

# Quotient de réaction - constante d'équilibre

## Chapitre 4

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

19 novembre 2016

# Sommaire

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## 1 Introduction

## 2 Comment définir un quotient de réaction ?

## 3 Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

## 4 Constante d'équilibre

## 5 De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

# Sommaire

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

1 Introduction

2 Comment définir un quotient de réaction ?

3 Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

4 Constante d'équilibre

5 De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

# Sommaire

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

1 Introduction

2 Comment définir un quotient de réaction ?

3 Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

4 Constante d'équilibre

5 De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

# Sommaire

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

1 Introduction

2 Comment définir un quotient de réaction ?

3 Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

4 Constante d'équilibre

5 De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

# Sommaire

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

- 1 Introduction
- 2 Comment définir un quotient de réaction ?
- 3 Quotient de réaction dans l'état d'équilibre
- 4 Constante d'équilibre
- 5 De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

# Introduction

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

## Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?



Lors d'efforts intenses , la régulation du pH du sang met en jeu divers équilibres chimiques .

\* Quelle grandeur caractérise un équilibre chimiques ?

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

Le quotient de réaction est une grandeur qui caractérise un système chimique dans un état donné. Sa valeur, au cours de la réaction, nous renseigne sur l'évolution du système considéré. Son expression dépend de la nature du système.

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

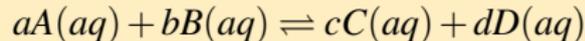
Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## 1. Systèmes ne comportant que des espèces dissoutes

*On considère un système chimique qui subit une transformation chimique modélisée par l'équation suivante :*



*Les espèces chimiques A , B, C et D dissoutes dans l'eau . a , b , c et d les coefficients stœchiométriques .*

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

*On définit le quotient de réaction  $Q_r$  qui correspond au sens direct (1) pour un état donné du système chimique par la relation suivante :*

$$Q_r = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

*[X] le nombre qui mesure dans l'état considéré du système, la concentration molaire effective de l'espèce chimique X, exprimée en mol/l. Cet état peut être, l'état initial  $[X]_i$ , final  $[X]_f$  ou un état quelconque  $[X]$ .*

*$Q_r$  n'est pas dimensionné. Sa valeur s'exprime par un nombre sans unité*

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

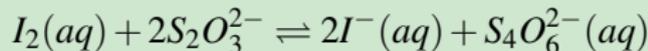
Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## Exercice d'application 1 :

On considère la réaction chimique entre le diiode  $I_2(aq)$  dissout dans l'eau et les ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}(aq)$  modélisée par l'équation chimique suivante :



A l'instant  $t$  les concentrations des espèces chimiques en solution est :

$$[I_2] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}, [S_2O_3^{2-}] = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$[I^-] = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}, [S_4O_6^{2-}] = 2,0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$$

Calculer le quotient de réaction qui correspond au sens direct de la réaction (1)

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

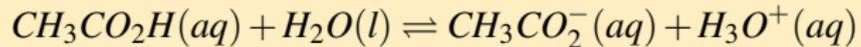
Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

Dans le cas de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau , l'équation :



l'eau à la fois réactif et solvant n n'apparaît pas dans l'expression du quotient de réaction et qui s'écrit pour un état donné du système :

$$Q_r = \frac{[CH_3CO_2^-] \cdot [H_3O^+]}{[CH_3CO_2H]}$$

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

D'une façon générale :

*Par convention, l'eau, lorsqu'elle constitue le solvant, n'intervient pas dans l'écriture d'un quotient de réaction, même si elle figure dans l'équation de la réaction.*

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

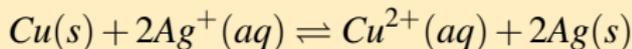
Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## 2. Système comportant des solides

On considère l'oxydation du métal cuivre  $Cu(s)$  par des ions argent ( $I$ )  $Ag^+(aq)$  selon l'équation suivante :



Le système dans état donné , comporte les espèces dissoutes  $Ag^+(aq)$  et  $Cu^{2+}(aq)$  ainsi que des espèces solides , Cu et Ag , la concentration d'un solide n'est pas définie , elle est remplacé par 1 dans l'expression de  $Q_r$  qui s'écrit :

$$Q_r = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

D'une façon générale :

*Par convention, l'expression du quotient d'une réaction faisant intervenir des solides et des espèces dissoutes ne comporte que les concentrations molaires des espèces dissoutes .*

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

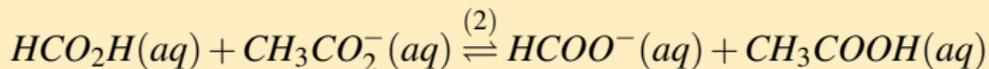
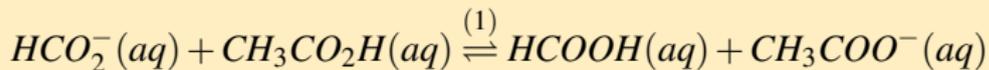
Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## 3. Propriétés du quotient de réaction

On considère un système chimique comportant en solution de l'acide éthanoïque, des ions méthanoate, de l'acide méthanoïque et des ions méthanoate.

Ce système peut évoluer soit dans le sens de formation de l'acide méthanoïque, soit dans le sens de formation des ions méthanoate.



# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

Par définition pour l'équation (1) :

$$Q_{r1} = \frac{[HCOOH] \cdot [CH_3COO^-]}{[HCO_2^-] \cdot [CH_3CO_2H]}$$

Pour l'équation (2) :

$$Q_{r2} = \frac{[HCOO^-] \cdot [CH_3COOH]}{[HCO_2H] \cdot [CH_3CO_2^-]} = \frac{1}{Q_{r1}}$$

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

D'une façon générale :

*L'expression du quotient de réaction dépend du sens de l'écriture de l'équation de la réaction : les quotients de réaction de deux réactions inverses sont inverses l'un de l'autre .*

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## Exercice d'application 2 :

Une solution aqueuse , de volume  $V$ , est obtenue en introduisant dans l'eau  $10,0\text{mmol}$  d'acide benzoïque et  $20,0\text{mmol}$  d'éthanoate de sodium .

- 1 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et les ions éthanoate , puis établir le tableau d'avancement .
- 2 Donner l'expression du quotient de réaction pour un état donné et l'exprimer en fonction de l'avancement . Conclure .

# I. Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

*Le quotient de réaction dépend de l'avancement de la réaction .*

## II. Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

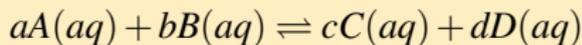
Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

*On appelle quotient de réaction à l'équilibre , la valeur qui prend le quotient de réaction lorsque le système est à l'état d'équilibre .*

*Lorsque le système atteint l'état d'équilibre , la concentration molaire effective des différentes espèces chimiques qui le constituent restent constantes au cour du temps et qui prennent des valeurs  $[X_{eq}]$  qu'on peut les déterminer par des différentes méthodes comme la conductivité par exemple .*

*Pour une réaction par exemple :*



*On a*

$$Q_{r,eq} = \frac{[C]_{eq}^c \cdot [D]_{eq}^d}{[A]_{eq}^a \cdot [B]_{eq}^b}$$

## II. Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

### Exercice d'application 3 :

On plonge une cellule conductimétrique dans un volume  $V$  d'une solution  $S$  d'acide éthanoïque de concentration apportée  $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ , on trouve  $\sigma = 343 \mu\text{S/cm}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

- 1 Quelles sont les concentrations des espèces ioniques dans cette solution à l'état d'équilibre ?

On donne :  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} = 4,09 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$

- 2 Quelle est la valeur de  $Q_{r,eq}$  dans l'état d'équilibre ?

**Réponse :**

la valeur de  $Q_{r,eq}$  dans l'état d'équilibre :

$$Q_{r,eq} = 1,6 \times 10^{-5}$$

# III. Constante d'équilibre

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

1. La valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre dépend-t-elle de l'état initial ?

## Exercice d'application 4 :

On mesure la conductivité d'une solution S' d'acide éthanoïque de concentration molaire  $C' = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ .

La valeur de la conductivité vaut  $\sigma' = 0,107 \text{ mS/cm}$  à  $25^\circ \text{C}$ .

- 1 En utilisant la même méthode précédente , déterminer le quotient  $Q'_{r,eq}$  de réaction à l'état d'équilibre .
- 2 Comparer la valeur obtenue avec celle de l'application précédente . conclure

# III. Constante d'équilibre

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

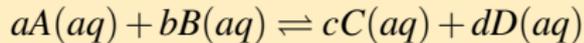
Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## 2. conclusion

*Dans un état d'équilibre d'un système , le quotient de réaction  $Q_{r,eq}$  prend une valeur indépendante de la composition initiale du système .  
À chaque équation de réaction est associée une constante  $K$  appelée constante d'équilibre . Sa valeur est égale à  $Q_{r,eq}$  et ne dépend que de la température .*

*Pour une réaction par exemple :*



*On a*

$$Q_{r,eq} = K = \frac{[C]_{eq}^c \cdot [D]_{eq}^d}{[A]_{eq}^a \cdot [B]_{eq}^b}$$

*$K$  n'a pas de dimension .*

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de réaction - constante d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Constante d'équilibre

De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

## 1. Taux d'avancement final et constante d'équilibre

### Exercice d'application 5 :

On mesure à  $25^{\circ}\text{C}$  la conductivité  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  de deux solutions  $S_1$ , l'acide éthanoïque et  $S_2$  l'acide méthanoïque, de même concentration apportée  $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ , on trouve successivement  $\sigma_1 = 343 \mu\text{S/cm}$  et  $\sigma_2 = 1129 \mu\text{S/cm}$

Acide	Constante d'équilibre
Acide éthanoïque	$K_1 = 1,6 \times 10^{-5}$
Acide méthanoïque	$K_2 = 1,6 \times 10^{-4}$

- 1 Quelles sont les concentrations des espèces ioniques dans ces deux solutions ?

On donne :  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$  ;  $\lambda_{\text{HCO}_2^-} = 5,46 \text{ mS.m}^2/\text{mol}$

- 2 Quelle est, dans chaque cas, les valeurs du taux d'avancement final de la réaction entre l'acide et l'eau ? Conclure

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

## Réponse :

$$\tau_1 = 0,018 \text{ et } \tau_2 = 0,056$$

Les deux réactions étudiées ne diffèrent que par la nature des acides mis en jeu et donc par la valeur de leur constante d'équilibre . Pour une même concentration initiale , le taux d'avancement final de ces deux réactions est différent .

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de réaction - constante d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Constante d'équilibre

De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

*Le taux d'avancement final d'une réaction dépend de sa constante d'équilibre .*

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de réaction - constante d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Constante d'équilibre

De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

## 2. Taux d'avancement final et état initial

### Exercice d'application 6 :

On mesure à  $25^{\circ}\text{C}$  la conductivité de divers solutions d'acide éthanoïque à divers concentrations apportées  $C$  :

$C(\text{mol/l})$	$\sigma(\text{mS/cm})$
$5,0 \times 10^{-2}$	0,343
$1,0 \times 10^{-2}$	0,153
$5,0 \times 10^{-3}$	0,107

Quelle est , dans chaque solution , les valeurs du taux d'avancement final de la réaction entre l'acide et l'eau ? Conclure

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de réaction - constante d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir un quotient de réaction ?

Quotient de réaction dans l'état d'équilibre

Constante d'équilibre

De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

**Réponse :**

$C(\text{mol/l})$	$[H_3O^+]_{eq}(\text{mol/l})$	$\tau$
$5,0 \times 10^{-2}$	$0,88 \times 10^{-3}$	0,018
$1,0 \times 10^{-2}$	$0,39 \times 10^{-3}$	0,039
$5,0 \times 10^{-3}$	$0,27 \times 10^{-3}$	0,054

Le taux d'avancement final de la réaction varie lorsque la concentration apportée en acide varie .

# IV. De quel paramètre dépend le taux d'avancement final ?

Quotient de  
réaction -  
constante  
d'équilibre

allal Mahdade

Introduction

Comment définir  
un quotient de  
réaction ?

Quotient de  
réaction dans  
l'état d'équilibre

Constante  
d'équilibre

De quel paramètre  
dépend le taux  
d'avancement  
final ?

*Le taux d'avancement final d'une réaction dépend de l'état initial du système*