

Du « bon usage » de la flèche comme symbole de la transformation chimique

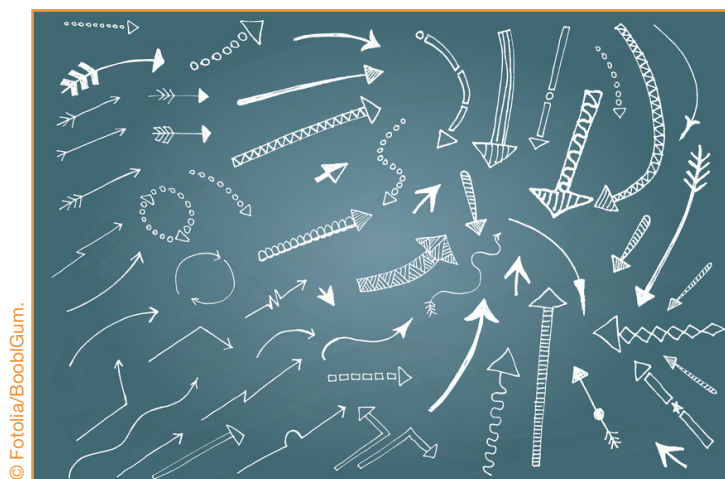
Xavier Bataille, Marie-Blanche Mauhourat et Michel Vigneron

Résumé

On trouve en chimie de nombreuses utilisations du symbole de la flèche. Si la plupart des flèches utilisées [1] ne prêtent pas à controverse, un certain « flou » demeure toutefois en ce qui concerne l'utilisation d'un symbole pour décrire les transformations chimiques. Après un rapide historique sur l'introduction des représentations symboliques en chimie et une petite étude comparative de leur emploi dans divers ouvrages publiés dans différents pays, nous proposerons, sans dogmatisme, quelques orientations possibles dans le choix des symboles pour décrire la transformation chimique s'appuyant sur une approche pragmatique et pédagogique. Ce choix repose essentiellement sur les informations que l'on cherche à transmettre.

Mots-clés

Symbolisme, convention, pédagogie, histoire.



© Fotolia/BoobGum.

Préambule sur la transformation chimique

L'une des difficultés de la chimie vient du fait que la modélisation d'un phénomène observé, toujours complexe à analyser, implique de décrire l'évolution des espèces ou entités chimiques au niveau de description souhaité et en utilisant un langage symbolique universel (symbole chimique, état physique, flèche, signe égal...).

Ce phénomène, la « transformation chimique », est un processus par essence irréversible conduisant à un état final pouvant ou non être un état d'équilibre (dans lequel coexistent réactifs et produits). Le choix du symbole permettant la modélisation du passage de l'état initial à un état final peut s'avérer très délicat, comme en atteste sans doute l'hésitation de la communauté depuis plus de deux siècles.

Bien que les concepts et théories qui modélisent la transformation chimique soient aboutis, demeure le problème de leur apprentissage. La chimie présente toutefois des obstacles épistémologiques et didactiques dus au langage, au

choix du cadre théorique et aux symboles utilisés. La principale difficulté provient essentiellement du niveau de zoom pratiqué. Raisonne-t-on sur de l'observable (qualifié de niveau macroscopique), à l'échelle supramoléculaire ou nanoscopique, siège des phénomènes d'auto-organisation, ou à l'échelle moléculaire [2], voire particulière ? Des précautions doivent toujours être prises lorsque l'on change de niveau de description : il est nécessaire d'informer le lecteur ou l'auditeur.

Un peu d'histoire sur les usages

C'est Lavoisier (1743-1794) qui introduisit vers 1780, pour la première fois dans l'histoire de la chimie, un symbole pour modéliser une transformation chimique. Par facilité, ou peut-être par habitude – rappelons qu'il était, en tant que fermier général, avant tout comptable –, il choisit les symboles « = » et « + » (figure 1) [3].

Ces symboles furent à cette époque peu usités, les livres de chimie du début du XIX^e siècle étant essentiellement rédigés de manière littéraire, sans équations, avec simplement quelques tableaux de valeurs. Il faut attendre 1827 pour que Louis-Jacques Thenard (1777-1857) propose les premières équations de réaction utilisant les formules moléculaires et le signe égal dans le *Traité de chimie élémentaire, théorique et pratique* (p. 211). D'autres chimistes suivront (figure 2) et le symbole « = » va perdurer tout au long du XIX^e siècle.

Suite au développement de la cinétique et de la thermodynamique au cours de la deuxième moitié du XIX^e siècle, l'aspect « dynamique » des transformations chimiques, peu à peu formalisé, va donner lieu à la création de symboles dédiés. Tout naturellement, Jacobus H. van't Hoff (1852-1911), à l'origine de plusieurs études approfondies de l'équilibre chimique, va introduire vers 1884 le symbole de la double flèche $\rightleftharpoons$ dans ses *Études de dynamique chimique*, comme l'illustre l'extrait de son ouvrage *Chimie Physique* (figure 3).

À l'orée du XX^e siècle, le symbole « = » a été peu à peu abandonné dans la plupart des ouvrages de langues française,

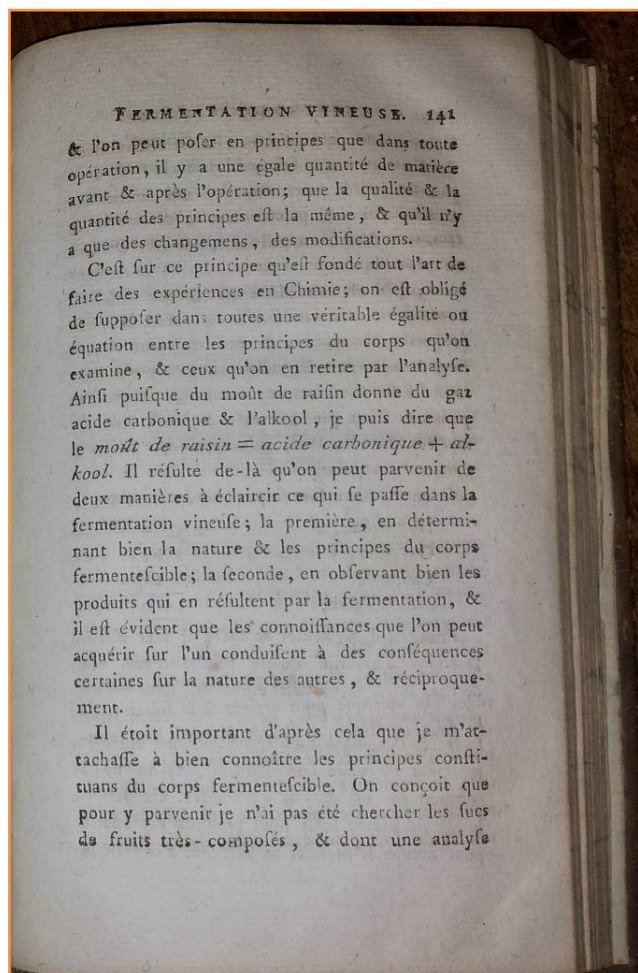


Figure 1 - Une équation de réaction écrite par Lavoisier (*Traité élémentaire de chimie*, 1789, vol. 1, chap. XIII, p. 141). Notons qu'à cette époque le symbolisme des formules brutes n'existe pas encore puisque c'est seulement à partir de 1814 que le chimiste suédois J.J. Berzelius (1779-1848) proposera les conventions de notation des éléments chimiques par des initiales (photo : X. Bataille, 2013, DR).

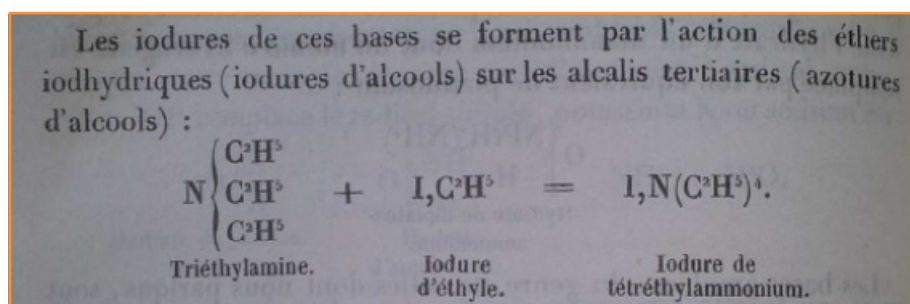


Figure 2 - Au milieu du XIX^e siècle, le signe égal commence à se banaliser comme l'illustre l'extrait du *Traité de chimie organique* de Ch. Gerhardt (Didot, 1856, t. IV, p. 622) (photo : X. Bataille, 2013, DR).

allemande et anglaise, à de très rares exceptions près (figures 4 et 5). Au cours du XX^e siècle, les flèches simples et doubles sont communément utilisées, bien que quelques auteurs fassent réapparaître le symbole « = » dans les années 1980 [5].

Il y a donc eu, pendant près d'un siècle, une multitude de symboles utilisés ; dans chaque situation, c'était le contexte qui permettait d'interpréter le message transmis par l'équation chimique.

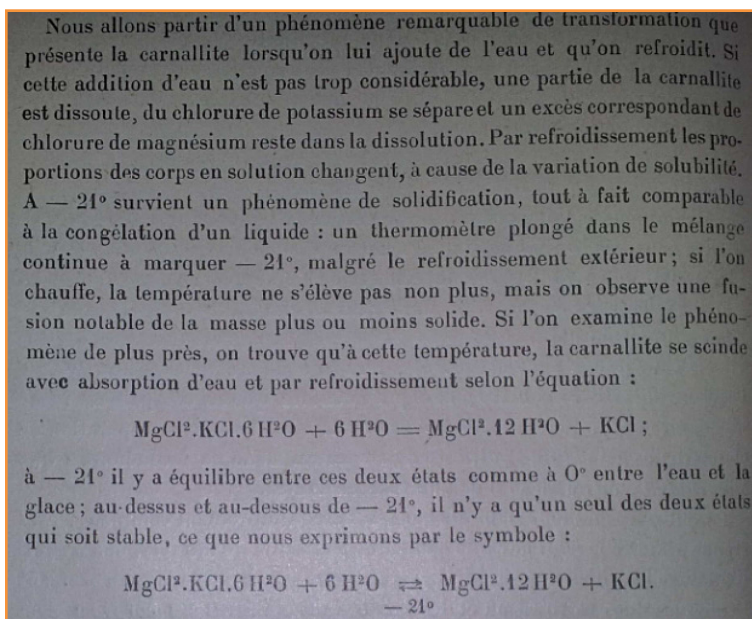


Figure 3 - Extrait de *Chimie Physique* de J.H. van't Hoff (Hermann, 1903), dans lequel il explicite clairement l'usage qu'il fait de la double flèche (photo : X. Bataille, 2013, DR).

À la fin du XX^e siècle, pour uniformiser les pratiques et en raison du problème de l'apprentissage de la chimie, des propositions ont été faites par différents groupes de réflexion dont l'IUPAC. Elles n'ont jusqu'à présent jamais vraiment convergé, comme en atteste la lecture de quelques manuels de chimie publiés dans le monde (voir *tableau I*). Un article de K.J. Laidler de 1981, publié dans la revue de l'IUPAC, éclaircit les différentes utilisations des symboles, comme par exemple le fait d'utiliser la flèche simple dans les actes élémentaires :

« Various symbols can be used to relate reactants and products in a stoichiometric equation.

An equal sign can be used, as in $\text{H}_2 + \text{Br}_2 = 2\text{HBr}$, if one is concerned simply with the balancing [6] of the equation.

Two half arrows, as in $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightleftharpoons 2\text{HBr}$, are conveniently used when the emphasis is on the equilibrium state of the reaction.

A single full arrow as in $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{HBr}$ and in $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \leftarrow 2\text{HBr}$ can be used to refer to the reaction occurring in a single direction.

Two full arrows, as in $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightleftharpoons 2\text{HBr}$ can be used when there is interest in the kinetics of the reaction in both the forward and reverse directions.

A single filled-in arrow, as in $\text{H} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{HBr} + \text{Br}$ can be used to emphasize that the reaction is believed to be elementary » [7].

La proposition de Laidler a par ailleurs été reprise dans le « green book » de l'IUPAC [8].

Signalons que certains auteurs préconisent aujourd'hui de ne pas utiliser le signe égal : « Equations also have a different meaning in mathematics and physics. Chemical "equation" can only mean that the sum of the masses on the left side of the arrow "equals" the total mass on the right side of the arrow in the equation. Substances, properties, or energies are definitely different on both sides of the arrow. The term "equation" might therefore be misleading for beginners and should be replaced by reaction scheme or reaction symbol » [9].

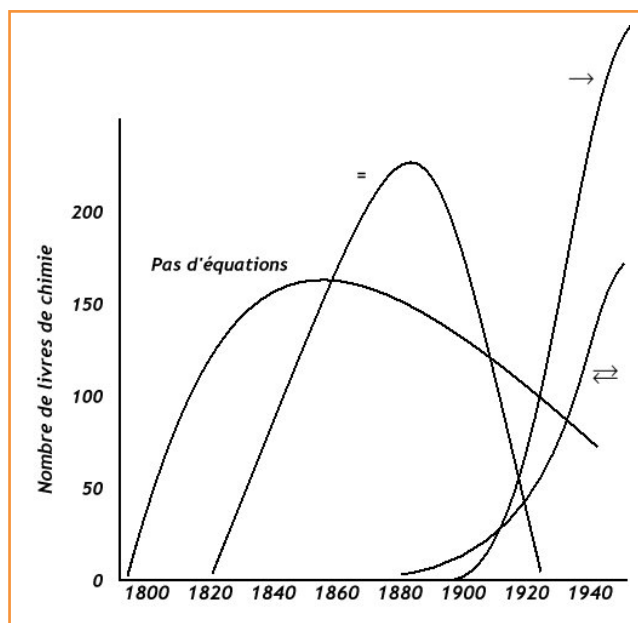


Figure 4 - Évolution des symboles utilisés dans les manuels de chimie, de 1800 à 1940. Figure adaptée de S. Alvarez, 2012. Signe « = » proposé par Lavoisier mais réellement utilisé à partir de 1827. Symbole « double flèche à double pointe » inventé par van't Hoff en 1884. Symbole « simple flèche » introduit par G. Hinrichs en 1874 mais peu utilisé avant 1900. Symbole « double flèche à simples pointes (⇌) » proposé par Hugh Marshall en 1902 [4].

Malonsäure (Methandicarbonsäure) $\text{HO}_2\text{C} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO}_2\text{H}$

Nächst Oxalsäure ist Malonsäure die wichtigste der aliphatischen Dicarbonsäuren. Die Reaktion, die zur Darstellung von Malonsäure dient, ist gleichzeitig beweisend für ihre Struktur. Beim Kochen von Chloressigsäure (die man durch Halogenieren von Essigsäure erhält, vgl. S. 183) mit Kaliumcyanid entsteht Cyanessigsäure, die beim Verseifen der Nitrilgruppe in Malonsäure übergeht:

$$\text{CH}_2\text{Cl} \cdot \text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_2 \begin{smallmatrix} \text{CN} \\ \text{COOH} \end{smallmatrix} \longrightarrow \text{CH}_2 \begin{smallmatrix} \text{COOH} \\ \text{COOH} \end{smallmatrix}$$

Malonsäure ist in der Natur nur selten gefunden worden, z. B. in den grünen Teilen von Getreidepflanzen. In Wasser ist sie sehr leicht löslich (s. Tab. S. 165). Wenig über ihren Schmelzpunkt (133°) erhitzt, gibt sie unter Bildung von Essigsäure 1 Molekül CO_2 ab:

$$\text{HO}_2\text{C} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO}_2\text{H} = \text{CH}_3 \cdot \text{CO}_2\text{H} + \text{CO}_2$$

Die Erfahrung hat gelehrt, daß alle Verbindungen, die zwei Carboxylgruppen an demselben Kohlenstoffatom enthalten, beim Erhitzen 1 Molekül CO_2 abspalten. Schon beim Kochen mit Wasser findet diese Reaktion langsam statt.

Einen eigenartigen Verlauf nimmt die Wasserabspaltung aus Malonsäure, die beim Erhitzen mit Phosphorperoxyd erfolgt. Hierbei entsteht das S. 147 beschriebene Kohlenoxyd.

Von den Estern der Malonsäure ist vor allem Malonsäurediäthylester (kurz **Malonester** genannt) von Wichtigkeit, da er zu vielen Synthesen dient.

Er bildet eine Flüssigkeit von schwachem Geruch, siedet bei $199 \cdot 3^\circ$ und besitzt ein spezifisches Gewicht von 1.0613 bei 15° . Malonester ist in Natronlauge unlöslich. In wasserfreien Lösungsmitteln wird aber ein Wasserstoffatom leicht durch Natrium ersetzt. Der entstehende Natriummalonester ist unlöslich in Äther und Benzol, aus konzentrierter alkoholischer Lösung kristallisiert er in farblosen Nadeln. Er steht in alkoholischer Lösung im Gleichgewicht mit Natriumäthylat und Malonester, bildet sich also auch aus diesen:

$$\text{NaC}_7\text{H}_{11}\text{O}_4 + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightleftharpoons \text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_4 + \text{C}_4\text{H}_9\text{ONa}$$

Figure 5 - Extrait du *Lehrbuch des Organischen Chemie* (Walter de Gruyter, 1940, Berlin, 21^e éd.) de Arnold Frederic Holleman (1859-1953), auteur des règles de $\text{S}_{\text{E}}\text{Ar}$ sur les aromatiques et par ailleurs assistant de van't Hoff à Amsterdam. On trouve à de nombreuses reprises des pages comme celle reproduite ici. Dans cette page dédiée à l'acide malonique, Holleman utilise trois modes de représentation : la flèche simple pour montrer les transformations (celle de la synthèse de l'acide malonique à partir d'acide chloroacétique) ; le « égal » pour l'équation de la décomposition thermique de l'acide malonique ; et la double flèche pour décrire un « équilibre » acido-basique (photo X. Bataille, 2013, DR).

Quelques recommandations de « bon usage »

Lors de la réforme « 2000 » du lycée, le groupe d'experts en charge de l'écriture des programmes de chimie avait opté pour le choix du signe égal dans l'équation de réaction. Lors de la réforme « 2010 », les experts de la filière scientifique ont proposé un retour aux symboles des simples et doubles flèches. De façon à rendre ces modes de représentation plus explicites, il peut être adopté la démarche pragmatique suivante qui consiste à choisir un symbole en fonction :

- des **informations dont on dispose** (pour écrire une équation de réaction) ;
- des **informations que l'on cherche à transmettre** (lorsqu'on souhaite fournir des informations sur les caractéristiques de la transformation).

Au niveau macroscopique

Selon le contexte, on choisira de représenter la dissolution d'un solide dans un solvant, soit par une équation de réaction comportant un signe « = » qui met simplement en évidence la stœchiométrie de la réaction, soit par une simple flèche si on considère la transformation unique et totale, soit par une double flèche si on envisage la transformation non totale conduisant à l'état final, à un équilibre entre le solide et les espèces dissoutes.

Rappelons néanmoins que :

- Si la transformation s'effectue de façon quantitative (l'avancement final étant assimilable à l'avancement maximal théorique : $x_f/x_{\text{max}} \sim 1$) – qualifiée aussi de **transformation quasi-totale** ou totale dans certains cas particuliers –, alors le symbole préconisé sera la simple flèche →.

- Si la transformation s'effectue de façon non quantitative – qualifiée aussi de **transformation limitée** –, alors le symbole utilisé sera la double flèche à simples pointes ⇌.

L'usage de flèches de longueurs différentes (ex. : ⇌ ou ⇌) pour illustrer le fait que l'avancement dans l'état final est plus ou moins en faveur des produits ou des réactifs est à proscrire.

Le symbole « = » peut être utilisé dans l'écriture d'une équation chimique :

- soit pour indiquer qu'une transformation se produit, mais que l'on n'a pas d'informations sur son avancement ;
- soit pour simplement indiquer la stœchiométrie de la réaction ;
- soit pour des commodités d'écriture ou d'évaluation, auquel cas cette écriture devrait être accompagnée par la donnée de sa constante thermodynamique d'équilibre, si cette notion a déjà été étudiée.

Le symbole de la double flèche à doubles pointes, ⇌, doit être réservé lorsque la transformation peut s'effectuer dans les deux sens, sans que le système atteigne un état équilibre.

Au niveau microscopique

Dans l'écriture des mécanismes réactionnels, une équation de réaction décrivant un acte élémentaire est représentée par une simple flèche. L'utilisation d'une double flèche à doubles pointes, ⇌, entre des espèces chimiques A et B, représente en fait deux actes élémentaires, l'un de A vers B et l'autre de B vers A. $A \rightleftharpoons B$ contient donc deux informations : $A \rightarrow B$ et $B \leftarrow A$.

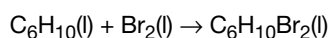
Tableau I - **Étude comparative des flèches utilisées dans les manuels de chimie.** Une étude comparative menée sur un total de près de quatre cents ouvrages dans plus de vingt langues différentes permet de conclure que, dans la plus grande majorité des cas, les auteurs utilisent (à bon escient le plus souvent) les simples et doubles flèches ; très peu n'utilisent qu'un seul symbole (simple ou double), et très rares sont ceux utilisant le signe égal. Nous avons trouvé ce dernier dans certains ouvrages de thermodynamique, dans le *Basic Inorganic Chemistry* de F.A. Cotton, G. Wilkinson et P.L. Gaus (Wiley, 1994, 3^e éd.) et dans un livre russe, Краткий справочник по химии. 3-е издание, Злотников Э Г, (Издательский дом "Питер", 2013).

Langue	Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Quelques ouvrages dans lesquels ne sont utilisées que des flèches simples				
Allemand	Chemische Aufgaben	I. Schön, B. Dorbath	Hanser Verlag	1998
Anglais	Chemistry for High School	Coll.	Rex Bookstore, Inc.	2000
Anglais	High School Chemistry Handbook	A. Carmichael	AuthorHouse	2010
Anglais	Chemistry: Principles and Reactions	W.L. Masterton, C.N. Hurley, E.J. Neth	Cengage Learning	2011
Arabe	الشامل في الكيمياء العضوية العملية	العقالي، الجازي بنت ابراهيم	Obeikan Bookshop	2007
Danois	Ny Fysik/kemi C	E. Flønsted-Jensen	Gyldendal Uddannelse	2005
Espagnol	Soluciones acuosa : teoría y aplicacione	F.J. Trujillo Santacoloma	Universidad de Medellin	2004
Polonais	Chemia w gimnazjum. Podręcznik uczeni	Z. Kluz	Sklep WSiP	2010
Russe	Химия. Тесты для повторения и подготовки	Остроумов И.Г., Никитюк Т.В., Никитюк А.М.	Издательство Лицей	2006
Russe	Общая и неорганическая химия в схемах, рисунках, таблицах, химических реакциях. Учебное пособие	Гаршин А.П.	Издательский дом "Питер"	2013
Quelques ouvrages dans lesquels ne sont utilisées que des flèches doubles				
Allemand	Chemische Thermodynamik: Grundlagen, Übungen, Lösungen	W. Schreiter	Walter de Gruyter	2010
Espagnol	Química : una ciencia experimental	Chemical Education Material Study	Reverte	1987
Ouvrages dans lesquels sont utilisées des flèches simples et doubles				
Allemand	Physikalische Chemie und Biophysik	G. Adam, P. Läger, G. Star	Springer Dordrecht	2009
Allemand	Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie	H. Kaufmann, A. Hädener	Birkhäuser Verlag	2006
Anglais	Inorganic Chemistry in Aqueous Solution	J. Barret	Royal Society of Chemistry	2003
Chinois	普通化學	魏明通	五南圖書出版股份有限公司	2006
Chinois	化妝品化學	趙坤山	五南圖書出版股份有限公司	2006
Danois	Kend Kemien 2	K.K. Mortensen	Gyldendal Uddannelse	2007
Italien	Chimica 2	A. Terzaghi	Alpha Test	2000
Italien	Chimica: Schemi e Tavole di Sintesi. Disegni Esplicativi	Coll.	De Agostini	2011

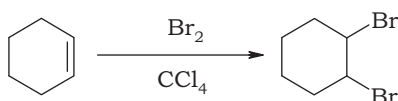
Le cas des cycles catalytiques est un peu particulier et ne sera pas développé ici.

Les usages spécifiques en chimie de synthèse

L'équation chimique n'est pas la seule façon symbolique de représenter une réaction chimique. En chimie organique, il est courant de rencontrer les « schémas » de synthèse. Ainsi, la réaction dont l'équation s'écrit :



peut aussi se rencontrer sous la forme :



Dans un schéma de synthèse, la molécule d'intérêt (ou substrat) est placée comme seul réactif à gauche de la flèche, le produit d'intérêt est placé à droite. De part et d'autre de la flèche figurent des informations : coréactif, solvant(s), catalyseur, conditions réactionnelles (température, mode d'activation, etc.). Les sous-produits n'apparaissent pas. La stœchiométrie n'est pas mise en évidence, par souci de simplification.

Une réflexion peut être engagée pour tenter d'uniformiser ces schémas de synthèse [10] dont il existe des représentations qu'il peut être conseillé d'utiliser et d'autres déconseillées au contraire pour des raisons didactiques comme cela est justifié dans les exemples du *tableau II*. Il convient d'éviter aussi les représentations mixtes (voir *tableau II*).

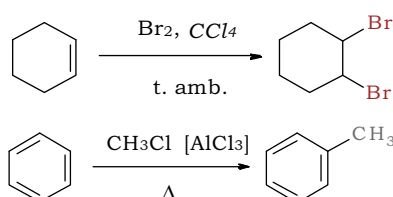
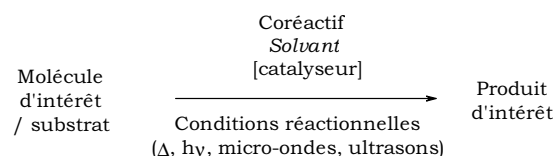
Pour simplifier la lecture et l'interprétation des schémas de synthèse en situation d'apprentissage, nous proposons de distinguer par la typographie :

- au-dessus de la flèche, le coréactif ;

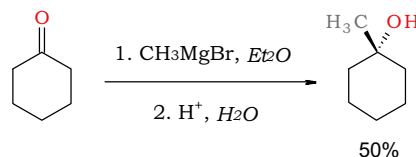
Tableau II - Exemples de représentations conseillées et déconseillées.

Déconseillé car risque de faire croire que les deux produits sont formés en égales quantités	
Conseillé	
Déconseillé car représentation mixte	
Conseillés	Le schéma de synthèse : ou l'équation de réaction :
Autre représentation possible	Ces flèches courbes souvent utilisées par les biochimistes sont aussi couramment utilisées dans les cycles catalytiques en chimie organométallique.

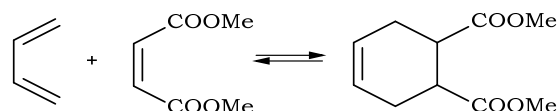
- au-dessus ou en dessous : en italique le solvant, entre crochets le catalyseur ;
- en dessous de la flèche, les conditions réactionnelles.



S'il existe plusieurs étapes dans la synthèse, pour passer du substrat au produit, une numérotation figure de part et d'autre de la flèche pour préciser l'ordre de la succession des étapes :



Concernant les transformations pouvant s'effectuer dans les deux sens, le symbole de la double flèche à doubles pointes est préconisé :



Conclusion

Les obstacles didactiques lors de l'apprentissage de la chimie sont nombreux, notamment en ce qui concerne les modélisations des transformations chimiques, tant au niveau observable que moléculaire. Il apparaît dès lors nécessaire d'accorder un soin tout particulier dans l'introduction et l'emploi du langage symbolique spécifique de la discipline pour ne pas créer artificiellement des obstacles supplémentaires : c'est le but recherché par les recommandations proposées dans cet article autour du symbole de la flèche.

Bibliographie

- Lakshminarayanan A., Arrows in chemistry, *Resonance, Journal of Science Education*, Indian Academy of Sciences/Springer (www.ias.ac.in/resonance), janv. **2010**, p. 51.
- Alvarez S., Chemistry: a panoply of arrows, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2012**, 51(3), p. 590.
- Jensen W.B., The symbolism of chemical equations, *J. Chem. Educ.*, **2005**, 82, p. 1461.

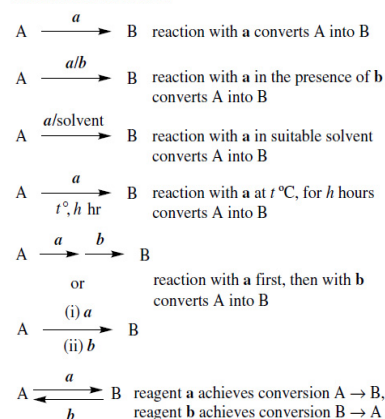
Notes et références

- [1] Référence faite aux flèches courbes à simple pointe (mécanisme radicalaire), double pointe (mécanisme par attaque de doublet) et aux flèches désignant des formes mésomères ($\longleftrightarrow$).
- [2] Niveau qualifié usuellement en chimie et en SVT de « microscopique » ; l'appellation « niveau moléculaire » serait plus judicieuse.
- [3] Nous choisissons ici de ne pas tenir compte des diagrammes d'affinités développés au cours du XVIII^e siècle.
- [4] Marshall H., Vorschlag, Betreffend den Gebrauch Modifizierter Gleichheitszeichen in der Chemischen Zeichensprache, *Z. Physik. Chem.*, **1902**, 41, p. 103 (« Proposition relative à l'utilisation du signe égal modifié dans la langue des signes chimiques ») ; Marshall H., Suggested modifications of the sign of equality for use in chemical notation, *Proc. Edin. Roy. Soc.*, **1904**, 24, p. 85.
- [5] Il s'avère que dans certaines situations, il s'agit aussi d'une facilité typographique imposée par l'éditeur.
- [6] Notons que les Anglo-Saxons ne font pas de confusion dans les différents usages du mot « équilibre » puisqu'ils utilisent les mots « balancing » pour l'ajustement des nombres stœchiométriques et « equilibrium » pour désigner l'équilibre thermodynamique.
- [7] Laidler K.J., Symbolism and terminology in chemical kinetics, *Pur. Appl. Chem.*, **1981**, 53, p. 753. Notons que dans la suite de cet article, Laidler utilise le symbole $\rightleftharpoons$ pour les réactions qualifiées d'opposées (« reactions occurring in forward and reverse directions »).
- [8] Collectif, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, 3rd ed., IUPAC-RSC Publishing, **2007**, p. 52, www.iupac.org/fileadmin/user_upload/publications/e-resources/ONLINE-IUPAC-GB3-2ndPrinting-Online-Sep2012.pdf

[9] « Les équations ont une signification différente en mathématiques et en physique. « Équation » chimique signifie seulement que la somme des masses à gauche de la flèche « est égal » à la masse totale à droite de la flèche. Les substances, les propriétés ou les énergies sont différentes des deux côtés de la flèche. Le terme « équation » pourrait donc être trompeur pour les débutants et devrait être remplacé par un symbole de réaction. » Barke H.-D., Harsch G., Schmid S., *Essentials of Chemical Education*, Springer-Verlag, 2012, paragraphe « 7.1.3 Terminology at School », p. 193.

[10] Il n'existe pas de normalisation des schémas de synthèse en chimie organique. Des auteurs proposent néanmoins des recommandations, comme par exemple P.M. Dewick (*Essentials of Organic Chemistry: For Students of Pharmacy, Medicinal Chemistry and Biological Chemistry*, John Wiley & Sons, 2006) :

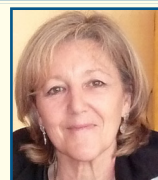
Information on arrows



Dans cette proposition, a/b et a/solvant sont très proches et ne permettent pas aux débutants une identification simple des coréactifs et des solvants.



X. Bataille



M.-B. Mauhourat



M. Vigneron

Xavier Bataille

est professeur au lycée Pierre-Gilles de Gennes-ENCPB, Paris¹.

Marie-Blanche Mauhourat

est Inspectrice générale de l'Éducation nationale, groupe de physique chimie de l'Inspection générale².

Michel Vigneron

est Inspecteur d'Académie et Inspecteur pédagogique régional (IA-IPR), Académie de Paris³.

¹ Lycée Pierre-Gilles de Gennes, ENCPB, 11 rue Pirandello, F-75013 Paris.

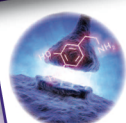
² Inspection générale de l'Éducation nationale, 107 rue de Grenelle, F-75007 Paris.

Courriel : marie-blanche.mauhourat@education.gouv.fr

³ Rectorat de Versailles, 3 boulevard de Lesseps, F-78000 Versailles. Courriel : michel.vigneron@ac-paris.fr

vient de paraître

Chimie et cerveau



Yves Agid
Morgane Beeson
Joël Boeckx
Jean-Pierre Chagnoux
Daniel Chopot
Brigitte Kierfel
Michèle Lamberki
Bernard Massey
Bernard Nègre
Laurent Poullet
Pierre Saliouff
Claire Wyatt

Coordonné par
Mohamed El-Ghoul
Daniel Giner
Paul Rigny

sciences

Fondation de la Maison de la Chimie

Chimie et cerveau

M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier, P. Rigny (coord.)

216 p., 25 €

EDP Sciences/Fondation de la Maison de la Chimie, 2015

Objet le plus complexe de la création, le cerveau humain commande nos comportements, nos actions, nos états, mentaux ou physiques. Comment espérer relier cet organe mou et insaisissable aux fonctions de la vie, de l'humeur, des maladies ?

La science des vingt dernières années a tracé la voie des réponses, et la chimie y occupe une place toute particulière.

Ses champs d'applications sont : les techniques d'imagerie modernes, pour voir le cerveau « en situation réelle » au niveau moléculaire ; l'observation des transformations des structures internes du cerveau, pour comprendre les processus du vieillissement ; la lutte contre la dépression, les addictions, les maladies neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer...) et autres maladies du cerveau.

Des perspectives stupéfiantes se présentent pour la santé publique des prochaines générations.

Cet ouvrage de la collection « L'Actualité Chimique-Livres » fait suite au colloque de la série « Chimie et... » de la Fondation de la Maison de la Chimie.

À commander chez votre libraire ou
sur laboutique.edpsciences.fr