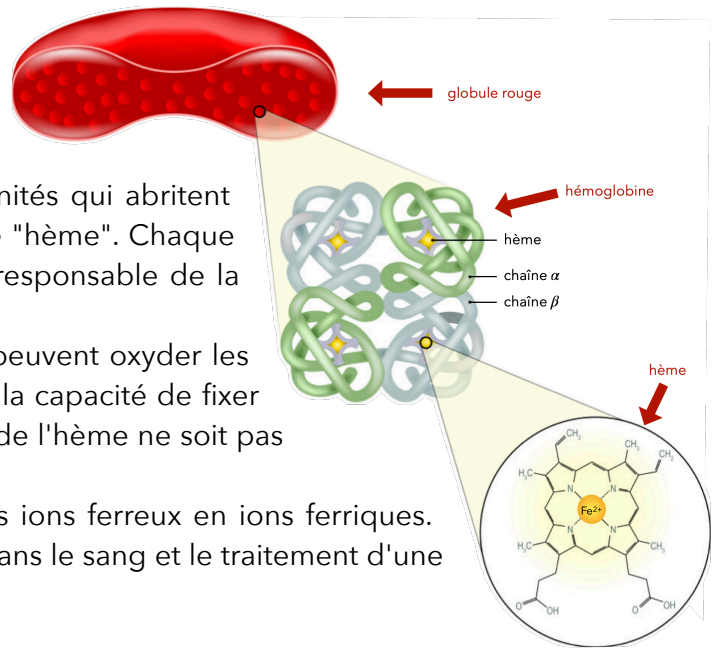


Transportées par les globules rouges dans la circulation sanguine, les molécules d'hémoglobine assurent l'apport du dioxygène aux différents organes des animaux vertébrés.

L'hémoglobine est un assemblage de quatre sous-unités qui abritent chacune une structure chimique particulière nommée "hème". Chaque hème contient un ion ferreux Fe^{2+} . Cet ion Fe^{2+} est responsable de la fixation d'une molécule de dioxygène.

Certains polluants ou toxines présents dans le sang peuvent oxyder les ions ferreux Fe^{2+} en ions ferriques Fe^{3+} qui n'ont pas la capacité de fixer le dioxygène. Il est donc important que l'élément fer de l'hème ne soit pas oxydé et reste sous la forme d'ion Fe^{2+} .

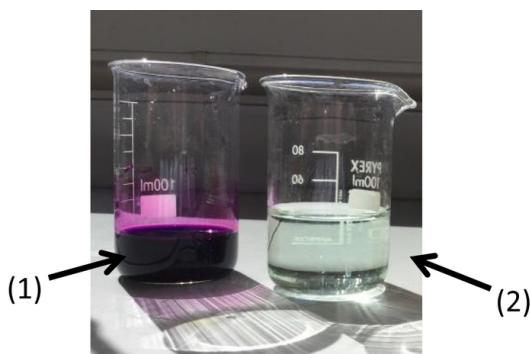
Dans cet exercice, on étudie d'abord l'oxydation des ions ferreux en ions ferriques. Ensuite, une méthode de dosage de l'hémoglobine dans le sang et le traitement d'une carence en fer sont abordés.



1. Oxydation des ions ferreux

Une expérience est menée en laboratoire pour illustrer la capacité de l'ion permanganate à oxyder les ions ferreux.

Dans un bécher contenant 40 mL d'une solution de sulfate de fer(II) ($\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière égale à $2,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on introduit 20 mL d'une solution aqueuse de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière égale à $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, contenant aussi des ions H^+ . Les solutions avant mélange et après mélange ont été photographiées et figurent ci-dessous :



Solution de permanganate de potassium (1) et solution de sulfate de fer (2) avant introduction de la solution (1) dans (2).



Solution obtenue après mélange des deux solutions.

Données :

- Les espèces chimiques ci-dessous colorent toute solution aqueuse qui les contient.

Espèce chimique	Fe^{2+}	Fe^{3+}	MnO_4^-	Mn^{2+}
Coloration de la solution aqueuse	Verdâtre	Orangée	Violacée coloration intense	Incolore

- Couples oxydant/réducteur :

- $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$

- 1.1. À l'aide des observations, montrer qu'une transformation chimique a bien eu lieu.
- 1.2. Identifier les oxydants et les réducteurs consommés, et ceux qui sont produits.
- 1.3. On souhaite modéliser la transformation par une réaction oxydant-réducteur.
 - 1.3.1. Écrire les demi-équations électroniques des deux couples.
 - 1.3.2. Vérifier que l'équation de la réaction oxydant-réducteur modélisant la transformation chimique s'écrit :

$$\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$$
 - 1.3.3. Justifier, à l'aide des données, que $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$ et $\text{Fe}^{2+} (\text{aq})$ sont introduits en proportions stœchiométriques dans le mélange initial.

Cette modélisation de la transformation sert de support pour rédiger un programme en langage python. Ce programme permet de visualiser l'évolution des quantités de matière des ions permanganate et des ions ferreux dans le système précédent, en fonction de l'avancement de la réaction noté x .

Extrait du programme rédigé en langage python ([lien notebook](#)) :

```

4
5 ni_MnO4 = 2.0      # quantité de matière initiale de permanganate MnO4- en mmol
6 ni_Ferreux = 10   # quantité de matière initiale d'ions Fe2+ en mmol
7 ni_Ferrique = 0   # quantité de matière initiale d'ions Fe3+ en mmol
8 ni_Mn2 = 0        # quantité de matière initiale d'ions Mn2+ en mmol
9 # H2O solvant (non simulé)
10 # H+ large excès (non simulé)
11
12 n_MnO4 = [ni_MnO4]
13 n_Ferreux = [ni_Ferreux]
14 n_Ferrique = [ni_Ferrique]
15 n_Mn2 = [ni_Mn2]
16
17 avancement = [0]
18 x = 0
19
20 while n_MnO4[-1] >= 0 and n_Ferreux[-1] >= 0:
21     x = x + 0.05
22     n_MnO4.append((ni_MnO4 - 1 * x))
23     n_Ferreux.append(ni_Ferreux - 5 * x)
24     n_Mn2.append((ni_Mn2 + 1 * x))
25     avancement.append(x)
26
27 xmax = avancement[-1]o(f, seed, [])
28

```

Représentations graphiques de l'évolution des quantités de matière calculées par le programme :

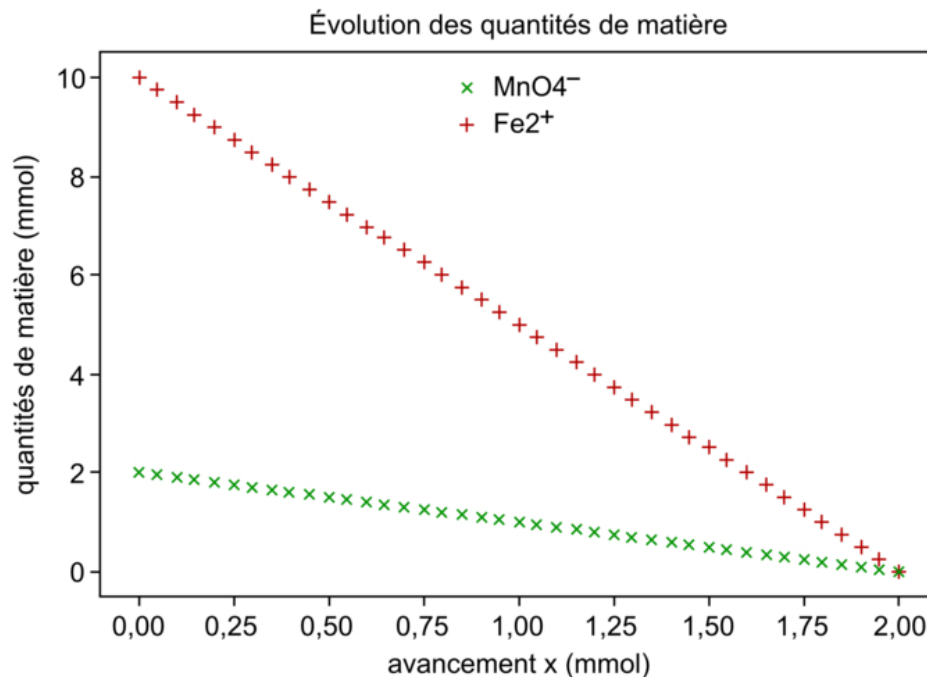


Figure 1 : Évolution des quantités de matière en fonction de l'avancement

- 1.4. Indiquer la ligne du programme codant l'information correspondant à une transformation totale. Justifier.
- 1.5. Établir un tableau d'avancement de la réaction et vérifier que la valeur de l'avancement maximal est compatible avec le tracé de la figure 1.
- 1.6. Dédire du tableau d'avancement l'expression de la quantité de matière des ions Fe³⁺ (aq) en fonction de l'avancement.
- 1.7. Écrire l'instruction permettant de calculer la quantité de matière de Fe³⁺ (aq) pour une valeur d'avancement x, et proposer un numéro de ligne où elle pourrait être insérée dans le programme.
- 1.8. Reproduire la figure 1 sur votre copie et tracer la représentation graphique de l'évolution de la quantité de matière d'ions Mn²⁺ (aq) et celle de la quantité de matière d'ions Fe³⁺ (aq).

2. Dosage de l'hémoglobine et traitement d'une carence en fer

Quand l'organisme souffre d'une carence en fer, les hèmes des globules rouges qui contiennent des ions Fe²⁺ ne sont plus suffisamment nombreux. Le taux d'hémoglobine est alors trop faible pour assurer une oxygénation normale des organes. Un dosage de ce taux permet de diagnostiquer une éventuelle carence et de prescrire un traitement adapté.

Principe du dosage de l'hémoglobine dans le sang par la « méthode de Drabkin »

Le réactif de Drabkin permet de transformer l'hémoglobine d'un échantillon de sang en cyanméthémoglobine. On réalise ensuite un dosage spectrophotométrique de la cyanméthémoglobine dans l'échantillon analysé.

Protocole simplifié du dosage :

- ajout de 5 mL du réactif de Drabkin dans 20 µL d'échantillon de sang analysé ;
- mesure de l'absorbance A de la solution, obtenue à une longueur d'onde de 546 nm ;
- ajout de 5 mL du réactif de Drabkin dans 20 µL d'échantillons de référence de concentrations connues en hémoglobine. Mesures d'absorbance et tracé d'une droite d'étalonnage (figure 2).

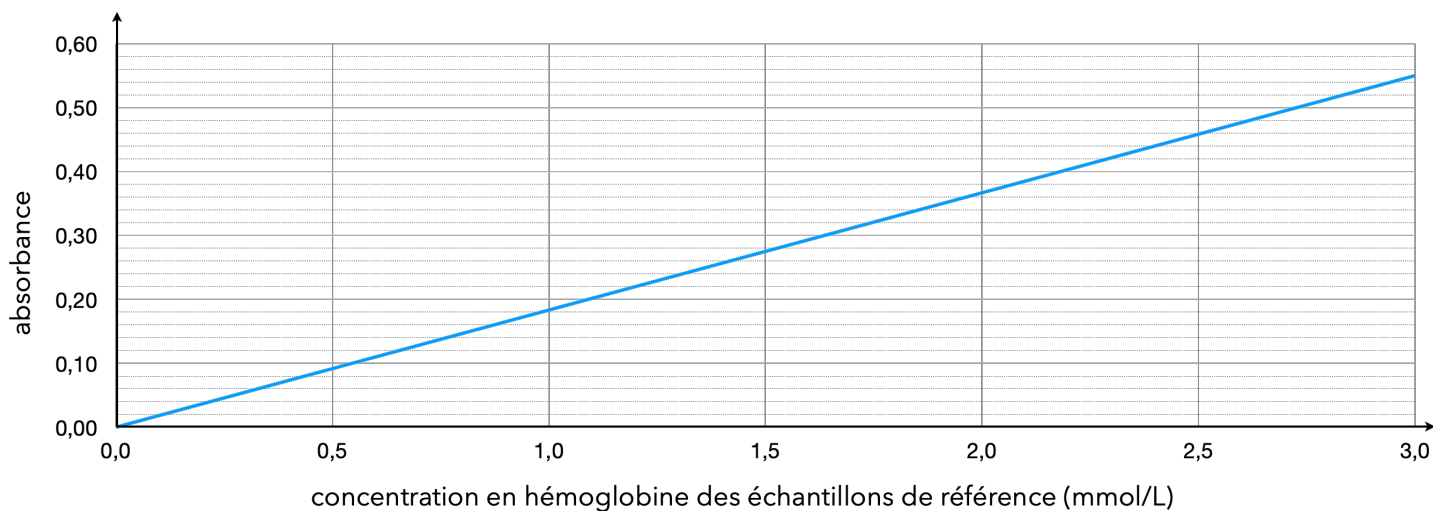
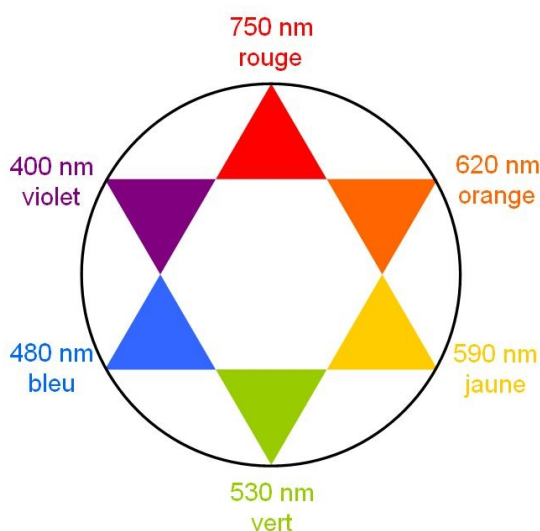


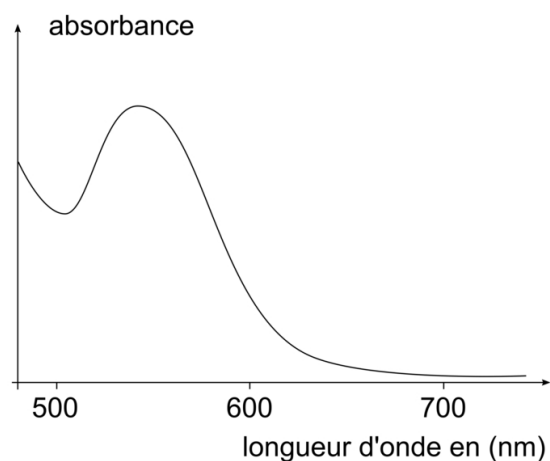
Figure 2

Données :

- Cercle chromatique



- Spectre d'absorption d'une solution aqueuse de cyanméthémoglobine :



- Masses molaires :

- hémoglobine : $M(\text{Hb}) = 64 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- soufre : $M(\text{S}) = 32,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; oxygène : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; fer : $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- Tableau de référence de diagnostic d'une carence en fer

Concentrations massiques en hémoglobine du sang permettant de diagnostiquer une carence en fer :

Taux d'hémoglobine en g par litre de sang	Taux normal	Carence légère	Carence modérée	Carence sévère
Homme (> 15 ans)	135 - 175 g/L	110 - 130 g/L	80 - 110 g/L	< 80 g/L
Femme (> 15 ans)	115 - 155 g/L	100 - 110 g/L	70 - 100 g/L	< 70 g/L

- Recommandations pour le traitement d'une carence en fer :

Dans le cas d'une carence en fer chez les femmes, le traitement préconisé est un apport quotidien équivalent à 50 mg d'ions Fe^{2+} en carence légère, et à 100 mg pour une carence modérée. Chez les hommes, l'apport doit être de 100 mg pour une carence légère, et 200 mg pour une carence modérée.

Source : rapport 2016 de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)

- Extrait de l'étiquette d'un médicament pour traiter une carence en fer :
 - comprimés pour traitement curatif ou préventif d'une carence en fer ;
 - principe actif : Fer sous forme de sulfate ferreux desséché (FeSO_4) ;
 - composition : Sulfate ferreux desséché 136,00 mg par comprimé.

Source : extrait étiquette Timoférol

- 2.1. Prévoir la teinte d'une solution aqueuse de cyanméthémoglobine.
- 2.2. Expliquer le choix de la longueur d'onde de mesure d'absorbance.
- 2.3. Un échantillon de sang d'une femme est analysé par la méthode de Drabkin. L'absorbance mesurée est $A = 0,26$.
 - 2.3.1. Indiquer si une carence en fer est diagnostiquée.
 - 2.3.2. Proposer un traitement adapté en déterminant le nombre de comprimés à prescrire par jour.