

3. Processus de la physiologie respiratoire

Le sang est le milieu de transport intermédiaire entre le milieu extérieur et les cellules de l'organisme. Il transporte des nutriments, des hormones, des déchets, de la chaleur et les gaz respiratoires: dioxygène (O₂) et dioxyde de carbone (CO₂).

Des échanges gazeux sont indispensables au renouvellement des gaz sanguins.

- l'O₂ atmosphérique est pris en charge par le sang au niveau des alvéoles pulmonaires et transporté vers les cellules (organes).

- le CO₂ est pris en charge par le sang au niveau des cellules (organes) et transporté vers les alvéoles pulmonaires.

On appelle hématoxe l'enrichissement du sang en O₂ et son appauvrissement en CO₂, au niveau des poumons.

L'air alvéolaire est renouvelé par la ventilation pulmonaire, phénomène périodique d'entrée et de sortie d'une partie de l'air alvéolaire.

Une partie de l'oxygène de l'air alvéolaire diffuse à travers la membrane alvéolocapillaire (= diffusion alvéolocapillaire de l'oxygène) et passe dans les capillaires pulmonaires.

L'oxygène est transporté dans le sang, par la circulation, jusqu'aux capillaires systémiques (= tous les autres capillaires que les capillaires pulmonaires). Il diffuse alors vers toutes les cellules et pénètre dans les mitochondries où il est utilisé dans les réactions chimiques cellulaires (dégradation des nutriments énergétiques comme le glucose) qui permettent la formation d'ATP.

Le gaz carbonique, libéré par ces réactions chimiques, diffuse dans les capillaires systémiques, il est transporté par la circulation jusqu'aux capillaires pulmonaires d'où il diffuse vers les alvéoles pulmonaires. Il est rejeté dans l'air ambiant par la ventilation.

Le processus respiratoire passe par les étapes suivantes :

La ventilation pulmonaire : c'est un processus mécanique, dû aux contractions des muscles ventilatoires, il aboutit au renouvellement des gaz respiratoires dans les alvéoles.

La respiration externe : correspond aux échanges gazeux entre le sang et l'air alvéolaire.

Le transport des gaz respiratoires entre les poumons et les organes

La respiration interne: il s'agit des échanges gazeux entre le sang capillaire et les cellules pour assurer leur respiration à travers l'utilisation de l'oxygène et la formation de L' ATP.

I.2.1. La ventilation pulmonaire : C'est l'échange d'air entre l'atmosphère et les alvéoles.

C'est un processus mécanique, dû aux contractions de muscles respiratoires.

L'inspiration

Sous la commande nerveuse des centres respiratoires, les muscles respiratoires vont se contracter. Le diaphragme (muscle inspiratoire majeur) s'abaisse et refoule l'abdomen ce qui augmente le volume de la cage thoracique.

La contraction des muscle intercostaux déclenche un mouvement des cotes vers le haut et vers l'extérieur ce qui augmente le volume de la cage thoracique. Comme le volume de la cage thoracique augmente sa paroi s'écarte de la paroi des poumons et la pression du liquide intrapleurale chute ce qui augmente la différence de pression transpulmonaire. Les poumons vont donc avoir tendance à suivre l'expansion de la cage thoracique.

Il y a augmentation du volume alvéolaire dans tout l'organe donc la pression alvéolaire va chuter et devenir inférieure à la pression atmosphérique => écoulement de l'air depuis l'atmosphère jusqu'aux alvéoles jusqu'à ce que la pression alvéolaire devienne égale à la pression atmosphérique.

L'expiration

A la fin de l'inspiration les muscles intercostaux et le diaphragme se relâchent => la cage thoracique et les poumons reviennent à leur taille initiale.

Lorsque les poumons se contractent le volume de la cavité thoracique diminue, l'air des alvéoles est temporairement comprimé et la pression alvéolaire devient supérieure à celle de l'atmosphère => l'air s'écoule depuis les alvéoles jusqu'à l'atmosphère par les voies aériennes.

I.2.2. Respiration externe (échanges gazeux au niveau des poumons)

Les échanges gazeux sont indispensables au renouvellement des gaz sanguins.

- l'O₂ atmosphérique est pris en charge par le sang au niveau des alvéoles pulmonaires et transporté vers les cellules (organes).

- le CO₂ est pris en charge par le sang au niveau des cellules (organes) et transporté vers les alvéoles pulmonaires.

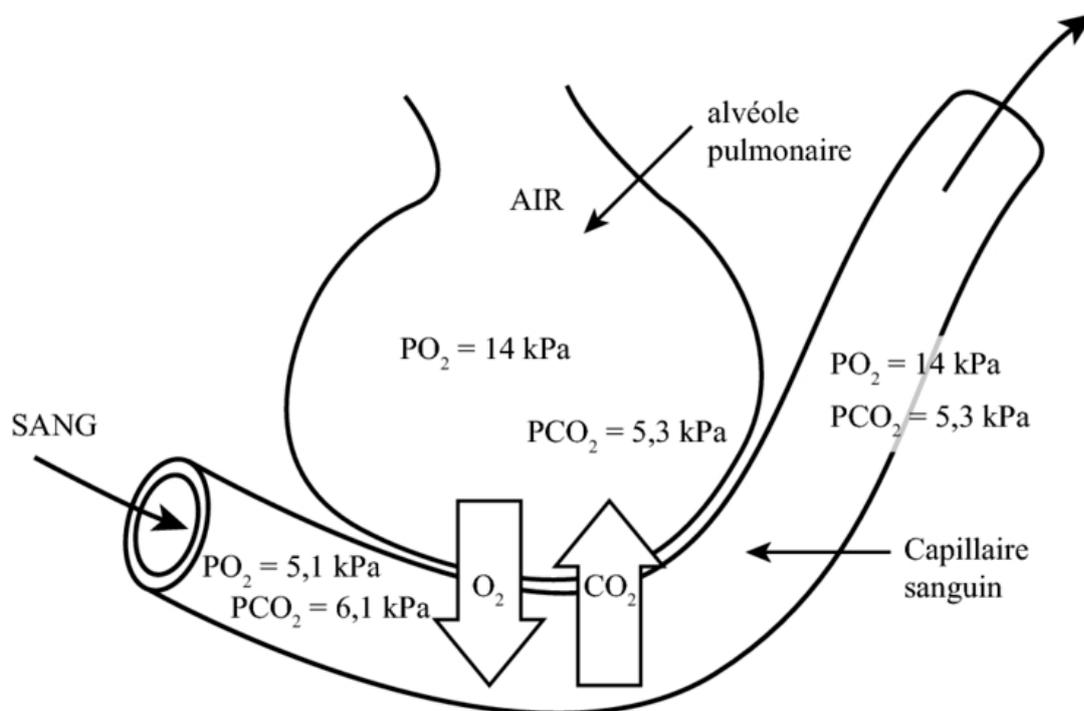
L'hématose est la transformation du sang veineux en sang artériel au niveau des poumons, c'est-à-dire son appauvrissement en dioxyde de carbone (CO₂) et son enrichissement en dioxygène (O₂).

Pour comprendre ces mouvements gazeux, il faut se rappeler que l'air est un mélange de plusieurs gaz et que sa pression totale, 760 mm de Hg (mercure) ou 100 kPa (Pascal) au niveau de la mer, est égale à la somme des pressions dites partielles de tous les gaz qui le composent ($P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{CO_2}$).

Les seuls gaz échangés lors de la respiration sont le dioxygène et le dioxyde de carbone, le diazote n'intervient pas dans les échanges gazeux (le taux d'azote est le même dans tous les compartiments).

D'autre part, en présence d'une membrane semi-perméable (ce qui est le cas des membranes cellulaires), un gaz passe automatiquement du milieu de forte pression vers le milieu de pression plus faible. Le mécanisme à l'origine du déplacement d'un gaz est une diffusion. La quantité de gaz qui diffuse est proportionnelle à la différence de pression partielle entre les 2 zones d'échanges et tend à un équilibre des pressions partielles entre ces 2 zones d'échanges.

Le schéma suivant indique les pressions partielles aux endroits importants :



Echanges gazeux entre l'air alvéolaire et le sang pulmonaire (Michaud, 2014).

* dans les alvéoles pulmonaires, la ppO_2 ou pression partielle de dioxygène de l'air est égale à 105 mm Hg, alors qu'elle n'est que de 37 mm Hg dans le sang. Le dioxygène pénètre donc à chaque inspiration dans le sang.

* En même temps : $ppCO_2$ dans le sang : 44 mm Hg et $ppCO_2$ dans l'air : 38 mm Hg. Cette différence suffit pour faire sortir le dioxyde de carbone du sang. Il se retrouve ainsi dans l'air des alvéoles puis dans l'atmosphère grâce aux expirations.

* Même principe pour la vapeur d'eau (H_2O) que nous expirons en même temps que le CO_2 : 47 mm Hg dans le sang des capillaires pulmonaires, proche de zéro dans l'air extérieur. Ces échanges au niveau des poumons constituent ce que l'on appelle l'hématose.

I.2.3. Transport des gaz respiratoires

La diffusion d' O_2 et de CO_2 dans des liquides (plasma, lymphe interstitielle) impose une dissolution de ces molécules. Dans 1 litre de sang, il y a environ 3ml d' O_2 dissous, or 1 litre de sang apporte environ 200ml d' O_2 aux cellules pour qu'elles maintiennent leur activité. Donc un processus complémentaire participe au transport des gaz respiratoires : la combinaison à d'autres molécules qui sont des transporteurs comme l'hémoglobine présente dans le cytoplasme des érythrocytes (= hématie).

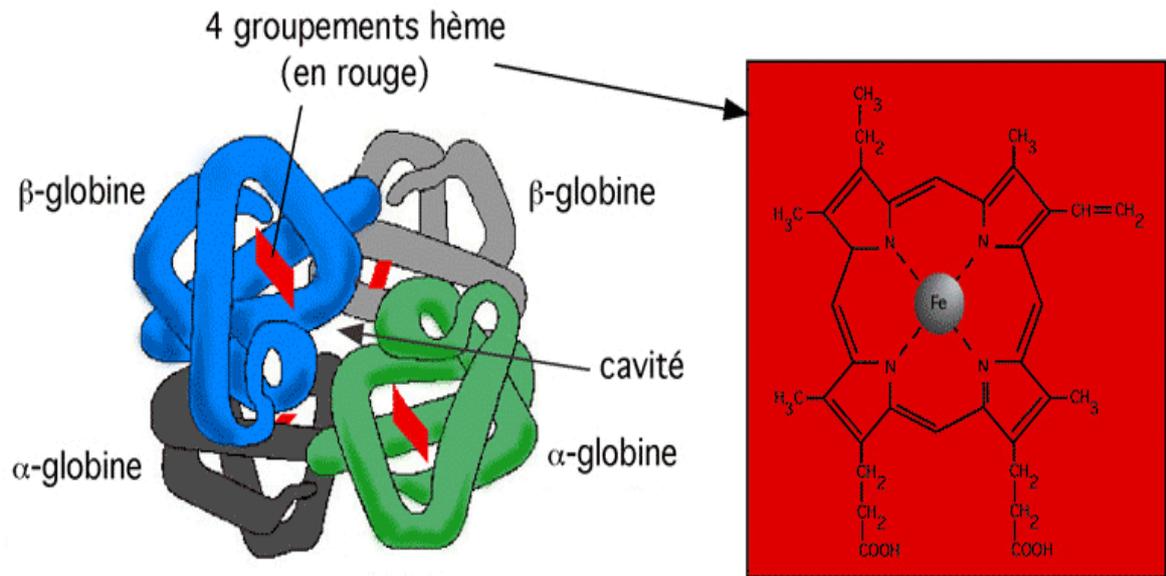
Les hématies ou globules rouges contiennent de l'hémoglobine (Hb), pigment respiratoire qui a la particularité de fixer le dioxygène, le dioxyde de carbone, mais aussi malheureusement le monoxyde de carbone.

L'hémoglobine est une hétéroprotéine :

-Sa partie protéique est la globine, qui résulte de l'association de 4 chaînes polypeptidiques (2 chaînes

- Sa partie non protéique est l'hème. Il y a 4 hèmes par molécule d'hémoglobine et chaque hème contient un ion Fe^{2+} qui fixe une molécule de dioxygène de manière réversible.

(Chaque chaîne polypeptidique est liée à un hème.)



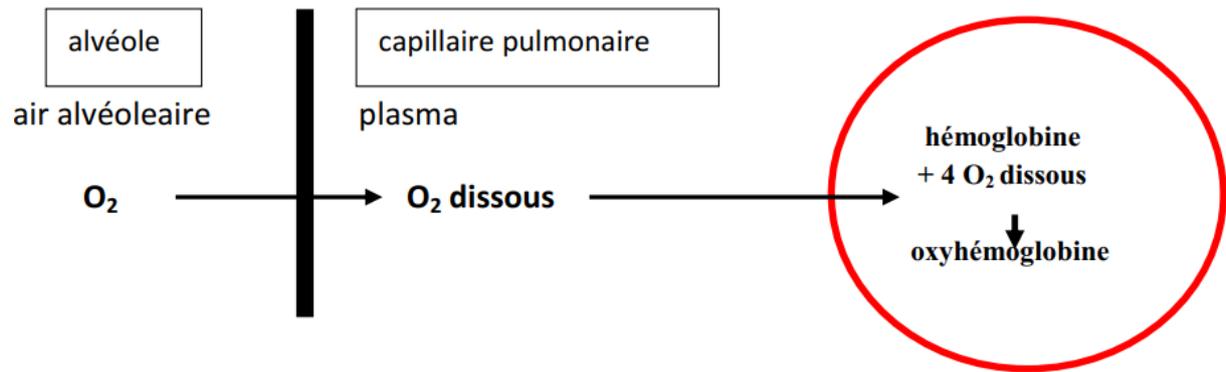
Structure de la molécule d'hémoglobine (Russell, 1996).

L'oxygène est transporté pour une petite part (2%) sous forme dissoute mais l'essentiel (98%) est combiné à l'hémoglobine (Hb),

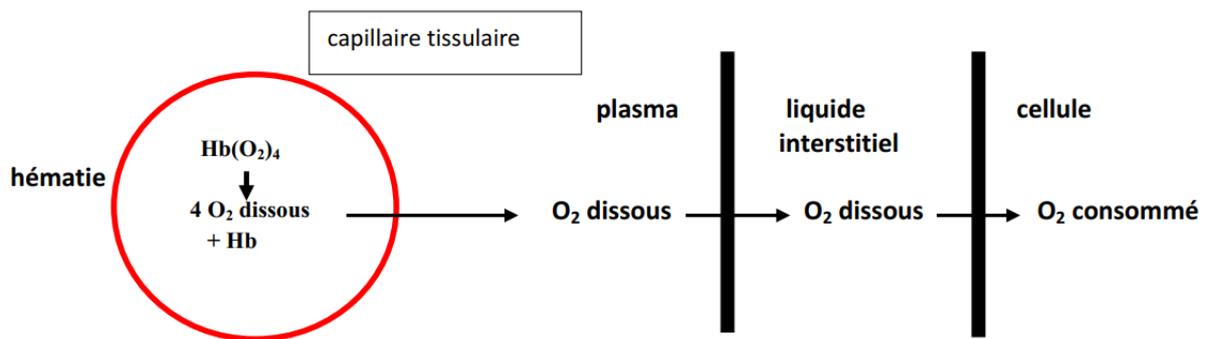
* $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$ c'est l'oxyhémoglobine qui colore le sang artériel en rouge vif. La double flèche signifie que cette réaction est réversible.

L'oxyhémoglobine n'est pas directement utilisable par les cellules, il s'agit seulement d'une forme de stockage d'O₂. Il existe un équilibre entre la teneur en O₂ dissous du plasma et celle de l'oxyhémoglobine: si la quantité d'O₂ dissous dans le plasma diminue, l'O₂ contenu dans l'oxyhémoglobine se libère (dissociation de l'oxyhémoglobine) et se dissout dans le plasma. Inversement si la pression partielle en O₂ augmente dans le plasma cela entraîne la formation d'oxyhémoglobine. La forme dissoute est prioritaire sur la forme combinée car c'est elle qui diffuse.

-La réaction 1 (= fixation) se fait au niveau des poumons lorsque la pression partielle en O₂ est élevée.



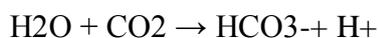
- La réaction 2 (= dissociation) se fait au niveau des tissus lorsque la pression partielle en O₂ est faible.



Le gaz carbonique est transporté pour une part sous une forme dissoute (7%), pour une autre part (faible) sous forme liée à l'hémoglobine (25%) (Sur des sites différents de ceux de l'oxygène, donc sans concurrence), et pour la plus grande part (75%) sous forme d'ions bicarbonates.

* $\text{Hb} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HbCO}_2$ c'est la carbhémoglobine ou carbohémoglobine rouge sombre (sang veineux).

*Dans les capillaires systémiques :



La formation des bicarbonates se fait très rapidement dans les globules rouges (elle est accélérée par une enzyme, l'anhydrase carbonique).

Les bicarbonates formés passent ensuite dans le plasma.

Les H^+ se fixent sur l'hémoglobine.

*Dans les capillaires pulmonaires :

$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2O + CO_2$ et le CO_2 passe dans les alvéoles.

I.2.4. Respiration interne (échanges gazeux au niveau des cellules).

La fine paroi des capillaires sépare le sang de la lymphe interstitielle, elle-même séparée du liquide intracellulaire par les membranes plasmiques des cellules.

Au niveau des cellules, il se produit exactement l'inverse : le sang perd son O_2 qui passe dans la lymphe interstitielle puis entre dans la cellule, alors que le CO_2 venant des cellules pénètre dans le sang en passant par le liquide interstitiel. Comme pour les poumons, ces mouvements gazeux résultent des différences de pressions partielles.

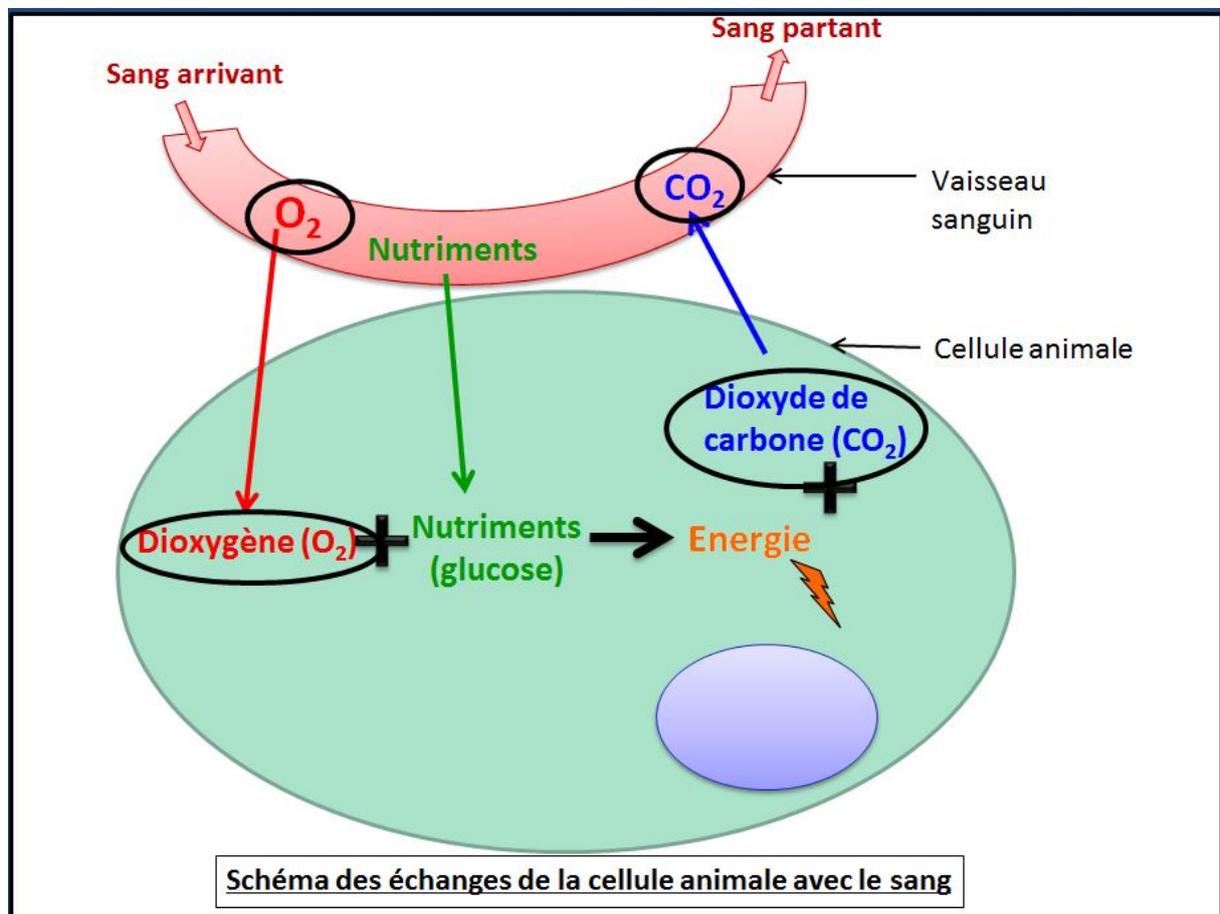
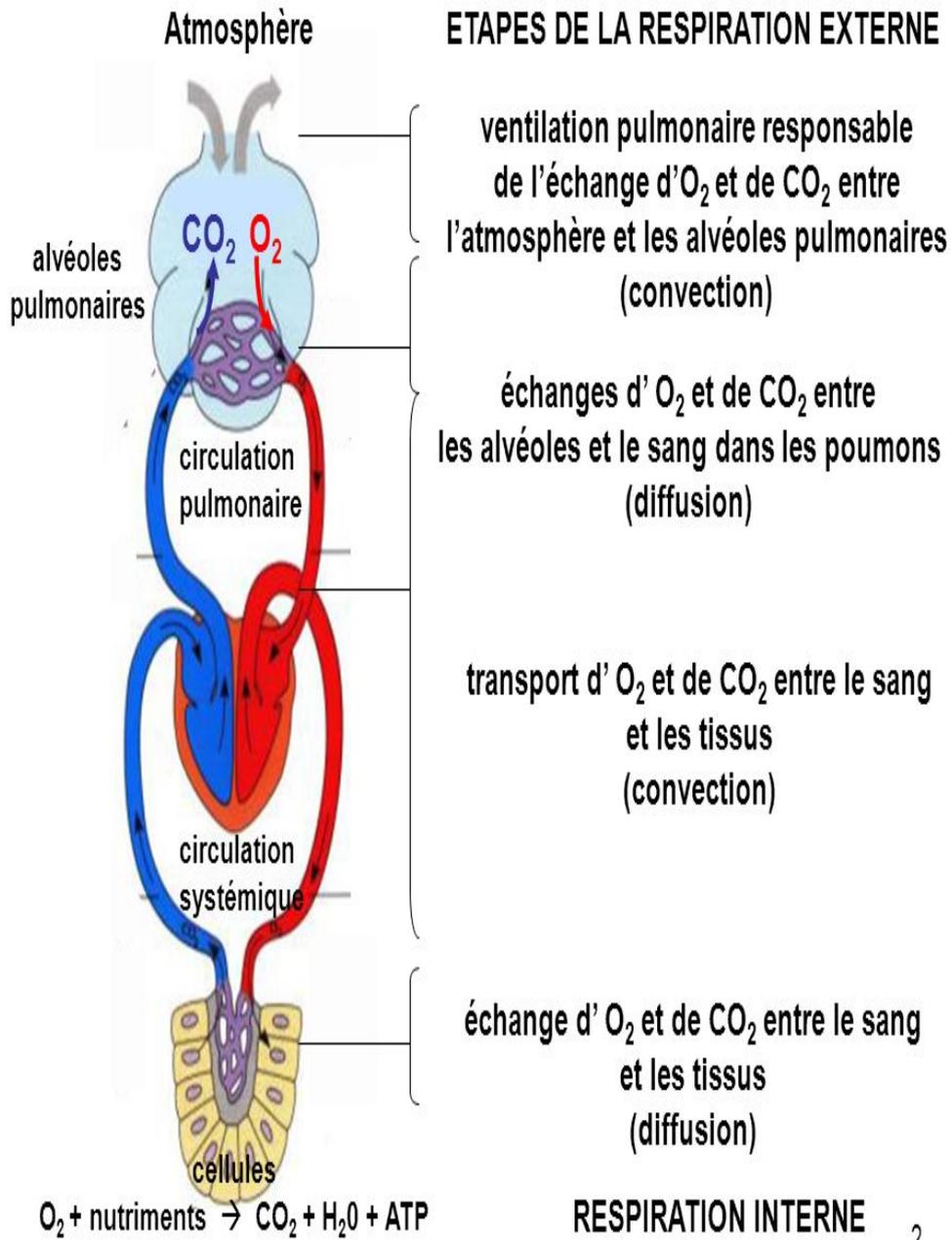


Schéma des échanges de la cellule animale avec le sang (source : https://patricehardouin.canoprof.fr/eleve/HR/2_STHR/Grandes_fonctions_eleve/activities/Grandes_fonctions.shtml#).



2

Etapes de la respiration (Dupuis, 2015)

