

Usage et apprentissage des mots en chimie

Difficultés, ambiguïtés, obstacles

Isabelle Kermen

Résumé	Quelques difficultés fréquentes dans l'apprentissage de la chimie, liées aux termes utilisés et que l'on peut trouver dans les manuels scolaires sont présentées. Elles montrent l'importance de distinguer les propriétés émergentes de la matière de celles des entités du niveau moléculaire et de distinguer les modèles des situations expérimentales dans l'enseignement de la chimie.
Mots-clés	Didactique, émergence, transformation chimique, modèle, JIREC 2015.
Abstract	Use and learning of the words in chemistry: difficulties, ambiguities, obstacles Some frequent difficulties in chemistry learning which are linked to the wordings and can be found in textbooks are reviewed here. They show that the distinction between emergent properties of matter and properties of submicroscopic entities and that between models and experimental situations are of prime importance in chemistry teaching.
Keywords	Chemistry education, emergence, chemical change, model, JIREC 2015.

Pour enseigner la chimie, le choix des mots est déterminant pour aider à la compréhension des concepts et des signes spécifiques de la chimie. Taber considère que la plupart des idées incorrectes des élèves en chimie, au contraire de la physique ou de la biologie, ne proviennent pas de leur expérience quotidienne, mais d'une mauvaise compréhension d'explications faisant appel à des espèces et des entités non perceptibles [1]. Cet article reprend la première partie d'une conférence donnée dans le cadre des JIREC 2015 et s'attache plus particulièrement à relever les difficultés ou raisonnements incorrects que l'utilisation sans précaution de certains mots ou expressions peut susciter chez les élèves.

Des expressions (incorrectes) qui favorisent les idées fausses

Dans un dépliant édité par un grand groupe industriel, à l'occasion de l'Année mondiale de la chimie en 2011, intitulé « Voyage au cœur de la chimie avec Jamy » et « conçu comme une balade ludique et destinée aux esprits curieux », figurent plusieurs quiz. L'un d'eux a la formulation suivante :

« Savez-vous quel est le plus petit élément possédant les propriétés caractéristiques de l'eau ?

la particule d'eau la molécule d'eau la cuticule d'eau »

Une première remarque consiste à dire que la réponse correcte ne fait pas partie des solutions proposées. De plus, l'emploi du mot élément est maladroit dans la mesure où on peut penser à élément chimique, qui n'est pas un concept pertinent pour répondre. Enfin, l'état physique de l'eau n'est pas précisé, mais comme il s'agit vraisemblablement du langage courant, l'eau est donc liquide. Dans le langage ordinaire, autre difficulté pour les jeunes élèves, l'eau solide porte un autre nom : la glace.

La solution du quiz est libellée ainsi : « **La molécule** est un assemblage chimique électriquement neutre d'au moins

deux atomes, qui peut exister à l'état libre, et qui représente la plus petite quantité de matière possédant les propriétés caractéristiques de la substance considérée. » Passons sur l'emploi maladroit du terme quantité de matière qui ne désigne sans doute pas la grandeur physique qui est un concept macroscopique et qui serait ici utilisée pour désigner un concept submicroscopique. Par contre, la solution proposée constitue tout simplement la propagation d'une idée fausse, la molécule d'eau aurait les mêmes propriétés qu'une goutte d'eau liquide. Le niveau moléculaire serait une réduction du niveau macroscopique, une forme de copie réduite. Cette idée va complètement à l'encontre de l'émergence des propriétés de la matière [2] ; celles-ci sont dues à une collection gigantesque d'entités du niveau moléculaire. Attribuer des propriétés macroscopiques aux entités du niveau moléculaire constitue une conception erronée qu'on trouve fréquemment chez les élèves [3] et relève aussi d'une confusion entre situation expérimentale et modèle. La diffusion de tels documents ne peut que les renforcer.

Dans le même ordre d'idées, il est à craindre que le terme « molécules colorées » utilisé dans l'actuel programme de la classe de première S [4] à propos du thème matières colorées et que l'on retrouve dans les manuels scolaires, ne contribue pas à clarifier les idées des élèves. L'enjeu est bien de faire comprendre que les propriétés des entités du niveau moléculaire ne sont pas celles des objets du niveau macroscopique mais qu'elles permettent de les expliquer [5]. En l'occurrence, la couleur d'un objet n'est pas une propriété intrinsèque de la matière, mais le résultat de l'interaction de cette matière avec de la lumière que perçoit⁽¹⁾ le système visuel⁽²⁾ de l'observateur [6-7]. Il n'est donc pas pertinent ni correct de parler de molécules colorées. Par contre, la structure des molécules⁽³⁾ permet de justifier l'absorption de photons d'énergie donnée, et donc la transmission de lumière d'une certaine énergie donnant la sensation de telle ou telle couleur.

Comment parler des changements de couleur ?

Conformément au programme, les auteurs de manuels prennent comme exemple les indicateurs colorés, et les formulations rencontrées amènent à réfléchir sur les habitudes de langage en chimie. La reproduction d'un spectre d'absorption d'une solution de bleu de bromothymol à deux pH différents s'accompagne du commentaire suivant : « *Le BBT en milieu acide absorbe dans le bleu : il apparaît jaune. En milieu basique il absorbe dans le rouge : il apparaît cyan* » [8, p. 98]. En fait une solution d'indicateur coloré contient toujours au moins deux espèces, membres d'un couple acido-basique HInd/Ind^- , et par habitude seul l'un des deux porte un nom répertorié. Ici le changement de couleur de la solution indique un changement d'espèce prédominante. La solution est devenue cyan parce que l'espèce chimique prédominante est $\text{Ind}^-_{(\text{aq})}$, alors que $\text{HInd}_{(\text{aq})}$ prédominait dans la solution jaune. À la page suivante, on peut lire : « *Un indicateur coloré est une espèce chimique qui change de couleur selon les propriétés du solvant dans lequel elle est dissoute [...]. Ce changement de coloration résulte d'une transformation chimique.* » Or une espèce chimique ne change pas de couleur si le pH du milieu change car c'est ce qui est en jeu ici. En fait, si le milieu devient plus basique, alors le système à l'équilibre chimique que constitue une solution d'indicateur coloré est perturbé et évolue dans le sens de la formation prépondérante de l'espèce basique Ind^- du couple par réaction de l'espèce acide HInd avec les ions hydroxyde responsables de la basicité du milieu. Dans le cas d'un milieu qui devient plus acide, on explique par une réaction entre la base du couple Ind^- et les ions oxonium pour former l'espèce acide HInd . La deuxième phrase de la citation est juste ; ce phénomène s'explique par une modification de la quantité de matière des différentes espèces chimiques présentes dans le milieu, ce qui constitue la transformation chimique qui vient d'être décrite. Mais pour qu'un élève de première soit à même de la comprendre, il faut connaître les définitions d'acide, de base, de réaction acido-basique, introduire les transformations chimiques non totales⁽⁴⁾, et la notion (qualitative) d'état d'équilibre chimique (présence de toutes les espèces ayant participé à une transformation chimique sans qu'il y ait de réactif limitant). Une solution de pH appartenant à la zone de virage d'un indicateur coloré acido-basique (et la présentation de son spectre) pourrait constituer une situation permettant d'aborder ces notions de façon claire.

Dans un autre manuel, après avoir fait le lien entre la couleur des fleurs d'hortensia (bleu et rose) et la nature de l'eau d'arrosage (contenant soit « *un peu de bicarbonate de sodium* », soit « *un peu de vinaigre* »), les auteurs écrivent : « *La même molécule est responsable de la couleur dans les deux cas* », puis ils s'interrogent : « *comment peut-on expliquer cette différence de couleur ?* » [9, p. 114]. Alors qu'il n'est pas fait mention de la lumière qui éclaire les fleurs d'hortensia, les auteurs se livrent à ce que Laurent Boiteau nomme une synecdoque [10] et désignent l'objet submicroscopique, alors qu'il s'agit d'un phénomène émergent (résultant d'une collection considérable de molécules) dû à la substance éclairée. Dans les deux manuels, la même erreur apparaît : considérer qu'une espèce chimique puisse avoir deux couleurs différentes, ce qui revient à séparer une substance de ses propriétés, ou encore à substantier celles-ci [11]. Ce raisonnement est

souvent fait par les élèves lors de l'apprentissage des transformations chimiques [12] et constitue un obstacle qui les empêche de détecter des transformations chimiques à bon escient, alors que pour un chimiste, les propriétés font partie de la carte d'identité de la substance et ne varient pas. De plus dans le premier manuel, la remarque faite (à juste titre) à propos d'une transformation chimique contredit ce qui précède, puisqu'une transformation chimique est un changement d'espèce chimique. Quel peut être l'effet de telles phrases sur la compréhension des élèves ?

Un raisonnement téléologique en lieu et place de l'utilisation d'un modèle

Talanquer a montré que des étudiants de première année d'université aux États-Unis choisissent massivement des propositions telles que « *Oxygen atoms need to gain two electrons to satisfy the octet rule* » pour expliquer la formation de liaison chimique [13]. Ces propositions de nature téléologique décrivent les entités comme ayant des buts ou des désirs ou comme agissant pour répondre à certains besoins. Ce type de phrase se trouve aussi dans des manuels scolaires français. Par exemple, un manuel de première S [9, p. 102] propose une étude de document (extrait de *La Recherche*) pour évaluer la compétence « *Communiquer et argumenter en utilisant du vocabulaire scientifique* ». On peut y lire : « *Pour former les liaisons, les atomes mettent en commun des électrons. Le but, pour chaque atome, est d'être entouré de huit électrons (sauf pour l'hydrogène et l'hélium auxquels deux électrons suffisent) : c'est la règle de l'octet, introduite en 1904 par l'Allemand Richard Abegg.* »

Dans la suite du chapitre, les auteurs du manuel utilisent des verbes d'action pour décrire la liaison de covalence et la structure électronique d'une molécule : « *Chaque atome apportant un électron* », « *les électrons externes [...] se regroupent deux par deux* » (p. 105). L'emploi de tels verbes constitue un raisonnement téléologique et masque totalement qu'il s'agit d'un choix de catégoriser les électrons des atomes pour expliquer la structure des molécules ou la prévoir, comme cela est pourtant signalé au début du document sans que le rôle prédictif ou explicatif du modèle de Lewis soit ensuite utilisé ou répété. La liaison covalente est réduite à un doublet d'électrons mis en commun « *par et entre deux atomes* » ; il n'est pas question de noyaux chargés positivement et d'interactions électrostatiques attractives entre noyaux et électrons, répulsives entre noyaux, entre électrons et du mouvement continu de ces particules. Dire que des atomes sont liés signifie, entre autres, que la distance internucléaire est sensiblement constante au cours du temps et que les interactions attractives l'emportent sur les interactions répulsives [14].

Après ces quelques exemples d'utilisation incorrecte ou ambiguë de mots et les difficultés associées, je terminerai par l'exemple d'une expression introduite pour résoudre une difficulté largement documentée : distinguer les faits expérimentaux et leur interprétation [3, 15].

Des mots pour distinguer entre modèle et situation expérimentale

Les auteurs du précédent programme de lycée, entré en vigueur en 2000 en classe de seconde, ont effectué une création didactique en attribuant deux significations différentes aux termes transformation chimique et réaction

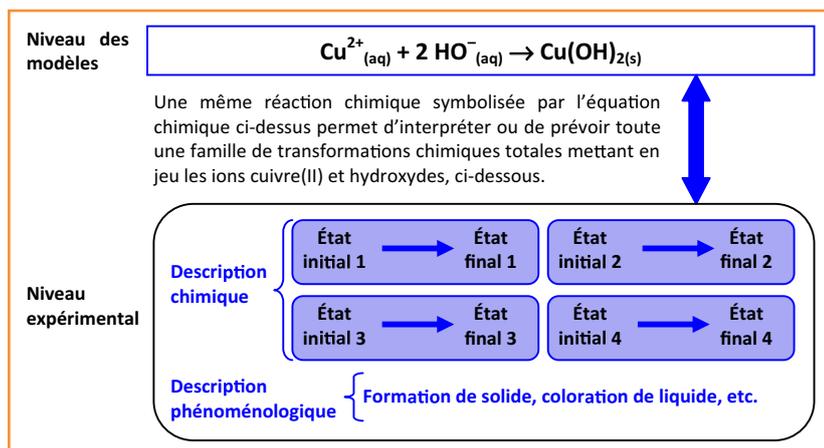
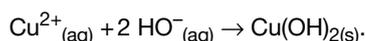


Figure 1 - Distinction entre transformation et réaction chimique.

chimique qui recouvrent alors deux concepts différents [16]. Une réaction chimique est le modèle macroscopique qui rend compte d'une famille de transformations chimiques totales mettant en jeu les mêmes espèces chimiques. Une transformation chimique correspond à un bilan macroscopique en termes d'espèces chimiques, effectué pour deux états d'un système fermé, ces deux états ne présentant pas la même composition (figure 1) [17]. Cette distinction n'est pas seulement un changement de mot, ou une question de vocabulaire, mais traduit le désir des auteurs de ce programme de concrétiser la nécessaire distinction à faire entre ce qui relève du modèle et du niveau expérimental, prônée par les auteurs du programme précédent [18] et de nombreux chercheurs [3, 5]. Il devient possible de répondre à l'étonnement d'élèves de seconde observant un résultat différent après avoir fait un mélange quelconque d'une solution de sulfate de cuivre(II) et d'une solution d'hydroxyde de sodium [19]. Dans un cas, la solution surmontant le précipité est incolore, dans l'autre, elle est bleue, et pourtant les deux s'interprètent par la même réaction de précipitation symbolisée par la même équation chimique :



La description chimique de ce qu'ils voient s'appelle une transformation chimique, l'interprétation de ces transformations considérées comme totales s'effectue par une réaction chimique. Le rôle explicatif ou prédictif et surplombant du modèle est alors mis en valeur.

Cette distinction n'a pas été clairement reprise par les programmes actuels de lycée, ce qu'on peut regretter.

Conclusion

Adopter des expressions rigoureuses pour éviter des interprétations erronées des élèves est une nécessité, mais il faut néanmoins composer avec l'exigence de se faire comprendre. Trouver un juste milieu entre des formulations imagées pour donner du sens et des termes scientifiques rigoureux constitue un défi permanent à relever afin de permettre aux élèves et étudiants de s'appropriier les mots (et les symboles⁽⁵⁾) pour accéder à ce qu'ils représentent dans les situations tangibles et les modèles.

Notes et références

- (1) C'est le résultat qui est perçu, donc la lumière transmise à l'issue de l'interaction.
- (2) Le système visuel comprend l'œil mais aussi le cerveau qui interprète les données fournies par le nerf optique.
- (3) Le programme de 1^{ère} S vise à attirer l'attention des élèves sur les liaisons conjuguées dans certaines molécules organiques.
- (4) Terme introduit par les auteurs du précédent programme de chimie (2002).
- (5) Ce point n'a pas été abordé ici, faute de place.
- [1] Taber K.S., Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2001**, 2(2), p. 123.
- [2] Talanquer V., Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: additive versus emergent frameworks, *Science Education*, **2008**, 92(1), p. 96.
- [3] Harrison A.G., Treagust D.F., *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, J.K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D.F. Treagust, J.H. van Driel (eds), Kluwer Academic Publishers, **2002**, p. 189-212.
- [4] Ministère de l'Éducation nationale, Programme de première S, *B.O. spécial n° 9*, 30 sept. **2010**.
- [5] Chomat A., Larcher C., Méheut M., Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième, *Aster*, **1988**, 7, p. 143.
- [6] Chauvet F., Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur, *Le Bup*, **1993**, 750, p. 1.
- [7] Valeur B., La genèse des couleurs, un dialogue entre lumière et matière, *L'Act. Chim.*, **2015**, 396, p. 29.
- [8] Bataille X. et al., *Physique chimie 1^{re} S*, Belin, **2011**.
- [9] Ruffenach M., Decroix S. (dir.), *Physique chimie 1^{re} S*, Bordas, **2011**.
- [10] Henn F., Boiteau L., Pépin F., *Les matérialismes et la chimie*, F. Pépin (dir.), Éditions matériologiques, **2013**, p. 143-180.
- [11] Sanmarti N., Izquierdo M., Watson R., The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science, *Sci. & Educ.*, **1995**, 4(4), p. 349.
- [12] Solomonidou C., Stavridou H., Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique, *Aster*, **1994**, 18, p. 75.
- [13] Talanquer V., When atoms want, *J. Chem. Educ.*, **2013**, 90(11), p. 1419.
- [14] Chaquin P., Gutlé C., Reinhardt P., Liaison(s) chimique(s) : forces ou énergie ? En tout cas, électrostatique !, *L'Act. Chim.*, **2014**, 384, p. 29.
- [15] Grosslight L., Unger C., Jay E., Smith C.L., Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts, *J. Res. Sci. Teach.*, **1991**, 28(9), p. 799.
- [16] Ministère de l'Éducation nationale, Programme de seconde, *B.O. H.S.*, n° 6, 12 août **1999**.
- [17] Kermen I., *Les modèles, des incontournables pour enseigner les sciences ! Apprendre les sciences de 2 ans ½ à 18 ans*, T. Evrard, B. Amory (dir.), De Boeck, **2015**, p. 193-201.
- [18] Goffard M., Des programmes de chimie à leur mise en œuvre, *Didaskalia*, **1994**, 3, p. 129.
- [19] Laugier A., Dumon A., Mise en place de situations problèmes pour l'apprentissage de la stœchiométrie en classe de seconde : compte rendu d'innovation, *Didaskalia*, **2004**, 25, p. 117.



Isabelle Kermen

est maître de conférences à l'Université d'Artois et chercheuse au LDAR (EA4434)*, Universités d'Artois, de Cergy-Pontoise, Paris Diderot, Paris-Est-Créteil, de Rouen.

* Laboratoire de didactique André Revuz, Université Paris Diderot, Bât. Condorcet, cc 7086, F-75205 Paris Cedex 13.
Courriel : isabelle.kermen@univ-artois.fr