

TD 10 : la respiration animale

L'arénicole (*Arenicola marina*) est un annélide polychète fousseur présent sur les littoraux sableux ou vaseux. Elle creuse dans l'épaisseur du sédiment une galerie, en forme de U, tapissée de mucus, dans laquelle elle s'abrite. Les mouvements ventilatoires provoquent un déplacement d'eau qui assure les échanges gazeux respiratoires.

Anatomie de l'Arénicole

Morphologie



A la loupe



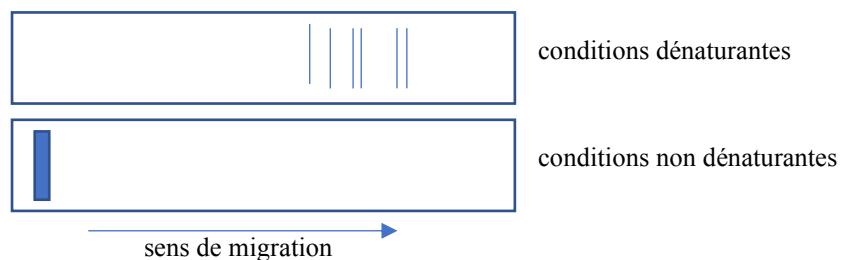
Un cycle de marée (ou cycle tidal) dure en moyenne 12h30. Il est constitué par une phase de basse mer conduisant à l'émergence de l'estran et une phase de haute mer conduisant à son immersion. À marée basse, l'arénicole reste dans son tunnel humide et arrête de se nourrir et son système circulatoire s'arrête quasiment.

Caractéristiques structurales de de l'hémoglobine de l'arénicole

Le sang de l'arénicole renferme un pigment respiratoire de la famille des hémoglobines.

Un échantillon de sang d'arénicole est préparé comme suit :

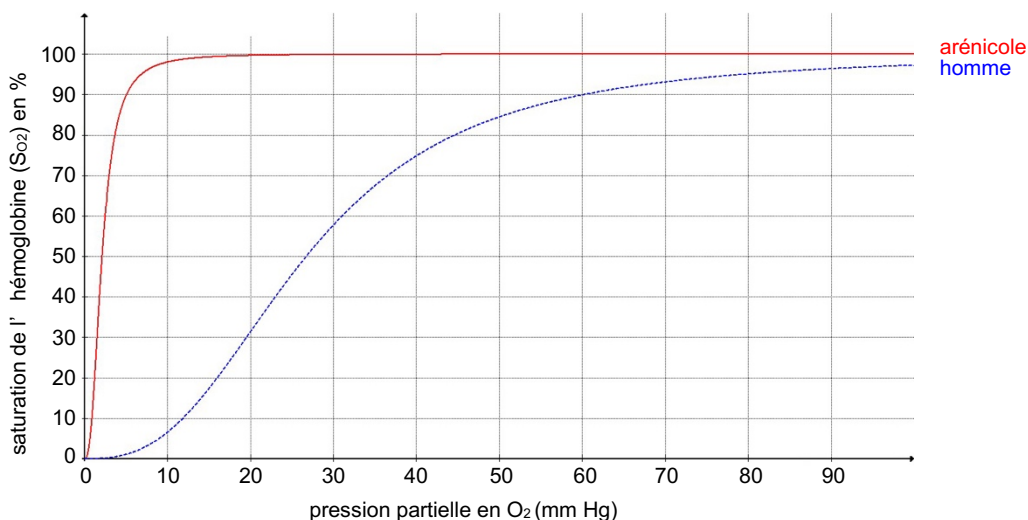
- une filtration permet d'éliminer les cellules sanguines
- le plasma récupéré est traité par chromatographie d'affinité : la colonne utilisée comporte des billes de silice garnies d'anticorps dirigés spécifiquement contre l'hème puis est rincée
- l'éluat est séparé par électrophorèse, soit en condition dénaturante soit en condition non dénaturante ; les gels sont révélés par le bleu de coomassie, un colorant des protéines.



Caractéristiques fonctionnelles de de l'hémoglobine de l'arénicole

La courbe de saturation (S_{O_2}) de l'hémoglobine d'arénicole en fonction de la pression partielle en dioxygène (O_2) est présentée dans le document suivant. En comparaison, la courbe de saturation de l'hémoglobine humaine est aussi représentée sur le même graphique.

Les valeurs de la pression partielle dans le terrier à marée haute sont précisées dans le tableau suivant.



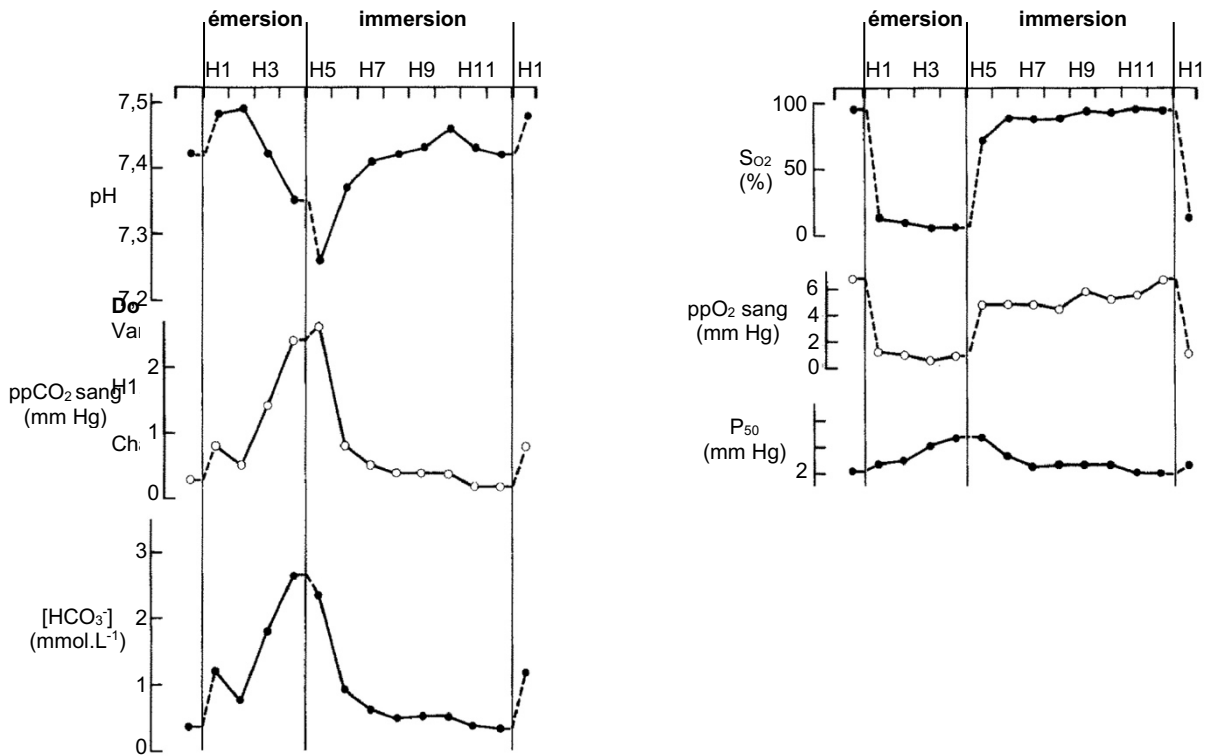
	pression partielle en O_2 à l'entrée du terrier (en mm Hg)	pression partielle en O_2 à la sortie du terrier (en mm Hg)
en phase d'immersion (marée haute)	158	61 ± 9

Évolution de différents paramètres sanguins de l'arénicole au cours du cycle tidal

Des arénicoles sont collectées toutes les heures dans l'estran au cours d'un cycle de marée (température moyenne de $15^\circ C$). Le sang est directement récupéré par aspiration. Les paramètres suivants sont mesurés en laboratoire :

- le pH sanguin ;
- les pressions partielles en dioxygène (ppO_2) et en dioxyde de carbone ($ppCO_2$) exprimées en mm Hg ;
- la concentration en ions hydrogénocarbonate ($[HCO_3^-]$) exprimée en $mmol.L^{-1}$;
- la saturation en dioxygène de l'hémoglobine (S_{O_2}) exprimé en pourcentage de la saturation totale ;
- la valeur de P_{50} de l'hémoglobine (valeur de pression partielle en dioxygène pour laquelle la saturation en dioxygène atteinte est de 50 %) exprimée en mm Hg.

Les mesures ont été effectuées toutes les heures pendant environ 12 h. Le site où les arénicoles sont récoltées est émergé environ 4h30 pendant le cycle tidal (phase d'émergence). Le reste du temps, le site est immergé (phase d'immersion) lors de la marée haute et du début de la phase de marée basse.



Distribution de l'oxygène dans les sédiments en fonction de la présence ou non de l'arénicole

L'arénicole vit en milieu sableux.

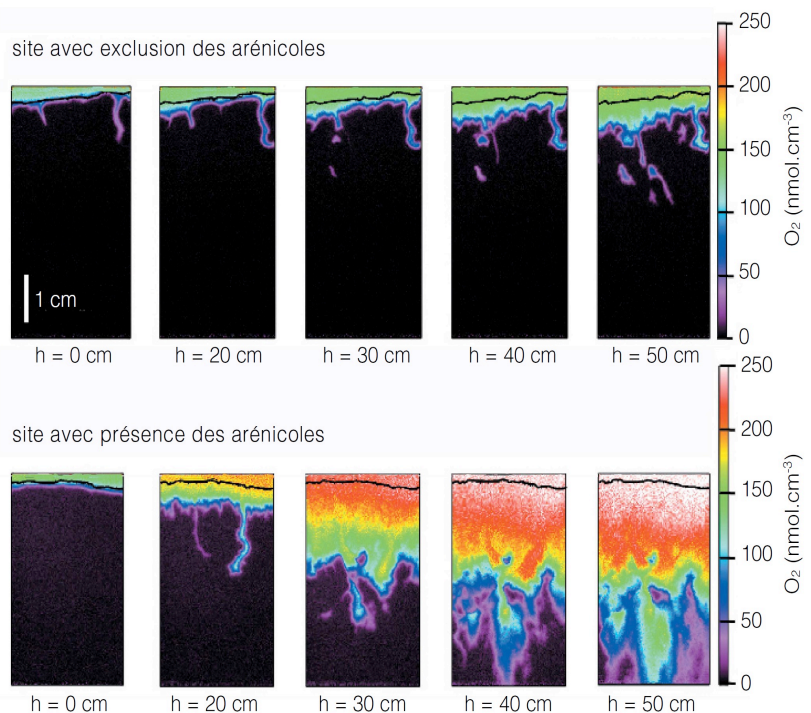
La pénétration du dioxygène dans le sédiment est évaluée par des capteurs spécifiques sur un estran où deux types de sites sont comparés :

- un site où les arénicoles sont présentes ;
- un site où les arénicoles ont été exclues par l'introduction d'un filet (maille de 1 mm) à 10 cm de profondeur dans le sédiment empêchant la formation des terriers par les annélides.

Le document couleur présente la distribution verticale du dioxygène dans la colonne de sédiment en fonction de la hauteur d'eau. L'eau utilisée est saturée en dioxygène.

La hauteur d'eau est notée h ; les valeurs sont en cm. 10 cm d'eau impose une pression de 1 kPa ou 0,01 bar.

La ligne noire horizontale représente la surface du sédiment.



Eléments de correction des documents

La saturation de l'hémoglobine de l'arénicole présente une évolution faiblement sigmoïde en comparaison avec l'hémoglobine humaine (document 23.1). La P_{50} (pression partielle en dioxygène pour laquelle la saturation de l'hémoglobine est égale à 50 %) est de l'ordre de 2-3 mm Hg (pour 26 mm Hg dans le cas de l'hémoglobine humaine).

Lorsque la galerie de l'animal est recouverte d'eau à marée haute, le niveau de pression partielle est tel que l'hémoglobine de l'arénicole est totalement saturée (document 23.2). La P_{50} de l'hémoglobine assure ainsi la charge totale à marée haute. A marée basse, où la pression partielle en dioxygène doit être très faible du fait de l'absence de renouvellement de l'eau, la P_{50} très faible de l'hémoglobine doit pouvoir assurer une charge suffisante de l'hémoglobine même si elle n'est pas totale. La décharge de l'hémoglobine et donc la livraison aux tissus nécessite que la pression partielle régnant dans le milieu intérieur soit inférieure à 5 mm Hg.

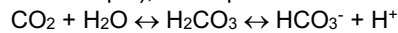
La P_{50} faible de l'hémoglobine de l'arénicole présenterait donc un avantage pour la charge de cette dernière lors des phases d'exposition de l'animal à de faibles pressions partielles en dioxygène. Toutefois cet avantage est relatif puisqu'il impose une très faible pression partielle du milieu intérieur pour la décharge de l'hémoglobine et la livraison de dioxygène aux tissus.

En phase d'émersion (document 23.3), l'absence de renouvellement d'eau dans la galerie de l'animal, provoque une réduction considérable (division par 3) de la pression partielle en dioxygène sanguine (ppO_2), probablement par limitation des échanges gazeux respiratoires. Cette réduction est réversible puisque la ppO_2 double après une heure d'immersion et revient après 8 heures à son niveau maximal (6 mm Hg).

L'évolution de la pression partielle en dioxyde de carbone ($ppCO_2$) est opposée à celle de la ppO_2 . En période d'émersion, l'activité des tissus (pourtant probablement réduite) produit du dioxyde de carbone ($ppCO_2$ multipliée par 10 en quatre heures) qui n'est pas correctement évacué par les branchies en absence de ventilation. Avec le retour de la phase d'immersion, la $ppCO_2$ sanguine diminue rapidement (division par 3) en une heure puis revient à son niveau minimal.

La saturation de l'hémoglobine est quasiment maximale en période d'immersion. Elle est très rapidement réduite en période d'émersion puisqu'elle atteint 10 % en une heure et se maintient en deçà des 10 % tout le temps de l'émersion. Cette faible valeur de saturation peut être expliquée par l'absence de renouvellement de l'eau et la très faible ppO_2 régnant dans la galerie des arénicoles. La courbe de saturation (document 23.1) montre qu'en deçà de 10 mm Hg, l'hémoglobine de l'arénicole n'est plus saturée à 100 %. En deçà de 2 à 3 mm Hg, la saturation est inférieure à 50 % ce qui occasionne probablement une faible livraison du dioxygène aux tissus de l'animal au-delà de la première heure d'émersion.

Les phases d'immersion et d'émersion sont aussi marquées par des modifications du pH sanguin (document 23.3). Ce dernier montre une décroissance de 0,2 unités pendant la phase d'émersion et une demi-heure au-delà ; le sang est donc un peu plus acide. La phase d'immersion voit le pH remonter rapidement puis se stabiliser autour de 7,42. Le pH sanguin est dépendant de la quantité de protons libérés par les tissus, de l'équilibre de certains composés organiques acides libérés par les cellules (ex. : lactate/acide lactique), de l'équilibre du CO_2 avec l'eau selon les équations acido-basiques suivantes :



Pendant la phase d'émersion, on constate une augmentation de la $ppCO_2$ et de la concentration en ions HCO_3^- montrant que l'acidification du sang est en grande partie liée à l'accumulation du CO_2 non évacué au niveau des branchies.

On constate par ailleurs que la P_{50} augmente (+ 75 %) pendant la phase d'émersion. Cela signifie que les propriétés de l'hémoglobine sont modifiées probablement par des interactions de l'hémoglobine avec le CO_2 (qui augmente pendant cette phase) et les protons (le pH diminue pendant cette phase) du type effet Bohr. L'augmentation de la P_{50} favorise la libération de dioxygène aux très faibles pressions partielles contribuant à une alimentation minimale des tissus dans une phase où le milieu extérieur est très pauvre en dioxygène.

Le document 23.4 met en évidence la modification d'un paramètre abiotique, en l'occurrence la pénétration du dioxygène dans le sédiment, par l'activité de l'arénicole. Les différents niveaux d'eau successifs correspondent à la progression d'une onde de marée. Lorsque la hauteur d'eau est égale à 0 cm, le système est émergé (marée basse).

Sans arénicole, la quantité de dioxygène présente dans le sédiment est très restreinte (valeurs ne dépassant pas $150 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{cm}^{-3}$) et limitée au premier cm. Plus la hauteur d'eau augmente, donc plus la pression exercée sur le sédiment augmente, plus la pénétration du dioxygène est importante (jusqu'à 2 cm de profondeur dans le sédiment à une valeur de $50 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{cm}^{-3}$).

En présence d'arénicoles, la quantité de dioxygène présente dans le sédiment est bien plus importante (valeurs au-delà de $250 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{cm}^{-3}$) et surtout bien plus profonde (jusqu'à 4 cm visibles).

L'activité des arénicoles favorise la pénétration du dioxygène, probablement par la formation de galeries qui homogénéisent le sédiment et créent de la porosité. Cette pénétration du dioxygène est un processus favorable pour la vie de l'arénicole dans le sédiment.

Les arénicoles vivent dans un milieu aux propriétés changeantes selon la phase du cycle de marée. Leur hémoglobine présente une très forte affinité qui la rend capable de fixer le dioxygène même à faible pression partielle en particulier au début de la phase d'émergence. La modification de paramètres sanguins (accumulation du CO_2 et des ions HCO_3^- , baisse du pH) module cette affinité (évaluée par la p50) et pourrait favoriser la livraison du dioxygène aux tissus même dans les phases de faible pression partielle en dioxygène. Par ailleurs, l'activité de creusement des galeries favorise la pénétration du dioxygène dans le sédiment en particulier lors de la marée montante.