

Devoir surveillé n°4

Samedi 15 janvier 2022

Épreuve d'analyse de documents de biologie

durée : 2 heures

Thème 1 – La respiration des Poissons et la réponse à l'hypoxie

(tiré de Rutjes et al, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 293: R1376–R1383, 2007 et Borgese et al, *Journal of Physiology*, 1987).

Partie A – Le cas des Poissons du lac Victoria

Les poissons des lacs et des mares sont soumis à de fréquentes variations de la quantité de dioxygène dissous :

- variations jour-nuit liées à l'apport en O₂ par les plantes aquatiques le jour ;
- variations selon les saisons en lien avec la température de l'eau, l'abondance de phytoplancton...

L'étude porte sur deux genres de poissons Cychlidés du lac Victoria : *Astatoreochromis* et *Haplochromis*.

Les poissons sont élevés dans des conditions de :

- normoxie (NR) avec un taux de dioxygène élevé correspondant à un équilibre entre l'eau et une atmosphère saturée à 90% en O₂ ;
- hypoxie (HR) : l'eau d'élevage est mise au contact d'un air possédant seulement 2% de dioxygène.

L'étude vise à décrire les effets d'une longue période d'hypoxie sur le développement de jeunes poissons.

1) Effet de l'hypoxie sur la croissance des jeunes poissons

Des Cychlidés sont élevés depuis leur éclosion dans des conditions de normoxie ou d'hypoxie. Au bout de 60 semaines d'élevage, leur longueur est mesurée.

Genre de Cychlidé	Taille moyenne des poissons après 60 semaines d'élevage (mm)		Nombre total de poissons suivis
	En normoxie NR	En hypoxie HR	
<i>Astatoreochromis</i>	57,8 ± 8,1	55,3 ± 4,4	11
<i>Haplochromis</i>	55,5 ± 2,4	56,4 ± 3,4	21

Tableau 1 – Effet de l'oxygénation de l'eau sur la croissance des poissons

Question 1 – Analysez le tableau pour en tirer l'effet de l'hypoxie sur la croissance des poissons.

2) Effet de l'hypoxie sur les caractéristiques sanguines d'*Haplochromis*

Des prélèvements sanguins sont réalisés dans les 2 groupes d'*Haplochromis* élevés dans 60 semaines dans des conditions d'hypoxie ou normoxie.

Genre	Hématocrite en %	Hémoglobine en mmol.L ⁻¹	MCHC en mmol.L ⁻¹	$\frac{[ATP]}{[Hb]}$	$\frac{[GTP]}{[Hb]}$
normoxie	31,3 ± 3,4	4,8 ± 0,3	15 ± 3	0,53 ± 0,27	1,12 ± 0,25
hypoxie	44,5 ± 5,1	5,8 ± 0,2	13 ± 3	0,58 ± 0,24	0,49 ± 0,15

Tableau 2 – Caractéristiques sanguines des poissons *Haplochromis* élevés dans les conditions de normoxie ou d'hypoxie. MCHC est la concentration moyenne d'hémoglobine (Hb) par globule rouge.

Question 2 – Indiquez quelles adaptations sont observées chez les poissons élevés en hypoxie.

3) Effet de l'hypoxie sur le contenu en hémoglobine d'*Haplochromis*

Une étude biochimique de l'hémoglobine est réalisée à l'aide d'une électrophorèse en isofocalisation électrique (IEF). Pour cela, l'hémoglobine est extraite des globules rouges de 6 individus différents et des échantillons de 0,5 μL sont soumis à une électrophorèse sur couche mince de polyacrylamide dans une gamme de pH allant de 3 à 9. Le gel obtenu est coloré au bleu de Coomassie. L'hémoglobine représente 85% des protéines du globule rouge : les autres protéines, en faible concentration, ne sont pas décelables sur le gel.

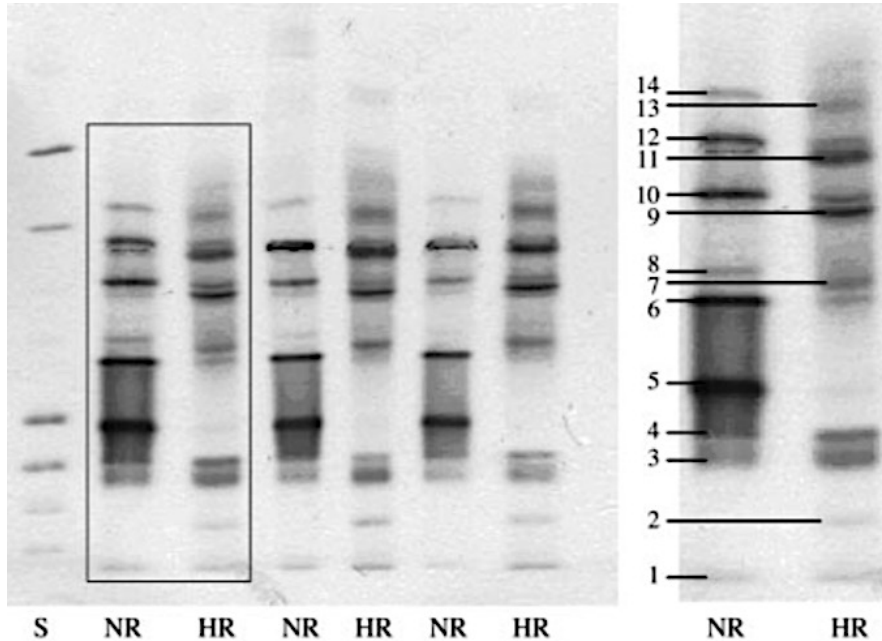


Figure 3 – Gel IEF de l'hémoglobine de 6 individus : 3 élevés en normoxie (NR) et 3 élevés en hypoxie (HR). Un détail est donné à droite pour mieux identifier les isoformes. S est le marqueur de taille.

Question 3 – Comment interpréter la diversité des bandes d'électrophorèse au sein d'un individu ? Quelle différence physico-chimique existe entre les hémoglobines contenues dans les globules rouges ?

Question 4 – Comparez les individus NR et HR. Identifiez une adaptation suggérée par cette étude.

Le contenu en hémoglobines des poissons NR et HR est ensuite analysé et donne les courbes de saturation en dioxygène de la figure 4. L'effet de l'ATP et du GTP est alors testé.

Question 5 – Analysez et interprétez **rigoureusement** et **de manière ordonnée** la figure 4.

Question 6 – Rapprochez vos conclusions des données du tableau 2 afin de montrer une adaptation à l'hypoxie.

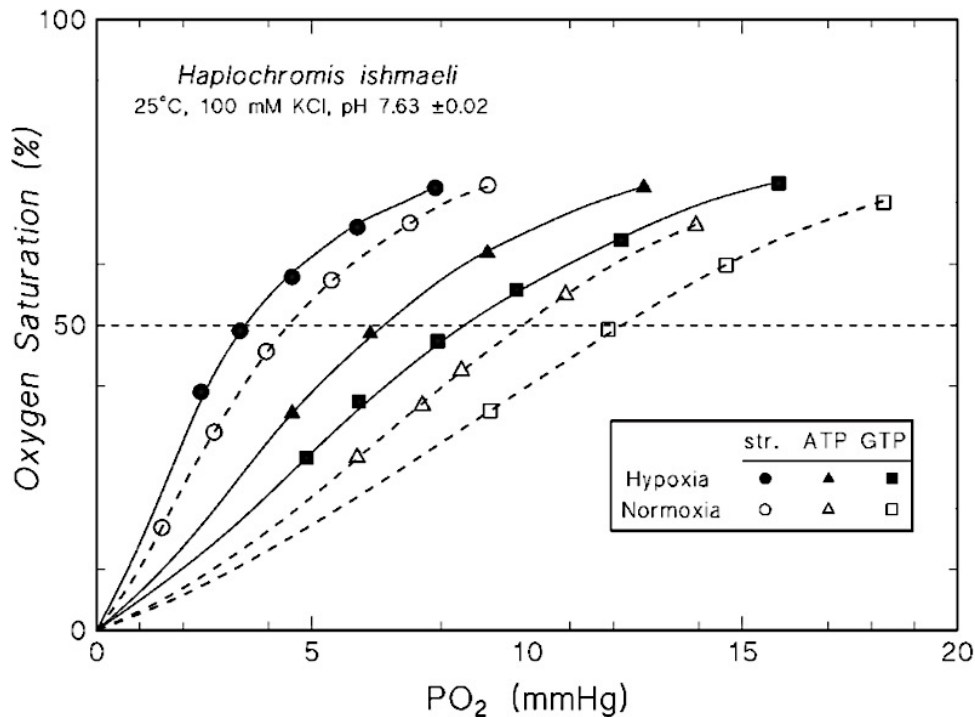


Figure 4 – Courbes de saturation des solutions d'hémoglobine des poissons dans différentes conditions. str = en absence de phosphates organiques – ATP et GTP : ajout d'une quantité d'ATP ou de GTP équivalente à 15 phosphate organique par hémoglobine. PO_2 est donnée en mm Hg : 1 mm Hg = 133 Pa

Partie B – L'effet de l'adrénaline sur la réponse à l'hypoxie de la Truite

La Truite présente une hémoglobine similaire à celle décrite chez *Haplochromis* en ce qui concerne l'effet de l'ATP et du GTP.

Le volume des globules rouges est suivi en mesurant la quantité d'eau qu'ils contiennent.

L'isoprénaline est une molécule qui a le même effet que l'adrénaline *in vivo*.

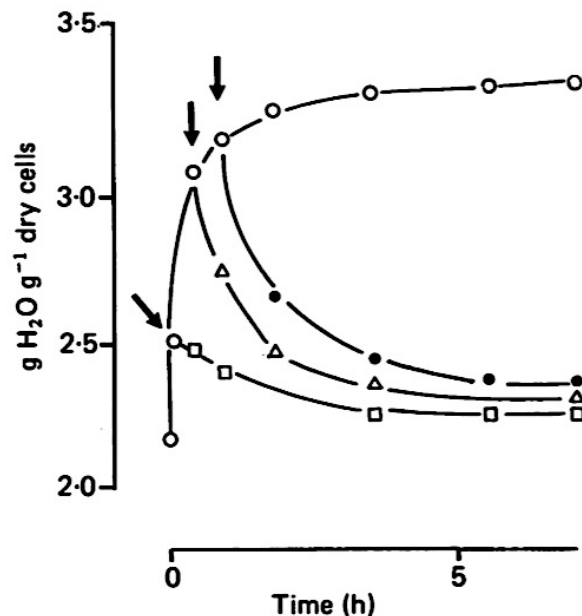


Figure 5 – Effet de l'apport au temps zéro d'isoprénaline (o) sur le volume des globules rouges de Truite (proportionnel à la quantité d'eau contenue par cellule).

L'amiloride (flèche noire) est ajoutée à 5 min (□), à 24 min (△) ou à 53 min (•).

Question 7 – Décrivez l'effet de l'isoprénaline seule sur le volume des globules rouges. Apportez une critique au résultat présenté ici.

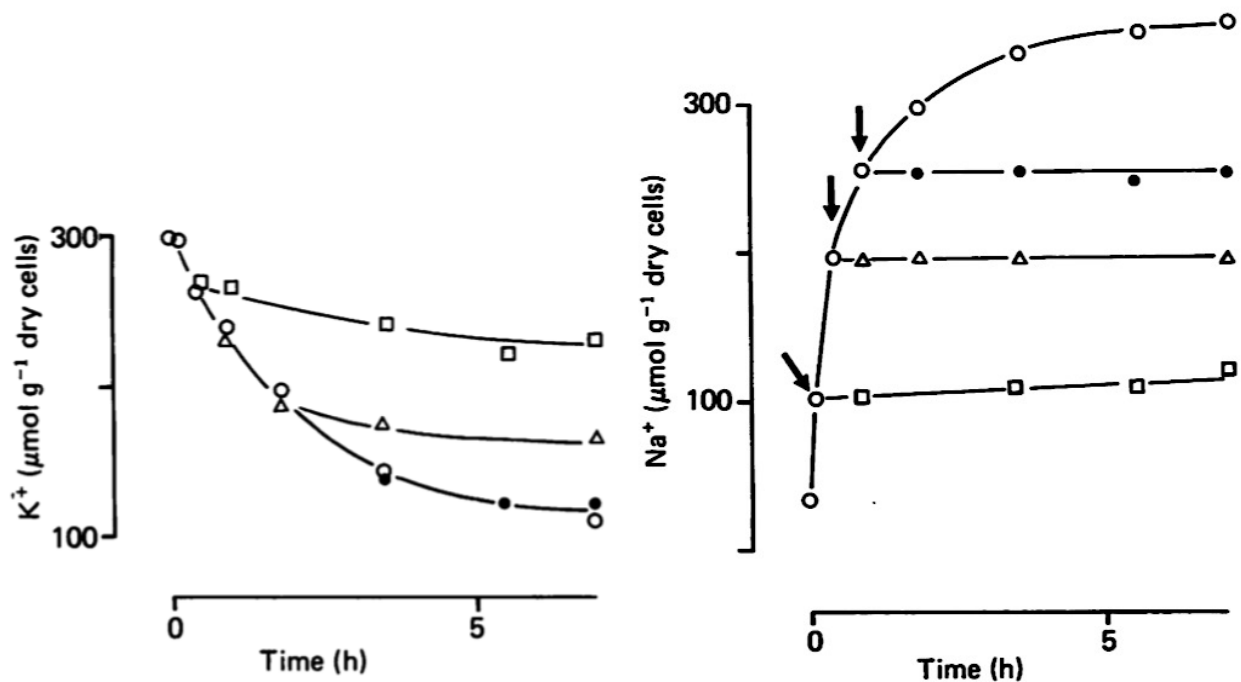


Figure 6 – Effet de l'apport au temps zéro d'isoprénaline (o) sur la composition ionique des globules rouges de la Truite. L'amiloride (flèche noire) est ajoutée à 5 min (□), à 24 min (Δ) ou à 53 min (•).

Question 8 – Analysez conjointement les figures 5 et 6 afin de proposer un mécanisme d'action possible de l'isoprénaline.

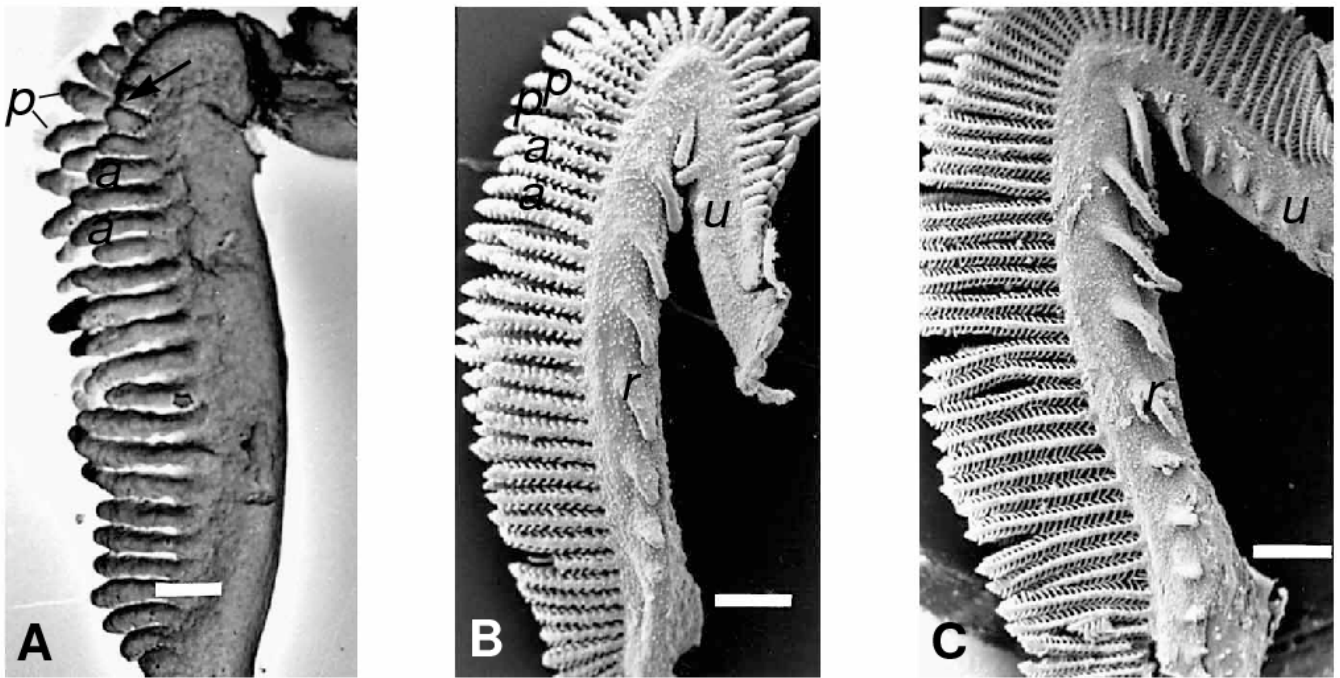
Question 9 – Déduisez de ces documents l'effet indirect de l'isoprénaline sur la concentration en GTP et ATP des globules rouges et donc sur les propriétés de l'hémoglobine.

Question 10 – Réalisez un schéma bilan combinant les parties A et B afin de montrer les effets de l'hypoxie sur le transport sanguin du dioxygène chez les Poissons.

Thème 2 – Modalités de respiration non branchiale des Poissons

Partie A – Cas des alevins

Les alevins sont les jeunes poissons tout juste éclos. Leur développement n'est pas encore terminé et les deux figures qui suivent étudient les paramètres de leur respiration dans les jours qui suivent leur éclosion.



A = alevin de 0,032 g

B = alevin de 0,212 g

C = juvénile de 1,15g

Figure 1 : Morphologie de branchies d'alevins de saumon Atlantique (*Salmo salar*) à 3 stades successifs. La barre d'échelle mesure 200 μm (Source : Wells et Pinder, *The Journal of Experimental Biology*, 1996).

Question 1 – Décrivez l'évolution de l'organisation branchiale.

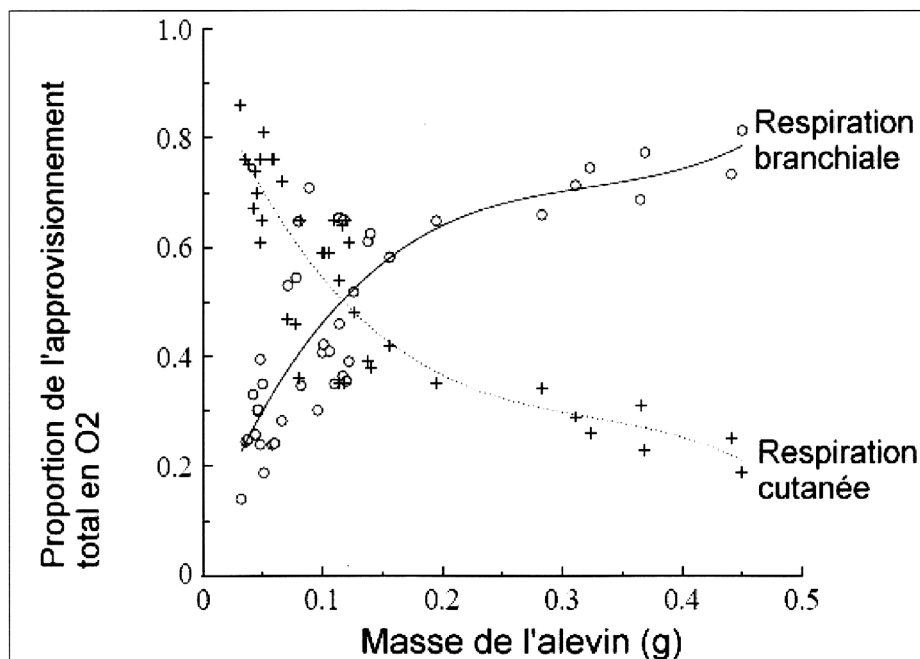


Figure 2 - Proportion de l'approvisionnement en O_2 d'origine branchiale et cutané selon la masse de l'alevin

Question 2 – Mettre en relation les figures 1 et 2 pour présenter l'évolution de la respiration du saumon au cours de son développement.

Partie B – Cas des Dipneustes

Les Dipneustes sont des poissons Ostéichthyens qui sont dotés d'une double respiration, à la fois branchiale et pulmonaire.

Ces poissons sont présents dans les eaux marécageuses peu oxygénées des contrées tropicales à fort contraste saisonnier, présentant une alternance de saisons sèches et humides. Il existe différentes espèces de Dipneustes : *Neoceratodus* en Australie, *Protopterus* en Afrique, *Lepidosiren* en Amérique du Sud.

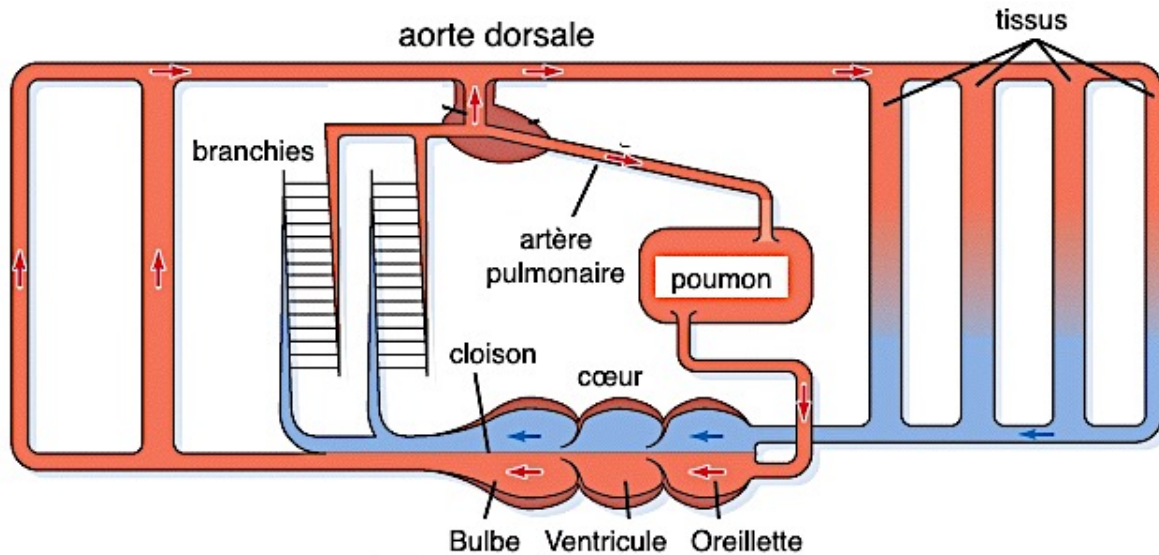


Figure 3 - Schéma de la circulation du Protoptère (Source : <http://www.eebweb.arizona.edu>)

Question 3 – Comparez les systèmes respiratoire et circulatoire du Protoptère avec ceux des Téléostéens en portant attention au nombre de branchies et au circuit sanguin.

Genre	Conditions	Teneur en O ₂ du sang (en %)	
		Artère pulmonaire	Veine pulmonaire
<i>Neoceratodus</i>	Eau très aérée	7,30	7,25
	Eau faiblement aérée	6,00	7,90
<i>Protopterus</i>	Eau très aérée	4,30	6,05

Tableau 4 - Teneur en dioxygène du sang dans l'artère pulmonaire et la veine pulmonaire de 2 espèces de Dipneustes placés en milieu aquatique (Source : Johansen, 1968).

Question 4 – Analysez et interprétez les données concernant les deux poissons.