



Transformations chimiques d'un système

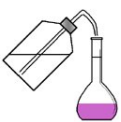
Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Transformations chimiques d'un système



Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

1

Description d'un système physico-chimique

2



Formule chimique - état physique

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Un système physico-chimique contient différentes espèces chimiques qui peuvent être présentes sous différents états physiques.

À chaque espèce chimique, on associe une formule chimique et un état physique.

Exemples :

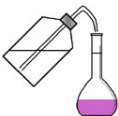
.....

.....

.....

.....

.....



Quantité de matière

Transformations
chimiques
d'un système

La quantité de matière d'une espèce chimique s'exprime en

Description
d'un système
physico-
chimique

Quantité de matière et nombre d'Avogadro

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Masse molaire

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

La masse d'une mole d'une espèce chimique est appelé « la masse molaire ».

Les masses molaires des atomes sont tabulées.

Exemples :

.....

.....

.....

.....

.....



Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

On calcule alors aisément la masse molaire d'une espèce chimique polyatomique

Exemples :

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Relation entre masse et quantité de matière

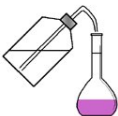
Exemple : Calculer la quantité de matière présente dans 1 kg d'eau liquide.

.....

.....

.....

.....



Concentration molaire/Concentration massique

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

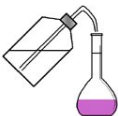
Définitions :

La concentration molaire d'une espèce chimique dans un système chimique monophasé, est la quantité de matière de cette espèce présente dans ce système par unité de volume :

$$C = \frac{n}{V}$$

La concentration massique d'une espèce chimique dans un système chimique monophasé, est la masse de cette espèce présente dans ce système par unité de volume :

$$C_m = \frac{m}{V}$$



Exemples :

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



- Déterminer la concentration molaire en ion chlorure dans cette eau.

.....

.....

.....



► Quelle est la concentration molaire de l'eau pure ?

.....

.....

.....

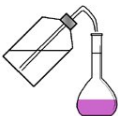
Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

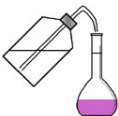
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

2

Réalisation d'une solution aqueuse



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

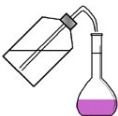
Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Définition

Une solution aqueuse est une solution pour laquelle le solvant est l'eau

Pour réaliser dans de bonnes conditions une solution aqueuse, il convient de choisir les bonnes pièces de verrerie, de prendre garde aux risques et gestes de sécurité liés à la manipulation des différentes substances.





Verrerie de stockage

Transformations
chimiques
d'un système

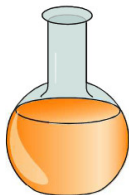
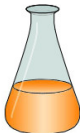
Description
d'un système
physico-
chimique

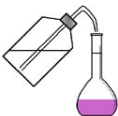
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Ces pièces de verrerie NE PEUVENT PAS servir pour prélever précisément un liquide.





Verrerie de prelevement

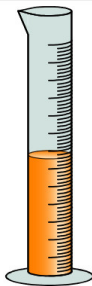
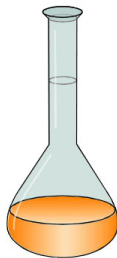
Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre





Pictogrammes

Transformations chimiques d'un système

Description d'un système physico-chimique

Réalisation d'une solution aqueuse

Réaction chimique

Évolution d'un système chimique vers un état d'équilibre

Ancien



Corrosif

Nouveau



Ancien



Dangereux à long terme

Nouveau



Ancien



Comburant

Nouveau



Ancien



Inflammable

Nouveau



Ancien



Explosif

Nouveau



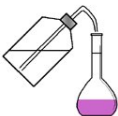
Ancien



Toxique

Nouveau





Transformations chimiques d'un système

Description d'un système physico-chimique

Réalisation d'une solution aqueuse

Réaction chimique

Évolution d'un système chimique vers un état d'équilibre

Ancien



Nouveau



Ancien



Nouveau



Ancien

Réceptif sous pression

Nouveau



Dangereux pour l'environnem...

Irritant / nocif

Nom de la substance ou mélange

Méthanol

Formule, renseignements...

CH_3OH , $M=32,04$ g/mol, $d=0,791$

Pictogrammes

Le cadre rouge est obligatoire



Mention d'avertissement

DANGER, ATTENTION, ou aucune

DANGER

Mentions de danger et informations additionnelles

H225: Liquide et vapeurs très inflammables.
H301+H311+H331 (3): Toxique par ingestion, par contact cutané ou par inhalation.
H370: Risque avéré d'effets graves pour les organes.

Conseils de prudence (les plus pertinents)

P101: En cas de consultation d'un médecin, garder à disposition le récipient ou l'étiquette
P210: Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes-Ne pas fumer.
P242: Ne pas utiliser d'outils produisant des étincelles.
P260: Ne pas respirer les brouillards/vapeurs/aérosols.
P280: Porter des gants de protection/des vêtements de protection/un équipement de protection des yeux/du visage.
P301+P310: EN CAS D'INGESTION : appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin
P303+P361+P353: EN CAS DE CONTACT AVEC LA PEAU (ou les cheveux) : enlever immédiatement les vêtements contaminés. Rincer à l'eau/se doucher.
P314: Consulter un médecin en cas de malaise

Autres informations

(CAS, CE, fabricant, vendeur...)

N° CAS : 67-56-1

N° CE : 200-659-6

Création gratuite d'étiquette : <http://etiquette.sciencemagasine.net>



Protocole pour réaliser une dissolution

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

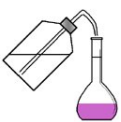
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Réaliser une ampoule de chlorure de sodium à partir de poudre de NaCl.



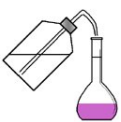
Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Protocole pour réaliser une dilution

Diluer la solution précédente d'un facteur 10.

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



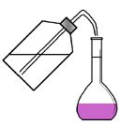
Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

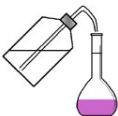
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

3

Réaction chimique



Nombres stœchiométriques

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

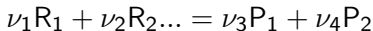
Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

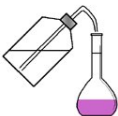
Définition

Une réaction chimique est une transformation au cours de laquelle des constituants initialement présents dans le système (réactifs) sont transformés en d'autres constituants (produits).

Cette transformation peut être modélisée par une équation de réaction :



où les ν_i ($i \in (1, 2, \dots)$) sont les nombres stœchiométriques associés à la réaction chimique.



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Remarque :

On peut également écrire une réaction chimique sous la forme

$$\sum_i \bar{\nu}_i A_i = 0$$

où $\bar{\nu}_i$ représente les nombres stœchiométriques algébriques.

Pour

- ▶ Si $\bar{\nu}_i < 0$ alors A_i est un réactif.
- ▶ Si $\bar{\nu}_i > 0$ alors A_i est un produit.



Avancement de réaction

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

L'évolution de l'état du système peut être décrit par l'avancement de la réaction.

Pour un composant A_i , la quantité de matière à un instant t peut s'écrire

$$n_i(t) = n_i(t = 0) + \bar{\nu}_i \xi(t)$$

$\xi(t)$ est l'avancement de la réaction à l'instant t .

Si la réaction est « totale », celle-ci s'arrête dès que l'un des réactifs disparaît totalement.

Le réactif qui disparaît totalement et entraîne l'arrêt de la réaction s'appelle

Si tous les réactifs sont limitants on dit qu'on est



Application : Synthèse de l'ammoniac

Transformations
chimiques
d'un système

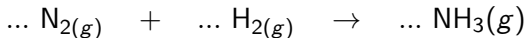
Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

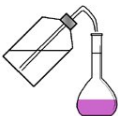
On considère la réaction totale suivante :



À l'instant initial, on considère mélange constitué de :

- ▶ 10 mol de diazote
- ▶ 22 mol de dihydrogène
- ▶ 74 mol d'ammoniac

1. L'avancement de réaction à $t = t_1 > 0$ est de 2 moles. Déterminer la composition du système à cet instant.
2. Quel est le réactif limitant ?
3. Déterminer la composition du système à l'instant final.
4. Quelle quantité de diazote aurait-il fallu introduire initialement pour que les réactifs soient dans les proportions stœchiométriques ?



Autres paramètres descriptifs

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

- ▶ Avancement volumique : $x = \frac{\xi}{V_{\text{syst}}}$
- ▶ Taux d'avancement : $\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$
- ▶ Taux de dissociation $\alpha = \frac{n_{\text{dissociée}}}{n_{\text{initiale}}}$

Intérêt : Grandeurs intensives

Exemple : Dissociation de l'acide acétique CH_3COOH dans l'eau
($C_0 = 1 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$)

.....

.....

.....



**Transformations
chimiques
d'un système**

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

**Réaction
chimique**

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



**Transformations
chimiques
d'un système**

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

**Réaction
chimique**

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



**Transformations
chimiques
d'un système**

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

**Réaction
chimique**

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

4

Évolution d'un système chimique vers un état d'équilibre



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Lorsque la réaction n'est pas totale, le système atteint un état d'équilibre chimique macroscopique alors qu'aucun des réactifs n'a été entièrement consommé.

Pour un système physico-chimique dans un état initial donné et pour une réaction chimique donnée, comment prévoir l'évolution du système vers son état d'équilibre final ?

Pour cela on définit de nouvelles grandeurs :

- ▶ l'activité d'un constituant a_i ,
- ▶ le quotient réactionnel Q_r ,
- ▶ la constante d'équilibre K° .



Activité d'un constituant

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

À chaque constituant d'un système physico-chimique on associe une grandeur appelée « activité chimique ». L'expression de l'activité chimique dépend de la forme sous laquelle le constituant est présent dans le système :

- ▶ Solvant :
- ▶ Solide :
- ▶ liquide :
- ▶ Soluté :
- ▶ Gaz :



Quotient réactionnel

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

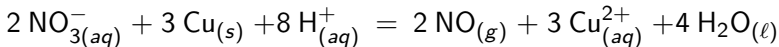
Réaction
chimique

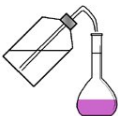
Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Pour un système chimique susceptible de réagir selon une réaction d'équation $\sum_i \bar{\nu}_i A_i$ on définit à chaque instant le quotient réactionnel :

$$Q_r = \prod_i a_i^{\bar{\nu}_i}$$

Exemple :





Constante d'équilibre

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

À chaque réaction chimique est associé une grandeur sans dimension K° appelée constante d'équilibre thermodynamique (ou constante de réaction).

Cette quantité peut être calculée à partir de données thermodynamiques tabulées.

Dans les chapitres suivants nous verrons comment calculer cette quantité pour des réactions acide-base et des réactions d'oxydo-réduction.

Loi d'action de masses (LAM) (ou Loi de Gudberg et Waage)

Lorsque l'équilibre est atteint,

$$Q_{r,eq} = K^\circ$$



Transformations chimiques d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

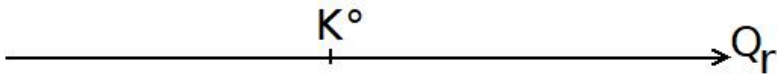
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

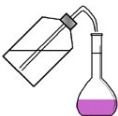
Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

Conséquences :

- ▶ Le quotient de réaction à l'équilibre (lorsqu'il est atteint) ne dépend pas de la composition initiale du système.
- ▶ L'état final dépend de la température car K° dépend (uniquement) de T .
- ▶ En comparant $Q_{r,i}$ et K° on peut prévoir le sens d'évolution du système chimique





Application : Équilibre acide base

Transformations
chimiques
d'un système

Description
d'un système
physico-
chimique

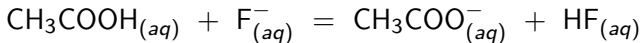
Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

On mélange à l'état initial à 25 °C sous 1 bar de l'acide éthan-
noïque $[\text{CH}_3\text{COOH}]_i = a$, de l'acide fluorhydrique $[\text{HF}]_i = b$, de
l'éthanoate de sodium $[\text{Na}^+]_i = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_i = c$ et du fluorure
de potassium $[\text{K}^+]_i = [\text{F}^-]_i = d$.

Le système peut évoluer selon la réaction d'équation :



La constante d'équilibre associée à cet équilibre vaut
 $K^\circ = 2.5 \times 10^{-2}$

1. Déterminer le sens dans lequel évolue le système dans le cas où $a = d = 1.0 \text{ mol/L}$ et $b = c = 0$.
2. Calculer l'avancement volumique de la réaction à l'état final puis la concentration des espèces chimiques.
3. L'état final est-il un état d'équilibre ?
4. Mêmes questions avec $a = b = c = d = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$



Application : Évolution d'un système hétérogène

Transformations
chimiques
d'un système

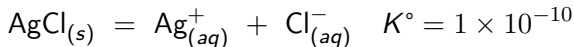
Description
d'un système
physico-
chimique

Réalisation
d'une
solution
aqueuse

Réaction
chimique

Évolution
d'un système
chimique
vers un état
d'équilibre

On place 1×10^{-6} mol de chlorure d'argent solide dans 1 L d'eau. Le chlorure d'argent peut réagir dans l'eau selon la réaction d'équation :



1. Déterminer l'état final du système. Est-ce un état d'équilibre chimique ?
2. Quelle est la quantité de chlorure d'argent minimum à dissoudre pour atteindre un équilibre chimique ?

On considère une solution de chlorure d'argent à 1×10^{-6} mol/L, c'est à dire $[\text{Ag}^{+}] = [\text{Cl}^{-}] = 1 \times 10^{-6}$ mol/L

3. Déterminer l'état final du système.