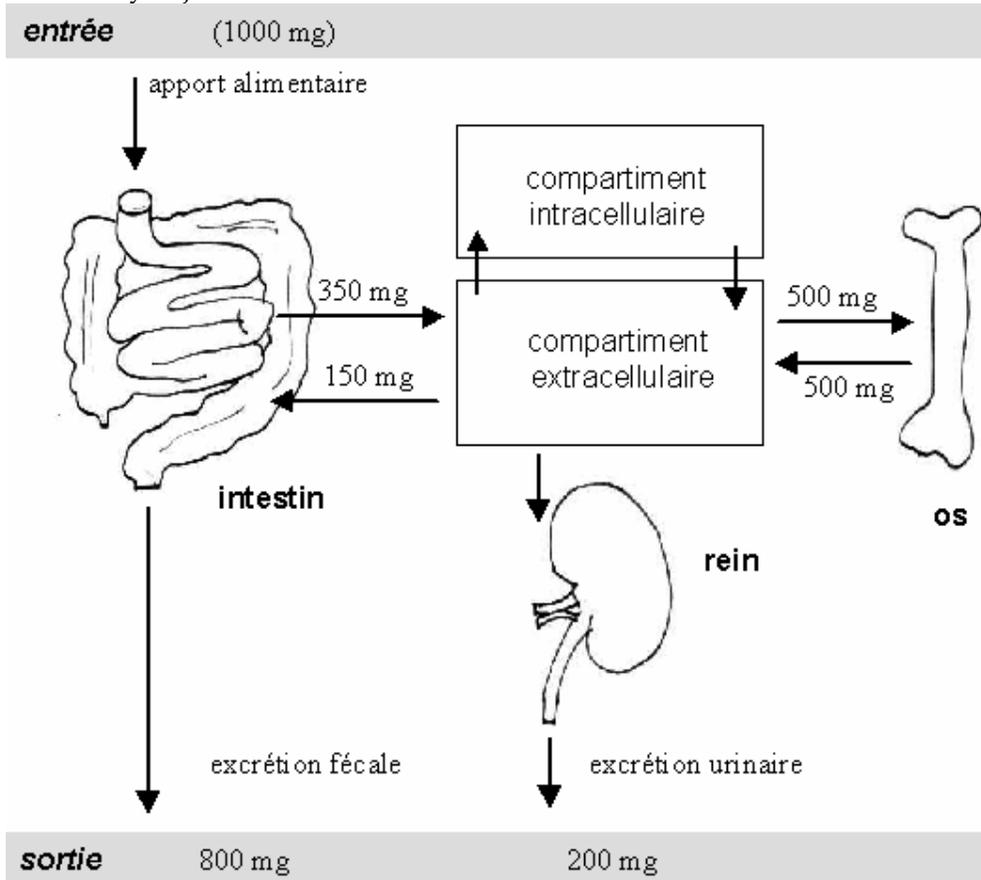


# Minéraux - Oligoéléments – Exercices - Devoirs

## Exercice 1

Flux moyen journalier de calcium chez l'homme



1. Le flux d'entrée et de sortie de calcium sont-ils en équilibre ?
2. À quel(s) niveau(x) s'effectue la régulation de cet équilibre ?
3. Dans quelle(s) condition(s) physiologique(s) cet équilibre peut-il être rompu ?
4. Dans les conditions physiologiques, quelles sont les paramètres calciques de l'organisme qui restent constants ?

## Exercice 2

Concentrations ioniques intra- et extracellulaire d'une cellule type de mam-mifère (en mM) :

ions	intracellulaire (mM)	extracellulaire (mM)
Na <sup>+</sup>	5-15	145
K <sup>+</sup>	140	5
Mg <sup>2+</sup>	0,5	1-2
Ca <sup>2+</sup>	1x 10 <sup>-4</sup>	1-2
H <sup>+</sup>	7x 10 <sup>-5</sup> (pH = 7,2)	4x 10 <sup>-5</sup> (pH = 7,4)
Cl <sup>-</sup>	5-15	110

1. Quel est l'ion pour lequel le rapport de concentration entre le cytosol et le milieu extracellulaire est la plus grande ?
2. Pour quelle(s) raison(s) la [Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub> de repos d'une cellule doit-elle être faible ?
3. En quoi cette faible concentration de la [Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub> fait du Ca<sup>2+</sup> un " bon " messenger intracellulaire ?
4. Quelles sont les principales structures responsables du maintien de cette valeur de [Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub> ?

### Exercice 3

Concentration sanguine moyenne en calcium : 8,8 à 10,4 mg/100 mL

$M(\text{Ca}^{2+}) = 40\text{g/mol}$

dont :

- calcium liée aux protéines sanguines (ionisé et non ionisé) : 40 %
- calcium sous forme de complexes ultrafiltrables : 10 %
- calcium libre ionisé : 50 %

1. Calculer la concentration molaire en calcium du sang.
2. En prenant comme valeur moyenne de la calcémie 10 mg/100 ml, calculer les concentrations molaires des différentes formes de calcium.
3. La concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  ionisé ( $[\text{Ca}]$ ), en sites de fixation du  $\text{Ca}^{2+}$  sur les protéines plasmatiques liés et non liés au calcium est donné par la formule suivante :

$$\frac{[\text{Ca} - \text{protéine}]_{\text{lié}}}{[\text{Ca} - \text{protéine}]_{\text{libre}}} = K \quad \text{à } 25^\circ\text{C} \text{ et à } \text{pH} = 7,35 \quad K = 6,3 \cdot 10^{-3}$$

Que peut-on dire de l'affinité du  $\text{Ca}^{2+}$  pour les protéines plasmatiques ?

### Exercice 4

rappel : La plaque motrice (end-plate) est la partie spécialisée de la membrane plasmique du muscle strié au niveau de la synapse neuromusculaire. À son niveau se trouve, en particulier, des récepteurs-canaux nicotiques, activés par l'acétylcholine (ACh), et des canaux  $\text{Na}^+$  sensibles au potentiel.

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
extracellulaire	145	4,5
intracellulaire	15	150
$E_{\text{eq}} \text{ (mV)}$	+60	-94
conductance relative	0,1	0,9

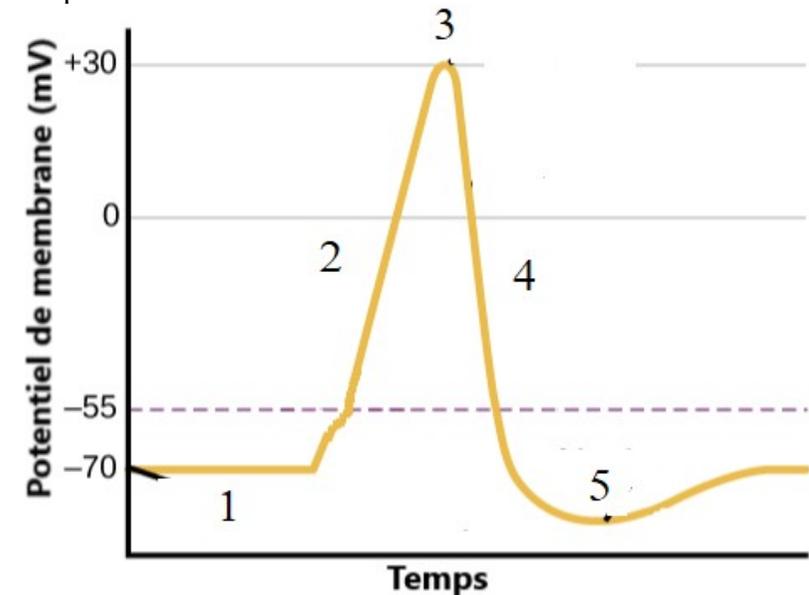
Les concentrations ioniques intracellulaire et extracellulaire d'un muscle sont les suivantes :

- a) Calculer le potentiel de repos au niveau de la plaque motrice
- b) L'activation des récepteurs nicotiques par l'ACh libérée lors de la stimulation nerveuse entraîne une modification des conductances relatives. Les conductances relatives du  $\text{Na}^+$  et du  $\text{K}^+$  deviennent égales et une dépolarisation appelée potentiel de plaque (end-plate potential ou EPP) apparaît.

Pourquoi observe-t-on une dépolarisation induite par l'ouverture des canaux nicotiques ? Calculez la valeur du potentiel de plaque dans l'exemple ci-dessus. Quelle est la conséquence de l'apparition de ce potentiel de plaque ?

### Exercice 5

Schéma du potentiel d'action



- À quel moment le potentiel de membrane est-il le plus proche du potentiel d'équilibre de l'ion  $K^+$  ?
- Quel est le phénomène responsable du changement de la situation 1 à la situation 3 ?
- Quel est le phénomène responsable du changement de la situation 3 à la situation 4 ?
- Le TEA est un bloqueur des canaux  $K^+$ . Quel sera son effet sur le potentiel de membrane ?

## Exercice 6

A propos des transporteurs d'oxygène :

- Les chaînes peptidiques de l'hémoglobine sont organisées majoritairement en feuillets  $\beta$  anti-parallèles.
- A basse  $pO_2$ , la saturation en oxygène de la myoglobine est supérieure à celle de l'hémoglobine.
- La structure quaternaire de l'hémoglobine est à la base de l'effet coopératif de fixation des molécules d'oxygène.
- Dans l'oxymyoglobine, le fer  $Fe^{++}$  de l'hème est engagé dans seulement 5 liaisons de coordination.
- Il y a compétition entre l'oxygène moléculaire et le gaz carbonique ( $CO_2$ ) pour la fixation à l'hème de l'hémoglobine.

## Exercice 7

A propos du fer de l'organisme :

- Il peut provenir de l'absorption du fer alimentaire
- Il peut provenir du recyclage du fer des globules rouges sénescents
- Il circule couplé à la transferrine où il se trouve sous forme de  $Fe^{++}$
- Il peut être stocké sous forme de  $Fe^{++}$  dans la ferritine intracellulaire
- Il peut être facilement éliminé lorsqu'il est en excès
- L'albumine participa au métabolisme du fer

## Exercice 8

Les globules rouges sont les cellules sanguines les plus abondantes du sang (en moyenne 5 millions de globules rouges pour 1  $\mu L$  de sang). Ils permettent le transport des gaz respiratoires. Leur structure cellulaire est adaptée à cette fonction.

### 1. L'érythropoïèse

La cellule souche hématopoïétique est notamment à l'origine de la lignée érythropoïétique.

1.3 Définir le terme érythropoïèse.

1.4 Le fer est essentiel à l'érythropoïèse.

1.4.3 Préciser sous quelles formes le fer est absorbable au niveau intestinal. Représenter les mécanismes d'absorption du fer sur un schéma légendé d'un entérocyte.

1.4.4. Citer un facteur nutritionnel favorisant l'absorption du fer et préciser son mode d'action.

### 2. Le rôle des globules rouges dans le transport des gaz respiratoires

Le transport des gaz respiratoires fait intervenir une protéine : l'hémoglobine.

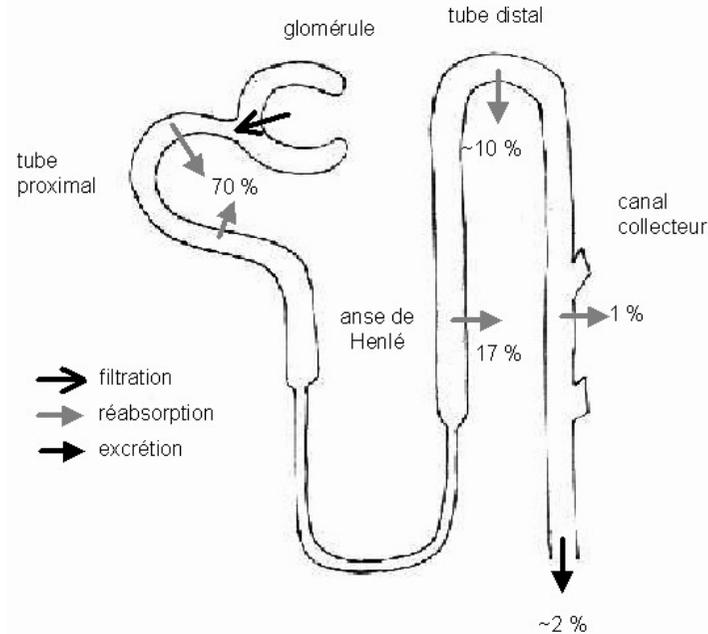
2.1 Représenter sur un schéma annoté une molécule d'hémoglobine

2.2 Décrire succinctement les différents niveaux d'organisation structurale de cette protéine, en précisant les liaisons impliquées pour chacun de ces niveaux.

2.3 Ecrire l'équation chimique de fixation du dioxygène sur l'hémoglobine et préciser le site de fixation du dioxygène sur cette molécule.

## Exercice 9

### Flux de calcium dans le néphron



Le débit de filtration glomérulaire chez l'homme étant en moyenne de  $130 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , quel est la quantité de calcium filtré par jour ?

À quel niveau la réabsorption de calcium est-elle régulée ; quel est la masse de calcium excrétée par jour ?

## Exercice 10

### 1. LE SODIUM DANS L'ORGANISME

#### 1.1. Sodium et absorption intestinale :

##### 1.1.1. Les conditions de l'équilibre dans le duodénum.

Des mesures de concentration osmotique effectuées au niveau du duodénum montrent que quelle que soit la concentration osmotique du chyme entrant dans le duodénum (variations entre 0 et 900 milliosmoles par litre) la pression osmotique du chyme sortant du duodénum est équivalente à celle du plasma.

*Expliquer les mécanismes d'échanges à l'origine de cet équilibre, selon que la pression osmotique du chyme à l'entrée du duodénum est supérieure ou inférieure à celle du plasma.*

### 1.1.2. Absorption de l'eau et du sodium :

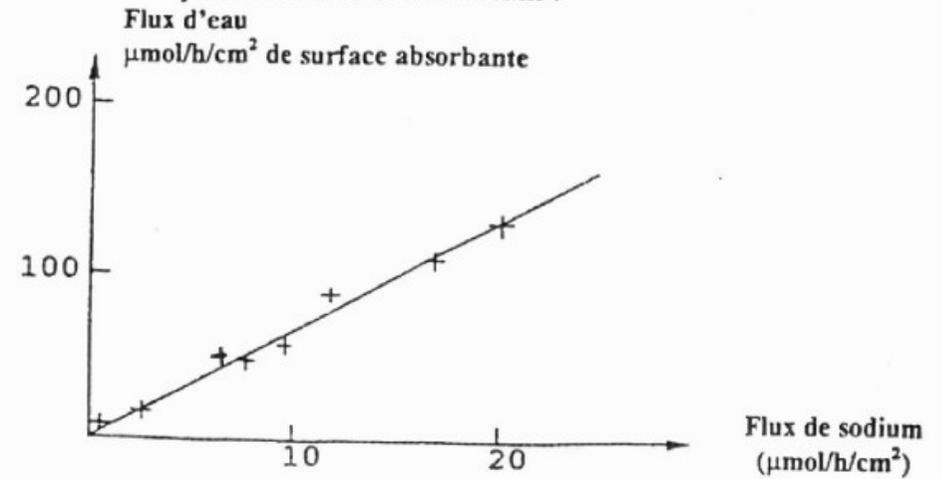


Figure 1

La figure 1 montre l'évolution du flux d'eau absorbée en fonction du flux de sodium dans l'intestin grêle de rat.

*Expliquer la relation entre ces deux flux à partir des mécanismes généraux de l'absorption du sodium et de l'eau.*

### 1.1.3. Sodium et absorption de molécules organiques :

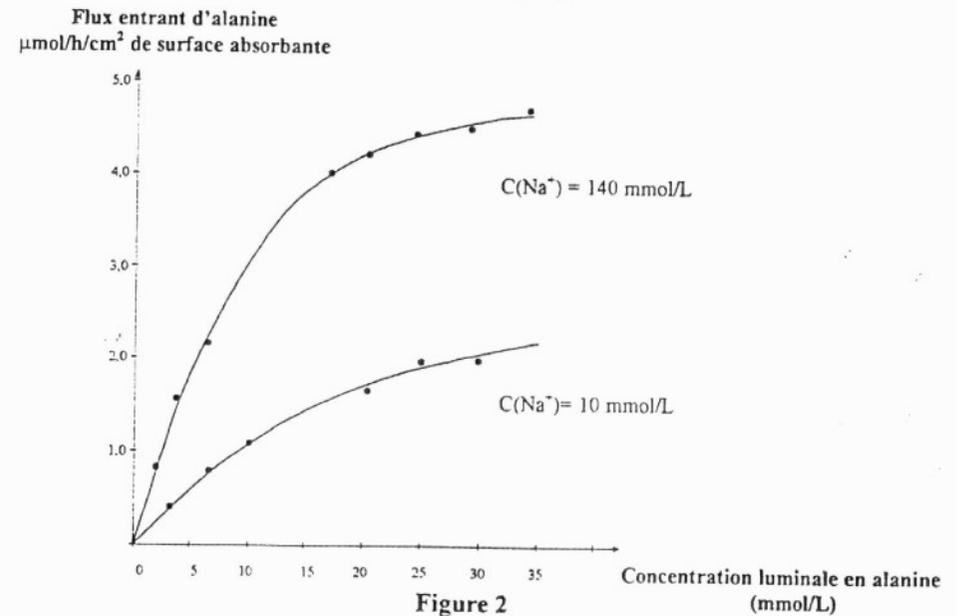


Figure 2

La figure 2 montre l'évolution du flux entrant de l'alanine, dans une anse isolée de l'intestin grêle de rat, en fonction de la concentration en alanine et de la concentration lumine en sodium.

Que peut-on en déduire quant au mécanisme d'absorption de l'alanine ?  
Préciser les caractéristiques de cette absorption à partir d'un schéma figurant un entérocyte.

## 1.2. Rôles du sodium dans l'organisme.

### 1.2.1. Sodium et compartiment hydrique.

Le sodium est un ion essentiellement extracellulaire.

Définir les différents compartiments liquidiens de l'organisme et la répartition des liquides dans ces différents compartiments.

Préciser la concentration du sodium dans le plasma et la comparer à celle des autres compartiments.

### 1.2.2. Sodium et pression artérielle.

Expliquer pourquoi la volémie dépend de la natrémie.

Expliquer l'effet de l'augmentation de l'un de ces deux paramètres sur la pression artérielle.

(La régulation de la pression artérielle n'est pas à développer.)

### 1.2.3. Sodium et excitabilité cellulaire.

Le sodium intervient avec le potassium dans les variations des potentiels transmembranaires des cellules excitables. La figure 3 représente un potentiel d'action sur un axone géant de calmar.

Préciser la nature des différentes phases numérotées de 1 à 4 et le rôle joué par les ions potassium et sodium au cours de ces différentes phases.

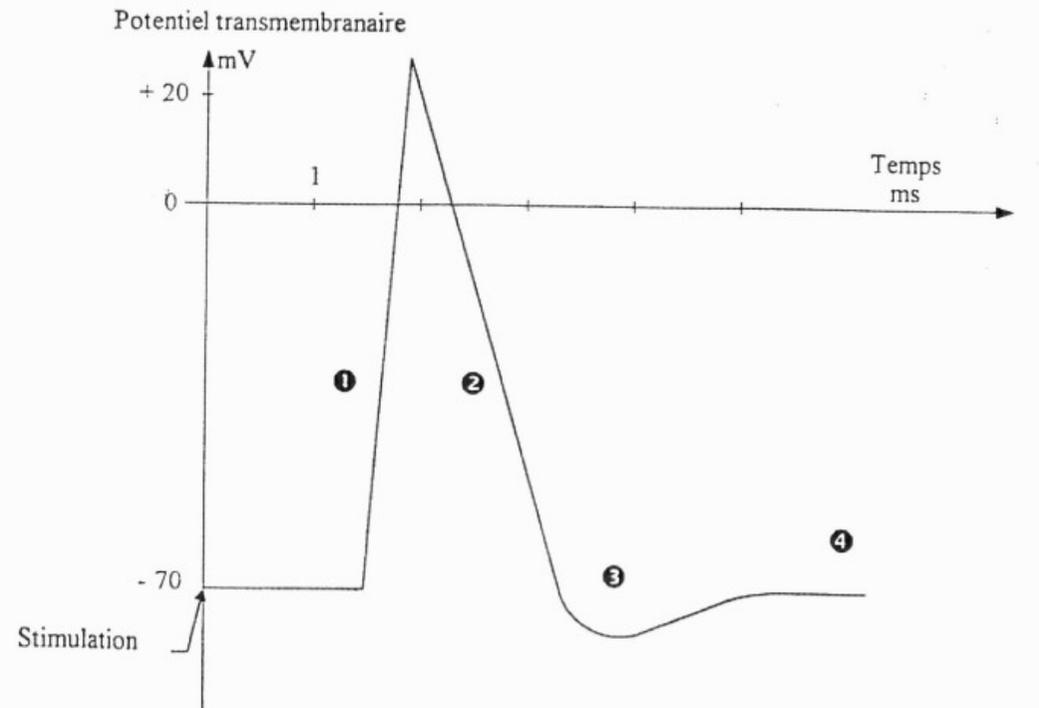


Figure 3

### 1.3.1. Excrétion rénale :

La quantité de sodium éliminée dans les urines est d'environ 200 millimoles par jour.

1.3.1.1. A l'aide d'un schéma annoté, indiquer la contribution des différentes parties du néphron dans l'excrétion du sodium.

1.3.1.2. L'excrétion sodée est principalement sous le contrôle d'une hormone sécrétée par la glande corticosurrénale.

Quelle est cette hormone ?

Présenter le rôle du rein dans la sécrétion de cette hormone.

Montrer comment le rein contrôle ainsi la natrémie.

1.3.2. Indiquer les autres voies d'excrétion du sodium.

## 2. LE CONTRÔLE POSTPRANDIAL DE LA GLYCÉMIE

La figure 4 montre l'évolution de la glycémie lors de l'ingestion d'une solution de 50 g de glucose pur.

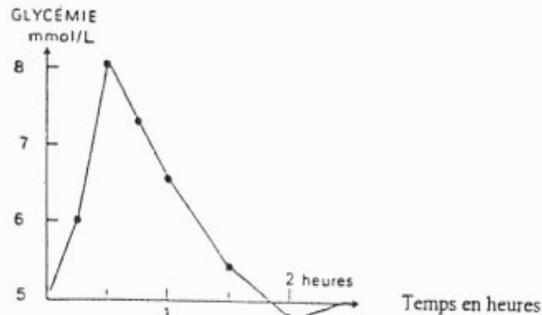


Figure 4

2.1. Analyser cette courbe et expliquer le contrôle endocrinien de la régulation de la glycémie en phase postprandiale.

## Exercice 11

Le fer de l'organisme peut se classer en fer fonctionnel et fer de réserve. L'essentiel du fer fonctionnel se retrouve dans l'hémoglobine, une faible fraction dans la myoglobine, les cytochromes et les enzymes héminiques.

### 1. L'absorption intestinale du fer

L'absorption du fer a lieu au niveau du duodénum et des premières anses jéjunales.

- 1.1. Préciser les principales formes absorbables du fer.
- 1.2. Décrire le mécanisme entérocytaire de l'absorption du fer.
- 1.3. Préciser les facteurs luminaux influençant l'absorption du fer minéral.

## 2. L'hémoglobine

### 2.1. Biosynthèse

- 2.1.1. Nommer le processus décrit dans le document 1 ; le situer dans l'organisme.
- 2.1.2. Citer des facteurs endogènes et nutritionnels nécessaires à ce processus.

### 2.2. Structure et rôles

- 2.2.1. Décrire et schématiser la molécule d'hémoglobine
- 2.2.2. Présenter le rôle de l'hémoglobine dans le transport des gaz respiratoires. Ecrire les équations chimiques correspondantes.

### 2.3. Transport du dioxygène

- 2.3.1. L'oxygénation du sang a lieu au niveau des structures schématisées sur le document 2.  
**Sur la copie**, indiquer le titre du document 2 et les légendes des éléments numérotés de 1 à 6.
- 2.3.2. Le document 3 illustre la relation entre le pourcentage de saturation de l'hémoglobine et la pression partielle en dioxygène.  
Analyser cette courbe en faisant le lien avec la structure de l'hémoglobine. Dégager l'intérêt des variations de saturation entre les situations physiologiques repérées sur la courbe.
- 2.3.3. Le 2,3-DPG (2,3-diphosphoglycérate), molécule présente dans les hématies, intervient dans l'affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène.
  - 2.3.3.1. Montrer l'influence du 2,3-DPG sur le pourcentage de saturation en dioxygène en analysant la courbe 1 du document 4.

2.3.3.2. L'hémoglobine fœtale fixant plus faiblement le 2,3-DPG, présente une affinité pour le dioxygène différente de celle de l'hémoglobine adulte.

Comparer les deux tracés de la courbe 2 du document 4 et préciser l'intérêt physiologique de cette particularité pour le fœtus.

2.3.3.3. Le 2,3-diphosphoglycérate est synthétisé dans l'hématie à partir du 1,3-diphosphoglycérate.

- Présenter la voie métabolique partant du glucose et aboutissant au lactate. Préciser le nom des intermédiaires métaboliques, des enzymes et des cofacteurs intervenant.
- Justifier le fait que le lactate soit le produit final de cette voie dans l'hématie.
- Etablir les bilans chimique et énergétique de cette voie.

### 3. La myoglobine

3.1. Comparer les structures de la myoglobine et de l'hémoglobine en utilisant vos connaissances et les informations apportées par le document 5.

Données : masses moléculaires

- de la myoglobine : 17 000 Da
- de l'hémoglobine : 68 000 Da

3.2. A l'aide du document 5 et du tableau ci-dessous, expliquer pourquoi la myoglobine :

- est adaptée au stockage du dioxygène dans le muscle,
- conviendrait mal au transport du dioxygène dans le sang.

pO <sub>2</sub> du sang hématosé	pO <sub>2</sub> du muscle actif	pO <sub>2</sub> du muscle au cours d'un exercice physique intense	pO <sub>2</sub> du sang non hématosé
13,34 kPa	2,67 kPa	0,67 kPa	5,34 kPa

### 4. Les cytochromes et la chaîne respiratoire

4.1. Préciser la localisation de la chaîne respiratoire.

4.2. A partir du tableau ci-dessous, retrouver la séquence des transporteurs de la chaîne en montrant la réoxydation du NADH+H<sup>+</sup>.

Couples redox des transporteurs	Potentiel redox E' <sub>0</sub> (pH 7 ; 30 °C) en volt
Cyt c Fe <sup>3+</sup> / Cyt c Fe <sup>2+</sup>	+ 0,26
Cyt a + a <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> /Cyt a + a <sub>3</sub> Fe <sup>2+</sup> ou complexe IV	+ 0,29
FMN/FMNH <sub>2</sub> ou flavoprotéine I ou complexe I	- 0,06
Cyt b Fe <sup>3+</sup> / Cyt b Fe <sup>2+</sup>	+ 0,06
NAD <sup>+</sup> /NADH +H <sup>+</sup>	- 0,32
½ O <sub>2</sub> /O <sup>2-</sup>	+ 0,82
Cyt c <sub>1</sub> Fe <sup>3+</sup> /Cyt c <sub>1</sub> Fe <sup>2+</sup>	+ 0,23
Coenzyme Q/Co QH <sub>2</sub>	0

4.3. Certaines étapes permettent la phosphorylation de l'ADP.

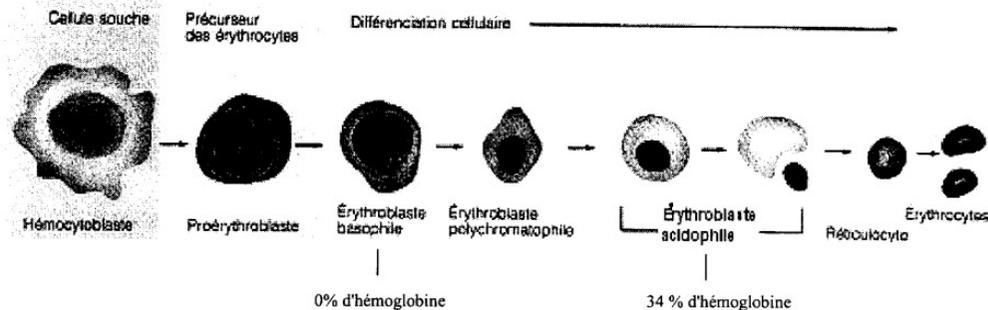
Expliquer le mécanisme de ce couplage.

### Conclusion :

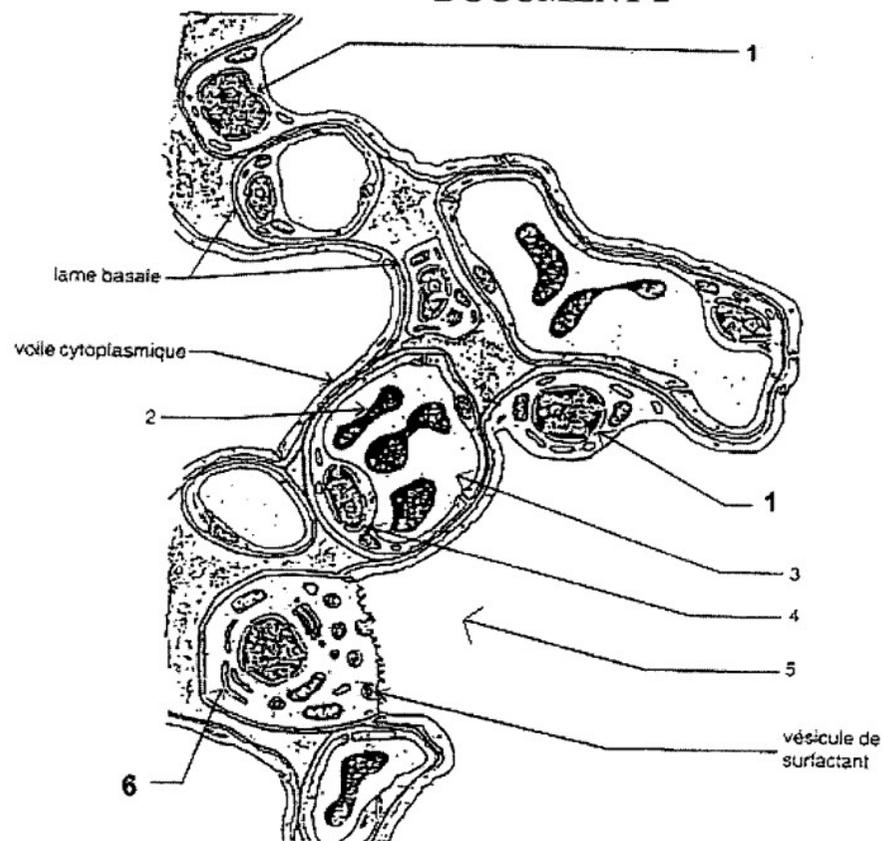
Rassembler toutes les données ci-dessus pour dégager le rôle fondamental du fer dans l'organisme.

### DOCUMENT 1

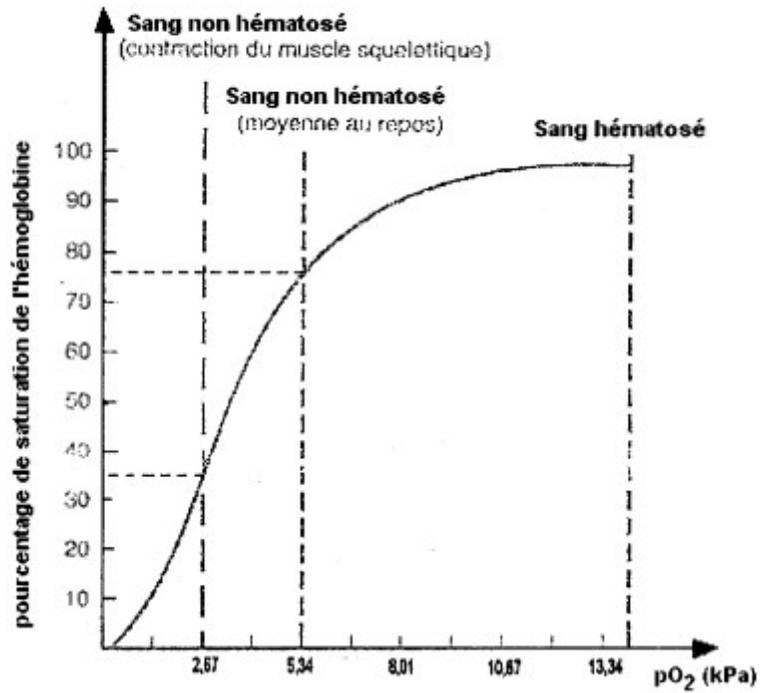
(d'après Anatomie et Physiologie Humaine Marieb DeBoeck)



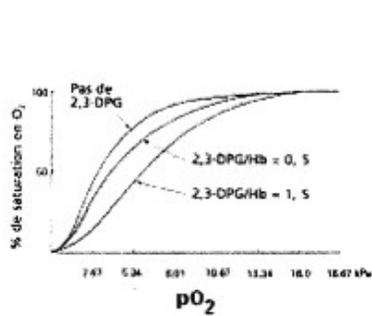
### DOCUMENT 2



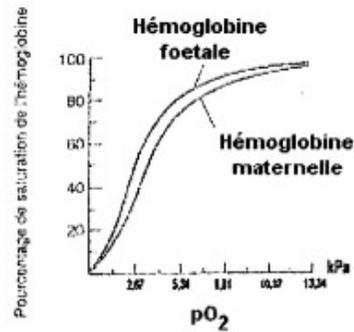
### DOCUMENT 3



### DOCUMENT 4



COURBE 1



COURBE 2

### DOCUMENT 5

