

Epreuve - Matière : 102-376.1 Session : 2026

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

Le dioxygène et les êtres vivants dans leurs milieux de vie

Avant les grands événements d'oxygénation, l'atmosphère primitive teneuse était essentiellement composée de dioxyde de carbone (CO_2 , 95%) et de diazote (N_2 , 3%). Ce n'est qu'après le grand événement d'oxygénation Archéen ($\sim 2,4 \text{ Ga}$) que sa composition fut fortement modifiée par l'action d'organismes photolithotrophes tels que les cyanobactéries : elles ont enrichi l'atmosphère en dioxygène (O_2), molécule aujourd'hui présente à une pression partielle d'environ 0,21 bar (2100 hPa), soit 21% de la composition atmosphérique. Le risque élevé de malaise suite à une chute de 2-3% de la teneur en O_2 dans l'air ambiant chez l'humain souligne l'importance de gaz dans la réalisation de grands fonctions biologiques. Ainsi, sa disponibilité dans les différents milieux apparaît comme un facteur limitant et structurant des écosystèmes. Nous chercherons alors à montrer les différentes adaptations des êtres-vivants quant à l'approvisionnement de l' O_2 en lien avec leurs milieux et les contraintes associées, ainsi que l'importance de l' O_2 dans la structuration des écosystèmes. Après avoir rappeler les propriétés des différents milieux de vie en lien avec la disponibilité en O_2 , nous montrerons que les êtres-vivants possèdent des structures de prélèvement spécialisées en lien avec leur milieu de vie. Enfin nous montrerons

l'importance de l'O₂ dans la répartition et la place écologique des organismes dans leurs milieux.

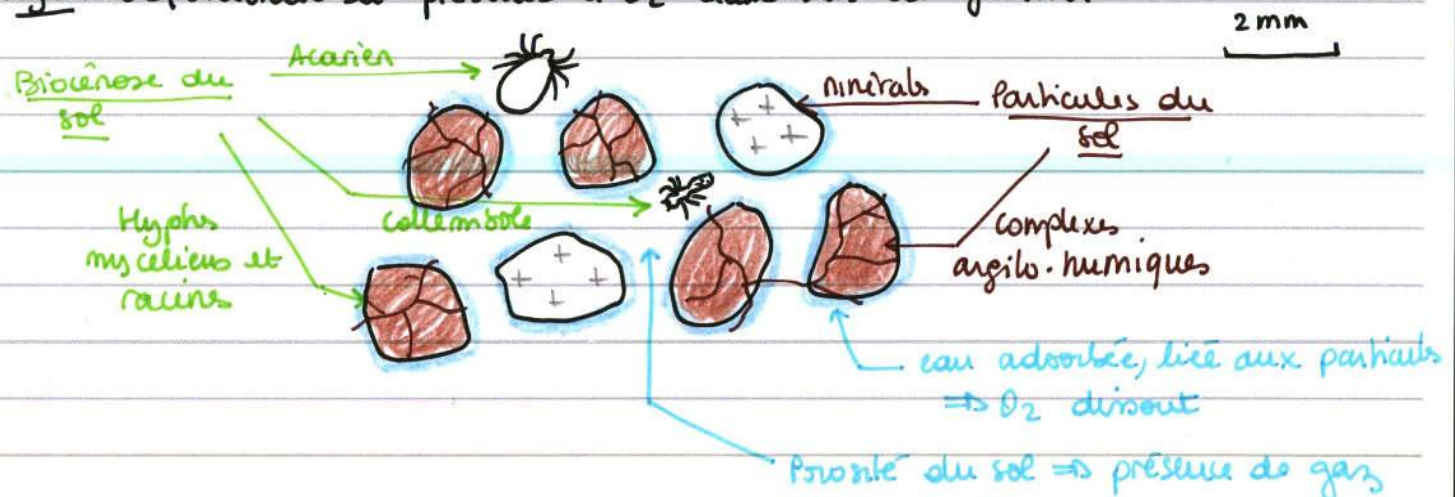
I - l'O₂ est une ressource plus ou moins limitante dépendamment du milieu de vie de êtres-vivants.

A - l'O₂ est un gaz assez peu limitant en milieu aérien.

Comme expliqué précédemment, l'O₂ est présent à hauteur de 21% dans l'air ambiant en moyenne : celui-ci apparaît comme peu limitant à première abord.

Intéressons-nous aux sols, qui présentent une grande partie de la biomasse insitu de nombreux écosystèmes aériens tels que les forêts (Chênaie...). (figure 1).

Fig 1 : Disponibilité et présence d'O₂ dans un sol forestier



Un exemple montre l'existence d'hétérogénéité dans la répartition de l'O₂ dans les écosystèmes aériens. Dans le cas des sols, la présence d'O₂ est limitée par la porosité et la présence d'eau. En revanche la bioturbation, et notamment la bioturbation par certains Annelides (lombric par exemple) homogénéise et aère le sol, apportant du dioxygène.

B. L'O₂ est un gaz peu soluble, plus limitant dans les milieux aquatiques

L'équilibre de dissolution d'un gaz peut être décrit de la façon suivante :



Avec β_{O_2} la **capacité** de l'eau pour l'O₂
(NB : le raisonnement est aussi valable pour des pressions partielles...)

Des mesures de concentration par sondes permettent de mettre en évidence que **la capacité de l'eau pour l'O₂ est faible** : l'O₂ dissout dans l'eau ne représente généralement que quelques pourcents. De plus la culture de chèvres dans différents conditions de pression partielle en O₂ montre que celles-ci se développent plus en présence de forte concentration d'O₂ : **l'O₂ est donc limitant en milieu aquatique**.

BILAN I La **disponibilité en O₂ dépend donc du milieu de vie des êtres vivants**. Quid de différentes stratégies d'approvisionnement en O₂ en fonction du milieu.

II - les êtres vivants possèdent des structures de prélèvement de l'O₂ spécialisées en lien avec leurs milieux de vie.

A. les organismes unicellulaires s'approvisionnent en O₂ par diffusion quelque soit le milieu.

Afin de comprendre le déplacement de gaz entre 2 compartiments, introduisons nous à la **loi de Fick** :

Flux du gaz X entre 2 compartiments en mol . s⁻¹

$\phi_x = - D_x S \left[\frac{d[x]}{dx} \right]$

Coefficient de diffusion proportionnel à la capacité en L . m⁻¹ . s⁻¹

Surface de l'échangeur en m²

gradient spatial de concentration du gaz X (ou équivalent en pression partielle) en mol . L⁻¹ . m⁻¹

La dx correspondra à l'épaisseur de l'échangeur

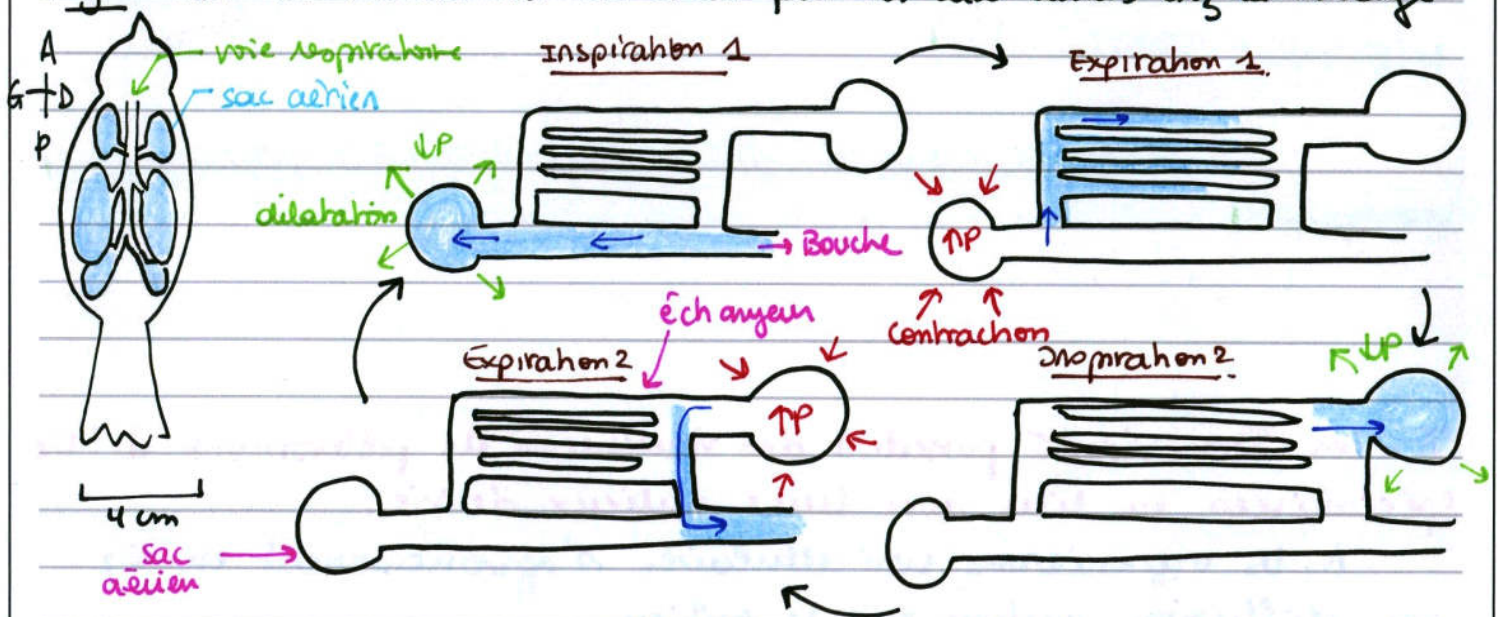
Des modélisations basées sur cette loi permettent de montrer que la diffusion seule ne permet d'approvisionner une cellule en O_2 que si son diamètre est inférieur à quelques micromètres ($\sim 2\mu m$). De nombreux microorganismes unicellulaires peuvent donc s'approvisionner en O_2 par diffusion à travers la membrane plasmique quelque soit le milieu de vie.

B. Les êtres-vivants plumeux aériens possèdent généralement des appareils respiratoires internalisés à grande surface d'échange.

a. Prélèvement et mise en mouvement de l'air dans l'appareil respiratoire des plumeux aériens

Prenez l'exemple des oiseaux, tel que la mésange (fig 2).

Fig 2: Flux en mouvement de l'air par les sacs aériens chez la mésange



Dans cet exemple (fig 2), l'air est prélevé par inspiration via les voies respiratoires et rejoint l'appareil respiratoire internalisé. Sur la figure, seul l'air d'une inspiration est représenté (bleu), l'air des inspirations précédentes et suivantes étant présent mais non représenté pour des raisons de clarté.

L'air est alors mis en mouvement par des alternances de dilatations/compressions au niveau des sacs aériens, le moteur étant les différences de pressions. Ces mouvements d'air permettent à la mésange un approvisionnement constant lors du vol des organes.

Epreuve - Matière : 102 - 3761 Session : 2026

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

en stockant l'air dans les sacs aériens.

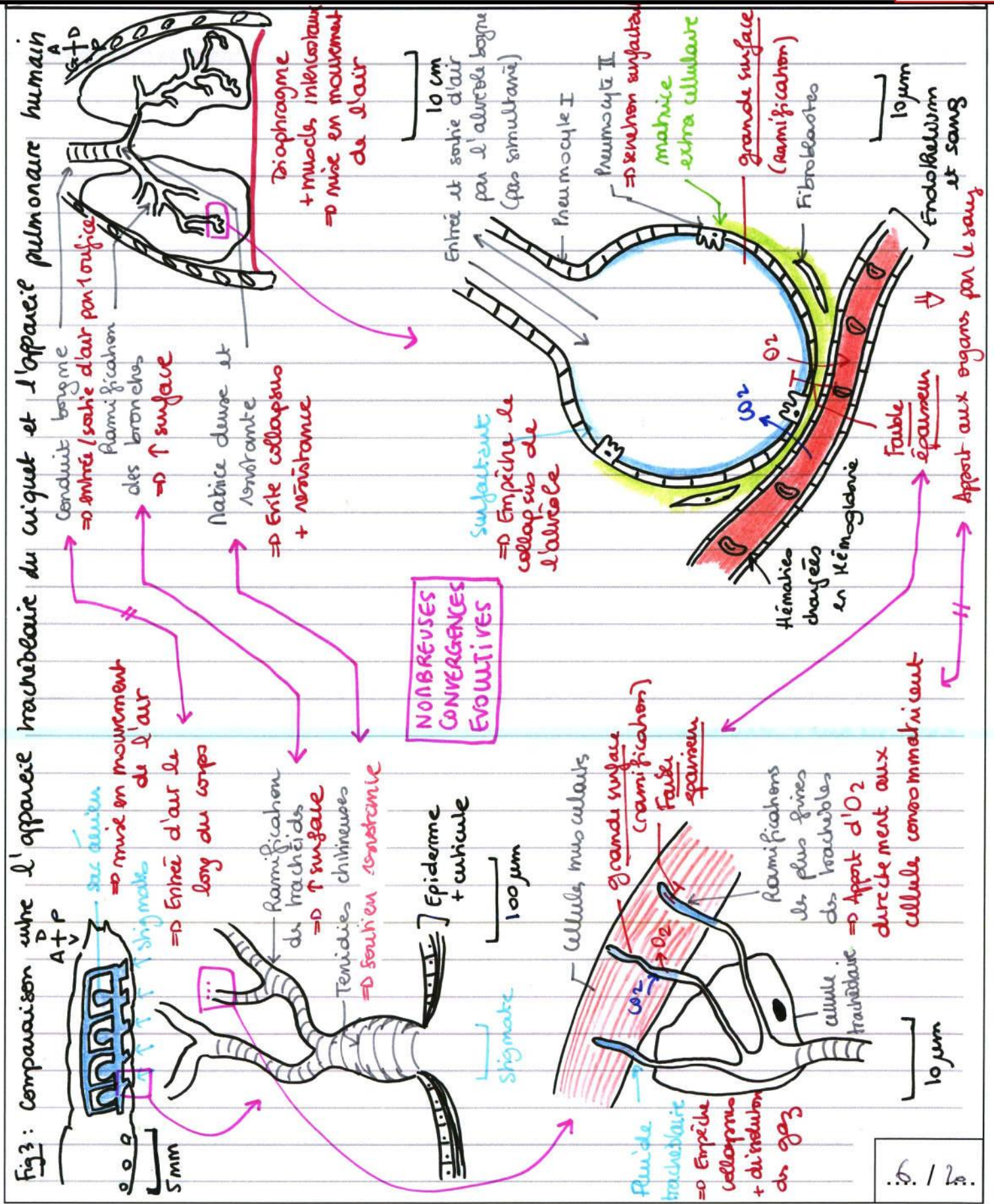
Chez d'autres organismes comme certains mammifères (dont l'humain), l'inspiration est active, mobilisant les muscles intercostaux et le diaphragme, permettant un influx d'air dans l'appareil pulmonaire. L'expiration est, elle, passive, résultant du relâchement des muscles engagés précédemment.

Enfin, chez les végétaux aériens, l'approvisionnement en O_2 se fait essentiellement au sein des chambres sous-stomatiques.

b. Approvisionnement en O_2 au niveau de l'échangeur des br. vrants aériens.

Prenons l'exemple de l'appareil respiratoire de mammifère en comparaison avec l'appareil tracheolaire d'insectes aériens (fig. 3, cf page suivante).

Puisque les organismes possèdent des appareils respiratoires très différents, ainsi que des modes d'approvisionnement d' O_2 aux cellules consommatrices différents (direct ou via des protéines de transport sanguin (hémoglobine) dans les érythrocytes), de nombreux rapprochements sont observables. Les 2 organismes possèdent un système internalisé en réponse au caractère dense et soutenu par des structures rigides (ex. trachéoles) en réponse aux caractères peu poreux et détrechant du milieu aérien.

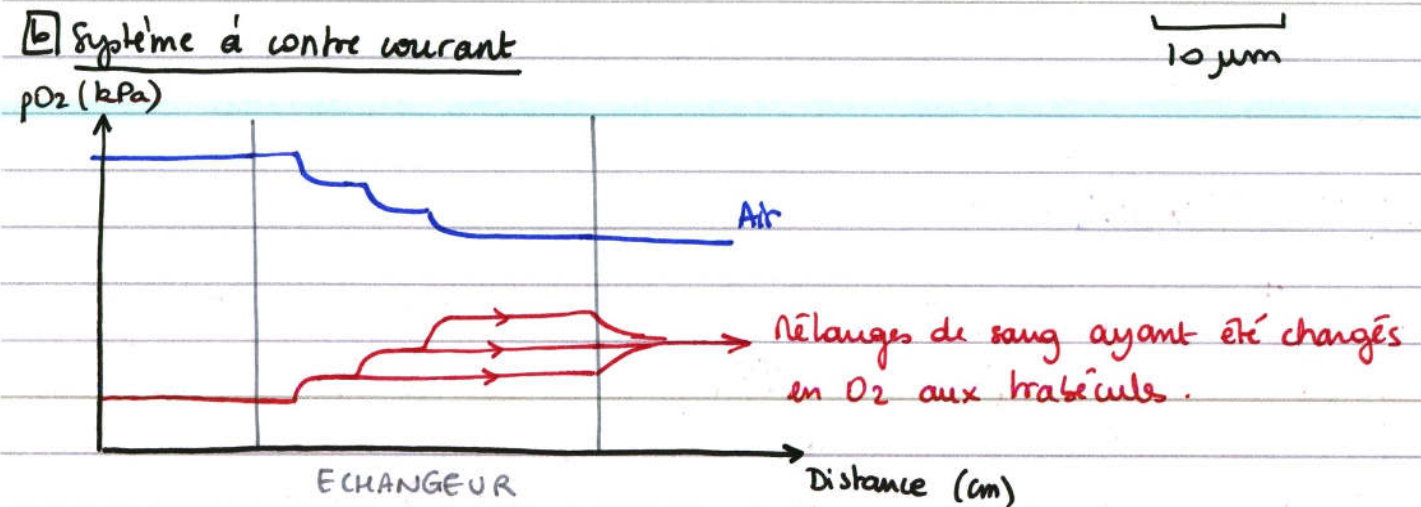
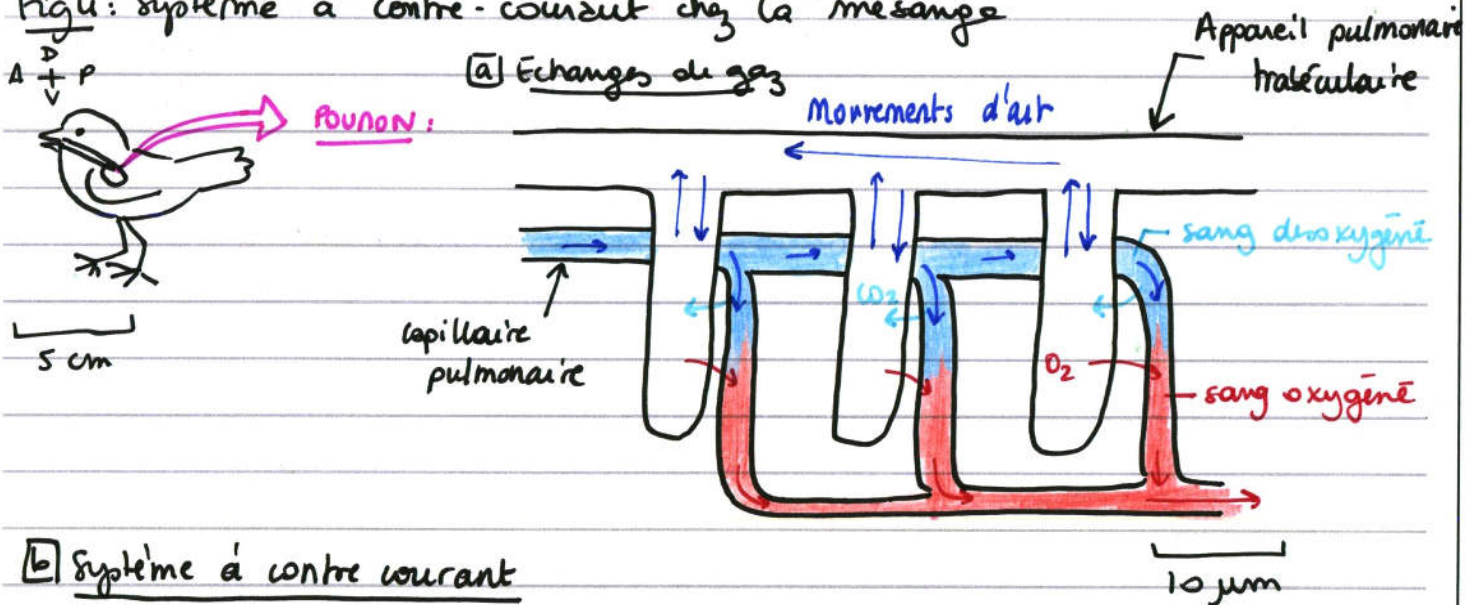


Ensuite, les surfaces d'échanges sont hiérarchisées et sont à mettre en lien avec la loi de Fick : faible épaisseur, grande surface (par ramification) et différentiel de pression partiel (par l'achète respiratoire de ces organismes). Les cutées permettent un flux d' O_2 (et de CO_2) vers l'intérieur de l'organisme (ou l'extérieur) par diffusion à travers les cuticules.

c. les organismes aériens présentent des adaptations favorisant l'apport de dioxygène.

Reprenons l'exemple de la mésange (figure 2) et de son appareil respiratoire, et intéressons nous à la structure de l'échangeur.

Fig. 2 : Système à contre-courant chez la mésange



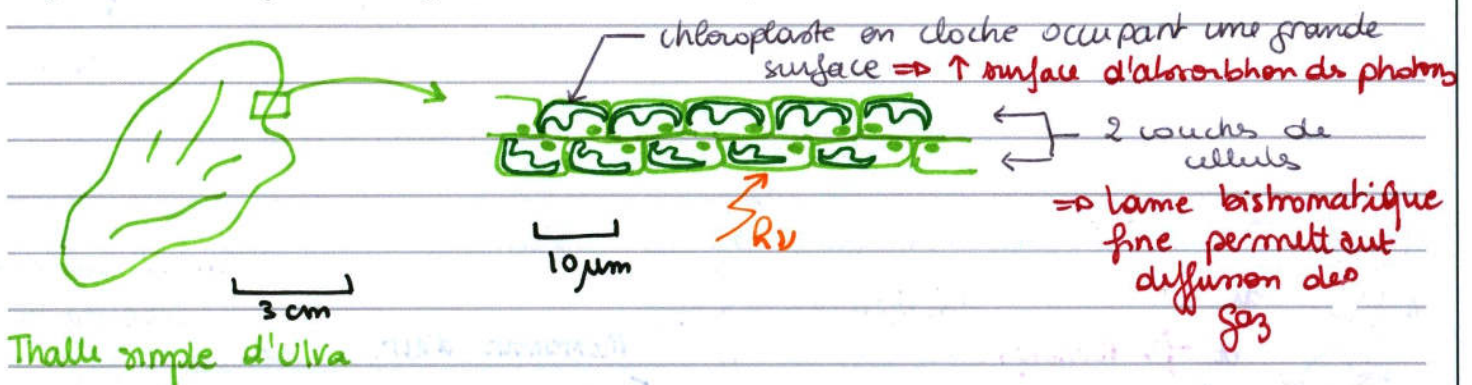
Sur cet exemple, la circulation à contre courant de l'air et du sang desoxygéné permet un chargement du sang en O_2 dans les poumons.

C. les êtres vivants pluricellulaires aquatiques possèdent généralement des appareils respiratoires externes à grande surface d'échange

a. les végétaux pluricellulaires aquatiques s'approvisionnent essentiellement en O_2 par diffusion

Prenons l'exemple de l'algue verte Ulva.

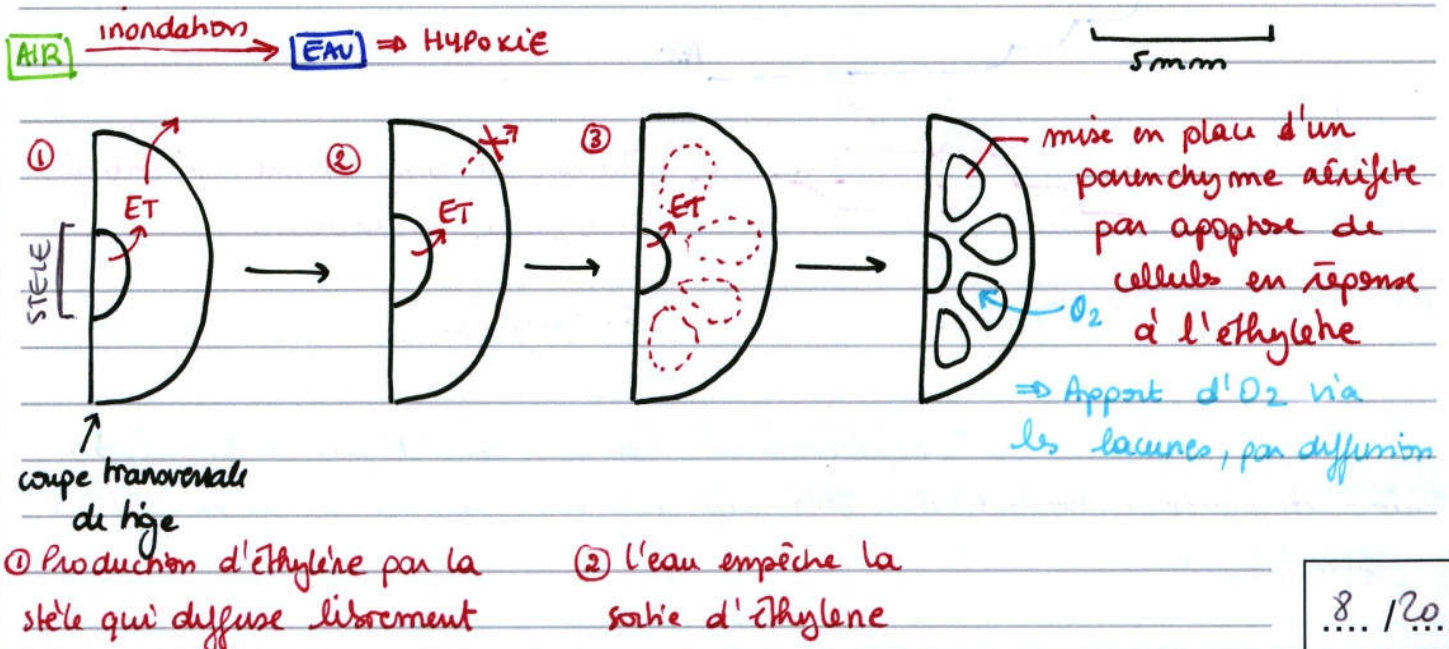
Figure 5: Echanges de gaz chez Ulva sp.



ici (fig 5), l'approvisionnement en O_2 se fait essentiellement par diffusion directe mais aussi par l'activité photosynthétique de l'algue verte.

Prenons maintenant l'exemple d'une plante semi-aquatique en condition hypoxique telle que le riz (Pacée).

fig 6: Adaptation à l'hypoxie chez le riz en condition aquatique



Epreuve - Matière : 102 - 3761 Session : 2026

CONSIGNES

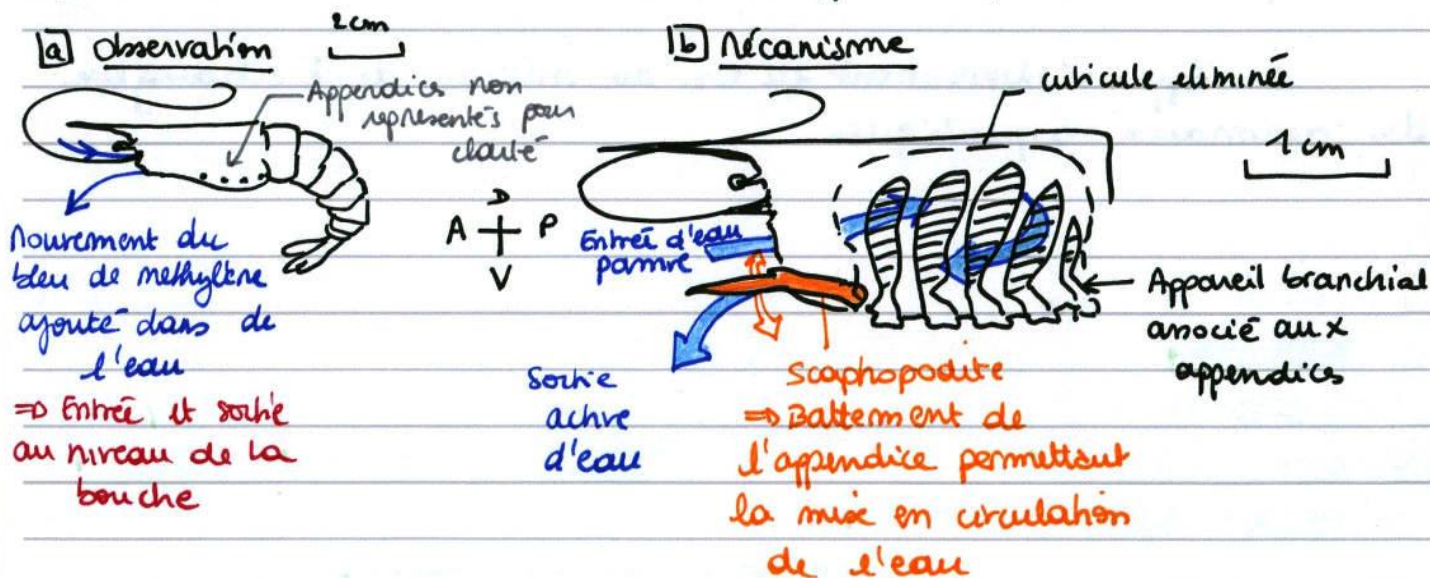
- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

Cet exemple (fig 6) met en évidence l'existence de structures spécialisées chez les poissons aquatiques permettant l'apport de gaz dont l'O₂ : les lamines. Ce type de structure est notamment observé chez les néruphans.

b. la mise en mouvement de l'eau par les animaux aquatiques permet l'approvisionnement en O₂.

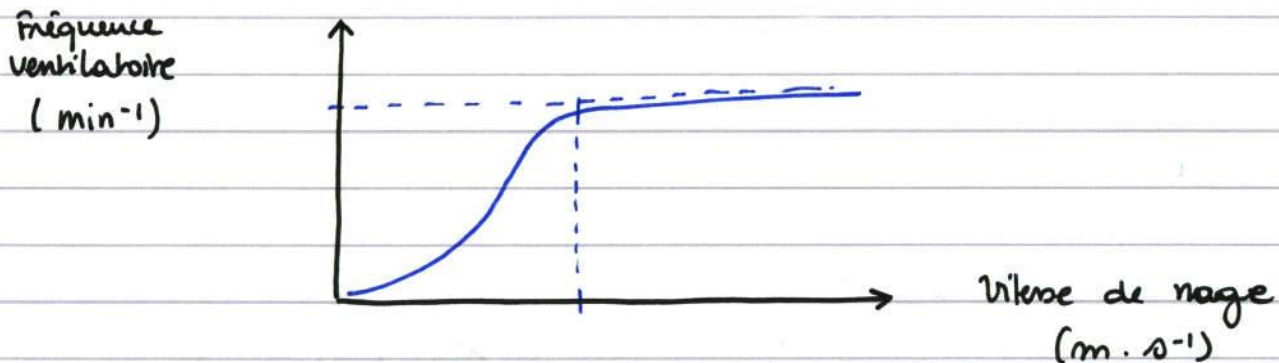
Prenons l'exemple de l'écreurise, un arthropode aquatique.

Fig 7: Mouvement d'eau au niveau de l'appareil respiratoire d'une écreurise.



Cet exemple (fig 7) montre une mise en circulation constante de l'eau par le battement d'un appendice. Chez les Téléostéens, la mise en mouvement s'effectue par ouverture/fermeture séquentielle des ouïes et de la bouche permettant la circulation d'eau à travers les branchies. Cette ventilation est donc active mais pas nécessairement.

Fig 8 : Mise en évidence d'une ventilation passive chez un Téléostéen.



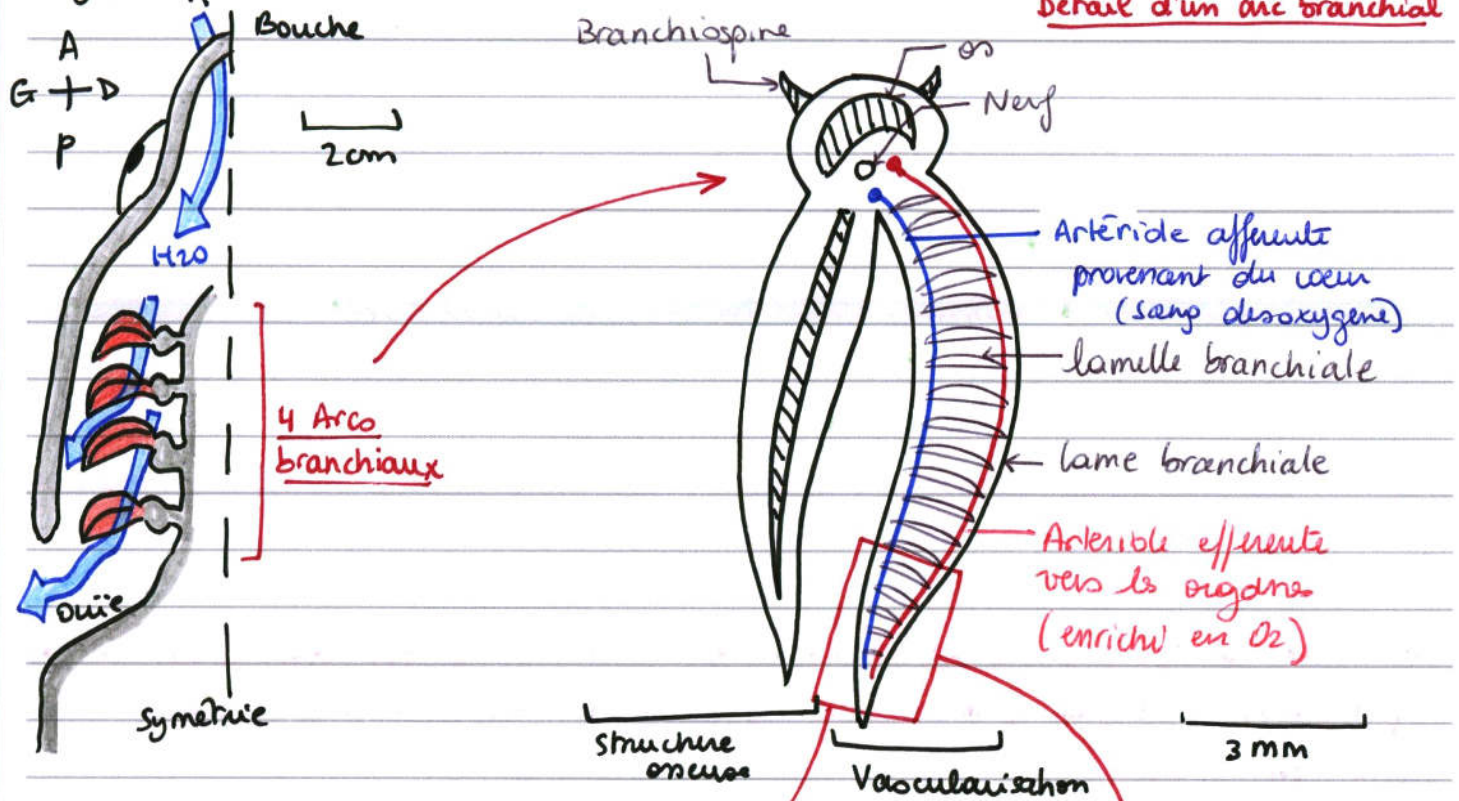
Ici (figure 8), la circulation d'eau à travers la bouche et les ouïes du Téléostéen permettent un apport d' O_2 important : la fréquence ventilatoire se stabilise puisque l'apport d' O_2 devient suffisant malgré la forte dépense énergétique associée à la nage rapide.

c - Approvisionnement en O_2 au niveau de l'échangeur des animaux aquatiques

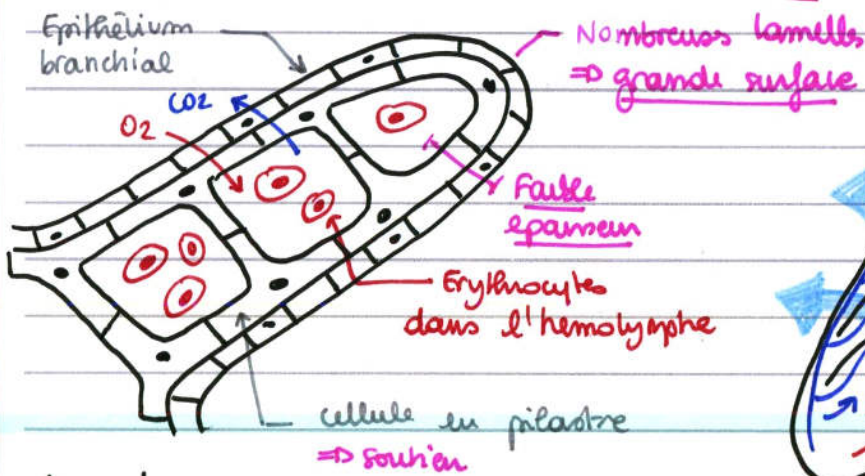
Étudions l'appareil branchial d'un Téléostéen (figure 9, page suivante). Chez les Téléostéens, comme chez de nombreux organismes possédant des branchies (certains insectes aquatiques, têtard, crustacés, ...), l'échangeur possède des caractéristiques similaires à celui des organismes aériens : ce sont des conques évolutives (faible épaisseur, grande surface).

L'appareil branchial est externe et moins soutenu anatomiquement, à mettre en lien avec la forte portance

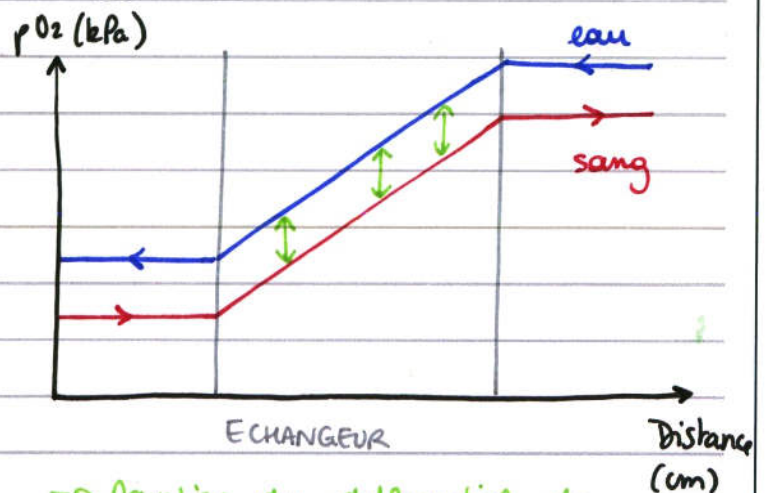
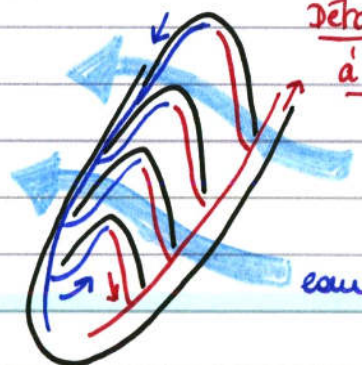
Fig 9: Appareil branchial de Téléostéen



Détails cellulaires d'une lamelle branchiale



Détail de la ventilation à contre-courant aux lamelles branchiales



⇒ maintien du différentiel de pression partielle ⇒ flux important d'O₂ vers le sang

et l'absence de déclenchement en milieu aquatique. L'O₂ est ensuite approvisionné par un fluide circulant (l'hémolymphe) aux organes consommateurs.

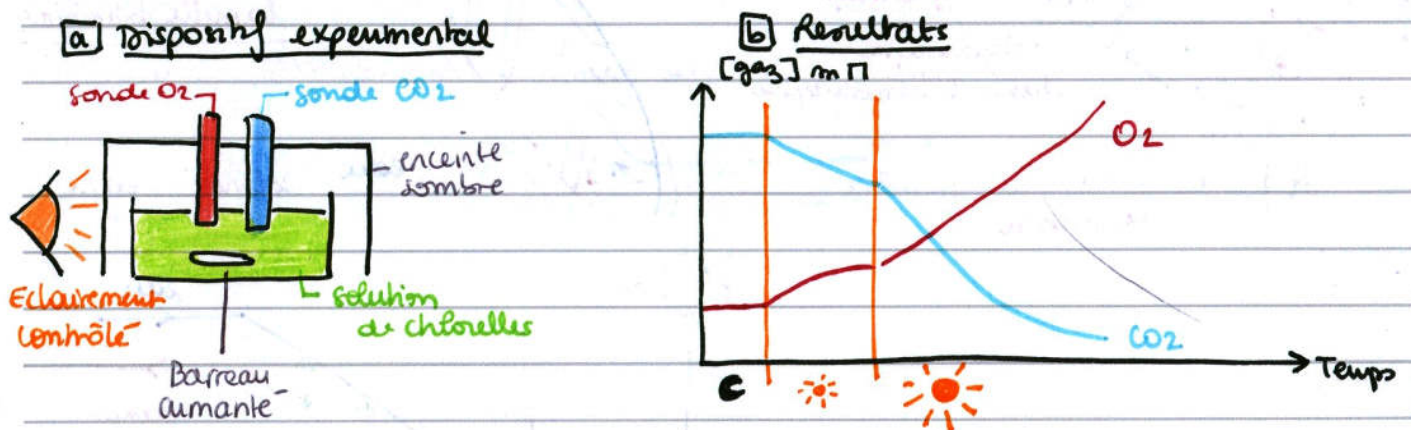
BILAN II Bien que les différents milieux de vie soient associés à des contraintes différentes, les structures de prélèvement de l'O₂ sont souvent analogues, issues de convergences évolutives face à de mêmes pressions de sélection. Mais l'O₂ reste inégalement réparti dans les différents milieux, quid de son importance dans la structuration des écosystèmes.

III - la disponibilité et l'utilisation de l'O₂ est associée à la répartition et la place écologique des êtres vivants dans leurs milieux

A. Les producteurs primaires approvisionnent les différents milieux de vie en O₂ par la photosynthèse oxygénique

Intéressons nous à l'activité photosynthétique d'algues unicellulaires.

Figure 10 : libération d'O₂ par la photosynthèse oxygénique



Cette expérience simple montre que les producteurs primaires réalisant la photosynthèse oxygénique prélèvent le CO₂ du milieu et libèrent du dioxygène (issue de la photo-oxydation de l'eau dans la chaîne de transport d'électron chloroplastiques).

D'autres expériences simples permettent de montrer l'importance de l'activité photosynthétique sur le développement de communautés bactériennes aérobies en illuminant des syzygies

Epreuve - Matière : 102 - 3761 Session : 2026

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

de différentes longueurs d'onde et en analysant la distribution spectrale de la solution (concentration en bactérie) : celle-ci est d'autant plus grande que les algues sont illuminées de bleu et de rouge (longueurs d'ondes absorbées par les photopigments).

B. Les producteurs et consommateurs respirent l'O₂ prélevé dans leur milieu.

Comme nous avons pu le montrer précédemment, l'O₂ prélevé est approvisionné aux cellules consommatrices de façon directe (par diffusion depuis l'échangeur : criquet, chambre sous-stomatique des plants aériens) ou via un fluide circulant (diffusion depuis un réseau de capillaires de l'hémolymphe / le sang vers le hôte : téléostéen, mammifère, ...).

De façon plus marquante, les amphibiens anoures présentent des modifications anatomiques et protéomiques fortes associées à la métamorphose et donc au changement de milieu. Au cours de la métamorphose, les branchies régressent, l'appareil pulmonaire se met en place et l'hémoglobine change : elle devient plus sensible à la variation de pO₂ et au pH permettant un relargage efficace du dioxygène par effet Bohr notamment.

Cette consommation d'O₂ (et le relargage de CO₂) est faiblement mise en évidence par un dispositif Exao (similaire

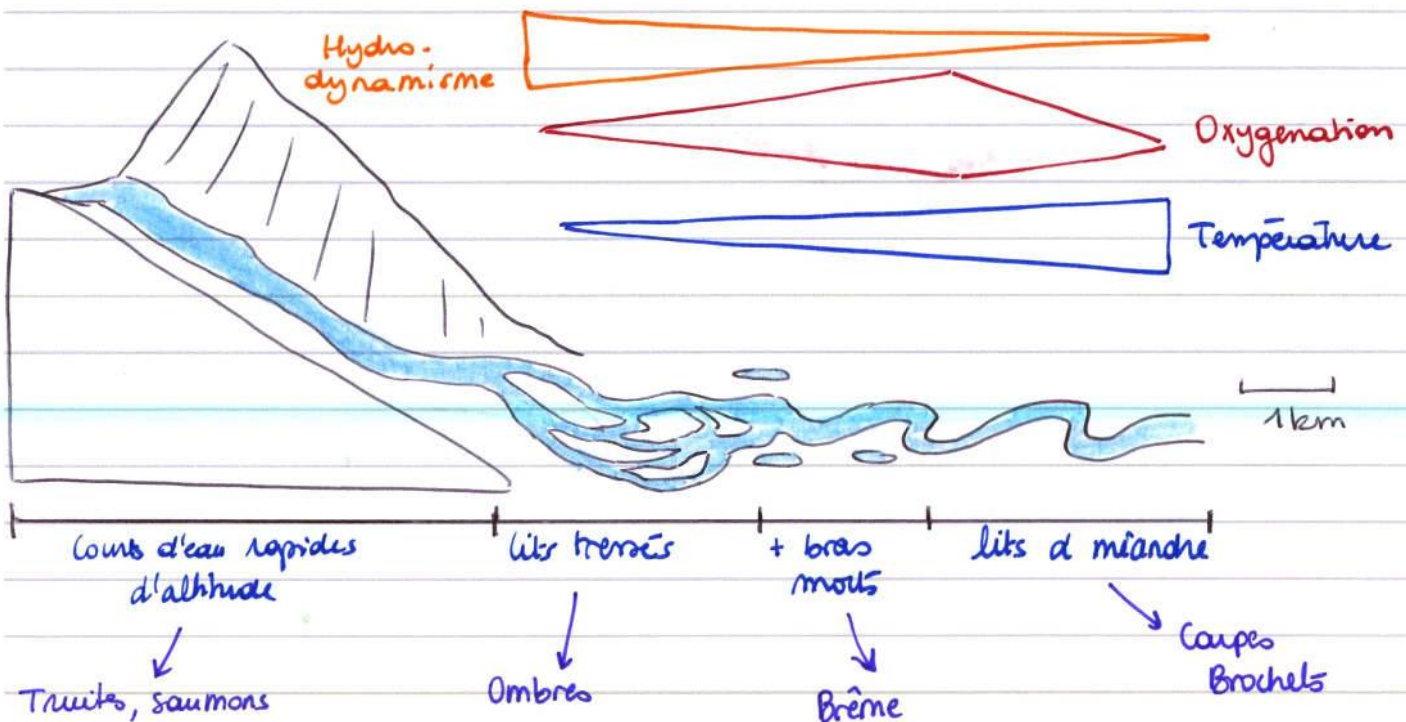
à la fig 10) avec des microorganismes aérobies hétéotrophes.

C - la disponibilité en O_2 structure la communauté dans les différents milieux de vie.

a. Structuration horizontale des communautés par l' O_2

Prendons l'exemple de l'étagement des communautés de téléostéens le long du réseau hydrographique (figure 11).

Figure 11: Etagement horizontal des communautés de téléostéens

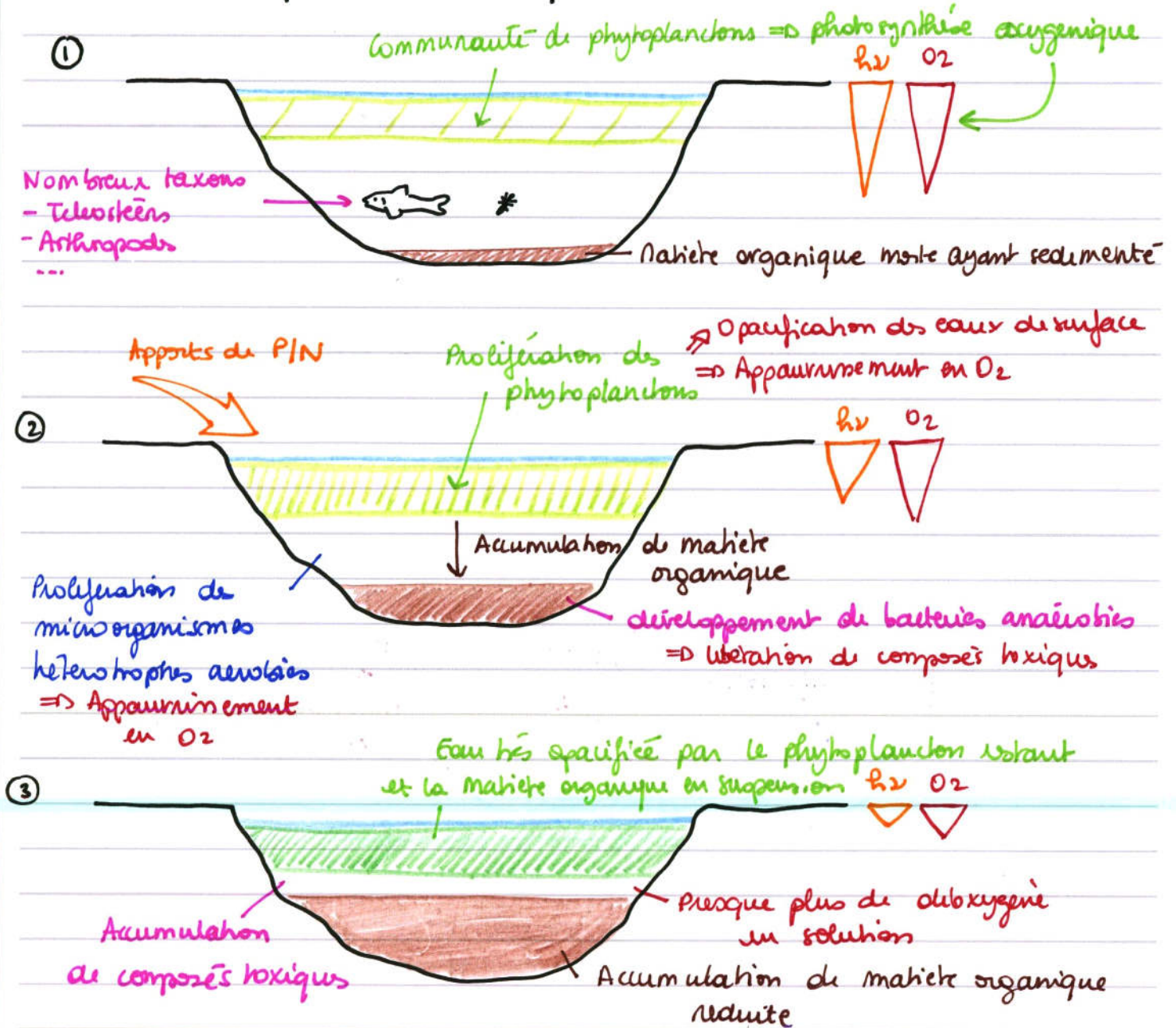


ici (fig 11), la disponibilité en O_2 (ainsi que d'autres paramètres) contribue à la structuration horizontale le long du réseau.

5- Structuration verticale des écosystèmes par l'O₂

Preons l'exemple d'un milieu lentique soumis à des apports anthropiques en phosphate et azote.

Figure 12 : Importance de l'O₂ dans l'étagement des communautés sur l'exemple de l'eutrophisation.



BILAN Milieu lentique eutrophisé (voire dystrophisé)

- $\rightarrow$ Chute de la richesse taxonomique
- $\rightarrow$ Perte de l'étagement de la colonne d'eau
- $\rightarrow$ Eaux anoxiques et potentiellement chargées de toxines

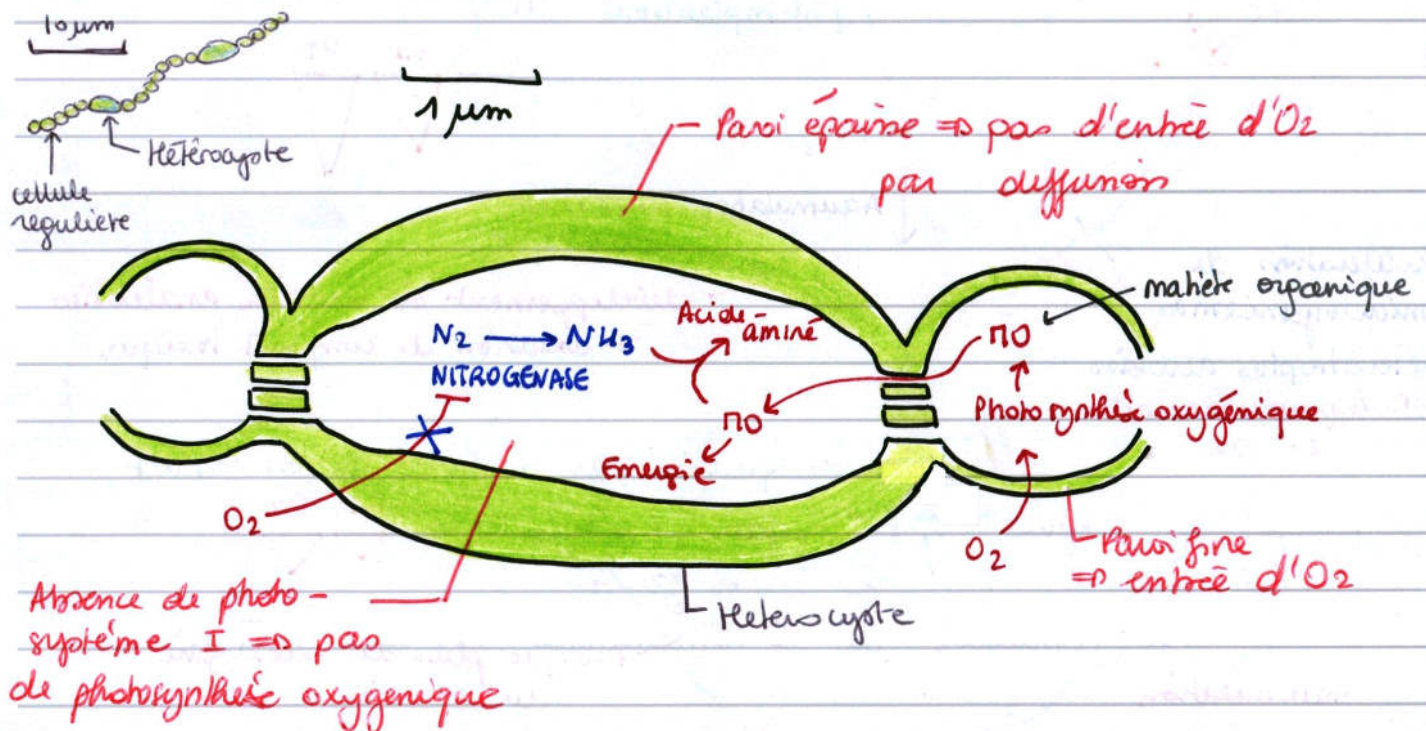
Cet exemple (fig 12) très extrême montre l'importance du gradient vertical d' O_2 sur le développement / la survie des différentes communautés d'un milieu aquatique. Cet étagement peut aussi être visualisé dans certains sols qui présentent des cyanobactéries en surface et des bactéries hétéotrophes puis autotrophes anaérobies en profondeur (ex: Bactéries sulfureuses pourpres sulfo-réductrices).

D- le dioxygène peut aussi être délétère dans certains contextes biologiques

a- Adaptations des êtres-vivants contre l'excès d' O_2

Prenons l'exemple des cyanobactéries *Nostoc*, présentes dans les horizons superficiels des sols.

Figure 13: Stratégies d'évitement de l'exposition à l' O_2 dans les hétéocystes *Nostoc*



Cet exemple montre une spécialisation des fonctions dans les colonies de *Nostoc*. L'hétérocyste possède des caractéristiques structurales et biochimiques limitant l'entrée / la production d' O_2 . Cela permet entre autre la fixation d'azote par la nitrogénase, inhibée par l' O_2 . Des mécanismes similaires ont lieu dans les nodosités (leghémoglobine fixant l' O_2).

Epreuve - Matière : 102 - 3761 Session : 2026

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

b. Protection contre les espèces dérivées de l'O₂

En cas d'excès de lumière, la chaîne photosynthétique peut générer des espèces réactives de l'oxygène (ROS) pouvant altérer de nombreuses structures cellulaires par oxydation. Ceux-ci sont pris en charge par des protéines de scavenging et leur production est limitée par la photorespiration (activité oxygénée de la RuBisCO).

Bilan II la disponibilité en O₂ est donc un facteur de contrôle des communautés et de leur répartition dans l'espace.

CONCLUSION

L'O₂ est la molécule nécessaire aux organismes aérobies : quelque soit leur milieu et les contraintes associées, les organismes présentent des structures adaptées à son prélèvement et son approvisionnement aux tissus (modules la diffusion directe, notamment pour les unicellulaires).

Les structures présentent de grandes surfaces et une faible épaisseur et sont internalisées pour les milieux denses et contenus pour les milieux peu porteurs.

Bien que la disponibilité en O_2 dépende du milieu, elle est aussi associée aux producteurs primaires réalisant la photosynthèse oxygénique. Cette disponibilité détermine la répartition des êtres vivants (aérobies et anaérobies) dans l'espace.

Il reste important de comprendre que la répartition des êtres vivants dépend d'un nombre important de facteurs que l'on peut retenir dans le concept de niche écologique et que seul l' O_2 ne suffit pas à expliquer la répartition des êtres vivants dans leur milieu de vie : la lumière, le phosphore, etc... sont des facteurs importants aussi.

