

Exercice 1

compléter le tableau suivant :

composition de l'air sec : réponse

composant	%
O ₂	21% (20, 95)
CO ₂	<0,1% (0,05)
N ₂	78 % (78,09)
autres gaz	< 1 % (0,93)

Pour une pression totale égale à 760 mmHg (pression atmosphérique normale), quelle est la pression partielle en O₂ ? En CO₂ ?

réponse : La pression partielle est le produit de la pression totale par la fraction en gaz. La pression partielle en O₂ (PO₂) est donc : 0,21 x 760 = 160 mmHg.

La pression partielle en CO₂ (PCO₂) est donc inférieure à 0,01 x 760 < 1 mmHg.

En réalité, l'air n'est pas totalement sec, car de l'eau se trouve dans l'air sous forme de vapeur. Lorsque la pression partielle en vapeur d'eau dans l'air est de 47 mm Hg, calculer la pression partielle en O₂ dans l'air, pour une pression totale de 760 mmHg (pression atmosphérique normale).

réponse : La pression partielle en air sec est la différence entre la pression totale et la pression en vapeur d'eau. Elle est donc de 760 – 47 = 713 mmHg.

La PO₂ est égale à 21% de la pression partielle en air sec, soit : 713 x 0,21 = 150 mmHg.

Exercice 2

disponibilité en O₂ dans les milieux aérien et aquatique :

paramètres	milieu aquatique	milieu aérien
viscosité (cP)	1	0,02
densité (kg.l ⁻¹)	1,000	0,0013
chaleur spécifique (cal. l ⁻¹ .C ⁻¹)	1000	0,31
concentration en O ₂ (l.l ⁻¹)	0,007	0,209
litre de milieu par litre O ₂	143	4,8
kg de milieu par litre O ₂	143	0,0062
coefficient de diffusion D _{O₂} (cm ² . s ⁻¹)	2,5x10 ⁻⁵	1,98x10 ⁻¹

La disponibilité de l'O₂ est-elle supérieure dans le milieu aquatique ou dans le milieu aérien ? Sur quel(s) paramètre(s) basez-vous votre réponse ?

réponse : La concentration en O₂ est plus importante dans l'air que dans l'eau et, par conséquent, la volume de milieu aérien contenant une quantité donnée d'O₂ est moins important que le volume de milieu aquatique. Si on considère le poids, l'eau étant plus lourde que l'air, la différence est encore plus grande. La disponibilité de l'O₂ est donc supérieure dans le milieu aérien.

Exercice 3

Quelle est la loi qui définit le débit de diffusion d'un gaz entre deux compartiments ? De quels paramètres dépend le débit de diffusion ?

réponse : Il s'agit de la loi de Fick : le débit de diffusion (dV/dt) est proportionnel à la différence de pression partielle en gaz entre les deux compartiments (P1-P2), au coefficient de diffusion du gaz (D), à la surface de la zone d'échange (S), et inversement proportionnel à son épaisseur (E).

$$dV/dt = (P1-P2) \times (S/E) \times D$$

Pourquoi cette loi est-elle importante pour comprendre le fonctionnement d'un système respiratoire ? À quel(s) niveau(x) du système respiratoire les phénomènes décrits par cette loi jouent-ils ?

réponse : Un système respiratoire étant un système facilitant des échanges gazeux entre le milieu extérieur et le milieu intérieur, la loi de Fick s'applique au passage des gaz au niveau de la zone d'interface animal-milieu : paroi des branchies, barrière alvéolocapillaire des poumons alvéolaires, paroi des trachéoles des Insectes. Elle s'applique aussi aux échanges gazeux à l'intérieur de l'animal, lors de la diffusion des gaz entre les capillaires et les tissus.

Exercice 4

Quelle est la définition d'un poumon et d'une branchie ?

réponse : Une branchie est un appareil respiratoire dont la surface d'échange avec le milieu extérieur est évaginée. Le flux ventilatoire est unidirectionnel.

Une branchie est un appareil respiratoire dont la surface d'échange avec le milieu extérieur est invaginée. Le flux ventilatoire est bidirectionnel.

Les branchies sont en général associées à un système respiratoire aquatique, et les poumons à un système respiratoire aérien. Pourquoi ?

réponse : En milieu aquatique, la disponibilité en O_2 est plus faible, et la ventilation énergétiquement plus coûteuse. Une ventilation unidirectionnelle permet de réduire ces coûts, et un système branchial est plus efficace qu'un système pulmonaire, où les résistances à l'écoulement sont plus importantes. En milieu aérien, la disponibilité en O_2 est plus importante, et la ventilation moins coûteuse. Par contre, un problème majeur est la déshydratation de la surface d'échange. Une surface d'échange invaginée permet de limiter les pertes hydriques par déshydratation, et, en milieu aérien, un système pulmonaire est donc plus efficace qu'un système branchial.

Exercice 5

Quel est le rôle d'un système ventilatoire ?

Son rôle est de renouveler, par convection, le milieu extérieur au niveau de la surface d'échange gazeux.

réponse : Compte tenu des caractéristiques des milieux aérien et aquatique (cf. exercice 2), dans quel milieu la ventilation s'impose-t-elle le plus ?

La diffusion de l' O_2 étant plus faible en milieu aquatique, le renouvellement du milieu extérieur par convection s'impose plus.

Décrire deux systèmes ventilatoires existant en milieu aquatique, et deux systèmes ventilatoires en milieu aérien.

réponse : En milieu aquatique, avec un système respiratoire à flux unidirectionnel, la ventilation peut être faite (1) soit par déplacement de l'animal dans le milieu (2) soit par un système qui crée un flux d'eau au niveau des branchies (ex. opercules des Téléostéens).

En milieu aérien, la ventilation bidirectionnelle nécessite une pompe ventilatoire, qui peut être (1) soit refoulante (pompe buccale), soit aspirante (pompe thoraco-abdominale)

Exercice 6

Quelle est la loi physique qui définit la concentration en gaz dissous dans un liquide, en fonction de la pression partielle en gaz ? De quels paramètres dépend cette concentration ?

réponse : il s'agit de la loi de Henry. La concentration en gaz dissous (C) est proportionnelle à la pression partielle en gaz (P), et la solubilité du gaz dans le liquide (Sol). $C = P \times Sol$

Pourquoi cette loi est-elle importante pour comprendre le fonctionnement d'un système respiratoire ? À quel(s) niveau(x) du système respiratoire les phénomènes décrits par cette loi jouent-ils ?

réponse : La loi de Henry détermine, à l'équilibre, la quantité d'O₂ dissous dans l'eau, et donc la quantité d'O₂ disponible. Chez les animaux à respiration aérienne, la loi de Fick intervient dans la quantité d'O₂ et de CO₂ dissous en fonction de la pression partielle en gaz au niveau de la zone d'échange gazeux. En milieu aquatique, la loi de Fick intervient dans la quantité d'O₂ disponible dans la milieu extérieur. (par exemple, la solubilité de l'O₂ dépend de la température, de la salinité..., paramètres qui influencent la quantité l'O₂ disponible pour la respiration aquatique.)

La coefficient de solubilité de l'O₂ dans le sang est de $3 \cdot 10^{-5} \text{ L}_{\text{O}_2} \times (\text{L}_{\text{sang}} \times \text{mmHg})^{-1}$

Calculer le volume d'O₂ dissous par litre de sang, pour une pression partielle en O₂ de 100 mmHg.

réponse : le volume est le produit de la pression partielle par le coefficient de solubilité, soit $3 \cdot 10^{-5} \times 10^2 = 3 \cdot 10^{-3} \times \text{L}_{\text{O}_2} \times (\text{L}_{\text{sang}})^{-1}$ (3 mL par L)

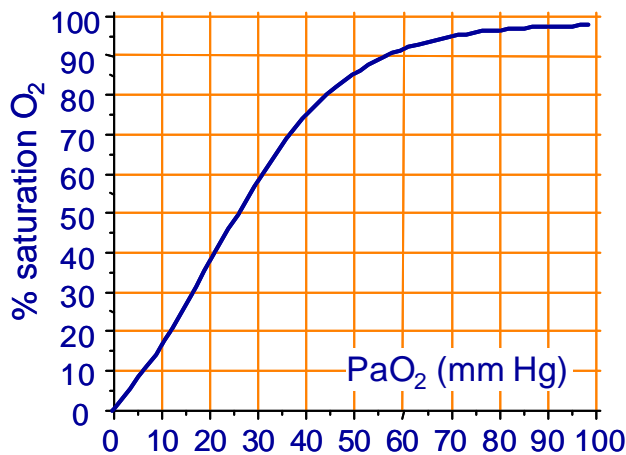
Exercice 7

La plupart des Métazoaires possèdent dans leur fluide intérieur des pigments capables de fixer l'O₂. Pourquoi ?

réponse : L'O₂ étant très peu soluble dans l'eau, la quantité d'O₂ sous forme dissoute dans le sang est faible. La présence de pigments capables de fixer l'O₂ augmente considérablement la quantité d'O₂, pour une même pression partielle.

Beaucoup d'Insectes n'ont pas de pigments respiratoires. Pourquoi ?

réponse : Le système respiratoire des Insectes est un système trachéal, dans lequel le sang ne participe pas à la respiration (l'O₂ diffuse directement de la zone d'échange respiratoires au tissus périphériques). La présence de pigments n'est pas nécessaire.



Le diagramme ci-contre représente le pourcentage de saturation de l'hémoglobine (Hb) en O₂, en fonction de la pression partielle en O₂.

La capacité maximale de fixation d'O₂ sur l'hémoglobine, correspondant à 100% de saturation, est de $1,39 \cdot 10^{-3}$ L par g d'Hb. La concentration normale du sang en Hg est de 150 g par litre. Quelle est la quantité d'O₂ fixée sur l'Hb pour une pression partielle en O₂ de 100 mmHg. Comparer avec la quantité d'O₂ dissous (exercice 6).

réponse : la quantité d'O₂ fixée sur l'Hb dépend (i) de la capacité maximale de fixation de l'hémoglobine, (ii) de la concentration en hémoglobine dans le sang, et (iii) du pourcentage de saturation de l'hémoglobine, qui est donné, en fonction de la PO₂, par la courbe de saturation.

Pour une PO₂ de 100 mmHg, le pourcentage de saturation est d'environ 100 %. La quantité d'O₂ est donc : $1,39 \cdot 10^{-3} \times 150 \times (100/100) = 0,2085 \text{ L}_{\text{O}_2} \times (\text{L}_{\text{sang}})^{-1}$ (208 mL)

par L). Comparée à la quantité d'O₂ dissous (exercice 6), la quantité d'O₂ fixée à l'Hb est beaucoup plus importante.

Les avions de ligne volent à une altitude de croisière supérieure à 10 000 m, où la pression partielle en O₂ est trop faible pour la vie humaine. Les cabines d'avions sont donc pressurisées. Cependant, la pression dans la cabine est inférieure à la pression atmosphérique au niveau de la mer, et l'altitude fictive de la cabine est maintenue entre 1500 et 2450 m. Pour ces deux altitudes, les pressions partielles en O₂ dans le sang sont 90 et 70 mmHg, respectivement. Quelles sont les conséquences de ces deux valeurs sur la quantité d'O₂ présente dans le sang ?

réponse : Pour une PO₂ de 90 mmHg (1500 m), selon la courbe de saturation, il n'y a pas de diminution de la concentration en O₂. Cette altitude est dans la « zone d'indifférence », pour laquelle la diminution de pression partielle en O₂ n'a pas de conséquence sur sa concentration sanguine.

Pour une PO₂ de 70 mmHg (2450 m), selon la courbe de saturation, il y a diminution de la concentration en O₂ (95 % de saturation). La concentration en O₂ est de $0,95 \times 0,2085 = 0,198 \text{ L}_{\text{O}_2} \times (\text{L}_{\text{sang}})^{-1}$ (198 mL par L). La diminution reste faible, bien qu'effective. (en général, l'organisme compense cette légère diminution. Cependant, pour certaines personnes souffrant de problèmes respiratoires, l'organisme n'est pas toujours capable de compenser les effets de la diminution de la PO₂.)