

Corrigé DS n°2 – Épreuve sur support de documents Biologie**Thème I : Les conséquences physiologiques de l'hypoxie****Question 1 :**

En hypoxie modérée : pO_2 veineuse = 24 mmHg

En hypoxie sévère : pO_2 veineuse = 16 mmHg

Question 2 :

Cmt – Int (figure 3): Lors d'un transport en altitude, recréé par une diminution de la teneur en O_2 de l'air à la pression atmosphérique du niveau de la mer, la diminution de la pO_2 stimule chez le rat la production de 2,3-BPG.

A 250 m d'altitude / volume d' O_2 = 21% on a 8 μ moles/mL de 2,3-BPG

A 5000 m d'altitude / volume d' O_2 = 11% on a 11 μ moles/mL de 2,3-BPG

Pour une pression partielle en O_2 divisée par deux, (effet d'un passage de 250 m à 5000 m d'altitude), la concentration en 2,3-BPG dans les globules rouges augmente d'environ 40%.

Cmt (figure 4): Chez l'être humain, le passage de 5 à 8 mM de [BPG] déplace la courbe vers la droite et la p_{50} passe de 25 à 33 mmHg.

Int : L'affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène diminue.

Question 3 :

D'après la figure 4, pour une même distribution de O_2 aux tissus et une même pO_2 artérielle

- la pO_2 veineuse est plus élevée avec la concentration [BPG] = 8mM qu'avec la concentration [BPG] = 5 mM en hypoxie modérée.
- C'est l'inverse en hypoxie sévère

Les tissus sont aussi bien oxygénés, en hypoxie modérée et en présence de 8 mM de 2,3 BPG qu'en situation normale avec uniquement 5 mM de 2,3 BPG

Question 4 :

D'après l'énoncé, il est avantageux d'avoir une pO_2 tissulaire/veineuse la plus élevée possible. Ainsi l'augmentation de la p_{50} est avantageuse en hypoxie modérée mais pas en hypoxie sévère.

Question 5 :

Lors d'une hypoxie, la disponibilité en O_2 est plus faible : le déplacement du second équilibre vers la droite consomme des protons et augmente donc le pH.

L'hyperventilation accélère l'élimination du CO_2 par les poumons entraînant une diminution de la pCO_2 ce qui déplace le premier équilibre vers la droite : des protons sont également consommés donc le pH augmente.

Question 6 :

Cmt : D'après la figure 6, l'épisode hypoxique fait augmenter la quantité de 2,3 BPG de 50%. Cette augmentation de la quantité de 2,3 BPG n'a pas lieu si la teneur en CO_2 est maintenue à 5%.

Itp : Cette très forte teneur en CO_2 compense la diminution de la pCO_2 entraînée par l'hyperventilation due à l'hypoxie et doit empêcher le développement de l'alcalose. En effet, la synthèse du 2,3 BPG est déclenchée par l'augmentation du pH sanguin.

D'après la figure 5, on voit que certaines enzymes de la glycolyse (HK et PFK) sont inhibées par les ions H^+ . Cette inhibition est diminuée si la teneur en H^+ diminue et la synthèse du 1,3-BPG précurseur du 2,3-BPG est favorisée.

De même quand la teneur en ion H^+ diminue, l'activité de la BPGS est moins inhibée et la synthèse de 2,3-BPG est favorisée.

Thème II : La vie en altitude, exemple d'adaptation chez les Mammifères**Question 7 :**

Cmt - Itp : d'après la figure 6, en hypoxie sévère, c'est à dire en conditions de haute altitude une p_{50} plus faible permet d'avoir une hémoglobine qui présente une affinité plus élevée, ce qui assure une plus grande pO_2 veineuse tout en augmentant la saturation du sang artériel.

Question 8 :

Cmt - ltp : Tableau 1 : en absence de 2,3-BPG, la p_{50} est plus élevée chez le lama que chez le dromadaire. En revanche, l'addition de 2,3-BPG augmente plus faiblement la p_{50} du lama que celle du dromadaire.

Comme la concentration en 2,3-BPG est la même, celui-ci diminue moins l'affinité de l'hémoglobine du lama que celle du dromadaire.

Dans l'hémoglobine du dromadaire, le 2,3 BPG se fixe au centre du tétramère en se fixant à des résidus histidines des chaînes β (cf figure 2 – fixation sur résidus 2 et 143). L'effet de cette liaison est de diminuer l'affinité de l'hémoglobine pour le O_2 . L'histidine en position 2 est remplacée par une asparagine chez le lama, ce qui affaiblit la liaison avec le 2,3-BPG et limite la diminution de l'affinité de l'hémoglobine pour le O_2 en présence de 2,3-BPG.

Question 9 :

Il est avantageux pour un animal vivant de façon permanente en altitude d'avoir une hémoglobine de plus forte affinité pour le dioxygène.

La p_{50} du lama passe de 14,8 mmHg à 20,3 mmHg alors qu'elle passe de 12 mmHg à 21,5 mmHg chez le dromadaire en présence de 2,3-BPG. La substitution de His par Asn dans la chaîne β des camélidés d'altitude limite l'augmentation de la p_{50} et donc la diminution de l'affinité en présence de 2,3-BPG. Les globules rouges du lama et du dromadaire ayant des concentrations égales en 2,3-BPG c'est donc l'hémoglobine du lama qui est adaptée à la vie en haute altitude.

Thème III : Comportement de l'hémoglobine et milieux de vie

Question 10 :

Obj – Pcp : Sang afférent = qui arrive aux branchies / Sang efférent = qui part des branchies

Différence entre les deux sangs ? variations de $ppCO_2$ (cf libération de CO_2 au niveau des branchies) et donc du pH sanguin

→ Analyser les modalités de saturation de l'hémoglobine en fonction du trajet du sang

Comparer les hémoglobines présentes dans les poissons A et B et les mettre en relation avec les milieux de vie

Traitement données : Tracé des courbes de saturation (axes, unités, légendes)

Cmt – ltp :

1) **Courbes de saturation** avec une allure sigmoïde plus ou moins prononcée → hémoglobine des poissons A et B présentent un effet coopératif positif (interactions entre sous-unités permettant le passage d'un état de faible à un état de forte affinité).

2) **Poisson A** : allure sigmoïde des courbes peu prononcée (presque branche hyperbole) ; plateau atteint pour une ppO_2 de 80 mm Hg ; comparaison des p_{50} (ppO_2 pour $Y = 50\%$)

p_{50} afférent $\approx p_{50}$ A efférent ≈ 10 mm Hg

peu de différences entre sang afférent et efférent (saturation dans le sang efférent un peu plus élevé que dans le sang afférent)

→ Hémoglobine présentant une affinité plutôt élevée (sigmoïdité peu prononcée, valeurs faibles de p_{50} p/r ppO_2 du plateau) et au comportement quasi identique dans les deux sangs → Hb du poisson A est peu sensible aux variations de $ppCO_2$ et de pH.

3) **Poisson B** : allure sigmoïde bien marquée ; saturation totale non atteinte à 100 mm Hg, sigmoïdité plus forte pour le sang afférent que pour le sang efférent ; comparaison des p_{50}

p_{50} B afférent ≈ 45 mm Hg

p_{50} B efférent ≈ 30 mm Hg

→ Hb présentent une affinité plutôt faible (sigmoïdité prononcée, saturation non atteinte même à 100 mm Hg...) et montrant une sensibilité remarquable (variation de 15 mm Hg dans la p_{50} des sangs afférent et efférent) à la $ppCO_2$ et au pH

Ccl : Deux hémoglobines présentant des affinités et des sensibilités aux effecteurs bien différentes : affinité A > affinité de B sensibilité de A << sensibilité B

Hyp : Ces différences pourraient être mis en relation avec le milieu de vie (disponibilité en dioxygène) et avec le mode de vie (+/- actif) des animaux. Ainsi la forte affinité de l'hémoglobine de A compenserait la pression partielle faible en O_2 du milieu alors que la plus faible affinité de l'hémoglobine de B ne serait pas forcément limitante pour l'activité du poisson en regard du niveau élevé de la pression partielle en dioxygène du milieu B.

Question 11 :

Obj – Pcp : Mettre en relation les propriétés des hémoglobines des poissons A et B avec les milieux de vie et analyser leur « efficacité » dans le transport des gaz respiratoires.

Cmt + ltp : $ppO_2 \text{ sang afférent} < \text{sang efférent} \rightarrow$ processus d'hématose (= captation de O_2) dans les branchies
 Quel est le niveau de saturation des Hb dans chacune des situations ?

	poisson A		poisson B	
ppO₂ sang	sang afférent ppO ₂ = 20 mm Hg	sang efférent ppO ₂ = 60 mm Hg	sang afférent ppO ₂ = 40 mm Hg	sang efférent ppO ₂ = 100 mm Hg
niveau de saturation	70 %	95 %	43 %	83 %

Malgré des comportements moléculaires différents, les Hb de A et B sont saturées à plus de 80 % dans le sang efférent des deux poissons qui assure une livraison de dioxygène aux tissus.

Dans les deux poissons, le sang efférent est saturé au niveau de la ppO₂ maximale présente dans le milieu (60 et 100 mm Hg respectivement pour A et B)

Toutefois pour affiner la comparaison, il faut calculer la quantité de dioxygène transportée et délivrée au niveau des tissus : on prend en compte le pouvoir oxyphorique, la concentration d'hémoglobine et la saturation dans les sangs afférent et efférent.

quantité = pouvoir oxyphorique x concentration Hb x saturation Hb

	Poisson A		Poisson B	
quantité de O₂ dans le sang	afférent 98 mL O ₂ /L sang	efférent 133 mL O ₂ /L sang	afférent 36 mL O ₂ /L sang	efférent 70 mL O ₂ /L sang
quantité de O₂ délivrée	133 – 98 = 35 mL O₂ déchargé dans les tissus		70 – 36 = 34 mL O₂ déchargé dans les tissus	

Malgré des différences de saturation et de concentration d'hémoglobine, la quantité de dioxygène délivrée dans les tissus est identique pour les deux poissons

Bilan

Le poisson A vit dans un milieu où la ppO₂ est relativement faible (peu de mouvement de l'eau = peu de réoxygénation, éventuellement beaucoup de matière organique et donc consommation du O₂ par les microorganismes...). L'hémoglobine A a une affinité plutôt élevée qui permet une captation importante de O₂ au niveau des branchies (saturation 95 %). La concentration importante d'hémoglobine dans le sang permet un transport important de O₂ (133 mL/L sang). En revanche, la sigmoïdité peu importante et la faible sensibilité aux effecteurs (CO₂, pH) rendent la livraison aux tissus plus difficile. Elle est assurée par le faible niveau de pression partielle dans les tissus. Toutefois, on peut supposer que l'augmentation d'activité du poisson A sera moins aisée que celle du poisson B vu la faible sensibilité de l'hémoglobine aux effecteurs CO₂ et pH (qui sont caractéristiques d'une augmentation de l'activité musculaire).

Pour le poisson B, le milieu est largement plus riche en dioxygène. Toutefois, la quantité de O₂ dans le sang afférent est plus faible que pour le milieu A car l'hémoglobine de B présente une affinité plus faible que celle de A et sa concentration dans le sang est moindre. Mais la quantité délivrée aux tissus est la même car l'hémoglobine de B présente une grande variation d'affinité en présence des effecteurs CO₂ et pH qui sont liés à l'activité des tissus.