

Quel symbole de la flèche utiliser pour décrire les transformations chimiques ?

1. Indications officielles (BO)

Les symboles pour modéliser les transformations chimiques ont été indiqués dans certains programmes. En effet dans les nouveaux programmes des années 2000 (BO n°4 du 30/08/2001), l'utilisation du signe égal pour symboliser la réaction chimique est préconisée (même dans le cas de transformations totales).

1. Une transformation chimique n'est pas toujours totale et la réaction a lieu dans les deux sens

- Introduction du pH et de sa mesure.
- Mise en évidence expérimentale sur une transformation chimique donnée, d'un avancement final différent de l'avancement maximal.
- Symbolisme d'écriture de l'équation de la réaction : le signe égal =.
- Etat d'équilibre d'un système chimique.

Dans les nouveaux programmes de 2010-2012, le signe égal = est abandonné. C'est le retour des flèches :

B.O. Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011	
Réaction chimique par échange de proton Le pH : définition, mesure. Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a . Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides α -aminés).	<i>Mesurer le pH d'une solution aqueuse.</i> Reconnaître un acide, une base dans la théorie de Brønsted. Utiliser les symbolismes \rightarrow , \leftarrow et \rightleftharpoons dans l'écriture des réactions chimiques pour rendre compte des situations observées.

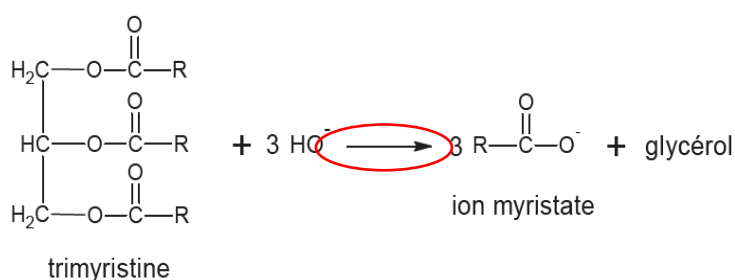
Dans les nouveaux programmes de 2020-2021, on ne trouve aucune indication sur les symboles à utiliser. Seule la dénomination de **la flèche courbe** apparaît dans le programme de terminale.

Cette absence de préconisation laisse une place importante à l'implicite et au regard des sujets d'examens ou de concours, un certain flou demeure dans l'utilisation des flèches. On observe également une grande disparité dans les manuels scolaires.

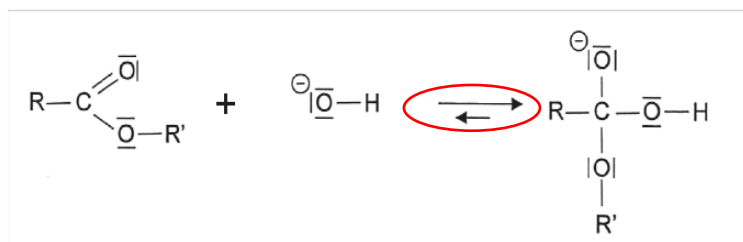
Pour preuve, quelques extraits de sujets d'examens ou de concours.

Exercice bac S, 2019 :

Pour effectuer cette synthèse, on fait tout d'abord réagir la trimyristine avec un excès d'ions hydroxyde selon la réaction dont l'équation est donnée ci-dessous :

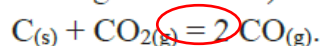


La trimyristine contient trois fonctions ester. On donne ci-après une des étapes du mécanisme de la réaction entre un ester et l'ion hydroxyde :



Extrait Concours CC INP (anciennement ENSI puis CCP) 2018

L'une des méthodes industrielles la plus couramment employée pour synthétiser du monoxyde de carbone consiste à réaliser une médiamutation du carbone graphite avec le dioxyde de carbone gazeux selon l'équilibre de Boudouard (processus de gazéification) :

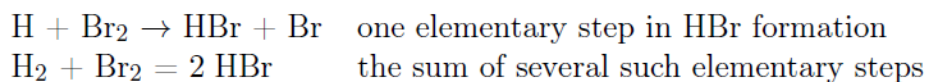


2. Recommandations internationales

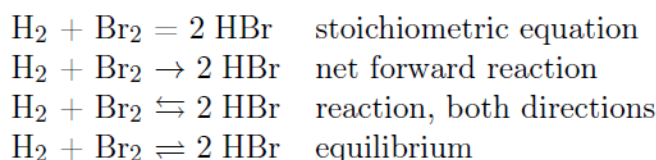
Dans le Greenbook de l'IUPAC, 3^{ème} édition, 2007, page 52, on trouve les recommandations ci-dessous.

(iv) Equations for chemical reactions

(a) On a *microscopic* level the reaction equation represents an elementary reaction (an event involving single atoms, molecules, and radicals), or the sum of a set of such reactions. Stoichiometric numbers are ± 1 (sometimes ± 2). A single arrow is used to connect reactants and products in an elementary reaction. An equal sign is used for the "net" reaction, the result of a set of elementary reactions (see Section 2.12.1, p. 68).



(b) On a *macroscopic* level, different symbols are used connecting the reactants and products in the reaction equation, with the following meanings:



<https://iupac.org/what-we-do/books/greenbook/>

Cependant :

- ➔ ces informations sont peu relayées ;
- ➔ chaque éditeur a ses habitudes d'écriture ;
- ➔ le BO ne précise pas ces notions.

3. Recommandations pour nos élèves

3.1. Au niveau macroscopique

Symbole égal « = »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mise en évidence de la stœchiométrie. ■ Aucune information sur l'avancement 	$C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$
Simple flèche « → »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Réaction totale 	Exemple : réaction de dosage $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$
Double flèche à simples pointes : « \rightleftharpoons »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Équilibre chimique 	Exemple : acide faible dans l'eau $CH_3CO_2H(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$
Double flèche à doubles pointes : « \longleftrightarrow »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deux réactions possibles : <ul style="list-style-type: none"> ✓ sens direct dans certaines conditions ✓ sens inverse dans d'autres conditions. 	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \end{array} + \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{OH} \\ \text{CH}_3 \end{array} \xrightleftharpoons[(2)]{(1)} \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} + \text{H}_2\text{O} $ <p>Sens direct (1) : milieu acide, chauffage Sens indirect (2) : hydrolyse en milieu basique</p> $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longleftrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ <p>Sens direct (1) : pile Sens indirect (2) : électrolyse</p>

 Une double-flèche avec des flèches de longueur différente est à proscrire.

De la 2^{nde} à la terminale, si on souhaite ne pas multiplier l'utilisation de symboles, les simples flèches « → » et double flèches à simple pointes « \rightleftharpoons » permettent de traiter l'ensemble des notions exigibles.

3.2. Au niveau microscopique

Dans l'écriture des mécanismes réactionnels, on écrit un acte élémentaire avec une simple flèche. On trouve également la double flèche à doubles pointes pour combiner sur une seule ligne deux actes élémentaires.

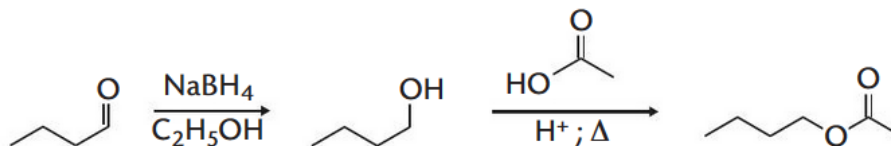
Simple flèche « → »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Acte élémentaire 	$(CH_3)_3C^+ + H_2O \rightarrow (CH_3)_3COH_2^+$
Double flèche doubles pointes « \longleftrightarrow »	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deux actes élémentaires : $\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow A \end{array}$ 	$(CH_3)_3CCl \longleftrightarrow (CH_3)_3C^+ + Cl^-$

4. En chimie organique

4.1. Schémas de synthèse

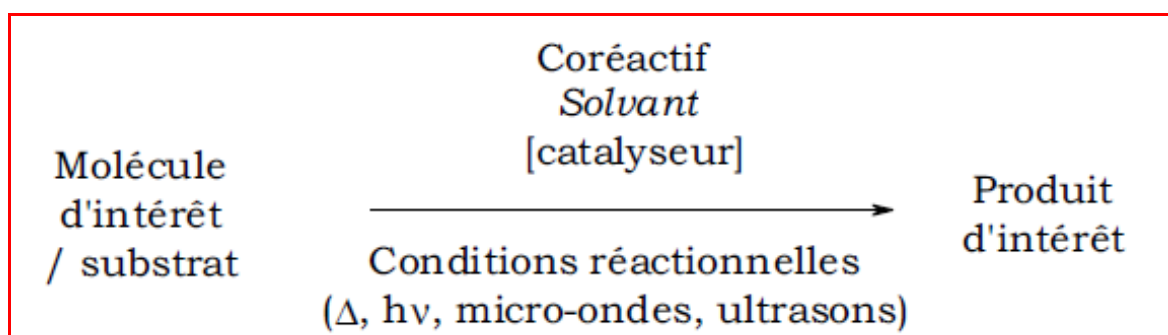
En chimie organique, on rencontre également des schémas de synthèse qui présentent les réactifs et produits d'intérêt à gauche et à droite d'une flèche simple. Les sous-produits n'apparaissent pas. Des informations figurent de part et d'autre de la flèche simple : le ou les coréactif(s), solvant, catalyseur...

Exemple (Hachette, Physique-chimie, terminale spécialité, p 201) :

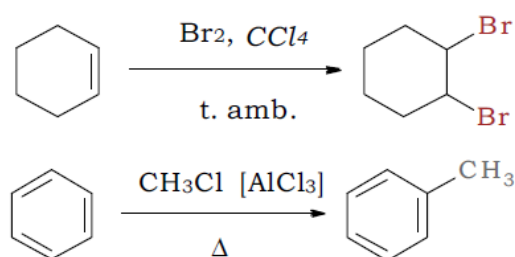


Dans l'**actualité chimique** n°399, p 44 à 49, d'après « *Du bon usage de la flèche comme symbole de la transformation chimique* », Xavier Bataille, Marie-Blanche Mauhourat et Michel Vigneron proposent une typographie intéressante :

- Au-dessus de la flèche : le coréactif ;
- Au-dessus ou en dessous : en italique le solvant, entre crochet le catalyseur ;
- En dessous de la flèche, les conditions réactionnelles.



Exemples :



4.2. Mécanismes réactionnels

La **formation** ou la **rupture d'une liaison** se schématise par une **flèche courbe**. Cette flèche représente le déplacement d'un doublet d'électrons.

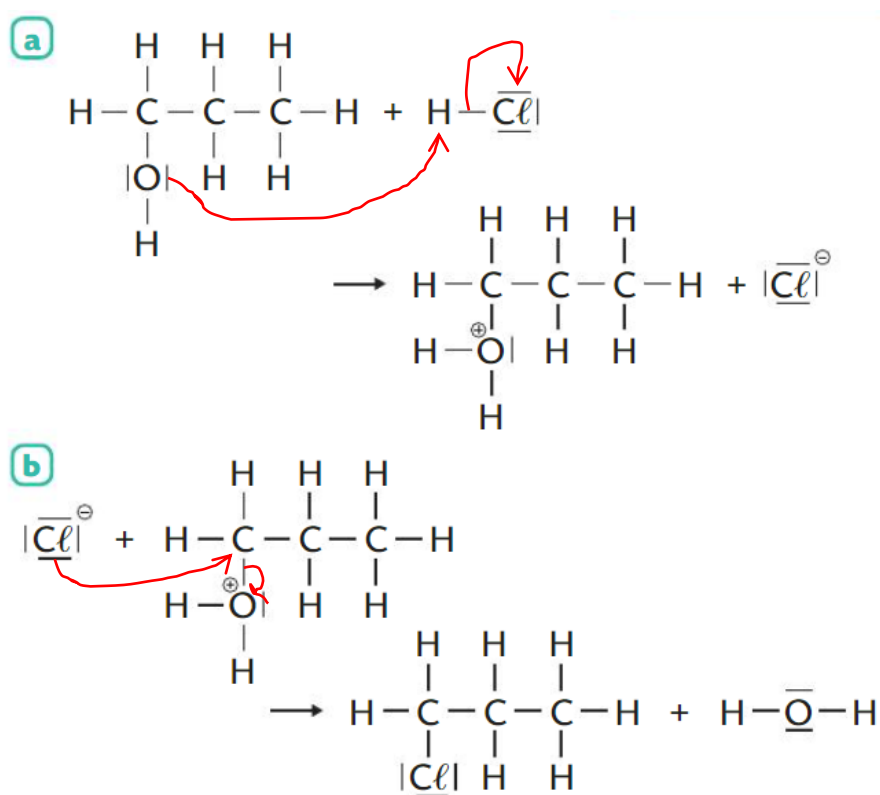
Méthode pour les élèves :

① Identifier du côté des réactifs, **les liaisons rompues** (en rouge) et du côté **des produits** les **liaisons créées** (en vert).

② **Formation d'une liaison.** Du côté des réactifs, identifier le site donneur et accepteur.
Représenter le mouvement du doublet (doublet liant ou non liant) par une flèche courbe du site donneur vers le site accepteur.

③ **Rupture d'une liaison.** Du côté des réactifs, identifier l'atome le plus électronégatif.
Représenter le déplacement du doublet liant vers l'atome le plus électronégatif par une flèche courbe.

Exemple (Hachette, Physique-chimie, terminale spécialité, exercice 11 p 201) :



Conclusion :

L'usage des symboles en chimie organique peut constituer un véritable obstacle didactique. Il n'existe pas de recommandations officielles mais ces quelques préconisations de l'IUPAC ou proposées dans l'article de l'actualité chimique peuvent constituer de bons repères.

Chaque professeur conserve sa liberté pédagogique mais un consensus dans l'équipe sur l'utilisation des symboles de la 2^{nde} à la terminale peut apporter une cohérence et favoriser les apprentissages.