Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°

Partie 2. Biologie des organismes
>> Cours <<

Chapitre 9 : proposition de fiche à compléter

La respiration animale, une fonction en interaction directe avec l'environnement

Introduction

Respiration cellulaire :
Respiration :
Appareil respiratoire = échangeur gazeux respiratoire :
Respiration externe :
Respiration interne :

Comment les organismes animaux acheminent-ils du dioxygène du milieu de vie (aquatique ou terrestre) jusqu'à leurs cellules et évacuent-ils le dioxyde de carbone dans ce milieu de vie ?

I. Unité et diversité de quelques échangeurs gazeux chez les Métazoaires

A. Les échanges gazeux, un processus dépendant de lois physico-chimiques et des contraintes du milieu

1. Des échanges diffusifs régis par la première loi de FICK

Loi de FICK (expression) : [avec signification des symboles]
Conséquences fonctionnelles : Un échangeur est d'autant plus efficace que : - - - -

2. Les échanges gazeux, un processus dépendant du milieu de vie : atouts et inconvénients du milieu aérien et du milieu aquatique

TABLEAU I. Le milieu aérien : atouts et inconvénients dans la réalisation des échanges gazeux. D'après mon cours de Capes.

Caractéristiques du milieu	Conséquences sur les échangeurs respiratoires

À savoir : **atmosphère**
78 % N_2 / 21 % O_2 / 0,04 % CO_2

⮟ **TABLEAU II. Le milieu aquatique : atouts et inconvénients dans la réalisation des échanges gazeux.** D'après mon cours de Capes.

Caractéristiques du milieu	Conséquences sur les échangeurs respiratoires

Faible disponibilité en dioxygène *(Il y a en moyenne **30 fois moins de dioxygène dans l'eau** que dans l'air)*	**Maintien d'un différentiel de pression partielles** entre milieu interne et milieu externe **plus difficile qu'en milieu aérien**. *Adaptation grâce à une **physiologie particulière** (par exemple système à contre-courant), des **pigments respiratoires** très efficaces, grâce à un **faible besoin en dioxygène** (grâce à des dispositifs évitant une surconsommation : homéothermie quasi-impossible avec une respiration aquatique*...)…* ** Les Mammifères marins (homéothermes) ont une respiration aérienne.*

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **échanges respiratoires** reposent sur une **diffusion des gaz** et par conséquent suivent la **loi de FICK.**

B. L'existence d'une respiration tégumentaire seule ou partielle chez de nombreux taxons (aquatiques ou aériens)

1. Une respiration exclusivement tégumentaire chez des organismes variés

a. Cas des taxons aquatiques
b. Cas des taxons terrestres

2. Une respiration partiellement tégumentaire chez la plupart des organismes : une illustration au travers de l'exemple des Vertébrés

*Cas de la **plupart des espèces** : les **EGR** comprennent une **part variable** assurée par le **tégument** (Note : chez les **Mammifères** ou les **Oiseaux**, c'est **négligeable**)*

C. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aériens, des organes invaginés soutenus par le squelette et ramifiés jusqu'aux surfaces d'échanges avec les tissus consommateurs ou le sang

FIGURE. L'appareil respiratoire (de type trachéen) des Insectes.

FIGURE. L'appareil respiratoire (de type pulmonaire) des Mammifères.

1. Des voies respiratoires invaginées et ramifiées en lien avec la faible portance du milieu aérien et son caractère desséchant

a. Adaptation au caractère peu porteur du milieu aérien

Invagination *+ support squelettique (voir 2)*

b. Adaptation au caractère desséchant du milieu aérien

*Milieu aérien = très desséchant (**potentiel hydrique très négatif** : – 93 MPa à 20 °C et 50 % d'humidité)*
*⇒ **Invagination***
*⇒ **Ramification** > favorise la **condensation de l'eau** lors de l'**expiration** (+ **humidification** de l'air entrant lors de l'**inspiration**)*

*NB Mammifères : **cavités buccale et nasale** = favorisent la **condensation d'eau**, voire parfois réabsorbent l'eau (ex. espèces désertiques)*
NB Insectes :
*- Présence de **soies atriales** > **condensation/rétention** de l'eau*
*- **Fermeture** des **stigmates** : **limiterait** les **pertes d'eau***

2. Des voies respiratoires soutenues et protégées par le squelette voire du surfactant dans un milieu aérien peu porteur, ce qui évite l'effondrement des structures et les collapsus

a. La présence de taenidies dans les trachées des Insectes

Taenidie = ténidie :

b. La présence d'une cage thoracique enfermant les poumons des Mammifères et d'anneaux cartilagineux au niveau des ramifications

*- **Cage thoracique***
*- **Plèvres** : 2 feuillets épithéliaux mobiles plaqués l'un contre l'autre par dépression, l'un au contact des poumons, l'autre vers la paroi de l'organisme (présence d'un **liquide pleural** favorisant la mobilité des feuillets)*
*- **Anneaux cartilagineux** en fer à cheval dans la **trachée** (et **quelques anneaux** dans les **bronches**)*

c. La présence de surfactant évitant les collapsus dans les alvéoles pulmonaires des Mammifères

Surfactant :

*Produit par les **pneumocytes II***

3. Une importante surface d'échanges gazeux et une faible distance entre fluide externe et organisme

a. Un échange direct avec les cellules au niveau de fines trachéoles chez les Insectes

Troncs trachéens** / **trachéoles** / **cellules trachéolaires (avec liquide trachéolaire)

b. Un échange avec le milieu intérieur au niveau des alvéoles chez les Mammifères

α. Une importante surface d'échanges

***700 à 800 millions d'alvéoles pulmonaires** chez l'homme >> **90 m²** de surface d'échange*

β. Le poumon, organe fortement vascularisé et présentant une barrière hémato-alvéolaire très fine

Composition de la **paroi** alvéolaire :
-
-
-
-

Barrière hémato-alvéolaire :

4. Des organes protégés des agressions mécaniques et biologiques

a. Chez les Insectes : soies atriales et nature cuticulaire des trachées

*- **Soies atriales** : arrêteraient les **poussières***
*- **Composition cuticulaire** des trachées : **limiterait** fortement l'entrée des **pathogènes***

b. Chez les Mammifères : mucus et ciliature + macrophages

*- **Piégeage des particules en suspension** par le **mucus respiratoire** (présent dans les **voies aériennes**) et **évacuation** du mucus par des **cellules ciliées** [**avalement** au niveau du **pharynx**]*
*- Présence de **cellules immunitaires** : **macrophages** dans la **paroi alvéolaire**, **cellules à poussière** dans les **alvéoles***

D. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aquatiques, des organes évaginés, au moins ancrés sur le squelette, assurant des échanges avec le milieu intérieur : les branchies

⮝ **FIGURE. L'appareil respiratoire (de type branchial) de l'Écrevisse.**

⮝ **FIGURE. L'appareil respiratoire (de type branchial) des Téléostéens.**

1. Des surfaces évaginées en lien avec la portance du milieu aquatique

2. Une importante surface d'échanges et une faible distance entre fluide externe et fluide interne

a. Les trichobranchies des Décapodes, des différenciations tégumentaires de structure filamenteuse

Branchies filamenteuses (= trichobranchies) des Décapodes :

- ***18 paires*** *de branchies ⇒ grande* ***surface d'échange***
- ***Faible épaisseur*** *: fine* ***cuticule*** *(2-3 µm) +* ***épithélium branchial*** *(10 µm) séparant des* ***lacunes hémolymphatiques***
- ***Vaisseaux afférent*** */* ***efférent*** *(dans* ***axe*** *principal / ramifications latérales)*

b. Les holobranchies des Téléostéens, des différenciations pharyngiennes

Holobranchies des Téléostéens :

4 paires *d'holobranchies*

Niveaux de ***replis*** *(pour chaque branchie, porté par un* ***arc branchial****) :*
- ***2 séries verticales*** *(**hémibranchies**) de **lames branchiales = filaments branchiaux***
- *Chaque* ***lame branchiale*** *porte entre* ***20 et 80 lamelles par mm***

⇒ Grande ***surface d'échange*** *: entre 1 et 15 cm²/g d'animal*

- ***Faible épaisseur*** *: fin* ***épithélium branchial*** *(2-3 µm) séparant des* ***lacunes sanguines***
- ***Vaisseaux afférent*** */* ***efférent*** *(> ramifications)*

c. Des adaptations à des différentiels de pression partielle milieu extérieur/milieu intérieur plus faibles que dans le milieu aérien

La **concentration en dioxygène en eau douce à 25 °C** s'établit autour de **5 à 10 mg/L**, ce qui est loin des **21 % de dioxygène disponible dans l'atmosphère**.
En clair, **le dioxygène est 30 fois plus disponible dans l'air que dans l'eau**.
Notons que la **pression partielle en dioxygène de l'eau augmente** lorsque :
- L'**agitation** du milieu **augmente**,
- La **salinité** du milieu **diminue**,
- La **température diminue**.

CO_2 : concentration moyenne en **eau douce** à **20 °C** = **1,6 g/L**.

- ***Systèmes de contre-courant*** *dans la* ***circulation*** *des* ***fluides*** *externe et interne (voir II) ;*
- ***Faible activité physiologique globale***

(ex. aucun organisme à respiration aquatique n'est homéotherme).

3. Des appareils ancrés sur le squelette, et consolidées par des structures limitant l'écrasement

a. Un ancrage sur le squelette

α. Un ancrage sur l'exosquelette chez les Décapodes : des branchies appendiculaires (podobranchies), articulaires (arthrobranchies) et latérales (pleurobranchies)

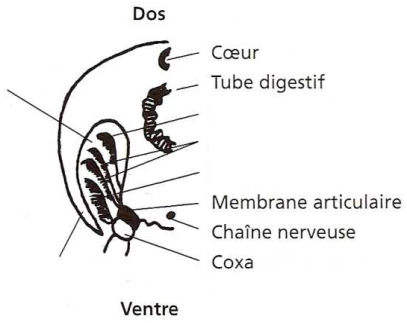


FIGURE 22. **Vue en coupe transversale de l'organisation de l'appareil branchial de l'Écrevisse.** D'après PEYCRU *et al.* (2010).
(!) Au total : 18 paires de branchies.

β. Un ancrage sur l'endosquelette chez les Téléostéens : les arcs branchiaux (portant aussi des branchiospines bloquant les particules alimentaires)

Arc branchial :
Alignement des arcs : sépare, de chaque côté, la ***cavité bucco-pharyngée (cavité buccale)*** *et de la* ***cavité operculaire (cavité branchiale)****.*
Opercules :
Branchiospines :

b. Une consolidation par le squelette : cuticule autour des filaments de l'Écrevisse, arêtes branchiales dans les filaments des Téléostéens

c. Des cellules en piliers empêchant les collapsus

Cellules en pilier = en pilastre :

4. Des organes protégés des agressions mécaniques et osmotiques

a. Dans les deux exemples retenus : des branchies « internes » (= protégées dans une cavité branchiale)

- ***Écrevisse*** *: délimitation par les* ***lames branchiostèges (= branchiostégites)***
- ***Téléostéens*** *: délimitation par les* ***opercules***

b. Une protection contre les chocs osmotiques et ioniques

α. Cas de nombreux 'invertébrés' aquatiques comme l'Écrevisse : l'osmoconformité (isotonicité entre milieu interne et milieu externe)

Osmoconformité :

(!) Pas d'énergie dépensée dans l'osmorégulation

β. Cas des Téléostéens (avec hypo- ou hypertonicité du milieu interne par rapport aux milieu externe) : une osmorégulation stricte à laquelle participent des cellules à ions (= ionocytes) branchiales

Osmorégulation (stricte) :

- Téléostéens marins : milieu de vie hypertonique

Entrées et sorties d'eau
▪
▪
Entrées et sorties d'ions
▪
▪
-
-

- Téléostéens dulçaquicoles = dulcicoles : milieu de vie hypotonique

Entrées et sorties d'eau
▪
▪
Entrées et sorties d'ions
▪
▪

⮝ **FIGURE 26. <u>Les Téléostéens, des osmorégulateurs : principes généraux du maintien de l'équilibre hydrominéral</u>.** D'après SEGARRA *et al.* (2014), corrigé.

II. Une mise en mouvement (« convection ») des fluides externes et internes qui assure largement l'entretien des gradients de pression partielle en gaz respiratoires

A. La « convection » externe : un transport des gaz respiratoires par mise en mouvement du fluide externe (ventilation au sens large)

Ventilation :

⇒ **Transport « convectif »** des **gaz**
= ***transport de matière permis par le déplacement d'un fluide porteur***

1. La ventilation en milieu aérien, milieu peu dense facile à déplacer

a. Chez les Insectes [limite programme] : un processus d'importance variable

α. La possibilité d'une simple diffusion sans ventilation

β. La possibilité d'une ventilation unidirectionnelle ou bidirectionnelle

- ***Métamérie des trachées***, *stigmates… avec variations*
- *Deux situations :*
  - ***Ventilation bidirectionnelle*** *(pas de continuum de l'ensemble des trachées)*
  - ***Ventilation unidirectionnelle*** *: ramification transversale des trachées, stigmates inhalants / exhalants*

γ. Une ventilation qui, lorsqu'elle est présente, implique des cycles de contraction musculaire, d'ouverture-fermeture des stigmates et éventuellement des sacs aériens

Processus impliqués par la **ventilation trachéenne** (quand elle existe !) :

- [Toujours]

- [Souvent]

- [Chez les gros Insectes]

• **La ventilation est assurée par deux types de mouvements ventilatoires** : des mouvements en accordéon et des mouvements dorso-ventraux (Fig.). L'expiration est active, alors que l'inspiration est passive.

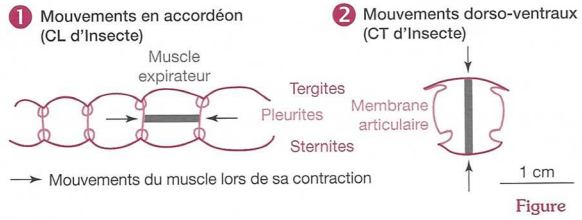


Figure
Mouvements ventilatoires de la respiration trachéenne.

La **ventilation** est régulée par les ganglions cérébroïdes qui sont sensibles à la pression partielle en dioxyde de carbone et contrôlent les ganglions métathoraciques (qui agissent sur les muscles de la ventilation).

Chez les grands Insectes, des **sacs aériens** sont présents entre les muscles du vol ce qui permet un meilleur brassage de l'air et une amélioration de la ventilation.

FIGURE 28. Activité musculaire et mouvements ventilatoires. D'après DENŒUD *et al.* (2011).

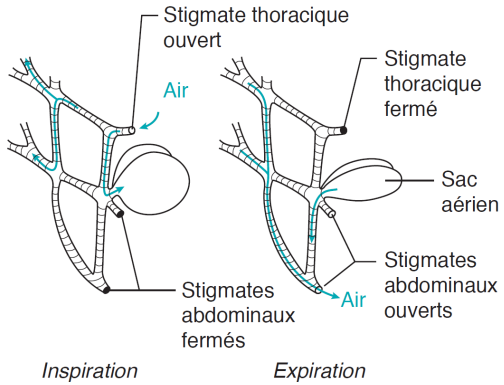


FIGURE 29. Sacs aériens et ventilation. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

b. Chez les Mammifères : un processus bidirectionnel dû à des cycles d'inspiration-expiration permis par des muscles spécialisés

α. Un processus permis par les plèvres, des muscles et des os (cage thoracique)

Inspiration :
Expiration :
Cycle ventilatoire :

Acteurs des **mouvements ventilatoires** :

- Cage thoracique (squelette)
- Plèvres :
- Diaphragme (muscle plat sous les poumons)
- Muscles intercostaux

β. Mécanismes de l'inspiration : un processus plutôt actif qui implique une dépression par rapport au milieu aérien extérieur

- ***Processus*** *à l'œuvre :*
  -
  -
  -

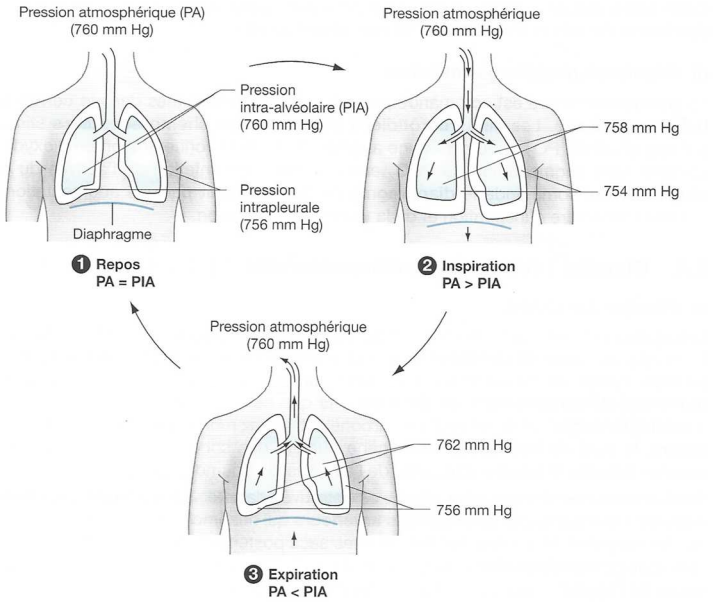
- ***Augmentation de volume pulmonaire*** ⇒ ***dépression*** *par rapport à l'air extérieur* ⇒ ***entrée d'air*** *dans les poumons.*

γ. Mécanismes de l'expiration : un processus plutôt passif qui implique une surpression par rapport au milieu aérien extérieur

- ***Processus*** *à l'œuvre :*
  -
  -
  -

- ***Diminution de volume pulmonaire*** ⇒ ***surpression*** *par rapport à l'air extérieur* ⇒ ***sortie d'air*** *des poumons.*

FIGURE 31. Cycle ventilatoire des Mammifères. D'après PEYCRU *et al.* (2014).



Changements de pression au cours de la ventilation pulmonaire
1*. Au repos, les pressions atmosphérique et alvéolaire sont égales et la pression intrapleurale est légèrement inférieure à la pression atmosphérique.* ***2****. Inspiration. Le diaphragme se contracte et s'abaisse, la poitrine se gonfle, les poumons s'étirent. La pression intrapleurale diminue aussi à la suite de l'augmentation du volume de la cavité pleurale. La diminution de la pression intrapulmonaire provoque l'entrée de l'air dans les poumons tant qu'il existe une différence de pression.* ***3****. Expiration. Le diaphragme se relâche et la poitrine s'abaisse, le volume des poumons diminue et l'air pulmonaire est en surpression par rapport à l'air atmosphérique.*

FIGURE 31bis. Cycle ventilatoire des Mammifères : cas de l'Homme (autre vision). D'après BREUIL (2009). ***Connaître les valeurs.***

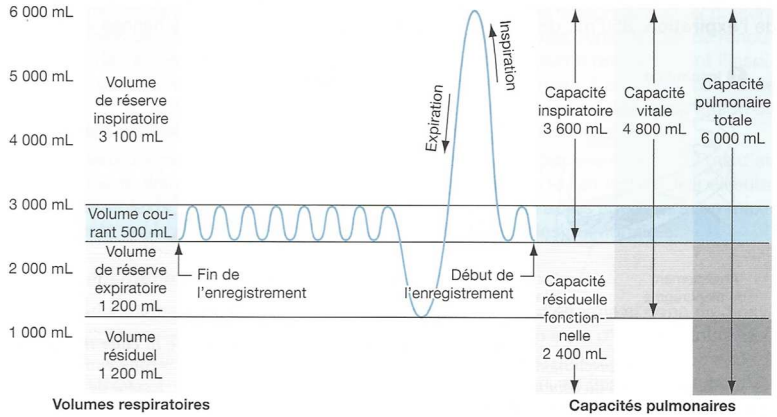


FIGURE. Volumes et capacités respiratoires humaines. D'après BREUIL (2009).

*Quelques **volumes respiratoires (= volumes ventilatoires)***
(!) Noter et connaître les valeurs moyennes chez l'homme

Volume courant (VC) :
Volume résiduel (VR) :
Volume de réserve inspiratoire (VRI) :
Volume de réserve expiratoire (VRE) :

*Quelques **capacités respiratoires (= capacités ventilatoires)***
(!) Noter et connaître les valeurs moyennes chez l'homme

Capacité pulmonaire totale (CPT) :
Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) :
Capacité vitale (CV) :
Capacité inspiratoire (CI) :

NB Notion d'**espace mort anatomique** : ***volume d'air à peu près constant contenu dans les voies respiratoires (hors alvéoles)***. Env. **150 mL**.

2. L'irrigation active des branchies en milieu aquatique, milieu dense imposant des flux unidirectionnels

Eau** : **800 fois plus dense** / **60 fois plus visqueuse** que **l'air** ⇒ déplacement **coûteux en énergie
*⇒ **flux actifs** toujours **unidirectionnels***

a. Cas de l'Écrevisse [limite programme] : une irrigation branchiale favorisée par les déplacements et les mouvements rythmiques du scaphognathite

Marche + Nage + Mouvement de scaphognathite

Scaphognathite (sur Pmx2) :

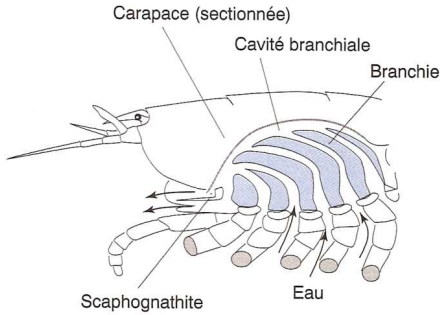


FIGURE 32. Scaphognathite et irrigation branchiale chez l'Écrevisse.
D'après RICHARD *et al.* (1997).

b. Cas des Téléostéens : des cycles ventilatoires impliquant les cavités buccale et branchiale [+ la possibilité d'une nage dynamique]

*Deux ou quatre temps ⇒ **modèle en deux temps** plus simple*
*- **Inspiration***
-
-
-

NB

- Expiration
-
-
-

NB

- **Pompe buccale** (ou **pompe bucco-pharyngée**) : ***mouvements de mise sous pression / relâchement de la cavité buccale***
- **Pompe operculaire** : ***mouvements de mise sous pression / relâchement de la cavité branchiale (= cavité operculaire).***

Inspiration ***Expiration***

FIGURE 33. Le cycle ventilatoire des Téléostéens en deux temps.
D'après RICHARD *et al.* (1997).

Modélisation en quatre temps (pour information ?)
(1) **Bouche ouverte** / **Dilatation** de la **cavité buccale** / **Dilatation** de la **cavité operculaire**
[*ouïe fermée*]
(2) **Fermeture** de la **bouche** / **Compression** de la **cavité buccale** / **Dilatation** de la **cavité operculaire**
(3) **Compression** de la **cavité buccale** / **Compression** de la **cavité operculaire** / **Ouverture** de l'**ouïe**
(4) **Ouverture** de la **bouche** / **Dilatation** de la **cavité buccale** / **Compression** de la **cavité operculaire**
[*ouïe toujours ouverte*]

*NB En cas d'**effort** important :*

Nage dynamique :

Notons que, chez de **nombreux Chondrichtyens** (ex. Requins), **l'absence de ventilation** impose que **les Animaux ne cessent jamais de nager**, sous peine de cessation des échanges gazeux respiratoires.

3. La ventilation, une fonction modulable

Contrôle (physiologique) :
Régulation (physiologique) :
Adaptation (physiologique) :
≠ Adaptation évolutive :

a. Une modulation à l'effort et en cas de variation de la concentration sanguine en CO_2 chez les organismes aériens

α. Cas des Mammifères : des contrôles passant par des chémorécepteurs centraux ou périphériques

Paramètres ventilatoires *(avec **valeur moyennes** au repos chez l'Homme)*

Fréquence ventilatoire Fv :
Volume courant VC : voir plus haut.
Débit ventilatoire Dv :

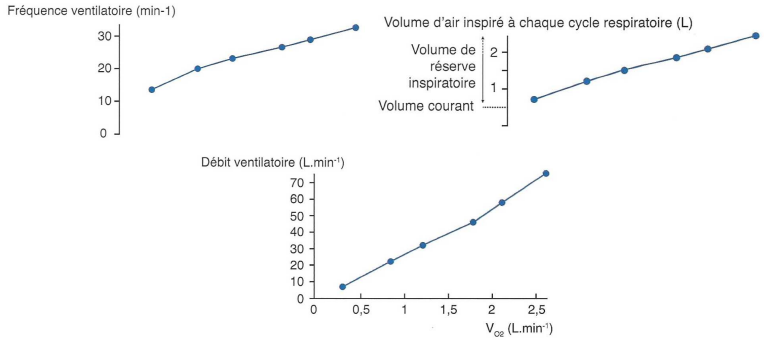


FIGURE 36. Adaptation à l'effort physique chez l'Homme. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

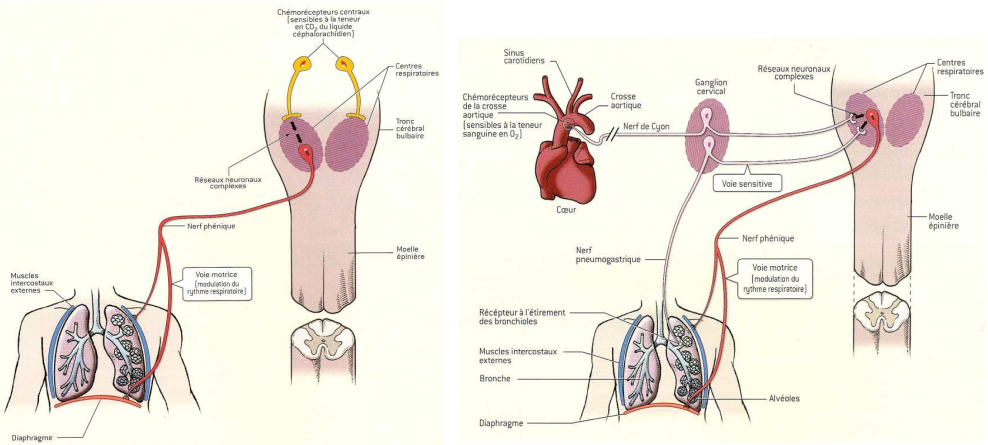


FIGURE 37-38. Contrôle de la ventilation pulmonaire [hors programme]. D'après CADET (2008).

(!) Signaux principaux : ***pH*** */* ***pCO_2*** *(**chémorécepteurs centraux** et **périphériques**)*
+ ***tension des bronches*** *(si elle **augmente** ⇒ **diminution** des **paramètres ventilatoires**)*
[+ ***chémorécepteurs centraux*** *à la* ***pO_2****]*
- Existence d'une ***adaptation à l'effort***

β. Cas des Insectes : une influence de l'activité musculaire sur la quantité de liquide trachéolaire et une perception de la pCO_2 trachéenne

(!) Signal principal : sans doute ***pCO_2*** *(**chémorécepteurs trachéens ?**)*
- Existence aussi d'une ***adaptation à l'effort musculaire*** *(effet médié par le* ***liquide trachéolaire****)*

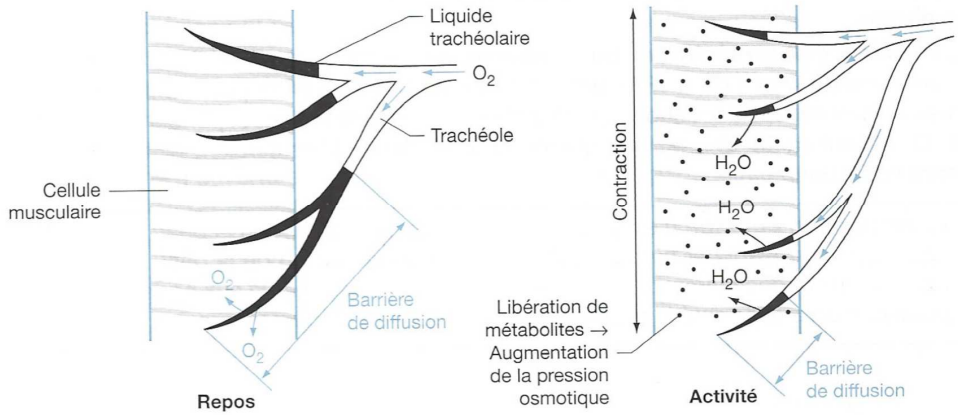


FIGURE 39. Influence de l'activité sur la quantité de liquide trachéolaire et donc sur les échanges gazeux [pour information]. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

b. Une modulation des mouvements ventilatoires également possible chez les organismes aquatiques plutôt en lien avec l'oxygénation du milieu

α. Une modulation possible des mouvements du scaphognathite chez l'Écrevisse

(!) Signal principal : chute de la ***pO_2*** *du milieu >> hausse de la* ***fréquence des mouvements*** *du* ***scaphognathite***
- Mêmes effets si ***augmentation de la pCO_2*** *ou* ***baisse du pH***

β. Une modulation possible des mouvements ventilatoires chez les Téléostéens en lien avec des chémorécepteurs et des mécanorécepteurs branchiaux

(!) Signaux principaux :
- ***pO_2 du milieu*** *(**chémorécepteurs branchiaux**)*
- ***tension*** *des* ***branchies*** *(**mécanorécepteurs branchiaux**)*
(!) Pas de signal O_2 connu

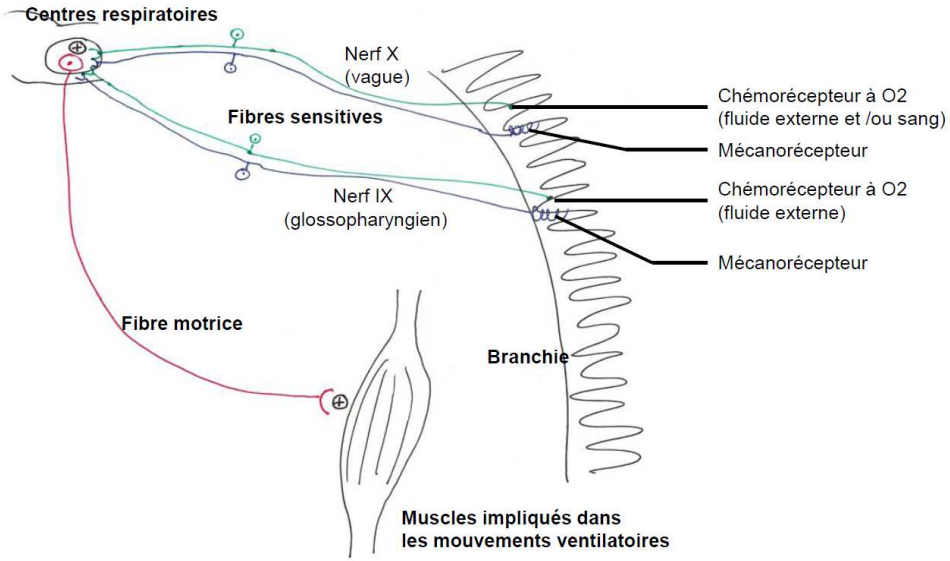


FIGURE 41. Contrôle de la ventilation branchiale des Téléostéens [pour information]. Original 2014.

B. La « convection » interne : un transport des gaz respiratoires dans le milieu intérieur chez la plupart des organismes (sauf Insectes)

Intérêts *de la* ***circulation du milieu interne*** *dans les* ***EGR*** *:*
-
-

NB N'intervient pas dans les EGR chez les ***Insectes*** *!*
*(**échanges directs** entre **fluide externe** et **cellules**)*

1. La notion de milieu intérieur chez les organismes

Milieu intérieur :
Système circulatoire clos / sang :
Système circulatoire ouvert / hémolymphe :

*Chez les Vertébrés, il existe **trois liquides extracellulaires** (voir chapitre 10) : sang / lymphe (« lymphe canalisée ») / liquide interstitiel (« lymphe interstitielle »)*

Hématose :

Attention !

Le ***sang riche en dioxygène*** est parfois appelé « **sang artériel** » et le ***sang appauvri en dioxygène*** est parfois appelé « **sang veineux** » mais… cela **ne présume** en réalité absolument **pas** du type de **vaisseau** dans lequel le liquide **circule** !

En rouge : sang / hémolymphe hématosé(e) (riche en dioxygène) = « sang artériel ».
En bleu : sang / hémolymphe appauvri(e) en dioxygène = « sang veineux ».

2. Cas des 'crustacés' Décapodes : un système circulatoire ouvert où circule de l'hémolymphe

FIGURE 44. Principe simplifié de la circulation chez l'Écrevisse. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

3. Cas des Vertébrés : un système circulatoire fermé où circule le sang

a. Cas d'une circulation simple : les Téléostéens

FIGURE 46. Principe simplifié de la circulation chez les Téléostéens. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

b. Cas d'une circulation double : les Mammifères

FIGURE 48. Principe simplifié de la circulation chez les Mammifères. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

FIGURE 50. Couplage respiration-circulation chez les Mammifères.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

FIGURE 49. Les échanges gazeux alvéolaires et le rôle des gradients de pressions partielles en gaz respiratoires. [*Connaître des chiffres*]. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

C. Une coopération des circulations des fluides externe et interne : le couplage respiration-circulation

1. Le système à renouvellement des deux milieux en milieu aérien : cas des Mammifères

- ***Circulation d'air bidirectionnelle*** ⇒ ***renouvellement régulier*** *de l'****air alvéolaire*** *à* ***composition*** *globalement* ***stable***
- ***Circulation sanguine*** *:* ***charge en dioxygène*** *proche de la* ***pO_2 de l'air alvéolaire*** *(légèrement* ***inférieure****)*

2. Les systèmes en milieu aquatique : systèmes concourant (ex. Écrevisse) *vs.* à contre-courant (cas des Téléostéens)

Système co-courant = concourant : [Extraction : 50 %] - *Nombreux 'invertébrés' (ex. Écrevisse)*
Système à contre-courant : [Extraction : 70-90 %] - *Téléostéens*

FIGURE 51. Couplage respiration-circulation chez les Téléostéens (à gauche) et chez les Décapodes (à droite). D'après PEYCRU *et al.* (2014).

3. Une modulation de l'activité circulatoire en lien avec l'activité ventilatoire

Coordination des deux fonctions*, par exemple dans le cas d'un* ***effort physique*** *(cf. chapitre 10)*

III. La prise en charge et le déplacement des gaz au sein du fluide circulant : l'exemple des Mammifères

Pigment respiratoire :

*Vertébrés : **hémoglobine** (cellularisée dans **hématies**) - (Écrevisse : hémocyanine)*

A. Un transport pigmentaire ultra-dominant pour le dioxygène et notoire pour le dioxyde de carbone

Dioxygène (formes de transport avec %) :

-

-

Pourvoir oxyphorique :

Dioxyde de carbone (formes de transport avec %) :

-

-

-

On considère que **35 % environ du CO_2** est transporté par **les hématies** et **65 %** par le **plasma**.

Formations des ions HCO_3^- :

B. L'hémoglobine, protéine allostérique de transport gazeux à structure quaternaire et à fonctionnement modulable

1. L'hémoglobine, une protéine de structure quaternaire à groupement prosthétique ferreux capable de fixer le dioxygène, l'hème

Hémoglobine (Hb) :

On rappelle qu'une **protéine de structure quaternaire** est une ***protéine composée de plusieurs chaînes polypeptidiques qu'on nomme sous-unités (ou protomères)***.

Hème :

*- Fixation du **dioxygène** par l'Hb (→ **oxyhémoglobine**) :*

*- Fixation du **dioxyde de carbone** par l'Hb (→ **carbhémoglobine** = **carbaminohémoglobine**) :*

***NB** Le **dioxyde de carbone** ne se fixe **pas** sur l'hème mais sur **l'extrémité N-terminale** des **chaînes alpha et bêta**, formant ce qu'on appelle une **fonction carbamine** :*

$$R-NH_2 + CO_2 \leftrightarrows R-NH-COO^- + H^+$$

*[Notons dès à présent **l'acidification** qui en découle]*

2. L'hémoglobine, une protéine à cinétique sigmoïde de fixation et de libération du dioxygène qui s'explique par un fonctionnement allostérique

Coopérativité entre sous-unité (caractérise les **protéines allostériques**) **:**

*Pr. allostérique = forcément de **structure IV***

Allostérie :

Transition allostérique :

Formes R // T :

FIGURE 55. Cinétique de l'hémoglobine Hb et de la myoglobine Mb humaines.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

FIGURE 56. Formes T et R de l'hémoglobine. D'après SEGARRA *et al.* (2015), corrigé.

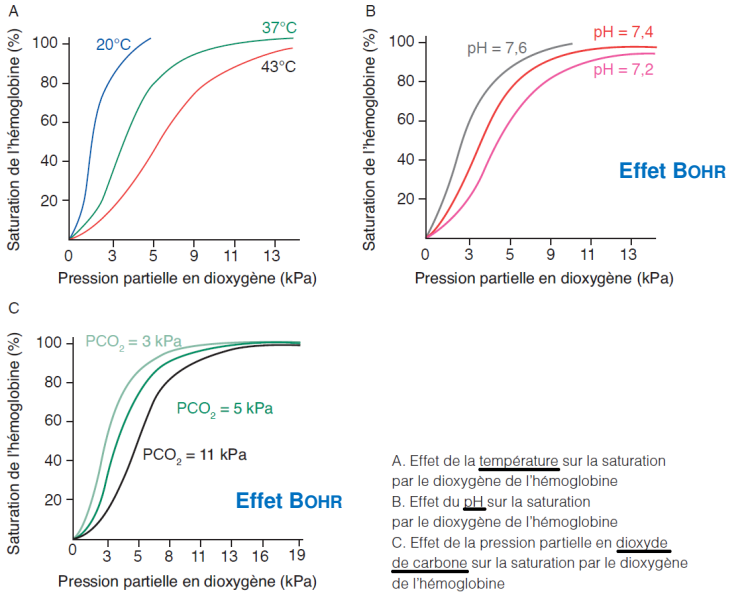
- ✓ *Pour comparaison : la **myoglobine** est une **protéine de structure tertiaire (composée seulement d'une chaîne alpha et d'un hème) qui fixe le dioxygène dans les muscles** : on notera l'allure d'une **cinétique de saturation « classique »** d'allure **michaëlienne** (même si le terme michaëlien serait plutôt à réserver aux enzymes).*
- ✓ *La **P_{50}** est la **pression partielle en dioxygène pour laquelle 50 % des protéines étudiées sont saturées en dioxygène**. C'est un indicateur de l'**affinité de la protéine** pour le **dioxygène** : plus l'affinité est grande, plus la P_{50} est faible.*

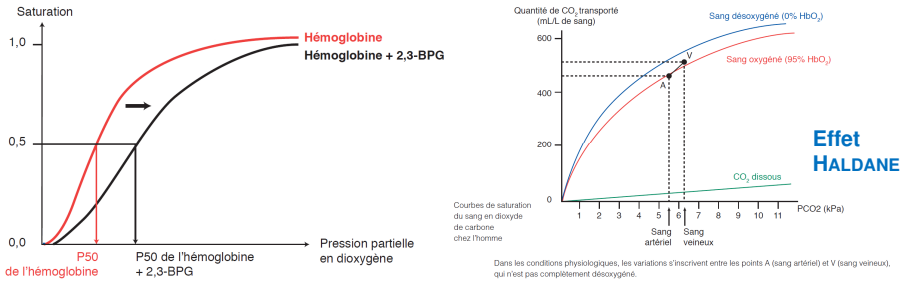
3. L'hémoglobine, une protéine à cinétique compatible avec les pressions partielles en dioxygène régnant dans l'organisme

-

-

4. L'hémoglobine, une protéine à cinétique modifiable par des conditions régnant dans l'hématie : impact de la température, du pH ou de la P_{CO2} (effet BOHR) et de la présence de 2,3-BPG





FIGURES 58-59-60. Modulation de la cinétique de l'hémoglobine.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

*L'**affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène** (donc la **fixation**) diminue quand :*
*- la **température** augmente*
*- le **pH** diminue ou la **pCO_2** augmente (**effet Bohr**)*
*- la **concentration en 2,3-BPG** augmente [effecteur allostérique négatif]*
***Intérêt** : **libération accrue d'O_2** lors d'un effort physique*

Effecteur allostérique :

5. L'hémoglobine, une protéine qui fixe mieux le dioxyde de carbone à l'état désoxygéné qu'oxygéné : l'effet Haldane

Effet Haldane :

C. Les hématies, cellules renfermant l'hémoglobine

(!) **Pigments cellularisés**

Érythrocytes = globules rouges :
99 % des éléments figurés
Hématies :
Caractéristiques des **hématies** :

1. Des cellules sanguines adaptées au transport des gaz respiratoires

a. Des cellules abondantes, composant 99 % des éléments figurés du sang

b. Des cellules biconcaves, à forte surface d'échanges, et réversiblement déformables, ce qui facilite leur passage dans les capillaires

*- **7 µm** de diamètre pour **2-4 µm** d'épaisseur*
*- **Biconcavité** ⇒ fort **rapport surface / volume** ⇒ augmente les **échanges***
*- Forme due à **assemblage cytosquelettique** ; forme **élastique** (**déformation** dans les **capillaires**, retour à la **forme initiale** dans les **gros vaisseaux**)*

Figure 61. Hématie avec un focus sur la membrane (et l'association membrane-cytosquelette). D'après Segarra *et al.* (2015).

c. Un équipement protéique en lien avec le transport des gaz respiratoires

- Hémoglobine
- Anhydrase carbonique (AC) :
- Protéine bande 3 (« canal » / échangeur anionique) : → *effet Hamburger*

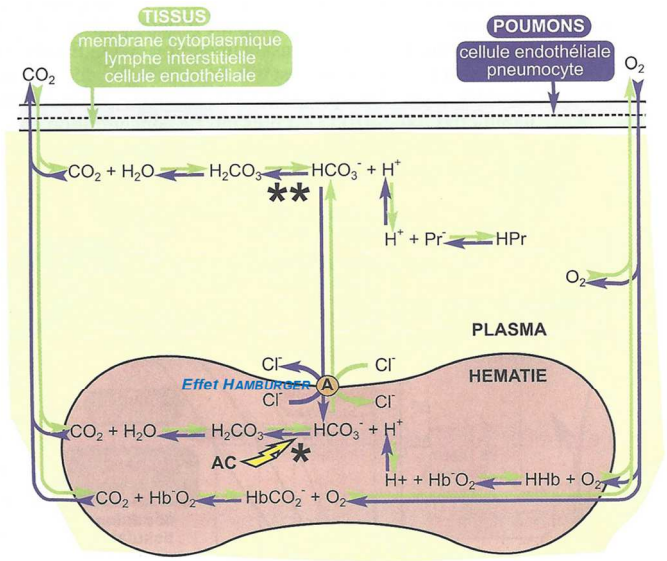
d. Un métabolisme particulier (notamment : fermentation lactique), limitant l'interférence avec les gaz respiratoires

*- **Consommation** de **glucose** (**glycolyse**) ; transporteurs **GLUT***
*- **Pas de mitochondries** ⇒ **fermentation lactique***
*⇒ **pas d'utilisation locale** du **dioxygène** transporté !*
*- **Methémoglobine** possible si forte pO_2 ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) ; **méthémoglobine réductase** (consommatrice d'électrons des coenzymes) permet la réaction inverse ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$)*
*- Production par la **glycolyse** de **2,3-BPG** (**effecteur allostérique négatif** de l'Hb ; production **augmentée en cas d'effort**)*

2. Modalités de la participation des hématies au transport sanguin des gaz respiratoires

Échanges au niveau de la barrière alvéolo-capillaire.

⮝ **FIGURE 64. Les échanges gazeux respiratoires et le transport des gaz (avec un focus sur l'hématie).** D'après SEGARRA *et al.* (2015), modifié.



** : réaction lente (A) : antiport
* : réaction rapide AC : anhydrase carbonique
couleur verte : échanges tissus/sang (niveau tissulaire)
couleur violette : échanges sang/air (niveau pulmonaire)

Hb hémoglobine
Pr/Pr⁻ protéine plasmatique (ionisation H^+ dépendante)

Réactions associées à la prise en charge et au relargage de O_2 et CO_2 dans les poumons et les tissus.

⮝ **FIGURE 65. Les échanges gazeux respiratoires et le transport des gaz (avec un focus sur l'hématie) : une autre vision.** D'après PEYCRU *et al.* (2014).

a. Prise en charge érythrocytaire et plasmatique des gaz respiratoires au niveau pulmonaire

>> Concernant le **dioxygène**

-

-

>> Concernant le **dioxyde de carbone**

-

-

-

-

b. Prise en charge érythrocytaire des gaz respiratoire au niveau des tissus consommateurs

>> Concernant le **dioxygène**

-

-

>> Concernant le **dioxyde de carbone**

-

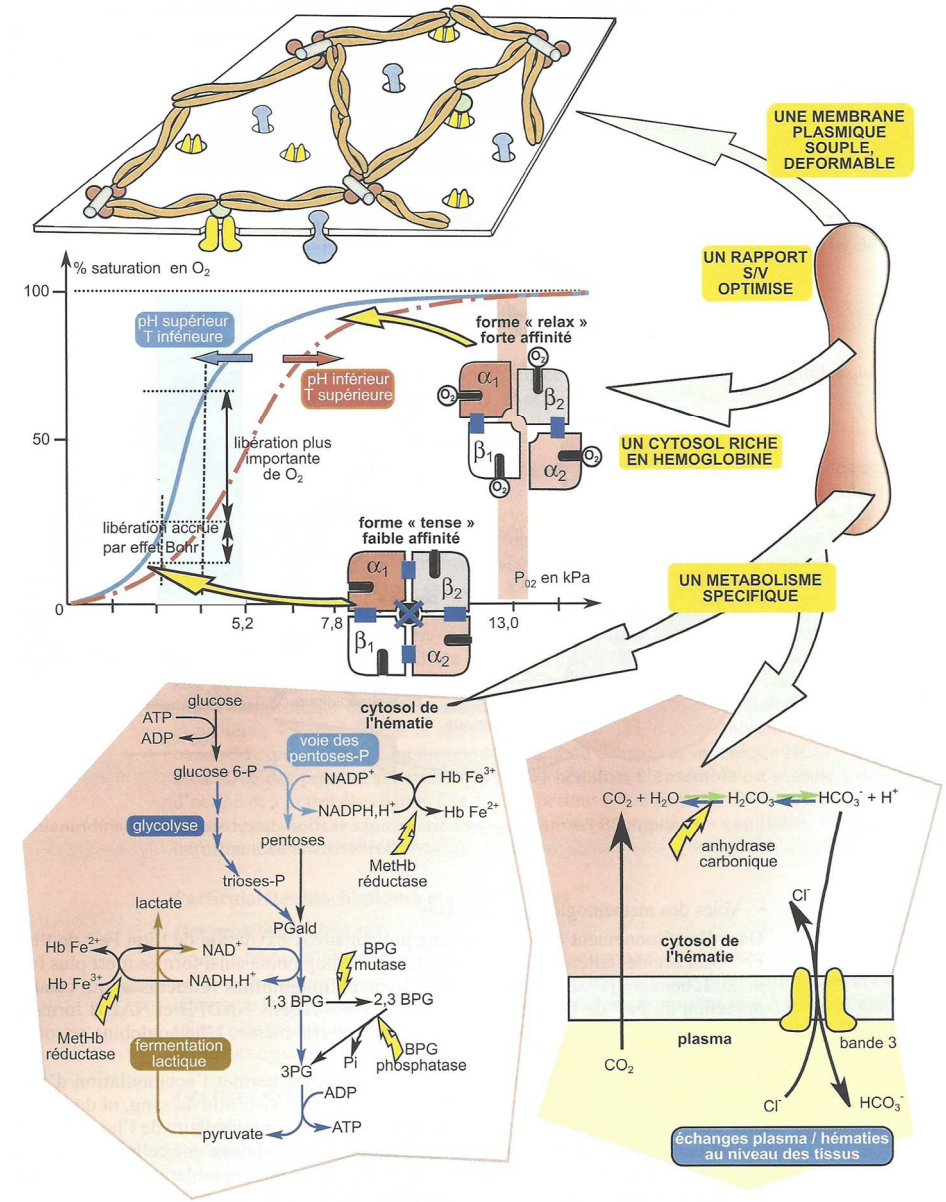
-

-

-

D. Unité et diversité des pigments chez les Métazoaires

E. Bilan



Relations structure-fonction de l'hématie.

FIGURE 67. Le rôle des hématies et de l'hémoglobine dans le transport des gaz respiratoires.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

Schémas-bilans

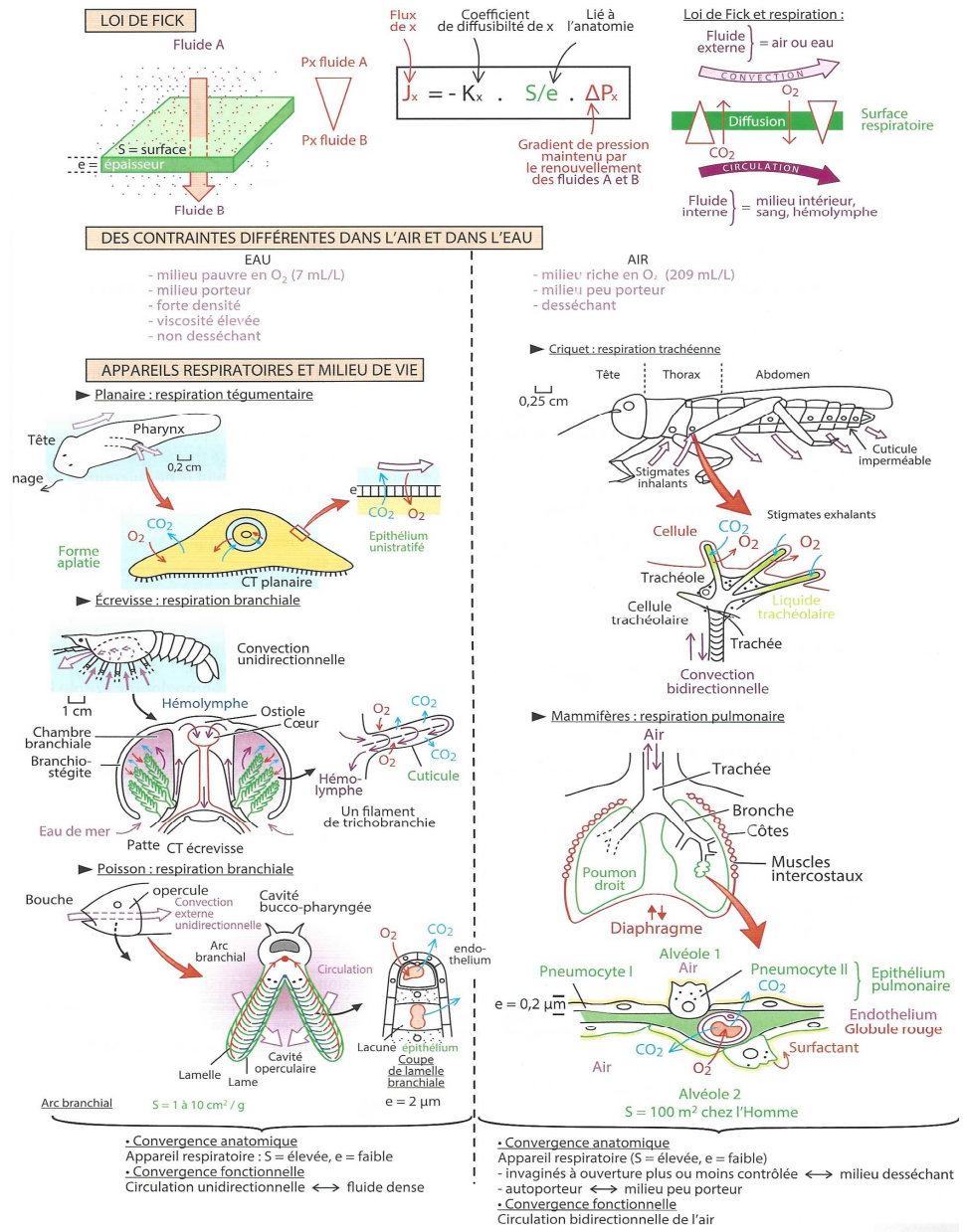


FIGURE 68. Respiration animale et milieu de vie. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

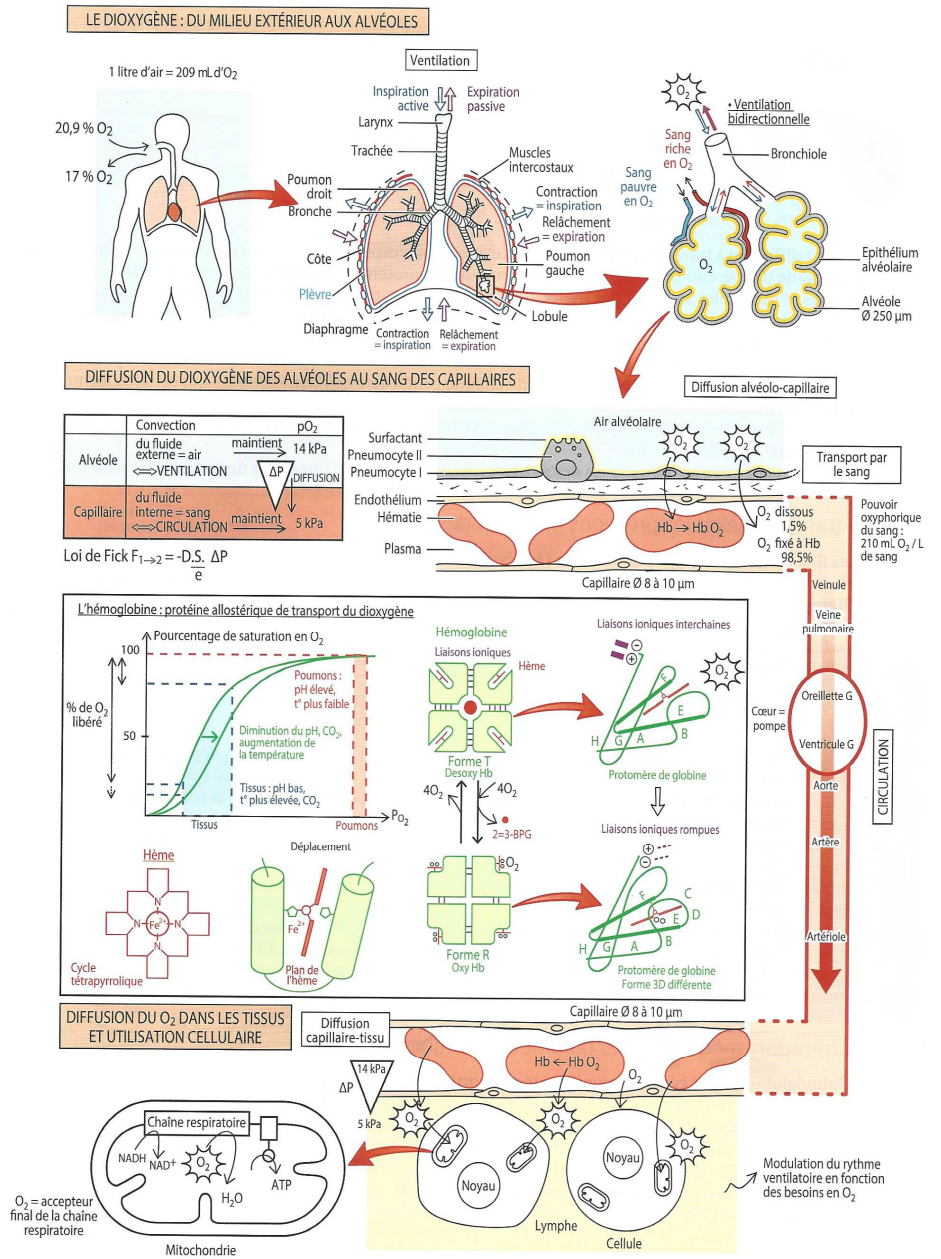


FIGURE 69. Le dioxygène chez les Mammifères : de l'atmosphère aux cellules consommatrices. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

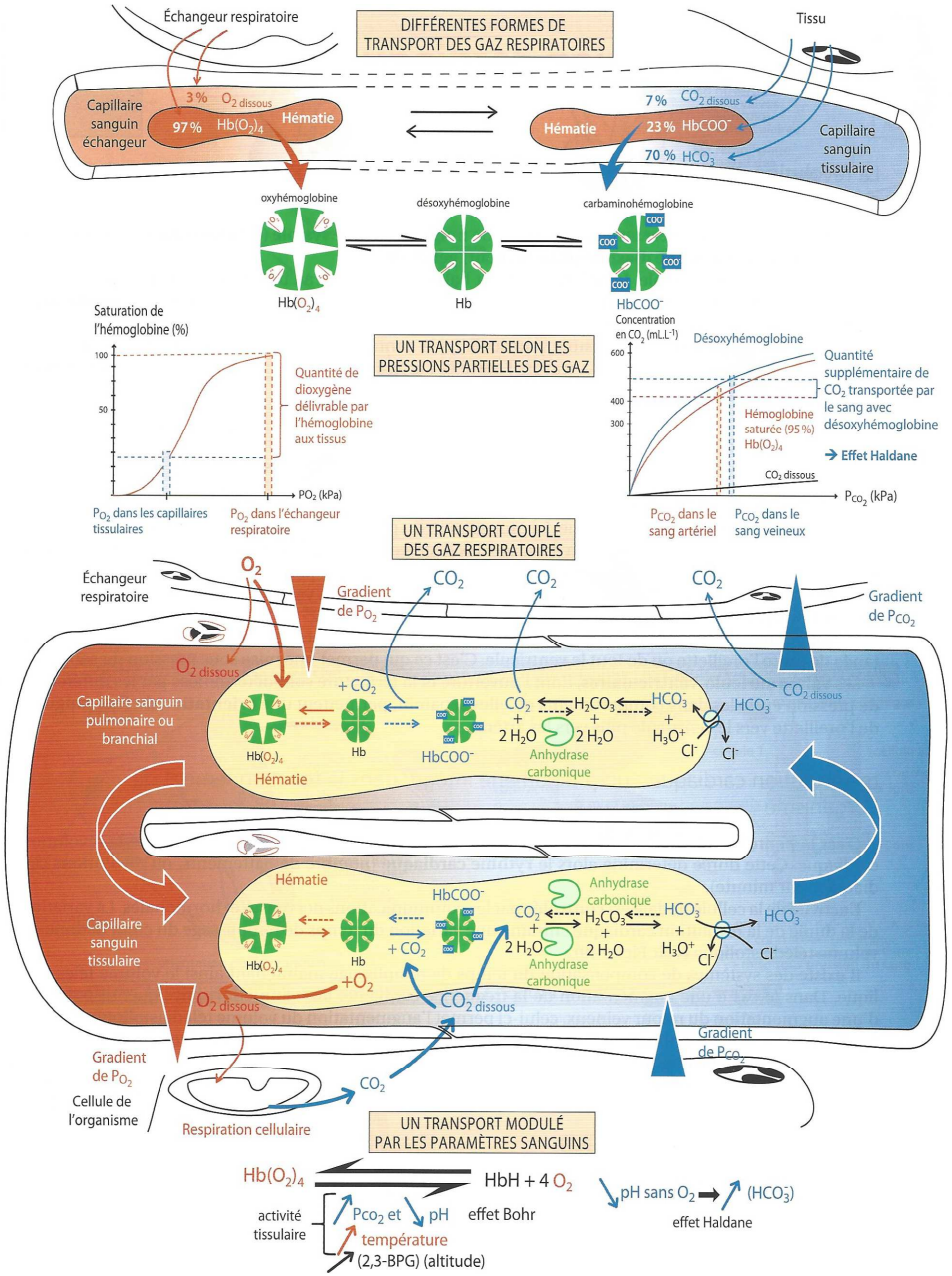


FIGURE 70. Le transport sanguin des gaz respiratoires. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

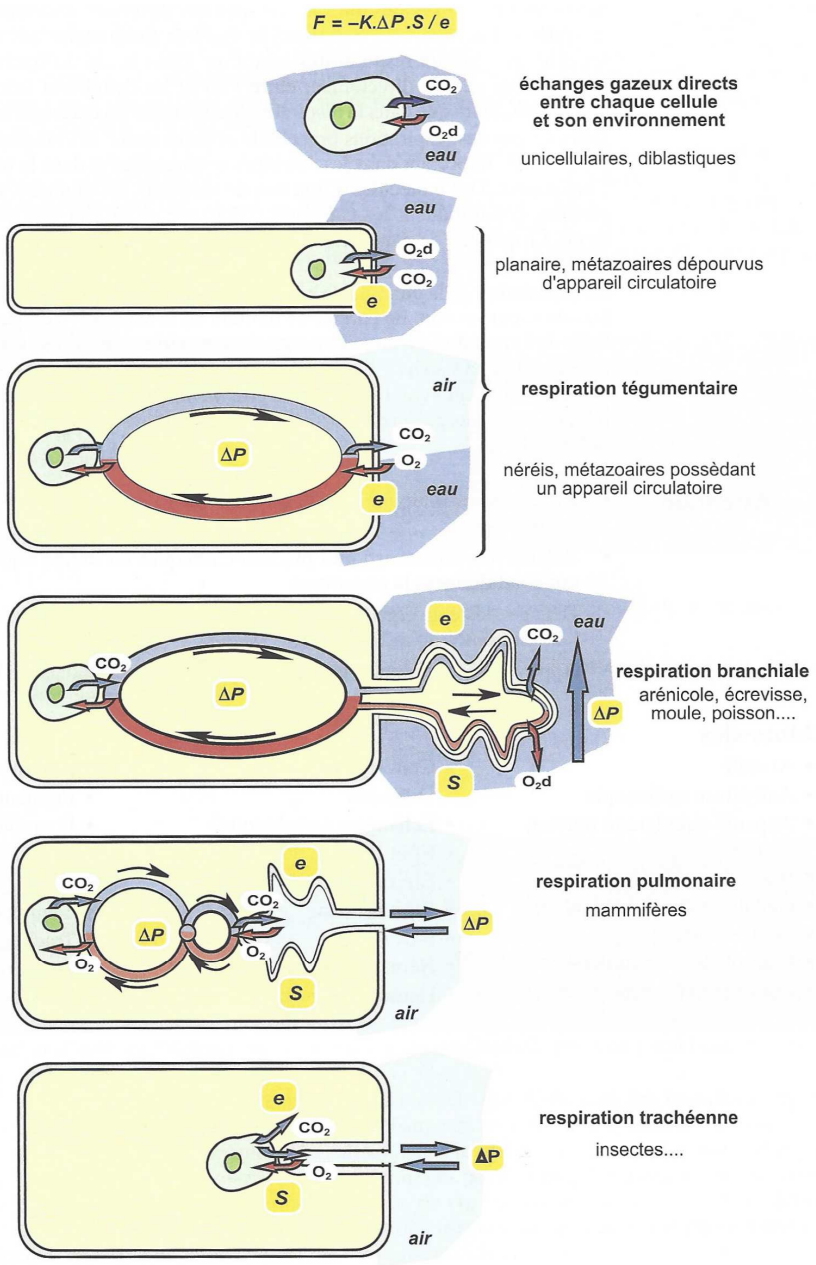


FIGURE 71. La respiration animale : vue d'ensemble. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne soit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

- Échangeurs respiratoires
° Organisation + histologie de **l'appareil trachéen** (Insectes)
° Organisation + histologie de **l'appareil respiratoire** (Mammifères)
° Organisation + histologie de **l'appareil trachéen** (Insectes)
° Organisation + histologie de **l'appareil respiratoire** (Mammifères)
[° **Osmorégulation** chez les **Téléostéens**]

- Convection externe (ventilation)
[° **Ventilation trachéenne** (mouvements du corps, ouverture/fermeture des stigmates, rôle des sacs aériens si présents…)]
° **Ventilation pulmonaire** [valeurs à connaître]
° **Volumes** et **capacités respiratoires**
° **Ventilation branchiale (Téléostéens)** (modèle en deux temps)
[° **Ventilation branchiale (Écrevisse)**]
° Documents/graphes illustrant le **contrôle des EG**
[Le détail des voies de contrôle n'est pas au programme]

- Convection interne (circulation)
° **Système circulatoire** des Mammifères
° **Système circulatoire** des Téléostéens
° **Système circulatoire** de l'Écrevisse
° **Pressions partielle des gaz respiratoires** au niveau alvéolaire
° Graphe du **couplage respiration-circulation**
°° Chez les **Mammifères**
°° Chez les **Téléostéens** (système à contre-courant)
°° Chez **l'Écrevisse** (système co-courant)

- Les gaz respiratoires dans le sang : hémoglobine (Hb), hématie
° **Représentation simplifiée** de l'**Hb**
° **Courbe de saturation** de l'**Hb**
° **Allostérie** de l'**Hb**
° **Graphes** montrant les effets de **divers paramètres** sur la cinétique de l'**Hb**
° **Hématie** : structure, organisation membranaire
° Prise en charge des **gaz respiratoires** par le **sang** (dont les **hématies**)

Attention à connaître des **valeurs** et **ordres de grandeur** !

Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** [faire le lien avec les TP de zoologie]
° Expliciter et dessiner l'organisation tissulaire du **poumon de Mammifères**, de la **trachée**
° Expliciter et dessiner l'organisation tissulaire de la **branchie de Téléostéens**
° Expliciter et dessiner **l'organisation tissulaire des trachées d'Insectes**
° Expliciter et dessiner **l'organisation tissulaire des branchies de l'Écrevisse**

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

BEAUMONT, A., J.-P. TRUCHOT & L. DU PASQUIER (1995). *Respiration. Circulation. Système immunitaire.* Dunod, Paris, 263 pages.

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BOUJARD, D. (dir). B. ANSELME, C. CULLIN & CÉLINE RAGUÉNÈS-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES.* 2e édition (1e édition 2012), Dunod, Paris.

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CADET, R. (2008). *L'invention de la physiologie. 100 expériences historiques.* Belin, Paris.

CALVINO, B. (2003). *Introduction à la physiologie. Cybernétique et régulations.* Belin, Paris.

CAMEFORT, H. (1977). *Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1962).

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

ECKERT, R., D. RANDALL, W. BURGGREN & K. FRENCH (1999). *Physiologie animale. Mécanismes et adaptations.* Traduction de la 4e édition américaine (1e édition 1978) par F. MATH. De Boeck, Paris – Bruxelles (B).

GILLES, R., M. ANCTIL, F. BAGUET, M. CHARMANTIER, R. GILLES Jr., A. PÉQUEUX, J.-C. PLUMIER & P. SÉBERT (2006). *Physiologie animale.* Illustrations G. DELCOURT. De Boeck, Bruxelles (B).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

HICKMAN, Jr., C. P., L. S. ROBERTS, S. L. KEEN, A. LARSON, H. l'ANSON & D. J. EISENHOUR (2008). *Integrated Principles of Zoology.* McGraw-Hill, 14e édition.

LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.

LATRUFFE, N. (dir.), F. BLEICHER-BARDETTI, B. DUCLOS & J. VAMECQ (2014). *Biochimie. Tout le cours en fiches. Licence. PACES-UE1. CAPES.* Dunod, Paris.

LULLMANN-RAUCH, R. (2008). *Histologie.* Traduit de l'allemand par P. SPRUMONT. De Boeck, Bruxelles.

MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines.* Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6e édition américaine (2004) adaptée par R. Lachaîne.

MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.

PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).

PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie.* De Boeck, Bruxelles.

RICHARD, D., É. PÉRILLEUX (dir.), B. ANSELME, J.-C. BAEHR, J. CHAFFARD, J. MÉREAUX & P. VALET (1997). *Physiologie des animaux. Tome **1**. Physiologie cellulaire et fonctions de nutrition.* Nathan, Paris.

RICHARD, D., É. PÉRILLEUX (dir.), B. ANSELME, J.-C. BAEHR, J. CHAFFARD, J. MÉREAUX & P. VALET (1998). *Physiologie des animaux. Tome **2**. Construction de l'organisme, homéostasie et fonctions de relations.* Nathan, Paris.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2010).

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.

SCHMIDT, R. F. (1999). *En bref… Physiologie.* De Boeck, Paris – Bruxelles.

SCHMIDT-NIELSEN, K. (1998). *Physiologie animale. Adaptation et milieux de vie.* Dunod, Paris.

SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.

VANDER, A. J. et collaborateurs (2009). *Physiologie humaine.* Maloine, Paris.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Unité et diversité de quelques échangeurs gazeux chez les Métazoaires 2
A. Les échanges gazeux, un processus dépendant de lois physico-chimiques et des contraintes du milieu 2
1. Des échanges diffusifs régis par la première loi de FICK 2
A. Expression de la loi de FICK 2
b. Conséquences sur les surfaces d'échanges gazeux respiratoires : large surface, fine épaisseur, fréquents mécanismes d'entretien des gradients de pression partielles 3
2. Les échanges gazeux, un processus dépendant du milieu de vie : atouts et inconvénients du milieu aérien et du milieu aquatique 3
B. L'existence d'une respiration tégumentaire seule ou partielle chez de nombreux taxons (aquatiques ou aériens) 4
1. Une respiration exclusivement tégumentaire chez des organismes variés 4
a. Cas des taxons aquatiques 4
b. Cas des taxons terrestres 5
2. Une respiration partiellement tégumentaire chez la plupart des organismes : une illustration au travers de l'exemple des Vertébrés 5
C. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aériens, des organes invaginés soutenus par le squelette et ramifiés jusqu'aux surfaces d'échanges avec les tissus consommateurs ou le sang 6
1. Des voies respiratoires invaginées et ramifiées en lien avec la faible portance du milieu aérien et son caractère desséchant 7
a. Adaptation au caractère peu porteur du milieu aérien 7
b. Adaptation au caractère desséchant du milieu aérien 7
2. Des voies respiratoires soutenues et protégées par le squelette voire du surfactant dans un milieu aérien peu porteur, ce qui évite l'effondrement des structures et les collapsus 9
a. La présence de taenidies dans les trachées des Insectes 9
b. La présence d'une cage thoracique enfermant les poumons des Mammifères et d'anneaux cartilagineux au niveau des ramifications 9
c. La présence de surfactant évitant les collapsus dans les alvéoles pulmonaires des Mammifères 9
3. Une importante surface d'échanges gazeux et une faible distance entre fluide externe et organisme 9
a. Un échange direct avec les cellules au niveau de fines trachéoles chez les Insectes 9
b. Un échange avec le milieu intérieur au niveau des alvéoles chez les Mammifères 10
α. Une importante surface d'échanges 10
β. Le poumon, organe fortement vascularisé et présentant une barrière hémato-alvéolaire très fine 10
4. Des organes protégés des agressions mécaniques et biologiques 11
a. Chez les Insectes : soies atriales et nature cuticulaire des trachées 11
b. Chez les Mammifères : mucus et ciliature + macrophages 11
D. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aquatiques, des organes évaginés, au moins ancrés sur le squelette, assurant des échanges avec le milieu intérieur : les branchies 11
1. Des surfaces évaginées en lien avec la forte portance du milieu aquatique 13
2. Une importante surface d'échanges et une faible distance entre fluide externe et fluide interne 13
a. Les trichobranchies des Décapodes, des différenciations tégumentaires de structure filamenteuse 13
b. Les holobranchies des Téléostéens, des différenciations pharyngiennes 14
c. Des adaptations à des différentiels de pression partielle milieu extérieur/milieu intérieur plus faibles que dans le milieu aérien 14
3. Des appareils ancrés sur le squelette, et consolidées par des structures limitant l'écrasement 15
a. Un ancrage sur le squelette 15
α. Un ancrage sur l'exosquelette chez les Décapodes : des branchies appendiculaires (podobranchies), articulaires (arthrobranchies) et latérales (pleurobranchies) 15
β. Un ancrage sur l'endosquelette chez les Téléostéens : les arcs branchiaux (portant aussi des branchiospines bloquant les particules alimentaires) 15
b. Une consolidation par le squelette : cuticule autour des filaments de l'Écrevisse, arêtes branchiales dans les filaments des Téléostéens 15
c. Des cellules en piliers empêchant les collapsus 16
4. Des organes protégés des agressions mécaniques et osmotiques 16
a. Dans les deux exemples retenus : des branchies « internes » (= protégées dans une cavité branchiale) 16
b. Une protection contre les chocs osmotiques et ioniques 16
α. Cas de nombreux 'invertébrés' aquatiques comme l'Écrevisse : l'osmoconformité (isotonicité entre milieu interne et milieu externe) 16
β. Cas des Téléostéens (avec hypo- ou hypertonicité du milieu interne par rapport aux milieu externe) : une osmorégulation stricte à laquelle participent des cellules à ions (= ionocytes) branchiales 16

II. Une mise en mouvement (« convection ») des fluides externes et internes qui assure largement l'entretien des gradients de pression partielle en gaz respiratoires 17
A. La « convection » externe : un transport des gaz respiratoires par mise en mouvement du fluide externe (ventilation au sens large) 17
1. La ventilation en milieu aérien, milieu peu dense facile à déplacer 18
a. Chez les Insectes [limite programme] : un processus d'importance variable 18
α. La possibilité d'une simple diffusion sans ventilation 18
β. La possibilité d'une ventilation unidirectionnelle ou bidirectionnelle 18
γ. Une ventilation qui, lorsqu'elle est présente, implique des cycles de contraction musculaire, d'ouverture-fermeture des stigmates et éventuellement des sacs aériens 18
b. Chez les Mammifères : un processus bidirectionnel dû à des cycles d'inspiration-expiration permis par des muscles spécialisés 19
α. Un processus permis par les plèvres, des muscles et des os (cage thoracique) 19
β. Mécanismes de l'inspiration : un processus plutôt actif qui implique une dépression par rapport au milieu aérien extérieur 19
γ. Mécanismes de l'expiration : un processus plutôt passif qui implique une surpression par rapport au milieu aérien extérieur 19
2. L'irrigation active des branchies en milieu aquatique, milieu dense imposant des flux unidirectionnels 21
a. Cas de l'Écrevisse [limite programme] : une irrigation branchiale favorisée par les déplacements et les mouvements rythmiques du scaphognathite 21
b. Cas des Téléostéens : des cycles ventilatoires impliquant les cavités buccale et branchiale [+ la possibilité d'une nage dynamique] 21
3. La ventilation, une fonction modulable 23
a. Une modulation à l'effort et en cas de variation de la concentration sanguine en CO_2 chez les organismes aériens 23
α. Cas des Mammifères : des contrôles passant par des chémorécepteurs centraux ou périphériques 23
β. Cas des Insectes : une influence de l'activité musculaire sur la quantité de liquide trachéolaire et une perception de la pCO_2 trachéenne 25
b. Une modulation des mouvements ventilatoires également possible chez les organismes aquatiques plutôt en lien avec l'oxygénation du milieu 25

α. Une modulation possible des mouvements du scaphognathite chez l'Écrevisse 25
β. Une modulation possible des mouvements ventilatoires chez les Téléostéens en lien avec des chémorécepteurs et des mécanorécepteurs branchiaux 25
B. La « convection » interne : un transport des gaz respiratoires dans le milieu intérieur chez la plupart des organismes (sauf Insectes) 26
1. La notion de milieu intérieur chez les organismes 26
2. Cas des 'crustacés' Décapodes : un système circulatoire ouvert où circule de l'hémolymphe 27
3. Cas des Vertébrés : un système circulatoire fermé où circule le sang 27
a. Cas d'une circulation simple : les Téléostéens 27
b. Cas d'une circulation double : les Mammifères 28
C. Une coopération des circulations des fluides externe et interne : le couplage respiration-circulation 29
1. Le système à renouvellement des deux milieux en milieu aérien : cas des Mammifères 29
2. Les systèmes en milieu aquatique : systèmes concourant (ex. Écrevisse) *vs.* à contre-courant (cas des Téléostéens) 29
3. Une modulation de l'activité circulatoire en lien avec l'activité ventilatoire 30

III. La prise en charge et le déplacement des gaz au sein du fluide circulant : l'exemple des Mammifères 31
A. Un transport pigmentaire ultra-dominant pour le dioxygène et notoire pour le dioxyde de carbone 31
B. L'hémoglobine, protéine allostérique de transport gazeux à structure quaternaire et à fonctionnement modulable 32
1. L'hémoglobine, une protéine de structure quaternaire à groupement prosthétique ferreux capable de fixer le dioxygène, l'hème 32
2. L'hémoglobine, une protéine à cinétique sigmoïde de fixation et de libération du dioxygène qui s'explique par un fonctionnement allostérique 32
a. Une protéine allostérique 32
b. Une allostérie qui favorise la fixation ou la libération de dioxygène 32
3. L'hémoglobine, une protéine à cinétique compatible avec les pressions partielles en dioxygène régnant dans l'organisme 33
4. L'hémoglobine, une protéine à cinétique modifiable par des conditions régnant dans l'hématie : impact de la température, du pH ou de la P_{CO2} (effet BOHR) et de la présence de 2,3-BPG 33
5. L'hémoglobine, une protéine qui fixe mieux le dioxyde de carbone à l'état désoxygéné qu'oxygéné : l'effet HALDANE 34
C. Les hématies, cellules renfermant l'hémoglobine 35
1. Des cellules sanguines adaptées au transport des gaz respiratoires 35
a. Des cellules abondantes, composant 99 % des éléments figurés du sang 35
b. Des cellules biconcaves, à forte surface d'échanges, et réversiblement déformables, ce qui facilite leur passage dans les capillaires 35
c. Un équipement protéique en lien avec le transport des gaz respiratoires 35
d. Un métabolisme particulier (notamment : fermentation lactique), limitant l'interférence avec les gaz respiratoires 35
2. Modalités de la participation des hématies au transport sanguin des gaz respiratoires 36
a. Prise en charge érythrocytaire et plasmatique des gaz respiratoires au niveau pulmonaire 37
b. Prise en charge érythrocytaire des gaz respiratoire au niveau des tissus consommateurs 37
D. Unité et diversité des pigments chez les Métazoaires 37
E. Bilan 38
Schémas-bilans 39
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 41
Références 41
Plan du chapitre 42
Plan simplifié (3 niveaux) 43
Plan très simplifié (2 niveaux) 44

Plan simplifié (3 niveaux)

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Unité et diversité de quelques échangeurs gazeux chez les Métazoaires 2
A. Les échanges gazeux, un processus dépendant de lois physico-chimiques et des contraintes du milieu 2
1. Des échanges diffusifs régis par la première loi de FICK 2
2. Les échanges gazeux, un processus dépendant du milieu de vie : atouts et inconvénients du milieu aérien et du milieu aquatique 3
B. L'existence d'une respiration tégumentaire seule ou partielle chez de nombreux taxons (aquatiques ou aériens) 4
1. Une respiration exclusivement tégumentaire chez des organismes variés 4
2. Une respiration partiellement tégumentaire chez la plupart des organismes : une illustration au travers de l'exemple des Vertébrés 5
C. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aériens, des organes invaginés soutenus par le squelette et ramifiés jusqu'aux surfaces d'échanges avec les tissus consommateurs ou le sang 6
1. Des voies respiratoires invaginées et ramifiées en lien avec la faible portance du milieu aérien et son caractère desséchant 7
2. Des voies respiratoires soutenues et protégées par le squelette voire du surfactant dans un milieu aérien peu porteur, ce qui évite l'effondrement des structures et les collapsus 9
3. Une importante surface d'échanges gazeux et une faible distance entre fluide externe et organisme 9
4. Des organes protégés des agressions mécaniques et biologiques 11
D. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aquatiques, des organes évaginés, au moins ancrés sur le squelette, assurant des échanges avec le milieu intérieur : les branchies 11
1. Des surfaces évaginées en lien avec la forte portance du milieu aquatique 13
2. Une importante surface d'échanges et une faible distance entre fluide externe et fluide interne 13
3. Des appareils ancrés sur le squelette, et consolidées par des structures limitant l'écrasement 15
4. Des organes protégés des agressions mécaniques et osmotiques 16

II. Une mise en mouvement (« convection ») des fluides externes et internes qui assure largement l'entretien des gradients de pression partielle en gaz respiratoires 17
A. La « convection » externe : un transport des gaz respiratoires par mise en mouvement du fluide externe (ventilation au sens large) 17
1. La ventilation en milieu aérien, milieu peu dense facile à déplacer 18
2. L'irrigation active des branchies en milieu aquatique, milieu dense imposant des flux unidirectionnels 21
3. La ventilation, une fonction modulable 23
B. La « convection » interne : un transport des gaz respiratoires dans le milieu intérieur chez la plupart des organismes (sauf Insectes) 26
1. La notion de milieu intérieur chez les organismes 26

2. Cas des 'crustacés' Décapodes : un système circulatoire ouvert où circule de l'hémolymphe 27
3. Cas des Vertébrés : un système circulatoire fermé où circule le sang 27
C. Une coopération des circulations des fluides externe et interne : le couplage respiration-circulation 29
1. Le système à renouvellement des deux milieux en milieu aérien : cas des Mammifères 29
2. Les systèmes en milieu aquatique : systèmes concourant (ex. Écrevisse) *vs.* à contre-courant (cas des Téléostéens) 29
3. Une modulation de l'activité circulatoire en lien avec l'activité ventilatoire 30

III. La prise en charge et le déplacement des gaz au sein du fluide circulant : l'exemple des Mammifères 31
A. Un transport pigmentaire ultra-dominant pour le dioxygène et notoire pour le dioxyde de carbone 31
B. L'hémoglobine, protéine allostérique de transport gazeux à structure quaternaire et à fonctionnement modulable 32
1. L'hémoglobine, une protéine de structure quaternaire à groupement prosthétique ferreux capable de fixer le dioxygène, l'hème 32
2. L'hémoglobine, une protéine à cinétique sigmoïde de fixation et de libération du dioxygène qui s'explique par un fonctionnement allostérique 32
3. L'hémoglobine, une protéine à cinétique compatible avec les pressions partielles en dioxygène régnant dans l'organisme 33
4. L'hémoglobine, une protéine à cinétique modifiable par des conditions régnant dans l'hématie : impact de la température, du pH ou de la P_{CO2} (effet BOHR) et de la présence de 2,3-BPG 33
5. L'hémoglobine, une protéine qui fixe mieux le dioxyde de carbone à l'état désoxygéné qu'oxygéné : l'effet HALDANE 34
C. Les hématies, cellules renfermant l'hémoglobine 35
1. Des cellules sanguines adaptées au transport des gaz respiratoires 35
2. Modalités de la participation des hématies au transport sanguin des gaz respiratoires 36
D. Unité et diversité des pigments chez les Métazoaires 37
E. Bilan 38

Schémas-bilans 39
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 41
Références 41
Plan du chapitre 42
Plan simplifié (3 niveaux) 43
Plan très simplifié (2 niveaux) 44

Plan très simplifié (2 niveaux)

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Unité et diversité de quelques échangeurs gazeux chez les Métazoaires 2
A. Les échanges gazeux, un processus dépendant de lois physico-chimiques et des contraintes du milieu 2
B. L'existence d'une respiration tégumentaire seule ou partielle chez de nombreux taxons (aquatiques ou aériens) 4
C. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aériens, des organes invaginés soutenus par le squelette et ramifiés jusqu'aux surfaces d'échanges avec les tissus consommateurs ou le sang 6
D. Les échangeurs gazeux chez les Animaux aquatiques, des organes évaginés, au moins ancrés sur le squelette, assurant des échanges avec le milieu intérieur : les branchies 11

II. Une mise en mouvement (« convection ») des fluides externes et internes qui assure largement l'entretien des gradients de pression partielle en gaz respiratoires 17
A. La « convection » externe : un transport des gaz respiratoires par mise en mouvement du fluide externe (ventilation au sens large) 17
B. La « convection » interne : un transport des gaz respiratoires dans le milieu intérieur chez la plupart des organismes (sauf Insectes) 26
C. Une coopération des circulations des fluides externe et interne : le couplage respiration-circulation 29

III. La prise en charge et le déplacement des gaz au sein du fluide circulant : l'exemple des Mammifères 31
A. Un transport pigmentaire ultra-dominant pour le dioxygène et notoire pour le dioxyde de carbone 31
B. L'hémoglobine, protéine allostérique de transport gazeux à structure quaternaire et à fonctionnement modulable 32
C. Les hématies, cellules renfermant l'hémoglobine 35
D. Unité et diversité des pigments chez les Métazoaires 37
E. Bilan 38

Schémas-bilans 39
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 41
Références 41
Plan du chapitre 42
Plan simplifié (3 niveaux) 43
Plan très simplifié (2 niveaux) 44

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en juin 2018 • Dernière actualisation : juillet 2021.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.tanguy-jean-svt.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.