

Suivre et modéliser l'évolution temporelle d'un système siège d'une transformation chimique

Vidéo : [Accéder à la vidéo du cours](#)

Manuel : pages 287 à 290



Vidéo du cours

Chaque transformation chimique se déroule avec une vitesse qui lui est propre. Il est cependant possible de modéliser ces observations par des lois de vitesse qui permettent de prévoir l'évolution temporelle d'un système chimique : c'est ce qu'étudie la **cinétique chimique**.

- Certaines réactions semblent quasi instantanées, comme la décoloration du permanganate de potassium par les ions fer (II) : cette réaction peut donc être utilisée lors d'un titrage direct.
- D'autres réactions sont beaucoup plus lentes, comme l'oxydation des métaux ou encore la décomposition de l'eau oxygénée.

14.1 Facteurs cinétiques

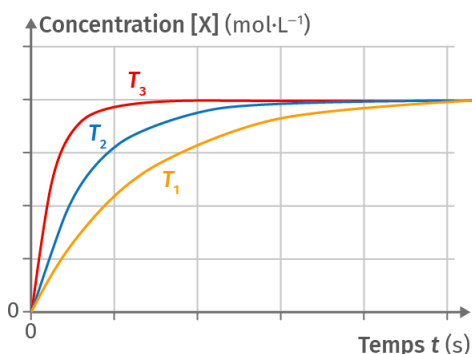


FIGURE 1 – $T_3 > T_2 > T_1$

À retenir

La température est un facteur qui influe sur la cinétique de la réaction. Dans la plupart des cas, plus la température est élevée, plus la transformation chimique est rapide.

Au début de la réaction, la concentration de réactifs est élevée (non représenté sur le graphique) et l'on voit que les produits se forment rapidement. La concentration d'une solution est également un facteur cinétique. **Plus la concentration des réactifs est élevée, plus la cinétique est grande.**

À retenir

Modifier la cinétique d'une transformation chimique ne modifie pas l'état final : à la fin, la concentration ou la quantité de matière de produit formé est toujours identique, seule la durée nécessaire pour l'atteindre change.

14.2 La catalyse

À retenir

Un **catalyseur** est une espèce chimique capable d'accélérer la vitesse d'une réaction chimique. Un catalyseur est **régénéré** à la fin de la transformation chimique : il n'apparaît donc pas dans l'équation de la réaction.

La catalyse peut être :

- **homogène**, si le catalyseur est présent dans la même phase que les réactifs ;
- **hétérogène**, par exemple si le catalyseur est solide alors que les réactifs sont liquides ;
- **enzymatique**, en biologie les enzymes, dont la terminaison est « ase », sont des catalyseurs.

14.3 Vitesse volumique d'une réaction chimique

Dans cette partie, on notera P les produits de la réaction et R les réactifs.

14.3.1 Vitesse volumique de formation des produits

La vitesse d'apparition d'un produit est donnée par l'évolution de sa concentration entre deux instants successifs :

$$v_{app} = \frac{[P](t + \Delta t) - [P](t)}{\Delta t}$$

Si l'on fait tendre Δt vers 0, on retrouve la notion de dérivée comme en mécanique :

$$v_{app} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{[P](t + \Delta t) - [P](t)}{\Delta t} \right) = \frac{d[P]}{dt}$$

Σ ♥ Formule à connaître

La vitesse d'apparition d'un produit est donnée par la dérivée de sa concentration par rapport au temps :

$$v_{app} = \frac{d[P]}{dt}$$

Pour déterminer graphiquement la vitesse d'apparition d'un produit à la date t_1 , il faut déterminer le **coefficient directeur de la tangente à la courbe** à la date t_1 : c'est le nombre dérivé.

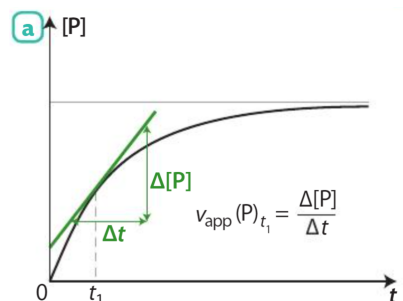


FIGURE 2 – La valeur du coefficient directeur de la droite en vert donne la vitesse de la réaction à la date t_1

14.3.2 Vitesse volumique de disparition des réactifs

Σ ♥ Formule à connaître

De la même manière, la vitesse de disparition d'un réactif est donnée par la dérivée de sa concentration par rapport au temps. On y ajoute un signe « - » afin d'obtenir une valeur de vitesse positive :

$$v_{disp} = -\frac{d[R]}{dt}$$

La méthode est la même pour déterminer graphiquement la vitesse de réaction, mais il ne faut pas oublier de rajouter le signe « - » afin d'obtenir une valeur de vitesse positive !

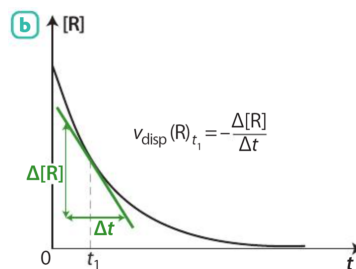


FIGURE 3 – La valeur du coefficient directeur de la droite en vert donne l'opposé de la vitesse de la réaction à la date t_1

Comment justifier dans chaque cas que la vitesse de réaction diminue au cours du temps ?

Remarque

Le coefficient directeur de la tangente à la courbe est de plus en plus faible en valeur absolue : la vitesse de réaction diminue donc au cours du temps.

14.4 Temps de demi-réaction

♥ À retenir

Le **temps de demi-réaction**, noté $t_{1/2}$, est la durée nécessaire pour que la moitié du réactif limitant soit consommée.

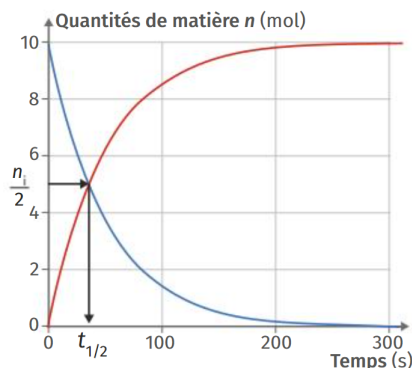


FIGURE 4 – Attention à bien se référer à la courbe en bleue qui correspond au réactif limitant et non pas à la courbe en rouge!

Remarque

Pour une réaction totale, c'est la durée qui correspond à la formation de la moitié des produits.

14.5 Loi de vitesse d'ordre 1

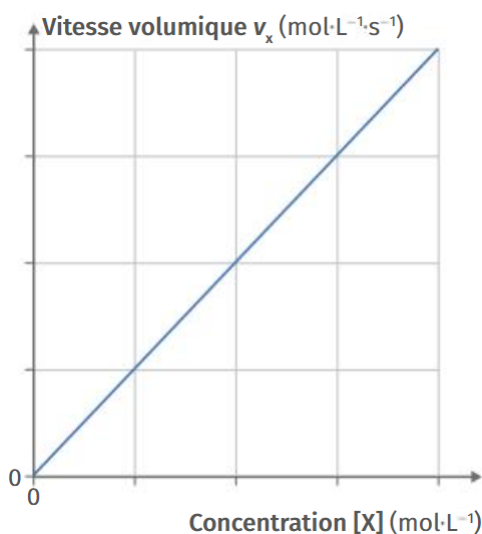


FIGURE 5 – Une loi de vitesse d'ordre 1

À retenir

Si la vitesse de disparition (ou d'apparition) d'un réactif (ou d'un produit) est proportionnelle à sa concentration, alors la loi de vitesse est dite d'ordre 1 par rapport à ce réactif (ou ce produit).

En traçant la vitesse volumique en fonction de la concentration, on obtient une droite passant par l'origine :

$$v_{app} = k[P] \quad \text{ou} \quad v_{disp} = k[R]$$

La constante k est appelée **constante de vitesse**. Son unité dépend du choix d'unité pour les durées : dans l'exemple ci-contre, k est en s^{-1} .

14.6 Pour aller plus loin : équation différentielle d'une cinétique d'ordre 1

Pour une loi d'ordre 1, on sait que $v_{disp} = k[R]$ et que $v_{disp} = -\frac{d[R]}{dt}$. Il vient donc que :

$$k[R] = -\frac{d[R]}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{d[R]}{dt} + k[R] = 0$$

Cette équation contient à la fois la variable $[R]$ et sa dérivée : on appelle cela une **équation différentielle**.

On cherche une solution de la forme :

$$[R] = A e^{-kt}$$

Remarque

La fonction exponentielle est l'unique fonction dont la dérivée est égale à elle-même (à un coefficient près), ce qui en fait la candidate naturelle pour résoudre ce type d'équation.

A est une constante d'intégration que l'on détermine grâce aux conditions initiales. À $t = 0$, on a $[R] = [R]_0$, donc :

$$[R]_0 = A e^{-k \times 0} = A \quad \text{d'où} \quad A = [R]_0$$

La solution de l'équation différentielle est donc :

$$[R] = [R]_0 e^{-kt}$$

L'évolution de la concentration en fonction du temps est donc une exponentielle décroissante, ce qui correspond bien à la figure 3 observée précédemment.

Expression du temps de demi-réaction

On sait que si $t = t_{1/2}$, alors $[R] = \frac{[R]_0}{2}$. Il vient donc que :

$$\begin{aligned} \frac{[R]_0}{2} &= [R]_0 e^{-k t_{1/2}} \\ \Leftrightarrow \frac{1}{2} &= e^{-k t_{1/2}} \\ \Leftrightarrow \ln \frac{1}{2} &= \ln(e^{-k t_{1/2}}) \\ \Leftrightarrow \ln \frac{1}{2} &= -k t_{1/2} \\ \Leftrightarrow -\ln 2 &= -k t_{1/2} \\ \Leftrightarrow t_{1/2} &= \frac{\ln 2}{k} \end{aligned}$$

La fonction $\ln$ est le logarithme népérien, qui est la fonction réciproque de l'exponentielle. Elle possède des propriétés mathématiques proches de celles du logarithme décimal $\log$.



Formule à savoir utiliser

Le temps de demi-réaction d'une loi de vitesse d'ordre 1 s'exprime par la relation :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Maîtrise				
Compétence				
Justifier le choix d'un capteur de suivi temporel de l'évolution d'un système.				
Identifier, à partir de données expérimentales, des facteurs cinétiques.				
Citer les propriétés d'un catalyseur et identifier un catalyseur à partir de données expérimentales.				
<i>Compétence expérimentale : Mettre en évidence des facteurs cinétiques et l'effet d'un catalyseur.</i>				
<i>Compétence expérimentale : À partir de données expérimentales, déterminer une vitesse volumique de disparition d'un réactif, une vitesse volumique d'apparition d'un produit ou un temps de demi-réaction.</i>				
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre une méthode physique pour suivre l'évolution d'une concentration et déterminer la vitesse volumique de formation d'un produit ou de disparition d'un réactif.</i>				
Identifier, à partir de données expérimentales, si l'évolution d'une concentration suit ou non une loi de vitesse d'ordre 1.				