BURHAN

Résumé : Transformations chimiques qui ont lieu dans les deux sens

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/transformations-chimiques-dans-les-deux-sens/resume

Chapitre	Semestre
Transformations chimiques qui ont lieu dans les deux sens	Semestre 1

Acide, base et couple selon Brønsted

À retenir : Repérer qui donne le proton et qui le reçoit

Tout le chapitre repose sur un échange : une espèce perd un proton, une autre le reçoit. Avant d'écrire quoi que ce soit, repère le donneur et le receveur.

Définition : Acide et base selon Brønsted

Selon Brønsted, un **acide** est une espèce chimique capable de céder au moins un proton $\mathrm{H^+}$.

Une **base** est une espèce chimique capable de capter au moins un proton $\mathrm{H^+}$.

Définition : Couple acide/base et ampholyte

Un acide et la base qu'il forme en cédant un proton constituent un **couple acide/base**, noté acide/base. Pour un couple noté $\mathrm{HA/A^-}$, la **demi-équation acido-basique** s'écrit :

$$\mathrm{HA \rightleftharpoons A^- + H^+}$$

Une espèce qui est l'acide d'un couple et la base d'un autre couple est un **ampholyte**. L'eau en est un : elle appartient aux couples $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$ et $\mathrm{H_2O/HO^-}$.

Exemple : Le couple de l'acide hypochloreux

L'acide hypochloreux HClO perd un proton et devient l'ion hypochlorite $\mathrm{ClO^-}$. Le couple s'écrit $\mathrm{HClO/ClO^-}$:

$$\mathrm{HClO \rightleftharpoons ClO^- + H^+}$$

Équation d'une réaction acido-basique

Définition : Réaction acido-basique entre deux couples

Une **réaction acido-basique** est un transfert de proton de l'acide d'un couple vers la base d'un autre couple. Avec les couples $\mathrm{acide_1/base_1}$ et $\mathrm{acide_2/base_2}$, son équation s'écrit :

$$\mathrm{acide_1 + base_2 \rightleftharpoons base_1 + acide_2}$$

Elle s'obtient en additionnant les deux demi-équations de façon que le proton $\mathrm{H^+}$ disparaisse : il figure dans les demi-équations, jamais dans l'équation de la réaction.

Méthode : Construire l'équation en quatre gestes

1. **Donneur et receveur** : nomme l'acide qui réagit, la base qui réagit et leurs couples.
2. **Deux demi-équations** : l'une libère $\mathrm{H^+}$, l'autre l'absorbe.
3. **Somme** : ajoute-les ; le proton s'élimine.
4. **Bilan** : compte éléments et charges, puis note les états.

Exemple : L'acide nitreux avec l'eau

Couples. $\mathrm{HNO_2/NO_2^-}$ pour l'acide nitreux, $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$ pour l'eau, qui reçoit le proton.

Équation. Avec l'état de chaque espèce :

$$\mathrm{HNO_{2(aq)} + H_2O_{(\ell)} \rightleftharpoons NO_{2(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+}$$

Attention : Aucun proton libre dans une équation

$\mathrm{H^+}$ n'a sa place que dans une demi-équation. Dans l'équation d'une réaction, il ne reste que l'acide, la base et les deux espèces formées ; dans l'eau, c'est l'ion oxonium qui porte le proton.

pH et concentration en ions oxonium

Définition : pH d'une solution aqueuse diluée

Pour une solution aqueuse diluée, le **pH** est défini à partir de la concentration effective des ions oxonium $\mathrm{H_3O^+}$, exprimée en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$$\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H_3O^+}]$$

Réciproquement :

$$[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-\mathrm{pH}}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

Le pH est un nombre sans unité. Plus la concentration en ions oxonium est grande, plus le pH est petit. Il se mesure avec un pH-mètre étalonné.

Exemple : Du pH à la concentration pour l'acide hypochloreux

Une solution d'acide hypochloreux à $5{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ a un pH de $4{,}40$.

$$[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-4{,}40}$$
$$= 4{,}0 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

Méthode : Réussir une mesure au pH-mètre

1. **Réglage** : étalonne l'appareil avec deux solutions de pH connu.
2. **Sonde propre** : rince-la à l'eau distillée et sèche-la sans frotter.
3. **Mesure** : plonge-la, agite doucement, patiente jusqu'à un affichage fixe.
4. **Notation** : écris toutes les décimales affichées, puis rince la sonde.

Attention : Deux décimales du pH, deux chiffres significatifs

Un pH donné au centième fixe deux chiffres significatifs pour $[\mathrm{H_3O^+}]$. Avec un pH de $4{,}40$, écris $4{,}0 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, pas $3{,}981 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

Avancement final et avancement maximal

Remarque : Le tableau d'avancement

Rappel : le tableau d'avancement suit chaque espèce de l'état initial à l'état final. Le réactif limitant est celui qui s'épuise le premier ; il fixe l'avancement maximal.

Définition : Avancement final, avancement maximal et transformation limitée

L'**avancement maximal** $x_{\max}$ est la valeur que prendrait l'avancement si le réactif limitant était entièrement consommé ; il se calcule avec le tableau d'avancement.

L'**avancement final** x_f est la valeur de l'avancement quand le système n'évolue plus ; il se détermine à partir d'une mesure.

- Si $x_f = x_{\max}$, la transformation est **totale** ; son équation s'écrit avec la flèche $\longrightarrow$.
- Si $x_f < x_{\max}$, la transformation est **limitée** : elle a lieu dans les deux sens et son équation s'écrit avec le symbole $\rightleftharpoons$.

Exemple : Avancements d'une solution d'acide nitreux

Système. $V = 125{,}0\,\mathrm{mL}$ d'acide nitreux à $c = 8{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, de pH 2,75 ; $n_0 = c\,V = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol}$.

État	Avancement	$\mathrm{HNO_2}$	$\mathrm{NO_2^-}$	$\mathrm{H_3O^+}$
initial	0	n_0	0	0

État	Avancement	$\mathrm{HNO_2}$	$\mathrm{NO_2^-}$	$\mathrm{H_3O^+}$
en cours	x	$n_0 - x$	x	x
final	x_f	$n_0 - x_f$	x_f	x_f

Avancements. L'eau est en excès : $x_{\max} = n_0 = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol}$. Et $x_f = 10^{-2{,}75} \times 0{,}1250 = 2{,}2 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol}$.

Bilan. $x_f < x_{\max}$: la transformation est limitée.

Attention : Le solvant n'est jamais limitant

Face à un acide dissous, l'eau est le solvant : elle est toujours en excès. L'avancement maximal se lit donc sur l'acide seul, $x_{\max} = c\,V$.

Calculer et interpréter le taux d'avancement final

Définition : Taux d'avancement final

Le **taux d'avancement final** d'une réaction est le quotient de son avancement final par son avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

C'est un nombre sans unité, tel que $0 < \tau \leq 1$, que l'on peut aussi exprimer en pourcentage. Pour une transformation totale, $\tau = 1$; pour une transformation limitée, $\tau < 1$.

Propriété : Taux d'avancement final de la réaction d'un acide avec l'eau

Un acide HA est introduit dans l'eau avec la concentration apportée c ; la solution a un volume V et son pH est mesuré à l'état final. Si les ions oxonium proviennent uniquement de la réaction de l'acide avec l'eau, alors :

$$x_f = 10^{-\mathrm{pH}} \cdot V$$

$$\tau = \frac{10^{-\mathrm{pH}}}{c}$$

avec V en litres, c en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et x_f en moles.

Méthode : Du pH au taux d'avancement final

1. **Équation** : écris la réaction de l'acide avec l'eau.
2. **Tableau** : en tire $x_{\max} = c\,V$, l'acide étant limitant.
3. **Mesure** : $[\mathrm{H_3O^+}]_f = 10^{-\mathrm{pH}}$, puis x_f en multipliant par V.

4. **Taux** : divise x_f par $x_{\max}$ et compare le résultat à 1.

Exemple : Taux d'avancement de deux solutions d'acides

Acide nitreux. $\tau = \dfrac{2{,}2 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}22$, soit $22\,\%$.

Acide hypochloreux. $\tau = \dfrac{10^{-4{,}40}}{5{,}0 \times 10^{-2}} = 8{,}0 \times 10^{-4}$, soit $0{,}080\,\%$.

Les deux transformations sont limitées.

À retenir : Reconnaître une transformation totale par le pH

Pour un acide dans l'eau, la transformation est totale quand $[\mathrm{H_3O^+}]_f = c$, c'est-à-dire $\mathrm{pH} = -\log c$. Un pH plus élevé signale une transformation limitée.

État d'équilibre dynamique

Propriété : État d'équilibre et interprétation microscopique

Lorsqu'une transformation est limitée, le système atteint un **état d'équilibre** : à l'échelle macroscopique, les quantités de matière des réactifs et des produits n'évoluent plus.

À l'échelle microscopique, la réaction se poursuit dans les deux sens. À l'équilibre, par unité de temps, les chocs efficaces entre réactifs (sens direct) sont aussi nombreux que les chocs efficaces entre produits (sens inverse) : les deux sens se compensent. L'équilibre est **dynamique**.

Exemple : Équilibre dynamique d'une solution d'acide hypochloreux

Dans la solution d'acide hypochloreux, le pH reste à $4{,}40$ heure après heure. Pourtant, à chaque instant, des molécules HClO cèdent un proton à l'eau et des ions $\mathrm{ClO^-}$ en reprennent un aux ions oxonium, au même rythme.

Attention : Équilibre ne veut pas dire arrêt

Une composition qui ne change plus ne signifie pas une réaction finie. Dans les deux sens, les réactions continuent et se compensent : parle d'équilibre dynamique, jamais d'arrêt.

Gestes et formules du chapitre

Méthode : Quelle méthode pour quelle question ?

- **Acide ou base** : qui cède, qui capte le proton.

- **Équation acido-basique** : deux demi-équations ajoutées, proton éliminé.
- **Concentration depuis le pH** : $10^{-\mathrm{pH}}$, deux chiffres significatifs.
- **pH depuis la concentration** : $-\log[\mathrm{H_3O^+}]$.
- **Totale ou limitée** : comparer x_f à $x_{\max}$.
- **Taux d'avancement** : x_f divisé par $x_{\max}$, ou $10^{-\mathrm{pH}}$ divisé par c pour un acide dans l'eau.
- **État final** : équilibre dynamique, chocs efficaces dans les deux sens.

Demi-équation

$$\mathrm{HA} \rightleftharpoons \mathrm{A^-} + \mathrm{H^+}$$

Acide avec l'eau

$$\mathrm{HA} + \mathrm{H_2O} \rightleftharpoons \mathrm{A^-} + \mathrm{H_3O^+}$$

pH

$$\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H_3O^+}]$$

Ions oxonium

$$[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-\mathrm{pH}}$$

Avancement maximal

$$x_{\max} = c\,V$$

Avancement final

$$x_f = 10^{-\mathrm{pH}} \cdot V$$

Taux

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

Taux, acide avec l'eau

$$\tau = \frac{10^{-\mathrm{pH}}}{c}$$

À retenir : Rédiger en devoir

Écris l'équation, puis le tableau d'avancement, et nomme le réactif limitant. Convertis les volumes en litres. Chaque concentration et chaque avancement portent leur unité ; τ n'en a pas. Termine par une phrase qui dit si la transformation est totale ou limitée.