

**AE : Notion d'équilibre chimique  
(en terminale spécialité PC)**

<b>Thème</b> : Constitution et transformation de la matière	<b>Sous-thème</b> : Prévoir l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique
---	--

**Objectifs principaux de l'activité expérimentale :**

- Mettre en évidence la notion de transformation non totale.
- Introduire la notion d'équilibre dynamique
- Déterminer la valeur du quotient de réaction final par spectrophotométrie, étudier l'influence de la composition initiale du système

<p style="text-align: center;"><b>Notions et contenus :</b></p> <p>Etat final d'un système siège d'une transformation non totale : état d'équilibre chimique. Modèle de l'équilibre dynamique.</p> <p>Quotient de réaction <math>Q_r</math>.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Objectifs attendus :</b></p> <p>Mettre en évidence la présence de tous les réactifs dans l'état final d'un système, siège d'une transformation non totale, par un nouvel ajout de réactifs.</p> <p>Déterminer la valeur du quotient de réaction à l'état final d'un système, siège d'une transformation non totale, et montrer son indépendance vis-à-vis de la composition initiale du système à une température donnée.</p>
--	---

**Compétences :**  
REA et VAL

**Pré-requis :**

- Tableau d'évolution et notion d'avancement.
- Notion de réactif limitant
- Loi de Beer-Lambert
- Réaction d'oxydoréduction

**Liste matériel :**

Au bureau :

- solution de sulfate de fer (III) de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en ions fer (III) **acidifié à l'acide sulfurique à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$**  + 2 béchers verseurs
- Solution de thiocyanate de potassium de concentration  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  **acidifié à l'acide sulfurique à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$**  + 2 béchers verseurs
- solution de sulfate de fer (III) de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  **acidifié à l'acide sulfurique à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$**  + 2 béchers verseurs
- solution de thiocyanate de potassium de concentration  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$  **acidifié à l'acide sulfurique à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$**  + 2 béchers verseurs
- solution d'acide sulfurique de concentration  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
- papier essuie tout
- recharge d'eau distillée
- béchers de récupération

Elèves : **salle de chimie**

- gants et lunettes
- 3 béchers en verre identiques de 100 mL
- 4 béchers TPX
- 1 bécher poubelle
- 1 baguette en verre
- 2 éprouvettes de 50 mL
- 2 éprouvettes de 10 mL
- 1 pissette d'eau distillée
- 4 fioles jaugées de 50,0 mL
- 1 pipette jaugée de 5,0 mL
- 1 pipette graduée de 5,0 mL
- 1 pipette compte-goutte
- spectrophotomètre avec cuves
- 5 béchers en verre de 50 mL
- 1 pipette jaugée de 10,0 mL
- 1 pipette jaugée de 15,0 mL
- 1 pipette jaugée de 20,0 mL
- 1 pipette jaugée de 25,0 mL
- 1 propipette

# AE : Notion d'équilibre chimique

## Objectifs expérimentaux :

- Mettre en évidence la présence de tous les réactifs dans l'état final d'un système siège d'une transformation non totale, par un nouvel ajout de réactifs.
- Déterminer la valeur du quotient de réaction à l'état final d'un système, siège d'une transformation non totale, et montrer son indépendance vis-à-vis de la composition initiale du système à une température donnée.

## Compétence expérimentale mises en œuvre :

### Réaliser :

- ❖ **REA** : Réaliser un dispositif expérimental, suivre un protocole donné.
- ❖ **REA** : Réaliser une représentation graphique.

### Valider :

- ❖ **VAL** : Exploiter et interpréter des observations.
- ❖ **VAL** : Exploiter et interpréter des mesures.

## I. Contexte

Les réactions de dégradations moléculaires de l'acide cyanhydrique HCN présent dans la fumée de cigarettes produisent des ions thiocyanate  $\text{SCN}^-$ , indicateur biochimique de tabagisme actif comme passif.

Pour connaître le degré d'exposition d'un individu à la fumée de cigarettes, il suffit de déterminer la concentration en ions thiocyanate de potassium dans la salive.

La concentration habituelle pour un non-fumeur varie entre 0,5 et 2,0  $\text{mmol.L}^{-1}$ . Chez les fumeurs, on peut rencontrer des concentrations voisines de 6,0  $\text{mmol.L}^{-1}$ . Elle devient significative à partir de 4,0  $\text{mmol.L}^{-1}$ .

Pour déterminer la concentration en ions thiocyanate qui sont incolores, il faut les faire réagir avec des ions fer (III) pour former les ions colorés thiocyanatofer (III) de formule  $\text{FeSCN}^{2+}$  dont on peut déterminer la concentration par spectrophotométrie.

La transformation mise en jeu est-elle totale ?

Existe-t-il une grandeur permettant de caractériser un état d'équilibre chimique ?

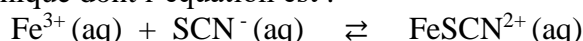


## II. Transformation totale ou non ?

### 1) Documents

#### Doc1. Synthèse des ions colorés thiocyanatofer (III)

La transformation chimique entre les ions fer (III) :  $\text{Fe}^{3+}$  et les ions thiocyanate :  $\text{SCN}^-$  est modélisée par une réaction chimique dont l'équation est :



Les ions  $\text{FeSCN}^{2+}$  donnent une coloration rouge sang à la solution qui les contient.

En milieu acide, aucune autre transformation n'est observée.



## Doc2. Quelques définitions

- Lorsque le **réactif limitant** d'une transformation chimique est **entièrement consommé**, la **transformation est dite totale**.
- Lorsque le **réactif limitant** d'une transformation chimique n'est **pas entièrement consommé**, la **transformation est non totale** (ou limitée).

## Doc3. Matériel et produits mis à disposition

- gants et lunettes
- 3 béchers en verre identiques de 100 mL
- 2 béchers TP X
- 1 bécher poubelle
- 1 baguette en verre
- 2 éprouvettes de 50 mL
- 2 éprouvettes de 10 mL
- 1 pissette d'eau distillée
- solution de sulfate de fer (III) ( $2 \text{ Fe}^{3+}(\text{aq})$ ,  $3 \text{ SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en ions fer (III)
- solution de thiocyanate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq})$ ,  $\text{SCN}^-(\text{aq})$ ) de concentration  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

### 2) Protocole expérimental

- Préparer dans un bécher un mélange de 30 mL de la solution de sulfate de fer (III) et 30 mL de la solution de thiocyanate de potassium.
- Partager ce mélange en trois parts égales dans trois béchers identiques :
  - ❖ dans le premier, ajouter 10 mL d'eau distillée : ce bécher servira de témoin.
  - ❖ dans le deuxième, ajouter 10 mL de la solution de sulfate de fer (III).
  - ❖ dans le troisième, ajouter 10 mL de la solution de thiocyanate de potassium.
- Agiter avec une baguette en verre pour homogénéiser la solution.
- Noter vos observations.

### 3) Exploitation des observations

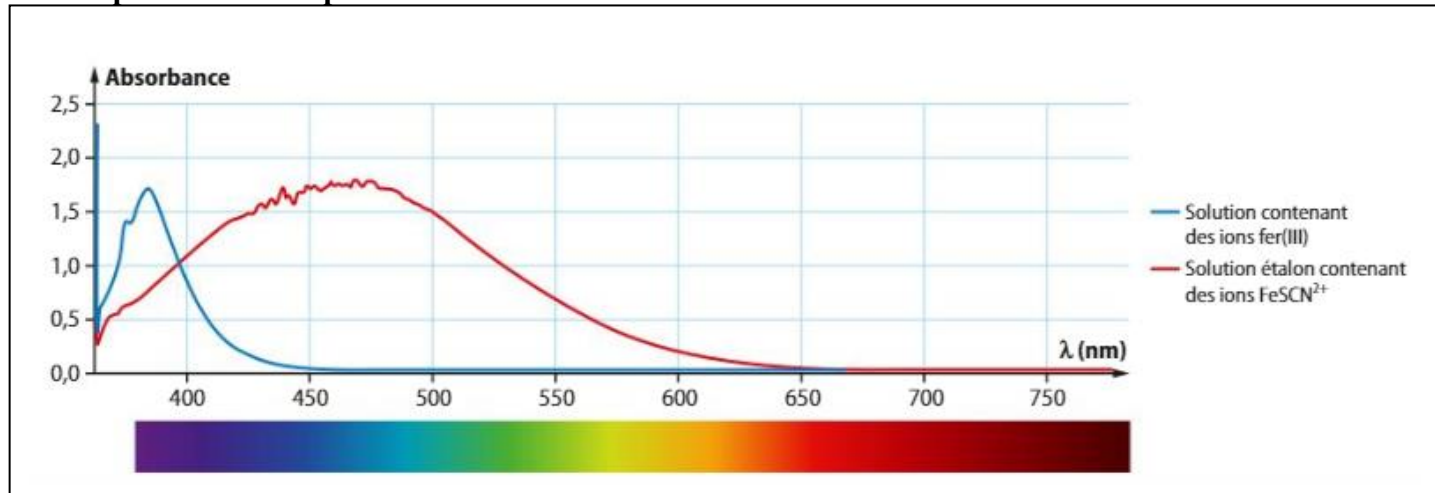
- Préciser l'espèce chimique mise en évidence par l'ajout de la solution de sulfate de fer (III) dans le 2<sup>ème</sup> bécher.
- Préciser l'espèce chimique mise en évidence par l'ajout de la solution de thiocyanate de potassium dans le 3<sup>ème</sup> bécher.
- Déterminer le caractère total ou non de la transformation qui a eu lieu

APPEL N°1	Appeler le professeur pour vérification.	VAL
		

## III. Détermination de la constante d'équilibre d'une transformation chimique

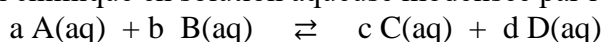
### 1) Documents

## Doc1. Spectres d'absorption



## Doc2. Complément scientifique

On considère la transformation chimique en solution aqueuse modélisée par l'équation chimique :



où  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  sont les nombres stœchiométriques des réactifs, A et B et des produits C et D.

Le quotient de réaction  $Q_r$  est un nombre sans unité défini par :

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

où les concentrations sont exprimées en  $\text{mol.L}^{-1}$ .

## Doc3. Matériel et produits mis à disposition

- gants et lunettes
- 3 béchers en verre de 100 mL
- 5 béchers en verre de 50 mL
- 4 béchers TPX
- 1 bécher poubelle
- 1 baguette en verre
- 4 fioles jaugées de 50,0 mL
- 1 pipette jaugée de 5,0 mL
- 1 pipette graduée de 5,0 mL
- 1 pipette jaugée de 10,0 mL
- 1 pipette jaugée de 15,0 mL
- 1 pipette jaugée de 20,0 mL
- 1 pipette jaugée de 25,0 mL
- 1 propipette
- 1 pipette compte-goutte
- 1 pissette d'eau distillée
- solution de sulfate de fer (III) ( $2 \text{Fe}^{3+}(aq)$ ,  $3 \text{SO}_4^{2-}(aq)$ ) de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en ions fer (III)
- solution de thiocyanate de potassium ( $\text{K}^+(aq)$ ,  $\text{SCN}^-(aq)$ ) de concentration  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$
- solution de thiocyanate de potassium ( $\text{K}^+(aq)$ ,  $\text{SCN}^-(aq)$ ) de concentration  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
- solution d'acide sulfurique de concentration  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
- spectrophotomètre avec cuves

## 2) Protocoles expérimentaux

### a) Réalisation d'une échelle de teinte en ions thiocyanatofer (III) : $\text{FeSCN}^{2+}$

- Afin de doser par spectrophotométrie les ions thiocyanatofer (III) obtenus au cours de la synthèse du protocole suivant, réaliser quatre solutions-étalons :
- ❖ dans une fiole de 50,0 mL introduire un volume  $V_{\text{Fe}}$  de solution de sulfate de fer de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en ions fer (III)
  - ❖ puis un volume  $V_{\text{SCN}}$  de solution de thiocyanate de potassium de concentration  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ .
  - ❖ compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec la solution d'acide sulfurique de concentration  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

2,07E-2

0,96

Composition des solutions-étalons	E <sub>1</sub> [FeSCN <sup>2+</sup> ] = $5,0 \cdot 10^{-1} \text{ mmol.L}^{-1}$	E <sub>2</sub> [FeSCN <sup>2+</sup> ] = $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$	E <sub>3</sub> [FeSCN <sup>2+</sup> ] = $1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$	E <sub>4</sub> [FeSCN <sup>2+</sup> ] = $2,0 \text{ mmol.L}^{-1}$
V <sub>Fe</sub> en mL	1,0	2,0	3,0	4,0
V <sub>SCN</sub> en mL	5,0	5,0	5,0	5,0
Absorbance				

- Mesurer l'absorbance de chaque solution-étalon, le spectrophotomètre étant réglé à la longueur d'onde 580 nm.  
Compléter la dernière ligne du tableau.
- Tracer et modéliser la courbe d'étalonnage :  $A = f([\text{FeSCN}^{2+}])$

APPEL N°2	Appeler le professeur pour vérification.	REA
		

### b) Etude quantitative de la transformation chimique

- Réaliser les mélanges ci-dessous en utilisant une solution de thiocyanate de potassium de concentration  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et la solution de sulfate de fer (III) de concentration  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en ions fer (III).

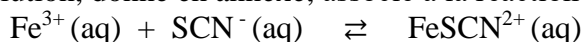
Mélange	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>
Volume V <sub>Fe</sub> en mL	10,0	10,0	10,0	10,0	20,0
Volume V <sub>SCN</sub> en mL	10,0	15,0	20,0	25,0	25,0
Quantité de matière n <sub>Fe,i</sub> d'ions Fe <sup>3+</sup> dans l'état initial en μmol	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$
Quantité de matière n <sub>SCN,i</sub> d'ions SCN <sup>-</sup> dans l'état initial en μmol	$2,0 \cdot 10^1$	$3,0 \cdot 10^1$	$4,0 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^1$
A					
[FeSCN <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> en mmol.L <sup>-1</sup>					
x <sub>f</sub> en μmol					
Q <sub>r,f</sub>					

- Mesurer l'absorbance de chaque mélange à la longueur d'onde de 580 nm.  
Compléter la ligne du tableau correspondante.
- A l'aide de la courbe d'étalonnage, en déduire la concentration [FeSCN<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> des ions thiocyanatofer (III) dans l'état final de chaque mélange.  
Compléter la ligne du tableau correspondante.

## 3) Exploitation des mesures

- a) Justifier le choix du réglage de la longueur d'onde à 580 nm pour les mesures d'absorbance.

- b) i) Compléter le tableau d'évolution, donné en annexe, associé à la réaction d'équation :



- ii) Montrer que l'avancement final de chaque mélange M<sub>i</sub> est donné par la formule :

$$x_f = [\text{FeSCN}^{2+}]_f \times V \text{ où } V \text{ est le volume total du mélange } M_i.$$

Compléter la ligne du tableau ci-dessus correspondante.

- c) i) Ecrire l'expression littérale du quotient de réaction  $Q_{r,f}$  dans l'état final de chaque mélange  $M_i$ , associée à la réaction étudiée en fonction de  $n_{Fe}$ ,  $n_{SCN}$ ,  $x_f$  et  $V$ .  
 ii) Pour chaque mélange  $M_i$ , calculer cette valeur.  
 Compléter la ligne du tableau ci-dessus correspondante.
- d) i) Afficher et modéliser la courbe  $Q_{r,f} = f(x_f)$ .  
 ii) Analyser la courbe obtenue et conclure.

APPEL N°3	Appeler le professeur pour vérification.		
			
		VAL	

## Annexe

Equation chimique				
Etat du système	Avancement			
Etat initial	$x = 0$			
Etat intermédiaire	$x$			
Etat final	$x_f$			

## Remarques à destination des professeurs

### Choix du TP

La grande majorité des équipes auteurs des manuels de terminale spécialité physique-chimie ont choisi d'illustrer ces deux compétences expérimentales attendues par deux expériences distinctes.

Pour la première « caractère non totale d'une transformation », ce peut-être une proposition qualitative ou quantitative.

- Mesure d'absorbance ou analyse par tests d'identification du mélange réactionnel lors d'une réaction entre les ions  $\text{Ag}^+$  et les ions  $\text{Fe}^{2+}$ .
- Analyse de divers mélanges réactionnels entre les ions fer (III) et les ions thiocyanate avec formation du des ions colorés thiocyanatofer (III) :  $\text{FeSCN}^{2+}$ .

Pour la seconde « détermination du quotient de réaction à l'état final » :

- Mesures conductimétriques ou pH-métriques pour une réaction acido-basique sachant que l'étude du  $K_a$  est prévue après dans le programme.
- Mesures d'absorbance pour une réaction d'oxydo-réduction. Cette orientation s'articule logiquement avec la suite du programme qui traite des piles. La réaction choisie à chaque fois est celle entre les ions fer III et les ions thiocyanate en milieu acide avec formation ions colorés thiocyanatofer (III) :  $\text{FeSCN}^{2+}$ .

On peut aussi opter pour un TP qui réunit les deux (gain de temps dans la progression), c'est le choix d'un TP proposé par un collègue du GTP et qui a pu le tester.

Le TP proposé reprend ses conditions expérimentales.