

Sujet 3 : Avancement d'une réaction chimique et tableau d'évolution

Introduction

Qu'il s'agisse de la respiration, de la combustion ou d'un dosage en laboratoire, les réactions chimiques nous entourent et obéissent toutes à une logique déterminée par un modèle : les réactifs forment des produits selon des proportions fixes. Cette logique peut être modélisée grâce à l'avancement d'une réaction chimique, modélisé par un tableau d'avancement.

Problématique : Comment la notion d'avancement et le tableau d'avancement permettent-ils de modéliser le déroulement d'une réaction chimique ?

I. La réaction chimique : un modèle pour représenter une transformation de la matière

1. Définition d'une réaction chimique

- Une **réaction chimique** est un processus au cours duquel une ou plusieurs **espèces chimiques sont transformées** en d'autres.

Conservation de la masse et de la charge

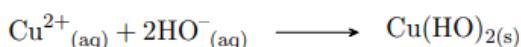
Lors d'une réaction chimique, il y a **conservation de la masse et de la charge**

Les atomes présents initialement dans les réactifs sont toujours présents dans les produits, même s'ils sont arrangés autrement. De même, la charge globale initiale des réactifs doit être la même que la charge globale des produits.

Pour équilibrer une équation bilan, on utilise des **coefficients stœchiométriques**.

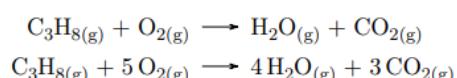
2. Représentation de la réaction par une équation chimique

- Une équation chimique doit être :
 - **équilibrée** (même nombre d'atomes de chaque type de part et d'autre),
 - rédigée avec des **coefficients stœchiométriques** entiers devant chaque formule chimique.
- Ces coefficients donnent les **proportions de réaction** : (*monter la conservation des charges et des atomes*)

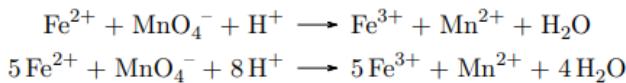


3. Réaliser une équation de réaction, utile et indispensable au tableau

- Montrer avec une réaction simple : *montrer aussi comment équilibrer la réaction*



- Montrer aussi avec les réactions d'oxydoréduction : *avec les demi-équations*
- **Demi-équations :** [Présentation de la méthode](#) pour réaliser une demi-équation :
 - Conservation des éléments chimiques autres que H et O
 - Conservation de l'O par ajout d'H₂O
 - Conservation de l'H par ajout de H⁺
 - Conservation de la charge élec avec e⁻
 - Vérifier que les e⁻ ont été ajoutés du côté de l'oxydant
 - (Optionnel : changer le pH si besoin)
- **DONNER et pas faire** les demi-équations en suivant la méthode avec le **FER** et le **Mn** (*sinon ça prendrait trop de temps*)



II. Le rôle de la stœchiométrie et l'avancement

1. L'avancement d'une réaction chimique

- **Suivi de l'évolution d'une transformation chimique, ça permet :**
 - Suivre l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques présentes.
- **État initial (E.I) :**
 - Correspond aux quantités de matière des réactifs présents initialement.
 - Se situe à l'instant $t=0$.
- **Etat intermédiaire :**
 - La quantité de matière des réactifs diminue au cours du temps.
 - La quantité de matière des produits augmente.
- **État final (E.F) :**
 - La réaction est terminée lorsque les quantités de matière des espèces présentes cessent d'évoluer.
 - C'est aussi le cas quand la quantité de matière d'un au moins des réactifs est nulle.
- **Avancement de la réaction x :**
 - Quantifie comment les quantités de matières évoluent entre l'état initial et l'état final.
 - Exprimé en moles (mol).

2. Réactif limitant, avancement maximal et réaction totale

- On appelle réaction totale une réaction chimique qui ne s'arrête que lorsque l'un au moins des réactifs a été entièrement consommé.
- Lorsque l'état final est atteint, on a donc l'avancement final de la réaction x_f . Dans le cas où la réaction est totale, on dit qu'on a atteint l'avancement maximal et alors $x_f = x_{max}$.

- Lorsqu'une réaction est totale, c'est qu'il y a au moins un des réactifs qui est entièrement consommé, et que donc la réaction est forcée de s'arrêter. A ce moment-là, on appelle réactif(s) limitant(s) le ou les réactifs qui sont entièrement consommés, et réactif en excès celui ou ceux qui sont encore présents en quantité non négligeable dans l'état final.
- Parfois, lorsque tous les réactifs ont été introduits dans des proportions telles qu'ils se retrouvent tous entièrement consommés au même instant, on dit alors que la réaction était dans les proportions stoechiométriques.
- L'avancement maximal x_{max} est obtenu par : (*cf fiche du TP C08, mais tout est écrit ci-dessous*)

Pour une réaction de support de titrage d'équation, où le réactif $A_{(aq)}$ est titré par le réactif $B_{(aq)}$:



La stoechiométrie de la réaction (totale) impose donc la relation suivante entre l'état final et l'état initial préparé :

$$\frac{\Delta n_A}{\alpha} = \frac{\Delta n_B}{\beta} = x_{max}$$

3. Le tableau d'avancement : outil de modélisation de l'avancement d'une réaction

- Il décrit l'évolution des quantités de matière en trois étapes :
 - État initial
 - Etat intermédiaire (en fonction de l'avancement x)
 - État final
- Ce tableau permet de modéliser l'évolution de la réaction

Équation de réaction		aA	+	bB	\rightarrow	cC	+	dD
Etat du système	Avancement (mol)	$n(A)$		$n(B)$		$n(C)$		$n(D)$
Etat initial	$x = 0$	$n_0(A)$		$n_0(B)$		0		0
Etat intermédiaire	x	$n_0(A) - a.x$		$n_0(B) - b.x$		$c.x$		$d.x$
Etat final	x_{max}	$n_0(A) - a.x_{max}$		$n_0(B) - b.x_{max}$		$c.x_{max}$		$d.x_{max}$

Bien expliquer comment fonctionne le tableau d'avancement, il modélise la réaction.

3. Application à des situations expérimentales

Équation de la réaction		CH4	+	2 O2	\rightarrow	CO2	+	2 H2O
Etat initial	$x = 0$	3		5		0		0
Etat intermédiaire	x	$3 - x$		$5 - 2x$		$0 + x$		$0 + 2x$
Etat final	$x = x_{max}$	$3 - x_{max}$		$5 - 2x_{max}$		x_{max}		$2x_{max}$

- Faire l'exemple avec 3 mol de CH₄, 5 mol de O₂, donc formation de 1 mol de CO₂ et 2 mol de H₂O
- Cela permet de calculer une concentration en connaissant un volume et une concentration initiale, par exemple.
- Chercher dans cet exemple quel est le réactif limitant, avec les quantités données :
 - Réactif limitant : O₂
 - xmax=2,5 mol
 - Etat final :
 - CH₄ : 0,5 mol
 - O₂ : 0 mol
 - CO₂ : 2,5 mol
 - H₂O : 5 mol

III. L'avancement et la stœchiométrie dans les sciences appliquées

1. Suivi d'une réaction

- L'avancement x peut être mesuré expérimentalement grâce à :
 - Une variation de masse (ex. : dégagement de gaz),
 - Une variation de volume (réaction gazeuse),
 - Une variation de pH ou de conductivité,
 - Une absorbance (en spectrophotométrie).
- Cela permet de suivre une cinétique chimique (vitesse d'évolution du système).

2. Rendement et efficacité des réactions, dans le cas d'une synthèse par exemple, déterminé par le tableau d'avancement

- Le rendement d'une réaction est donné par :
- $$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{th}}}$$
- En réalité, le rendement n'est pas toujours de 100 % :
 - Réaction incomplète,
 - Pertes expérimentales,
 - Réactions secondaires.

Conclusion

In fine, le modèle de la réaction chimique accompagné de la stœchiométrie et de la notion d'avancement forme un cadre fondamental pour la compréhension des transformations chimiques. Il permet d'expliquer le comportement des réactifs et produits, de prévoir les quantités mises en jeu et de suivre expérimentalement le déroulement d'une réaction.

Il est fondamental aussi bien dans le cadre scolaire, que dans les laboratoires d'analyse, ou dans les procédés industriels. Ce modèle montre à quel point la chimie est une science rigoureuse, et structurée.

NB : Le lien avec le titrage peut très bien se faire dans cette présentation, si vous manquez de temps, n'hésitez pas à faire ce lien qui peut faire gagner des minutes.