretto.

Pour M. Padeloup et A. Laugier, l'histoire des sciences permet aussi au didacticien d'aborder la parenté entre les obstacles historiques et les obstacles rencontrés par les élèves (obstacles substantialistes et obstacles mécanistes notamment)

un chemin non
linéaire pour
l'accès aux
connaissances...

Dans l'article de J.-P. Gaudillère, l'étude détaillée de la controverse Priestley/Lavoisier (grands nombre de faits interprétables par la libération d'un élément principe ou par la fixation de l'oxygène) met en lumière que celle-ci ne portait pas tant sur la confrontation d'expériences cruciales que sur l'établissement d'un conflit entre deux cultures et pratiques scientifiques. Pour cet auteur, l'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement ne doit pas avoir pour visée principale l'acquisition des connaissances contemporaines mais elle doit offrir aux élèves la possibilité d'envisager la construction non linéaire des connaissances en chimie avec la prise en compte du contexte de leur élaboration, ce qui nécessite un cadre pluridisciplinaire pour appréhender les enjeux de ce contexte. Pour l'auteur, l'intérêt d'une réplique de la controverse Lavoisier/Priestley est de pouvoir faire fonctionner des représentations d'élèves semblables à celles de chimistes de l'époque (dans des contextes différents). Son rôle doit toutefois être envisagé comme un moyen de cristalliser des conflits plutôt que comme un apport de preuve décisive donnant raison à Lavoisier. Une fois encore, le rôle de "l'expérience cruciale" est examiné dans cet article. En ce qui concerne ce problème dans l'enseignement, on peut se reporter à l'analyse de S. Joshua (2).

illustré par une
réplication de
controverse
historique

La formation des enseignants

Dans le cadre théorique et pratique d'un projet curriculaire "*Recherche et Renovation scolaire*" en Espagne, R. Martin justifie la nécessité de rénover le cursus de formation des futurs enseignants de la chimie à des élèves de 12-14 ans. La construction de ce cursus de formation, qui définit une professionnalisation du savoir, se doit pour R. Martin, d'éviter deux écueils : d'une part la simple accumulation de connaissances dans la discipline et d'autre part l'utilisation de la didactique comme application mécanique de techniques. Il s'agit donc de fournir aux futurs professeurs des

une
professionnali-
sation du savoir
possible...

-
- (1) Dans *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang. 1986, 149-174.
- (2) Notamment dans son article "*Les conditions d'évolution des conceptions d'élèves*", in : BEDNARZ N. et GARNIER C. (dir). *Construction des savoirs*. Ottawa : Cirade/Ed. Agence d'Arc Inc. 1989.

qui se fonde sur
des concepts
didactiques

outils pour réfléchir sur les savoirs à enseigner et sur la manière dont les élèves pourront les apprendre. L'auteur propose un référent pour les formateurs servant à définir des interventions possibles dans le cursus de formation et devant permettre une évolution des conceptions scientifiques et didactiques des futurs enseignants. Ce référent nous permet de voir fonctionner les concepts didactiques appliqués à la chimie et d'en mesurer la fécondité pour organiser la formation.

Comme le soulignent R. Viovy et J. Caretto, la réaction chimique n'est pas circonscrite à une discipline. Elle est aussi au cœur de la compréhension des phénomènes bio-physiologiques, géologiques et écologiques. L'exploration didactique de cet aspect interdisciplinaire, actuellement abordée dans une recherche de l'INRP en particulier, mérite de constituer une nouvelle perspective de recherche.

Dominique REBAUD
Lycée "Florent Schmitt", Saint-Cloud
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP