BCPST 1 – 852 et 853 Lundi 3 octobre 2022

DS n° 1 – Eléments de correction

« Les adaptations au milieu aérien chez les Mammifères »
On se limitera aux exemples de la Vache et de la Souris.

Introduction :

Bien que morphologiquement très dissemblables, Vache et Souris partagent de nombreux traits communs dans leur organisation fonctionnelle. Ces deux Vertébrés possèdent des mamelles, des poils, ce qui justifie leur regroupement dans le clade des Mammifères.

Leur milieu de vie aérien (ou terrestre) présente des caractéristiques qui le distinguent clairement du milieu aquatique dans lequel la vie est apparue. C'est un milieu pauvre en eau, de faibles densité et viscosité où les fluctuations thermiques sont importantes, mais c'est aussi un milieu riche en dioxygène.

L'adaptation d'un organisme à son milieu est représentée par des caractéristiques de son organisation et des modalités de fonctionnement qui favorisent la réalisation de ses fonctions vitales compte tenu des conditions plus ou moins favorables de son milieu de vie.

En effet, le maintien en vie d'un animal dans son milieu repose sur la réalisation de fonctions de relation, de nutrition et de reproduction.

Quels caractères (anatomiques, physiologiques, comportementaux) permettent d'affirmer que les mammifères présentent des adaptations aux caractéristiques et propriétés du milieu aérien ?

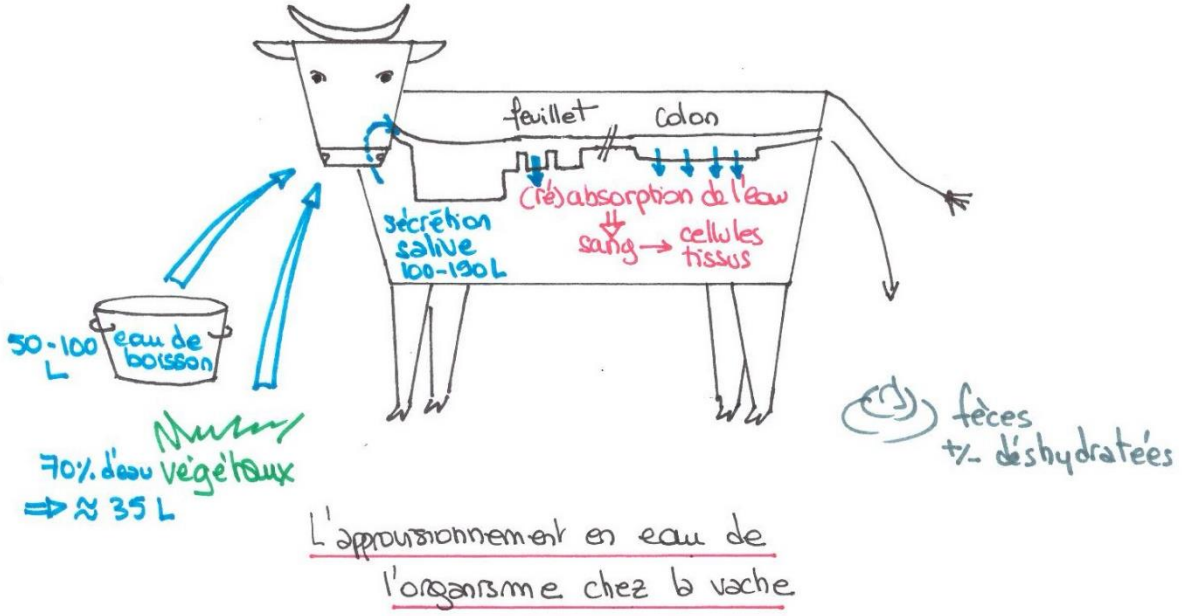
En s'appuyant sur les exemples de la Vache et de la Souris, seront montrées dans un premier temps les principales adaptations du plan d'organisation – et les adaptations physiologiques associées – à la faible disponibilité en eau du milieu aérien. La seconde partie envisagera les adaptations aux faibles densité et viscosité du milieu aérien. Enfin, la réalisation de certaines fonctions tirant parti de caractéristiques favorables du milieu sera étudiée.

I. Adaptations à un milieu à faible disponibilité en eau

1. L'approvisionnement en eau dans le milieu aérien

- importance de l'eau pour l'organisme animal : %, rôles essentiels (structurant, solvant, réactif, fluide circulant, tampon thermique).
- approvisionnement en eau de l'organisme : eau de boisson (50-100 L/j pour la Vache), eau contenue dans les aliments (teneur variable : >70 % pour les végétaux herbacés qui constituent l'essentiel de la ration de la vache, mais 10 % pour les graines qui font partie du régime alimentaire de la souris ; lait riche en eau pour les veaux ou les souriceaux)
- insalivation des aliments (100-190 L/j de salive produite chez les bovins) → milieu aqueux favorable à l'action des enzymes digestives (celles de l'animal ou celles produites par les symbiotes) dans le TD ; cette eau contribue à la progression du chyme (contenu du TD plus ou moins digéré) dans le TD puis elle est réabsorbée, comme l'eau ingérée, au niveau de l'intestin (colon, et aussi au niveau du feuillet chez la vache) → obtention de fèces plus ou moins déshydratées (davantage chez la souris que chez la vache)
- approvisionnement en eau des cellules : les liquides circulants, sang et lymphe, assurent l'homéostasie du milieu qui entoure les cellules, notamment le maintien de la pression hydrostatique

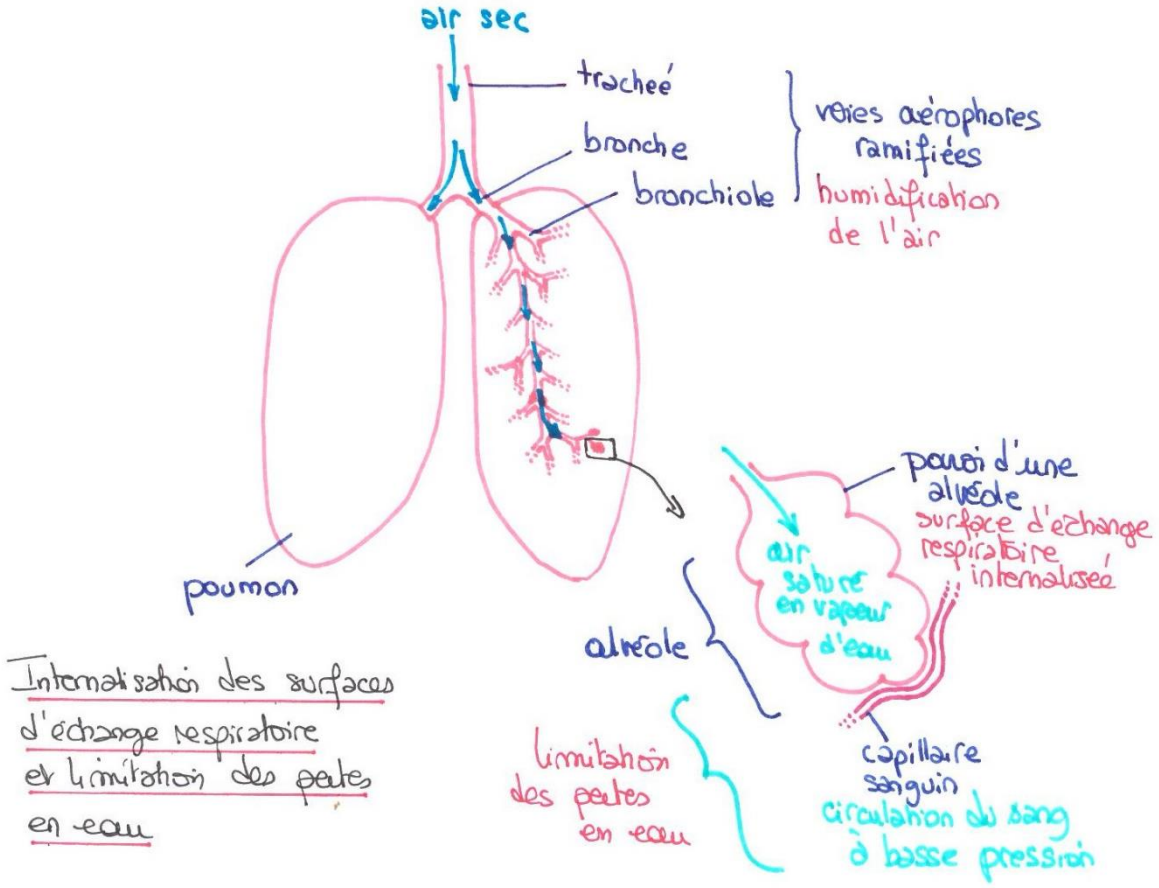
Pouvait être évoqué ici : la double circulation, en améliorant l'efficacité de la mise en mouvement de ces liquides circulants, permet d'optimiser le maintien de cette homéostasie et contribue aussi à l'adaptation au milieu aérien



2. Adaptations permettant de limiter les pertes d'eau

Exemple d'intégration d'un schéma au texte explicatif :

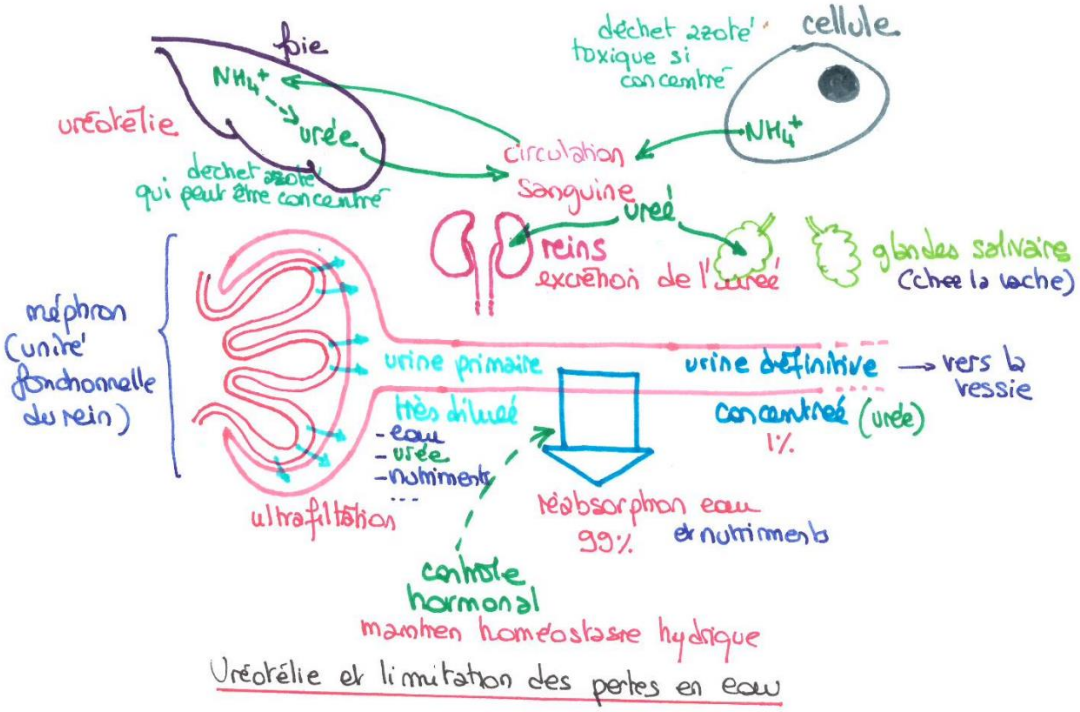
Les surfaces d'échanges respiratoires ne sont pas exposées au milieu desséchant en surface de l'organisme, mais internalisées : elles sont localisées dans les poumons.



L'air pénètre dans l'appareil respiratoire en empruntant les voies aérophores ramifiées, ce qui est favorisé par sa faible viscosité (que nous évoquerons dans le III.1). Il est humidifié au cours de ce trajet. Lorsqu'il pénètre dans les alvéoles, il est saturé en vapeur d'eau, ce qui limite l'évaporation en surface des parois alvéolaires.

La circulation pulmonaire à basse pression limite les pertes en eau par filtration à partir des capillaires sanguins localisés dans les parois alvéolaires.

- économie d'eau lors de l'excrétion azotée des animaux = uréotélie : urée produite par le foie moins « exigeante » en eau que l'ammoniac (car moins toxique pour les cellules) et réabsorption rénale sous contrôle hormonal (contribue au maintien de l'homéostasie hydrique) ; urée aussi excrétée dans la salive chez la vache, avec recyclage de l'azote par les symbiotes du rumen, et de l'eau qui est réabsorbée dans le TD



- surface de l'organisme imperméabilisée par la kératine et le sébum + les poils qui en immobilisant une couche d'air limitent la convection et l'évaporation d'eau en surface
Schéma possible du tégument en se limitant ici aux structures mises en jeu dans la limitation des pertes en eau
- sécrétion ou non de sueur (contrôle) par les glandes sudoripares

3. Adaptations évitant le dessèchement des structures et surfaces spécialisées
- accouplement et fécondation interne grâce aux organes copulateurs (pénis, vagin) : pas de contact direct gamètes / milieu aérien
- développement embryonnaire protégé de la sécheresse de l'air dans l'utérus maternel, organe de la gestation (viviparité) : l'embryon se développe en milieu aqueux, le liquide amniotique, entouré par l'amnios.

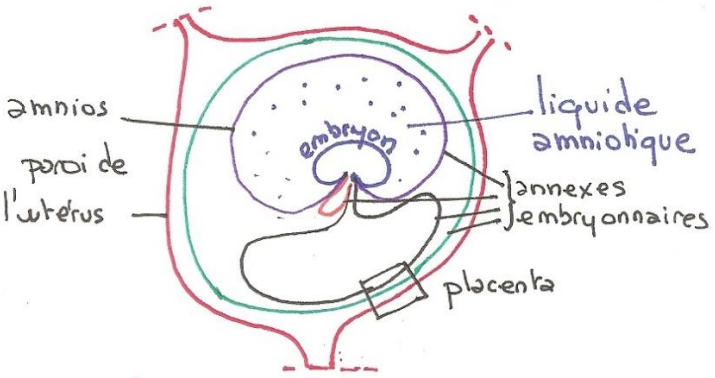
Des organes génitaux externes :

pénis chez le mâle — vagin chez la femelle

permettant l'accouplement
⇒ gamètes protégés du milieu aérien desséchant

puis la fécondation interne
⇒ cellule-oeuf protégée du milieu aérien desséchant

Un organe de la gestation chez la femelle :
l'utérus où se développe l'embryon...



... dans un milieu aqueux
⇒ protection de l'embryon
- de la sécheresse de l'air
- des variations de température
- vis à vis des chocs

Une reproduction sexuée présentant des adaptations vis-à-vis des contraintes du milieu aérien

- paupières et glandes lacrymales : protection et hydratation de la cornée (nécessité pour maintenir cette surface transparente aux rayons lumineux)

<u>Idée dégagée</u> :
Les différentes surfaces en contact avec le milieu desséchant présentent des adaptations favorisant le maintien de l'équilibre hydrique de l'animal, élément clé de son homéostasie : tégument exposé kératinisé (pas les muqueuses), surfaces d'échange internalisées

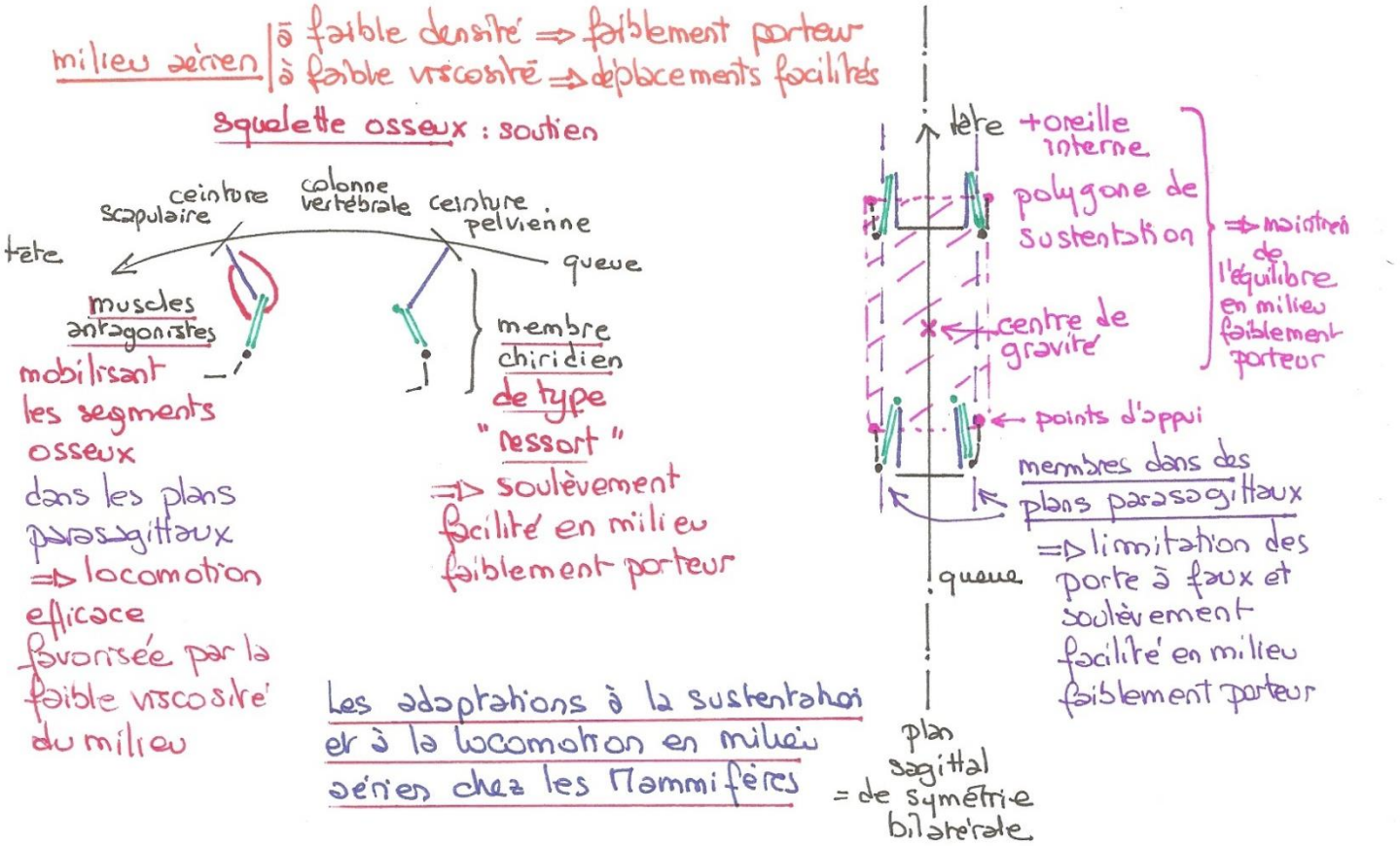
<u>Transition :</u> La faible disponibilité de l'eau est une première différence majeure entre le milieu aquatique et le milieu aérien. C'est d'autre part un milieu de faibles densité et viscosité, propriétés qui elles aussi sont mises en jeu dans la réalisation de plusieurs fonctions vitales.

<u>II. Adaptations à la faible densité, à la faible viscosité du milieu aérien</u>
→ Faible portance du milieu mais aussi forte amplitude des variations de température (variabilité et hétérogénéité des températures à relier à la faible capacité thermique massique de l'air)

1. Adaptation à la faible portance du milieu : structures de soutien à l'échelle des organes et de l'organisme
- endosquelette osseux (os minéralisés et rigides) permettant de soutenir l'organisme et de l'élever au-dessus du sol, avec les muscles posturaux reliés aux os par les tendons
- polygone de sustentation délimité par les 4 points d'appui au sol (souris et vache sont des tétrapodes) dans lequel est positionné le centre de gravité, ce qui permet le maintien de l'équilibre (vache en appui sur ses sabots, souris plantigrade postérieure et digitigrade antérieure)
Schéma de l'organisation du squelette de la vache ou de la souris vu de profil, montrant également des muscles reliés aux os par les tendons, voir plus loin

- anneaux cartilagineux de la trachée maintenant les conduits respiratoires ouverts
- *surfactant des surfaces d'échange respiratoire aux propriétés tensioactives qui empêchent le collapsus des alvéoles (sera étudié ultérieurement avec le chapitre portant sur la respiration)*
- circulation systémique haute pression permet une bonne irrigation de tous les tissus / organes malgré la gravité à laquelle l'organisme est soumis
- soutien de l'embryon par le liquide de la cavité amniotique qui exerce une poussée d'Archimède (il est donc moins soumis à la gravité, ce qui favorise un développement embryonnaire harmonieux) et protection vis-à-vis des chocs (le liquide amniotique est incompressible contrairement à l'air atmosphérique)

2. Structures permettant le déplacement dans un milieu opposant une faible résistance
- avantage des déplacements dans un milieu à faible viscosité qui oppose donc une faible résistance
- membres chiridiens en position parasagittale : points d'appui au sol proches du centre de gravité, ce qui limite les porte-à-faux et l'énergie nécessaire à la locomotion
- membres chiridiens organisés en trois parties, de type « ressort » permettant de surélever plus aisément l'organisme par rapport au sol
- déplacement des différents segments du membre dans le plan parasagittal → grande enjambée et locomotion efficace
- mise en jeu de muscles antagonistes (l'un se contracte, l'autre se relâche) qui mobilisent les os autour des articulations
- importance de la coordination et de l'équilibration (oreille interne, cervelet) en milieu faiblement porteur



3. Adaptations à la variabilité thermique du milieu aérien
- milieu aérien de faible densité, de faible capacité thermique massique → variabilité importante de la température, à l'échelle de la journée, mais aussi en fonction des saisons sous nos latitudes
- la vache et la souris, comme tous les mammifères (et les oiseaux) sont endothermes : ils régulent leur température corporelle autour d'une température de consigne (38,5 +/- 2 °C chez la vache) ; importance du contrôle de ce paramètre : la température contrôle la vitesse des réactions chimiques (métabolisme cellulaire) ; fait partie de l'homéostasie
- thermogenèse = processus sources de chaleur (métabolisme, sources de chaleur externes) / thermolyse = processus de dissipation de chaleur en surface de l'animal (convection, conduction, rayonnement, évaporation d'eau = sueur)
- boucle de régulation de la température corporelle : capteurs thermosensibles / hypothalamus = centre intégrateur / organes effecteurs

Schéma de la boucle de régulation

- organes effecteurs : glandes sudoripares, vaisseaux sanguins (du derme, des organes « radiateurs » = cornes des vaches, oreilles…), poils + muscles horripilateurs, comportements, hyperventilation (peu chez la vache), muscles (frisson thermique), métabolisme cellulaire
- en cas d'hyperthermie : augmentation de la thermolyse et diminution de la thermogenèse / en cas d'hypothermie : augmentation de la thermogenèse et diminution de la thermolyse
- protection contre les fluctuations saisonnières : toison d'hiver / d'été ; variations des réserves lipidiques dans l'hypoderme

Schéma du tégument avec les effecteurs de la thermorégulation

- lien avec double circulation : mise en mouvement plus efficace du sang, fluide porteur de chaleur contribuant au maintien de la température corporelle, condition favorable au bon déroulement du métabolisme cellulaire (qui contribue à la thermogenèse)
- la viviparité soustrait l'embryon aux variations thermiques du milieu

Idée dégagée :

La faible densité du milieu aérien représente une contrainte pour le soutien, mais un avantage pour le déplacement ; l'homéostasie thermique des mammifères leur confère un avantage en milieu aérien en les affranchissant des variations de température.

Transition :

D'autres propriétés du milieu représentent des avantages pour la réalisation de fonctions vitales.

III. La réalisation de certaines fonctions vitales tire parti de propriétés du milieu aérien

1. Adaptations à un milieu gazeux riche en O_2

- la richesse en O_2 (21 %) et la faible teneur en CO_2 de l'atmosphère assurent un gradient de pression partielle des gaz respiratoire entre l'air alvéolaire et le sang des capillaires entourant les alvéoles, ce qui permet les échanges gazeux par diffusion : le sang est par conséquent enrichi en O_2 et le CO_2 est évacué
- ce gradient est maintenu par renouvellement des gaz respiratoires grâce à une ventilation bidirectionnelle permise par la faible viscosité de l'air (mise en mouvement moins coûteuse en énergie que celle de l'eau), et la diffusion aisée de l'O_2 jusqu'aux alvéoles
- la ventilation met en jeu la cage thoracique : inspiration active (contraction du diaphragme et des muscles intercostaux) / expiration passive (relâchement de ces muscles + affaissement sous l'effet de la gravité) ; les plèvres assurent une solidarité entre les poumons et les côtes
- diffusion facilitée de molécules odorantes : olfaction développé (ex communication par phéromones et reproduction)

Schéma possible de l'appareil respiratoire et des modalités de la ventilation

2. Adaptations à un milieu qui transmet bien les ondes

- bonne transmission des ondes lumineuses dans le milieu transparent et vision développée : vision dichromate de la vache et grand champ visuel grâce à la position latérale des yeux(mais peu de perception des reliefs)
- ondes sonores transmises en étant peu amorties car le milieu est peu dense et compressible et ouïe développée, oreilles avec pavillon externe favorisant la réception des sons
- nécessité d'une protection contre les UV

Rq : Vache et Souris = deux phytophages se nourrissant de producteurs primaires abondants (car utilisent l'énergie lumineuse bien transmise par le milieu), mais ce n'est pas un point commun à l'ensemble des Mammifères)

Des fonctions de perception adaptées aux avantages du milieu

Idées dégagées : le milieu aérien présente des contraintes, mais aussi des avantages ; les adaptations au milieu permettent la réalisation des fonctions vitales « malgré » les premières et de « tirer parti » des seconds

Conclusion :

Ainsi les mammifères présentent de nombreuses adaptations à leur milieu de vie : leur plan d'organisation permet la réalisation des fonctions vitales malgré les contraintes du milieu (en particulier son caractère desséchant, compte tenu de l'importance de l'eau pour le vivant) ainsi que l'exploitation des avantages de celui-ci (en particulier la richesse en O_2 et la bonne transmission de nombreux stimuli). On peut particulièrement souligner l'avantage adaptatif de la thermorégulation qui confère aux mammifères (aux oiseaux également) une relative indépendance vis-à-vis du milieu.

Cette adaptation est le résultat d'innovations génétiques qui ont permis aux premiers vertébrés de conquérir depuis le milieu aquatique de nouvelles niches écologiques. Cependant d'autres plans d'organisations, d'autres organismes occupent également ce milieu et les mammifères entretiennent avec eux des relations diverses (prédation, mutualisme, symbiose…) qui n'ont pas été étudiées mais qui expliquent aussi la réussite du clade dans le milieu aérien.

Autres ouvertures possibles :

- les interactions avec la biocénose et les adaptations qui y sont liées, exemple de la domestication de la vache (et de la souris : c'est une commensale de l'espèce humaine)
- l'adaptation au milieu aérien chez les végétaux angiospermes