

# Devoir surveillé n°4

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

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

*Le tableau ne montre aucune différence significative entre les tailles des poissons élevés en normoxie ou hypoxie, et ce quelle que soit l'espèce. L'hypoxie n'a donc pas d'effet sur la croissance des poissons.*

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

*Les poissons élevés en hypoxie présentent un hématokrite supérieur avec une hausse de 30% environ (les incertitudes sont élevées). Cet hématokrite plus élevé est corrélé avec une quantité d'hémoglobine supérieure de 20% environ : cette hausse du taux d'hémoglobine est due au nombre plus grands de globules rouges et non à une quantité d'hémoglobine plus importante dans chaque globule rouge (pas de différence significative de CHMH).*

*Plus de globules rouges et donc d'hémoglobine augmente les capacités de fixation du dioxygène, compatible avec une vie en hypoxie.*

*Concernant les nucléotides phosphates testés, seul le GTP montre une différence significative, avec une diminution de plus de la moitié. La quantité d'hémoglobine n'a pas doublé donc cette variation est bien une baisse de la quantité de GTP.*

**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 ?

*Chaque individu exprime plusieurs gènes codant pour des isoformes différentes de sous-unités de l'hémoglobine ( $\alpha$ ,  $\beta$  ou d'autres encore). Leur association mène à plusieurs types moléculaires différents d'hémoglobine. Les différentes isoformes observées sur le gel possèdent une séquence d'acides aminés différente donc un pH isoélectrique différent : elles migrent jusqu'à un point de neutralité différent.*

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

*Les individus NR présentent 10 isoformes différentes. Les individus HR en présentent environ 11 avec des bandes différentes des hémoglobines NR. On peut imaginer que l'hypoxie provoque l'expression de nouvelles formes d'hémoglobines, peut-être plus affines pour le dioxygène.*

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

*Plusieurs paramètres sont testés : les effets de l'hypoxie, du GTP et de l'ATP.*

*Dans tous les cas, les courbes sont sigmoïdes et évoquent une transition allostérique entre une forme peu affine pour  $O_2$  (aux faibles  $PO_2$ ) et une forme très affine pour les hautes  $PO_2$ . Afin de comparer les effets des paramètres testés, il est possible de comparer les valeurs de  $P_{50}$  : il s'agit de la pression en  $O_2$  qui sature à 50% la solution d'hémoglobine.*

- **Concernant l'effet de l'hypoxie dans les 3 conditions de l'expérience**

*La  $P_{50}$  est plus faible dans les 3 conditions d'hypoxie, ce qui indique que l'hypoxie provoque une augmentation de l'affinité des solutions d'hémoglobines. Dans le cas témoin str., on peut imaginer que les isoformes d'hémoglobine produites en hypoxie sont plus affines pour  $O_2$  (la  $P_{50}$  passe de 4,5 à 3,5 mm Hg, ce qui est une réduction de presque 25%) ce qui confirme l'hypothèse faite à la question 4. En présence d'ATP, la  $P_{50}$  est diminuée de 40% et en présence de GTP, elle est diminuée de 25% environ.*

- **Concernant l'effet de l'ATP et du GTP**

*L'ATP et le GTP sont des effecteurs allostériques négatifs (= inhibiteurs allostériques). En normoxie, la  $P_{50}$  est multipliée par 2,5 (ATP) et 3 (GTP). En hypoxie, la  $P_{50}$  est multipliée par 2 (ATP) et 2,5 (GTP). Dans tous les cas, ATP et GTP diminuent l'affinité pour  $O_2$  des hémoglobines, avec un effet plus marqué en cas de normoxie.*

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

*Dans le tableau 2, les poissons élevés en hypoxie présentent une plus faible teneur en GTP, qui est un inhibiteur allostérique de l'hémoglobine : ainsi, leur hémoglobine est plus affine pour le dioxygène.*

*Étant donné que l'effet du GTP est plus marqué dans le cas de la normoxie, on peut aussi imaginer que les nouvelles isoformes produites en hypoxie sont moins sensibles à l'effet inhibiteur du GTP.*

**Question 7** – Décrivez l'effet de l'isoprénaline seule sur le volume des globules rouges.

*L'ajout d'isoprénaline provoque une hausse du volume cellulaire passant de 2,2 à 3,3 g d'eau par g de cellules sèches. Il y a donc une augmentation de + 50 % du volume cellulaire. L'effet de l'isoprénaline est immédiat mais la réponse totale met environ 4 heures à atteindre un plateau stable.*

*L'isoprénaline semble provoquer un afflux d'eau dans les globules rouges.*

*Il manque un suivi du volume des globules rouges en absence d'isoprénaline car rien ne prouve que le volume des globules rouges a varié une fois isolés.*

**Question 8** – Analysez les figures 5 et 6 afin de formuler une hypothèse de mécanisme d'action de l'isoprénaline.

*L'amiloride est une molécule qui stoppe l'effet de l'isoprénaline : dès son introduction dans le milieu, le volume des globules rouges cesse d'augmenter et on observe un retour au volume initial.*

*La figure 6 montre que l'isoprénaline induit des variations dans les concentrations ioniques en  $K^+$  et  $Na^+$  dans les cellules : la teneur en  $K^+$  dans les globules rouges diminue d'un facteur 3 en 5 minutes alors que la teneur en  $Na^+$  augmente d'un facteur 20 dans le même temps.*

*Il y a une corrélation nette entre les formes des 3 courbes, suggérant un lien étroit entre les 3 paramètres suivis.*

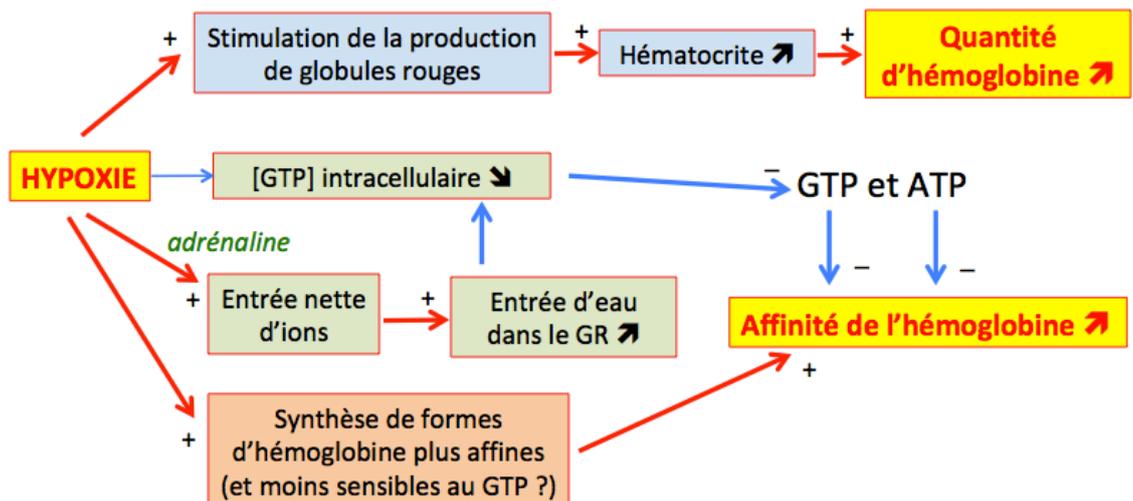
*Le bilan net des ions contenus dans les globules rouges ( $Na^+ + K^+$ ) est une augmentation de  $320 \mu mol.g^{-1}$  à  $500 \mu mol.g^{-1}$ . La hausse globale des ions dans les globules rouges provoque une hausse du potentiel osmotique du cytosol et donc un « appel » d'eau : les cellules gonflent.*

*Les apports d'amiloride confirment cette tendance : l'isoprénaline provoque une entrée de  $Na^+$  mais la teneur en  $Na^+$  cesse d'augmenter dès l'ajout d'amiloride.*

*L'isoprénaline pourrait ouvrir un canal à  $Na^+$  qui sera fermé par l'amiloride. L'isoprénaline ferme un canal à  $K^+$ . On peut aussi imaginer que l'isoprénaline bloque la pompe  $Na^+/K^+/ATPase$ .*

**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.

*L'isoprénaline induit une hausse du volume cellulaire des globules rouges : il y a alors dilution du GTP et de l'ATP intracellulaire. Ces deux molécules étant des inhibiteurs allostériques de l'hémoglobine, la baisse de leur concentration diminue l'effet inhibiteur donc améliore l'affinité de l'hémoglobine.*



Question 10 -

## **Thème 2 – Modalités de respiration non branchiale des Poissons**

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

*Les filaments (ou lames) des branchies sont lisses au stade A mais développent de fines lamelles qui apparaissent au stade B et sont plus nombreuses et fines au stade C : la surface d'échange est alors très augmentée.*

*L'arc osseux portant les deux rangées de filaments (ou lames) s'agrandit et développe des branchiospines. L'arc porte des filaments (ou lames) plus nombreux au stade C que A, ce qui collabore aussi à l'agrandissement de la surface branchiale.*

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

*L'alevin A, de masse 0,032 g, présente une respiration surtout cutanée (à plus de 80%) : sa peau fine, sans écailles probablement, permet les transferts gazeux avec le sang. Son volume étant faible, la respiration cutanée peut suffire à son métabolisme.*

*L'alevin B, de masse 0,212 g, présente une respiration branchiale pour 65 % des échanges et cutanée pour 35 %. Le développement des lamelles branchiales les rend plus efficaces pour l'hématose.*

*Le juvénile de 1,15 g (au-delà des courbes) respire probablement quasiment exclusivement par les branchies, qui sont fonctionnelles.*

*L'évolution de la respiration des alevins est donc une respiration cutanée à l'éclosion, qui devient de plus en plus branchiale au fur et à mesure que les branchies sont développées et fonctionnelles.*

**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.

*Le Protoptère présente seulement 2 paires de branchies au lieu de 4 chez les Téléostéens.*

*Les poumons s'ajoutent au circuit unidirectionnel des poissons : une partie du sang issu des branchies est envoyé au poumon où se réalise une hématose. Branchies et poumons sont en série donc l'hématose se fera que la respiration soit aquatique ou aérienne.*

*On remarque aussi une séparation du cœur par une cloison (lame spirale) générant deux séries de compartiments : le sang très hématosé issu des branchies et poumons sera canalisé directement vers les tissus, par les deux arcs aortiques antérieurs, dénués de branchies.*

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

*Cas de Neocératodus : En eau bien aérée, l'artère et la veine pulmonaire ont une teneur en  $O_2$  très proche, ce qui montre qu'il n'y a pas d'hématose pulmonaire : les branchies ont permis la saturation du sang en  $O_2$ . En eau faiblement aérée, la teneur en  $O_2$  de l'artère pulmonaire, qui est la même que l'aorte dorsale dont elle dérive, est plus faible ce qui traduit un approvisionnement en  $O_2$  moindre. La teneur en  $O_2$  est supérieure dans la veine pulmonaire donc il y a hématose pulmonaire.*

*En bilan : l'hématose pulmonaire supplémente l'hématose branchiale en conditions de faible oxygénation de l'eau.*

*Cas de Protopterus : Il y a hématose pulmonaire même dans des conditions favorables d'oxygénation du milieu aquatique.*