**La respiration Pysioanimale**

**Introduction**

Ce qui a été acquis par la nutrition va être assimilé, transformé et consacré à la production d’énergie qui permettra le fonctionnement de l’organisme au sens large. La respiration est un progrès considérable dans l’évolution. Avant la respiration, la récupération d’énergie se faisait par la fermentation, elle donnait 2 ATP par molécule de glucose. Ici la respiration en fournit 38 ! C’est donc ce qu’il y a de plus fréquent chez les êtres vivants actuels. Capter l’O2 pour un organisme dans le milieu environnemental est quelque chose de difficile, bien que le mécanisme en lui-même soit assez simple. C’est purement passif (par diffusion), mais suppose de nombreuses conditions. Toutes les adaptations tendent à favoriser la diffusion, ajuster la fourniture d’O2 aux besoins de l’organisme. 2 problèmes se posent :- **La vie dans l’eau et la respiration**: l’O2 est rare- **La vie en milieu aérien**: la surface d’échange doit être toujours humide, mais l’air est desséchant d’où un grand nombre d’adaptations.

**I) La diffusion**

La diffusion est un phénomène physique passif. Admettons un réservoir séparé par une membrane perméable. La diffusion aura lieu du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, elle cessera à l’équilibre des concentrations. Pour la respiration, pour que l’O2 franchisse l’interface respiratoire, il faut qu’il y ait plus d’O2 à l’extérieur qu’à l’intérieur de l’organisme. Elle est facilitée si l’interface à franchir a un certain nombre de qualités qui vont faciliter cette entrée : l’évolution tend à ce que l’interface soit la plus mince possible. Chez les métazoaires, elle entre par l’ensemble du tégument qui a d’autres fonctions (protection…). Donc une zone privilégiée du tégument va petit à petit permettre la respiration, en parallèle à un amincissement de cette interface. Il faut que cette zone permette de faire entrer la quantité nécessaire d’O2 dans l’organisme, on va donc avoir un plissement de cette zone. Si le plissement est extérieur au milieu intérieur = **formation d’une branchie**. Si plissement intérieur = poumon (protégeant ainsi de la dessiccation : cryptallisation).Pour améliorer le système, il faut que le gradient soit le plus fort possible. Il faut si possible augmenter la pression partielle à l’extérieur et diminuer à l’intérieur. Pour l’augmenter, on ventile. On va ainsi faire circuler le milieu extérieur pour renouveler l’O2 devant l’interface respiratoire. Cependant, on a augmenté la surface respiratoire qui est devenue fragile, il faut donc la protéger mécaniquement (chez les téléostéens : les opercules).**Résumé de l’évolution :- Amincissement- Plissement- Protection- Ventilation** Il faut ensuite transporter l’O2 dès qu’il est entré dans l’organisme. Il faut donc baisser la pression partielle en O2 pour que le gradient soit le plus fort possible : d’où une mise en place de circulation interne de l’O2 pour le transporter rapidement aux cellules consommatrices. Cependant ce gradient est inégal, le système d’évacuation va donc dans le sens inverse pour se charger en oxygène. L’amincissement de la surface d’échange se fait autant chez les aquatiques que chez les aériens. Sur la zone de l’épithélium, une seule couche de cellule (Cf Doc) facile à traverser. Dans l’eau, il y a beaucoup de pression, elle est supérieure à celle du sang dans les lacunes, ce qui a pour effet de les écraser. Il y a donc des cellules en pilastres (cellules de soutient) évitant leur écrasement (idem chez crabe, mollusques…).Le plissement : pareil que pour le système de nutrition. Plus il faut d’O2, plus le plissement est fort. Le système respiratoire est donc une structure mince, performante, mais fragile, il faut la protéger. Il faut beaucoup la ventiler car on casse le lien entre le courant de gaz et les cellules.

## II) La respiration aquatique

Il y a peu d’O2 dissous dans l’eau. Cette quantité dépend de la température et de la salinité. Plus l’eau est chaude, moins l’O2 se dissout. De même plus l’eau est salée, moins l’O2 se dissout. Exemple :• A 0°C, saturation à 14mg/L (eau douce) 11mg/L (eau de mer)• A 10°C, saturation à 10,9 mg/L (eau douce) 9mg/L (eau de mer)La ppO2 est « maximale » donc le poisson respirera très bien à 11mg/L à 10°C qu’à 8mg/L à 30°C. Ce qu’il faut connaitre c’est le degré de saturation qui ici est de 100%. En eau douce, les poissons n’aiment pas descendre en dessous de 60%.REMARQUE : dans les lacs, quand la photosynthèse est forte, on peut dépasser les 100%.Les animaux aquatiques les moins performants respirent avec leur tégument entier (*protozoaires, rotifères, plathelminthes, nemathelminthes, copépodes*) donc des animaux de petite taille. Si la taille augmente, la demande en O2 est trop forte pour que seul le tégument suffise. Pour les autres groupes (crustacés), à cause de la carapace, on passe au système branchial.

### 1. Les branchies des invertébrés

Pour certains auteurs, tout repliement du tégument constitue une branchie. Les premières sont chez les annélides : les polychètes errants et les polychètes sédentaires dans des milieux hypoxiques. Pour d’autres, c’est lorsque ce replis tégumentaire referme soit des lacunes contenant le milieu intérieur, soit des vaisseaux sanguins. Cf Doc : Il existe des parapodes plus ou moins foliacés en fonction de l’activité de l’organisme. Chez les *polychètes*en milieu hypoxique, on a l’Arénicole (Arenicola marina) : début de circulation interne, et branchies plus localisées sur certains segments. Chez les *lamellibranches*(moule), les branchies sont dites bipectinées = disposées comme des « M ». Ces branchies sont parcourues par de l’hémolymphe (1ère fois qu’on observe ce système à contre courant). Ici la surface d’échange est très efficace. Chez les *lamellibranches*, la diffusion est très rapide. Beaucoup de ces lamellibranches vivent dans des milieux ou parfois l’oxygène est absent (zone intertidale) : à marée basse, la moule est fermée et renferme un peu d’eau qui lui permet de respirer un peu. Quand la marée est haute (exondaison), l’animal est réoxygéné. Les *céphalopodes*ont des branchies disposées dans le repli du manteau qui ne s’ouvre que par un petit entonnoir. Elles sont mal ventilées, l’animal renouvèle l’eau de la cavité palléale en « toussant ».Chez les *arthropodes*, les larves d’insectes aquatiques possèdent des branchies pour certains auteurs, ou des trachéobranchies pour d’autres. Elles sont externes, non recouvertes par de la carapace. Leur taille est représentative de la richesse en O2 du milieu : quand très oxygéné, elles sont moins développées. Chez les *crustacés*, les branchies sont toujours protégées par de la carapace. Il faut un dispositif de ventilation permettant de renouveler l’eau autour des branchies. Chez le crabe, les branchies sont logées dans une cavité branchiale et portées au dessus des pattes du céphalothorax. Elles sont ventilées par un mouvement d’eau créé par les maxilles II et qui ont développé une extension : les scaphognatites. L’eau entre par les coxas des pattes, et ressort par la bouche. Ils font donc un mouvement de chasse d’eau permettant d’avoir de l’eau de qualité autour des branchies. Hors de l’eau, il ferme les trous entre les pattes et prend une position cambrée, ainsi toute la cavité est remplie d’eau. Il peut ainsi tenir exudé. L’agitation des scaphognatites fonctionne encore permettant de brasser de l’O2 dans l’eau. Cependant l’eau qui entre peut contenir des particules de sable ou de vase salissant les branchies, le crabe tousse donc pour les nettoyer.Chez les *vertébrés*, l’origine des branchies est endodermique. Elles sont toujours internes, sauf chez les têtards d’anoure. Elles sont protégées par le corps donc système de ventilation doit être perfectionné. Chez les plus primitifs, les lamproies, les myxines, on a 7 fentes branchiales, chacune des branchies étant reliées à un arc artériel. Puis diminution du nombre de fentes branchiales puis d’arcs branchiaux. Chez les sélaciens, 5 fentes branchiales. Chez les poissons osseux, plus que 4 arcs branchiaux sous les opercules (Cf doc). Chez les requins, l’eau entre par la bouche. Chez la raie, la bouche et les fentes branchiales sont en position ventrale donc l’eau qui entre peut être sale. Les vents sont en position dorsale, c’est donc par là qu’entre l’eau. La circulation se fait à contre courant, l’appareil respiratoire est très efficace. Les requins sont ainsi très réactifs. Problème : l’eau entre par la bouche, la ventilation ne peut se faire que par ce circuit. Quand il dort, il doit monter à la surface et se laisser descendre en spirale avec la bouche ouverte pour ventiler ses branchies. Chez les téléostéens, plus que 4 arcs branchiaux. Chaque arc porte un couple de branchies. L’eau entre par la bouche. Ce dispositif lui permet de respirer en restant immobile. La structure des branchies est complexe, à deux niveaux de plissements : dans chacune des lames branchiales, on a plusieurs lamelles. Toutes les branchies ont un épithélium à 1 couche de cellule. Chaque lamelle est irriguée par une artériole. 2 protections :- Un os (arête branchiale) articulé sur l’arci visceral qui lui aussi est osseux- Une protection mécanique double : les branchiospines et l’opercule qui protège le pharynx Chez les *poissons osseux*, le système à contre courant est performant : chaque lamelle branchiale est irriguée. La plupart des poissons sont capables de prélever 80% de l’O2 dissout dans l’eau, ce qui est énorme. Il n’y a pas de système permettant aux branchies de fonctionner hors de l’eau, mais il y a au moins une protection contre la déshydratation éventuelle, faite par le mucus. On constate que les poissons qui vivent dans les milieux momentanément hypoxiques, voir asséchés, peuvent ainsi survivre assez longtemps (carpe…).**Comment des animaux équipés de branchies peuvent survivre hors de l’eau ? C’est la conquête du milieu terrestre. Comment s’est faite l’adaptation ?**

### 2. La conquête du milieu terrestre

Les animaux, sans adaptation, ne survivraient pas. Chez certaines espèces, la vie amphibie se développe. Ces dispositifs se superposent toujours au système branchial qui reste prépondérant. Dans la plupart des cas, la cavité branchiale va se modifier :- Soit pour maintenir de l’eau en permanence autour des branchies grâce à la fermeture de l’opercule (les ouies)- Soit la cavité branchiale va se plisser et donc constitution d’une 2e surface d’échange qui va permettre une respiration aérienne (chez Ania sp). Attention ce n’est pas un poumon ! Avec ces deux dispositifs, l’animal peut sortir quand il le souhaite. Plus le 2e appareil se développe, plus la conquête du milieu aérien sera possible. La sortie de l’eau débute tôt. A l’origine, pas d’atmosphère donc pas de sortie possible mais ce n’était pas le principal problème, c’était les rayonnements solaires. La libération totale de l’eau est donc tardive, l’air est desséchant, donc cette conquête nécessite la protection de la surface d’échange contre le desséchement. La solution : recouvrir la surface d’échange de liquide, ce qui est impossible en sortant totalement de l’eau.La zone tampon permet de maintenir en état de marche la zone d’échange.Ce processus est long, il y a beaucoup d’espèces aériennes qui sont encore inféodées à l’eau pour mouiller leur moyen de respiration (espèces amphibies). Il est rare pour elles d’avoir les mêmes performances dans l’air et dans l’eau. Elles peuvent passer soit de façon successives d’un milieu à l’autre soit en alternance, soit simultanément. Les espèces les plus performantes le font simultanément.

#### a) De façon successives d’un milieu à l’autre

Chez lez *insectes*dont la larve est aquatique et l’imago aérien, le changement est brutal et se fait au cours d’une métamorphose (exemple : libellule). Le changement est plus lent chez les batraciens (anoures) : la larve est aquatique (têtard), on a des branchies et progressivement des poumons. Ce changement est modeste car la grenouille respire essentiellement par son tégument, assez peu par ses poumons. Elle reste donc inféodée à l’eau car elle doit être humide pour respirer. Les crapauds sont plus libérés de l’eau : ils nécessitent simplement un milieu humide.

#### b) En alternance

**2 échelles de temps :**- Alternance sur le long terme : chez les poissons, batraciens qui vivent dans les plans d’eau temporaires (zone marécageuses en climat méditerranéen). L’animal prend un mode de vie ralentie, s’enfouit dans la vase, produit du mucus et va développer des mécanismes de résistance à l’hypoxie avec possibilité de vie en anaérobiose. C’est l’un des mécanismes qui aurait permis le développement lors de la sortie des eaux au Devonien. Ce système n’est qu’un simple mécanisme de survie.- Chez les animaux vivant dans des zones de balancement des marées, les moins performants sont les artrhopodes, échinodermes et vertébrés. Ils résistent mal à l’hypoxie. En revanche, les mollusques et annélides résistent bien. Ils ont des moyens de constituer de petites réserves d’eau (cavité palléale) ou de changer de métabolisme en accumulant de la matière organique fermenticible donc de se passer d’O2, mais aussi la possibilité d’accumuler les déchets de leur organisme qui ne sera dégradé qu’au retour de la vie aquatique. Dans un même groupe taxonomique, on constate une hiérarchisation des performances. Les animaux qui acceptent l’exondaison la plus longue vont pouvoir vivre haut sur l’estron, les moins performants n’accepteront d’être exondés que pour une durée très courte. Ces animaux se répartissent sur l’estron en fonction de la marée. o *Exemple : Gastéropodes (Littorines = bigorneaux) dans la haute mer La littorine (littorina neritorides) se contente de l’humidité, elle vit sur le haut de l’estron (HMVE)La littorina littoranis veut bien être exondé mais pas longtempsLa littorina btusa accepte d’être exondé quelques minutes (elle reste au fond)*On a donc toujours la même adaptation mais plus ou moins aboutie en fonction des espèces.

#### c) Simultanément

Elle est caractérisée par 2 grandes adaptations :- Le maintient d’une certaine quantité d’eau autour des branchies- La réduction de l’activité métabolique*Exemple*: Il y a toujours une réduction du système branchial soit en nombre (pagure) soit en surface (crabe) en rapport avec la diminution de l’activité métabolique. Chez les espèces qui sortent le plus longtemps, développement en plus de leurs branchies une sorte de pré poumon (cf doc). Le crabe des cocotiers : aime bien sortir de l’eau longtemps. Au dessus des branchies, il a une cavité en éponge formant une cavité pulmonaire avec des vaisseaux sanguins apportant l’hémolymphe permettant son oxygénation (dans l’eau, elle se fait par les branchies). Assez peu d’espèces sont capables d’avoir cette vie en simultané. La plupart subissent le fait d’être sortis de l’eau (‘assèchement). Les premiers sont des poissons qui sont à l’origine des tétrapodes. Chez les ostéichtyens, olostéens (Amia), branchiopterygiens (polypterus sp), mais surtout chez les dipneustes : un organe d’appoint. Ils ont des branchies et ont développé un autre système à coté des branchies une structure qui fonctionne comme un poumon (Cf Doc). Chez Anabas. Ceux qui restent plus longtemps hors de l’eau ont d’autres dispositifs en complément. Chez le Periophtalme, le corps est recouvert de mucus épais, les opercules fermés, sort de l’eau la nuit et emmène de l’eau dans sa bouche.*Autre exemple*: Il existe un cas, la vessie gazeuse des téléostéens. Longtemps considérée comme un organe respiratoire. En réalité, c’est le cas mais pas dans tous les groupes. - C’est une invagination dorsale qui peut être reliée à l’œsophage. La vessie gazeuse peut ici être considérée comme un complément respiratoire.- Dans d’autres groupes, ce passage est obturé, la vessie est libre : aucune possibilité de complément respiratoire, permet simplement l’équilibre hydrostatique. Ici, pas d’interface permettant la capture d’O2 dans les vessies, seulement un épithélium. Chez certains poissons (dipneustes), développement d’un véritable poumon du coté ventral : sac simple dont la paroi est plus ou moins plissée. Idem chez la loche.

#### 3. La respiration mixte des batraciens

A la métamorphose, le poumon se substitue aux branchies. Le rendement est faible car l’essentiel de la respiration se fait par le tégument. Le poumon se développe à partir d’une d’évagination ventrale du tube digestif. Elle se développe dans le mésenchyme, ce qui permet son irrigation par des vaisseaux sanguins. L’artère pulmonaire = la 6ème paire d’arc aortique. Le sang hématosé revient par une veine pulmonaire. Le poumon est peu performant :- La paroi est faiblement plissée- La cage thoracique est fixe, donc pas d’inspiration/expiration. Elles doivent donc déglutir l’air, la ventilation est mauvaise.La respiration tégumentaire est facilitée par le fait que la peau n’est pas fixée au masses musculaires, et est très mince. Avantage : elle peut retourner dans l’eau (bouche fermée) et peut continuer à respirer par la peau. La peau rejette la totalité du CO2 alors qu’elle n’absorbe que 70% d’O2. Le poumon ne rejette donc pas de CO2 mais absorbe 30% d’O2.

## III) La respiration aérienne : mise en place des poumons

### 1. Le poumon des invertébrés

#### a) Le poumon : Structure

Chez les cloportes (crustacés isopodes), on a des crustacés aériens avec des poumons, de même que les mollusques gastéropodes (escargots). Les poumons des invertébrés sont des poumons tégumentaires. Ils peuvent être nombreux. Ils sont logés dans l’exopodite des pléopodes. Un petit orifice permet l’entrée d’air. Il y en a un dans chaque pléopode de l’animal. Il ne fonctionne que si il est humide, deux adaptations :- Ils sont souvent en milieu humide- Ils sont sous le corps donc pas exposés au soleil.Quand l’environnement est trop sec, l’animal protège ses poumons en se roulant en boule. On a aussi des poumons tégumentaires chez certains arachnides : 2 poumons sont à la limite entre le thorax et l’abdomen (opisthosome). Ce poumon est plus performant que celui du cloporte. Cependant, la circulation est faible, elle ne se fait que par le mouvement de l’animal et des viscères. Pas très grosse, car l’araignée n’est pas une grande consommatrice d’O2. Les plus actives sont les araignées aquatiques et ont en plus de leur poumon des trachées, comme les insectes.Chez les *gastéropodes*, on pensait que le poumon était le développement de la cavité palléale des mollusques. En réalité, c’est un repli secondaire de l’épithélium. La surface d’échange est peu plissée, la ventilation n’existe que chez les gastéropodes terrestres (= stilomatophores). Pour les gastéropodes aquatiques : pas de ventilation. Le tégument permet un assez fort rendement en oxygène. Le poumon est très irrigué, et est à proximité du cœur.

#### b) La trachée : Structure

Chez les *arachnides*, la trachée est d’origine tégumentaire mais le fonctionnement est différent. C’est un appareil autonome. L’O2 est transporté jusqu’aux cellules utilisatrices par un réseau dense de canaux. La diffusion se fait uniquement à ce niveau là, c’est de l’O2 aérien qui arrive à proximité des cellules utilisatrices (Cf doc). Le réseau trachéen débute au niveau de chaque segment de l’insecte au niveau des tergites. L’entrée de l’air se fait par un orifice plus ou moins protégé de la dessiccation par des soies, puis des ramifications des trachées (en fonction de l’activité de l’insecte). Elargissement du conduit formant un atrium : système tampon évitant la dessiccation. L’arborescence se termine en trachéoles qui se terminent par une grosse cellule : la cellule trachéolaire. Chacune des trachéoles est fermée en son extrémité. Chacune est en contact avec une ou quelques cellules utilisatrices. A l’extrémité il y a de l’eau, la diffusion se fait au travers de cette eau. La paroi est armée pour les grosses trachées (anneaux chitineux) pour le tenir ouvert face aux différences de pression.

#### c) La trachée : Evolution

Développement de réseaux, dépendant de l’activité métabolique de l’insecte. Si le réseau est dense la ventilation est médiocre. Chez les insectes primitifs, la ventilation se fait par des mouvements du corps. Pour les animaux plus évolués (Cf Document : Blatte), les trachées s’anastomosent pour former plusieurs réseaux (dorsal : muscles des ailes et cœur ; médian : viscères ; ventral : muscles et chaine nerveuse). D’où une bonne circulation de l’air. Cette ventilation est faible, l’oxygénation trachéenne n’est pas très performante. C’est l’une des raisons de la restriction de taille des insectes actuels. Certains insectes ont un imago qui retourne à la vie aquatique (coléoptères). Ils ont un appareil respiratoire aérien mais vivent dans l’eau. Le nombre de stigmathes est réduit, et sont protégés par des soies hydrophobes.

### 2. Le poumon des vertébrés

#### a) Le poumon : Structure

L’origine est très différente de la trachée, le poumon est une évagination du tube digestif au début de l’œsophage en position ventrale, qui se divise rapidement en 2 poumons pas toujours identiques (l’un peut régresser voir disparaitre comme chez le serpent). Au départ chez le poisson : ce sont de simples sacs qui s’enfoncent dans le mésenchyme en repoussant la splanchnopleure (qui formera la plèvre des poumons). Le sac va se ramifier dans le mésenchyme. Lorsque les ramifications sont maximales, la surface d’échange formera les alvéoles pulmonaires. Le mésenchyme va permettre le développement de nombreux capillaires sanguins provenant de l’artère pulmonaire (du 6e arc aortique). Le retour du sang se fera par la veine pulmonaire. Le système sanguin est très associé à la surface d’échange respiratoire. Les sacs débouchent directement à l’œsophage, l’air est conduit aux poumons par un tube : la trachée. Puis chez les plus évolués, par un système de trachée + bronches + bronchioles. Ces tubulures sont armées poru ne pas qu’elles sécrasent sous la pression.

#### b) Le poumon : Evolution

Le poumon devient de plus en plus efficace du fait des plissements de la surface d’échange (Cf Doc). Le plissement est faible chez les batraciens, quand le plissement devient conséquenc, on voit les bronches entrer profondément dans le poumon. Le degré de plissement maximal est chès les mammifères. La performance de la surface déchange augmente, on va avoir une rupture importante : jusqu’aux crocodiliens : animaux à sang froid, puis mammifères : à sang chaud, grâce au poumon performant, et a la circulation sanguine dédiée uniquement à la respiration. Chez les crocodiliens, les deux ventricules sont presque fermés. Après les crocodiliens, l’appareil circulatoire performant est dédié à la respiration : hématose rapide et importante.Degré de plissement supplémentaire au niveau des alvéoles. Les cellules qui bordent les alvéoles sont de 2 types :- Carrés (pneumocytes type I) permettant pas les échanges mais produisent le surfactant (mélange de protéines et de cholestérol) permettant aux alvéoles de rester ouvertes malgré la pression. - Plates (pneumocytes type II) permettant les échanges gazeuxLes capillaires sanguins sont au contact direct avec les pneumocytes. Cet appareil est très performant.

#### c) La ventilation

Elle se fait par va et vient (inspiration, expiration) à travers la trachée grâce à des mouvements musculaires de la cage thoracique et du diaphragme. Le mécanisme est situé profondément dans l’organisme, il faut maintenir l’humidité tout en renouvelant l’O2. Quand ce poumon performant est associé au système circulatoire performant (hématies riches en hémoglobine), ce couple est optimal.Parfois, (tortue) la cage thoracique est fixe : moins performant, ne ventile qu’en agitant les bras et en rentrant sa tête dans la carapace.

#### d) Le poumon des oiseaux

Il est différent car ils volent, ils doivent donc avoir un squelette thoracique fixe pour que les ailes puissent s’appuyer dessus pour voler. Donc le fonctionnement est différent : les poumons sont tubulaires, l’air passe dans un circuit (pas de va et vient), un peu comme un radiateur ! Les sacs aériens sont répartis dans tout le corps de l’animal. L’air ressort ensuite par la trachée. Dans les bronches, on a par contre le système de va et vient.

### 3. Le retour à la vie aquatique des animaux pulmonés

Chez les grands cétacés marins, mais aussi de nombreux oiseaux qui chassent dans l’eau, des tortues, des insectes (ditiques), des mollusques… Cependant leur retour s’est fait avec leur système aérien, d’où beaucoup d’adaptations, de comportement permettant de vivre en milieu aquatique. On distingue les animaux qui n’utilisent que l’O2 aérien pour respirer, et ceux qui utilisent aussi l’O2 dissout de l’eau :- Que O2 aérien vivent dans l’eau mais respirent dans l’air. Il faut donc qu’ils remontent à l’interface air/eau (mammifères marins, tortues, oiseaux)- Que O2 aérien et ne chassent que dans l’eau (certains oiseaux)

#### a) Le cas des cétacés

Peu d’adaptations permettent l’apnée, et pourtant les cachalots peuvent plonger 1h et descendre à 1km de profondeur. Leur tractus respiratoire est le même, mais ils peuvent fermer les sphincters de leur système respiratoire de façon volontaire, plus la capacité à stocker des réserves importantes d’O2. Aussi, au moment d’une sonde (la baleine arque fortement le dos afin de pouvoir plonger plus profondément), certains organes secondaires sont mis en respiration réduite (viscères) pour économiser l’air, car la demande en O2 est supérieure à celle des autres mammifères. Le stockage également dans le sang et dans les muscles (par l’hémoglobine, la myoglobine). L’hémoglobine représente 70% de la réserve en O2 alors que la myoglobine 25%. Quand l’animal plonge, il utilise d’abord les réserves de l’hémoglobine, puis celles de la myoglobine. Quand ils remontent, ils vident une fois leur air. Ils remontent sans paliers, ils ne font pas d’embolie gazeuse car peu d’azote dans leur plasma (les oiseaux font des sondes beaucoup plus courtes pour se nourrir : le séjour dans l’eau est beaucoup moins long).

#### b) Évolution du système respiratoire des insectes

2 adaptations connues portant sur l’ouverture des trachées des insectes :- Soit modification de l’ouverture de leur système trachéen : adaptation « tuba »o Chez les larves/nymphes de moustique : l’animal colle un siphon juste au contact de l’interface. Les soies hydrophobes empêchent l’eau de rentrer- Soit réserve d’air constitué par l’animal soit dans son habitation, soit sur luio Chez Argyronète (araignée aquatique), elle fait une grosse bulle d’air dans un tipi sous l’eauo Si la réserve est portée sur l’animal (Nèpe, Naucore…), une bulle d’air est accrochée juste sous les stigmates permettant la respiration trachéenne en fonctionnant comme une branchie physique : permettant de récupérer l’O2 dissout de l’eau. La PPO2 dans la bulle sera faible du fait de la respiration. La PPO2 dissout sera supérieur à l’extérieur de la bulle, donc l’O2 dissout entre. Pour le CO2, le gradient est inverse et sera directement transformé en acide carbonique. Quelques fois, ils reviennent en surface pour recharger leur bulle car l’azote ne se dissout pas dans l’eau. Ils sortent en permanence de la bulle, lentement. La bulle se dégonfle en perdant l’azote.