**Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur**

**Durée 1h30, coefficient 4**

**Question 1 : 6 points**

La plongée subaquatique est un loisir qui reste aussi un sport. A propos de l’entraînement :

1. Citez le « carburant » des muscles et les 3 filières de production de l’énergie dans le corps humain.
2. Pour chacune des filières, précisez en le fonctionnement succinct et le type d’effort qu’elles sont capables de générer.
3. Quelles sont les possibilités d’amélioration de chaque filière par l’entrainement ?

**Question 2 : 6 points**

L’essoufflement est un incident qui peut se terminer de façon dramatique en plongée.

1. Définissez l’espace mort anatomique et précisez son volume.
2. Expliquez pourquoi l’augmentation de la fréquence ventilatoire diminue l’apport d’air frais participant aux échanges gazeux.

Pour cela, calculez le volume d’air qui participe aux échanges gazeux . Données : Au repos : sur une fréquence normale de 12 ventilations par minute, avec une amplitude normale de 500ml/cycle ventilatoire

A l’effort : imaginons un essoufflement marqué avec 40 ventilations par minute. La ventilation rapide devient superficielle, nous pouvons prendre des inspirations de 200ml à la différence des 500ml en temps normal. Calculez le volume d’air qui participe alors aux échanges gazeux.

1. Précisez le gaz responsable de cette intoxication et le mécanisme par lequel s’installe un cercle vicieux duquel il est difficile de sortir en plongée. Votre explication sera accompagnée d’un schéma résumant ce cercle vicieux.

**Question 3 :2 points**

Expliquez les conséquences d’une augmentation de la concentration sanguine en CO2 sur le système nerveux en cas d’exposition à une pression partielle d’azote importante ? Quel comportement de prévention en résulte-t-il ?

**Question 4 :6 points**

1. Expliquez succinctement les raisons de la déshydratation des plongeurs pendant leur évolution subaquatique.
2. Quelle en est la conséquence en plongée et quelle prévention mettre en place dans votre position de D.P. ?

**RÉFÉRENTIEL DE CORRECTION**

**Question 1 : 6 points**

La plongée subaquatique est un loisir qui reste aussi un sport. A propos de l’entraînement :

1. Citez le « carburant » des muscles et les 3 filières de production de l’énergie dans le corps humain. (1,5 pts)

*La molécule énergétique du corps humain est l’ATP (adénosine triphosphate) qui est capable de fournir de l’énergie pour permettre la contraction musculaire en cédant un atome de phosphate et en devenant ainsi de l’ADP (adénosine diphosphate).*

*Les trois filières de production de l’énergie dans le corps humain sont :*

* *La filière anaérobie phosphagène (anciennement anaérobie alactique) (0,5 pts)*
* *La filière anaérobie glycolytique (anciennement anaérobie lactique) (0,5 pts)*
* *La filière aérobie (0,5 pts)*

1. Pour chacune des filières, précisez en le fonctionnement succinct et le type d’effort qu’elles sont capables de générer. (3 pts)

* *La filière anaérobie phosphagène (anciennement anaérobie alactique) : mise en route immédiate et une durée d’action de quelques secondes (le temps que les réserves de phosphocréatine présentes dans le muscle soient épuisées). Elle permet une puissance élevée de contraction mais sur une durée limitée (1 pt)*
* *La filière anaérobie glycolytique (anciennement anaérobie lactique) : mise en route dès que les réserves de phosphocréatine sont épuisées et durée d’action de quelques minutes. Elle utilise le glycogène et le glucose présents dans le muscle et le foie pour les dégrader en pyruvate puis en lactate en absence d’oxygène lors de la fabrication d’ATP (glycolyse anaérobie). Cette filière permet des efforts importants mais est limitée par l’acidification du muscle générée par la dégradation de l’ATP (qui est un frein au maintien d’une contraction musculaire élevée). (1 pt)*
* *La filière aérobie : mise en route au bout de quelques minutes et durée d’action de plusieurs heures. C’est le moyen de production d’ATP le plus important, il provient de la dégradation du glucose dans les chaines respiratoires mitochondriales en présence d’eau et d’oxygène (phosphorylation oxydative). Elle permet les efforts de longue durée et d’intensité modérée. (1 pt)*

1. Quelles sont les possibilités d’amélioration de chaque filière par l’entrainement ? (1,5 pts)

* *La filière anaérobie phosphagène peut être améliorée par l’entraînement en intensité type sprint court, les quantités de créatine phosphate seront alors augmentées, cette voie de haute intensité sera alors rendue plus performante. (0,5 pts)*
* *La filière anaérobie glycolytique (anaérobie lactique) : L’entrainement permet une meilleure tolérance à l’acidose musculaire, permetd’améliorer l’utilisation de cette voie. (0,5 pts)*
* *La filière aérobie : L’entrainement en endurance permet d’augmenter la capacité des muscles à utiliser le glucose puis secondairement les lipides sur une longue durée (0,5 pts)*

**Question 2 : 6 points**

L’essoufflement est un incident qui peut se terminer de façon dramatique en plongée.

1. Définissez l’espace mort anatomique et précisez son volume. *(1 pt)*

* *L’espace mort anatomique est le volume d’air contenu dans les voies aériennes (nez, bouche, pharynx, trachée, bronches et bronchioles) qui conduisent l‘air jusqu‘aux alvéoles. C’est tout le volume d’air qui ne participe pas aux échanges gazeux, ce volume est environ de 150ml.*
* *Ce qui permet de vivre c’est la quantité d’air qui pénètre dans l’alvéole pour participer aux échanges gazeux.*

1. Expliquez pourquoi l’augmentation de la fréquence ventilatoire diminue l’apport d’air frais participant aux échanges gazeux.

Pour cela, calculez le volume d’air qui participe aux échanges gazeux . Données : Au repos : sur une fréquence normale de 12 ventilations par minute, avec une amplitude normale de 500ml/cycle ventilatoire *(1 pt)*

*500x12=6000ml d’air vont ventiler les alvéoles. Il faut enlever le volume d’air contenu dans l’espace mort à chaque cycle soit 150x12= 1800ml.*

*Ainsi, à l’état de repos, 6000-1800=4200ml participent aux échanges gazeux.*

A l’effort : imaginons un essoufflement marqué avec 40 ventilations par minute. La ventilation rapide devient superficielle, nous pouvons prendre des inspirations de 200ml à la différence des 500ml en temps normal. Calculez le volume d’air qui participe alors aux échanges gazeux. *(1 pt)*

*Les calculs donneront donc 40x200=8000ml d’air ventilés moins 150x40=6000ml (l’espace mort anatomique ne diminue pas car il est anatomique justement).*

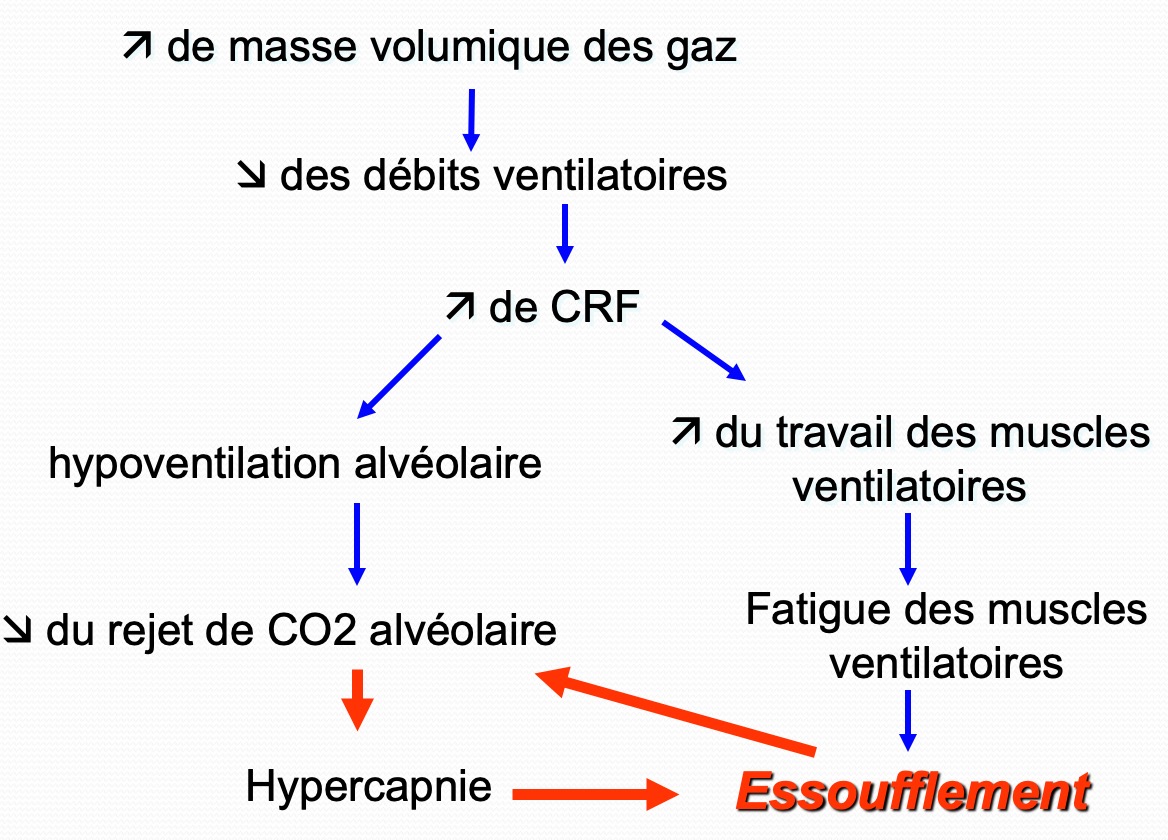
*Dans la situation à l’effort, 8000-6000=2000ml d’air seulement participent aux échanges gazeux ce qui entretien l’essoufflement.*

1. Précisez le gaz responsable de cette intoxication et le mécanisme par lequel s’installe un cercle vicieux duquel il est difficile de sortir en plongée. Votre explication sera accompagnée d’un schéma résumant ce cercle vicieux. *(3 pts)*

*L’essoufflement est une des conséquences de l’intoxication au dioxyde de carbone (CO2).*

*En profondeur, l’augmentation de la masse volumique des gaz inspirés provoque une augmentation des résistances à l’écoulement des gaz, ce qui entraine des difficultés ventilatoires avec augmentation du travail des muscles ventilatoires. L’expiration devient active et l’inspiration « se déplace » dans le VRI, ce qui diminue l’évacuation alvéolaire de CO2. Il en résulte une augmentation de l’accumulation du CO2 dans les alvéoles pulmonaires, ce qui entraine une diminution de l’évacuation du CO2 sanguin. Le cycle est ainsi installé.*

*L’augmentation de la fréquence ventilatoire amplifie l’incidence de l’espace mort anatomique qui, par sa constance, diminue la capacité à renouveler l’air alvéolaire (2 pts)*

**

*(1 pt)*

**Question 3 :2 points**

Expliquez les conséquences d’une augmentation de la concentration sanguine en CO2 sur le système nerveux en cas d’exposition à une pression partielle d’azote importante ? Quel comportement de prévention en résulte-t-il ?

* *L’augmentation de la concentration de CO2 majore les risques de survenue de la narcose lors d’une plongée profonde. (1 pt)*
* Il convient de limiter les efforts lors des plongées profondes et de remonter dès l’apparition des premiers signes d’essoufflement. (1 pt)

**Question 4 :6 points**

1. Expliquez succinctement les raisons de la déshydratation des plongeurs pendant leur évolution subaquatique.

*La perte d’eau est engendrée par :*

* *La diurèse d’immersion. Elle résulte de la redistribution des volumes sanguins dans l’organisme en réponse à la compensation de la gravité par la poussée d’Archimède lorsque le plongeur est dans l’eau. L’hypervolémie relative qui en résulte est compensée par une augmentation de la production d’urine. L’afflux de sang au niveau des capteurs de pression du système cardiovasculaire provoque cette élimination d’eau pour faire chuter la pression qui a été artificiellement augmentée par cette redistribution de la masse sanguine. (1 pt)*
* *La diurèse liée au froid. Le mécanisme de vasoconstriction périphérique, qui est une réaction de lutte contre le froid du corps humain, engendre une redistribution de la masse sanguine aussi et a pour même conséquence de créer une hypervolémie relative qui aboutit à la production d’urine. (1 pt)*
* *La respiration de l’air sec et froid dans le détendeur. L’air contenu dans nos bouteilles est sec et froid lorsqu’il est détendu. Pour favoriser les échanges gazeux, cet air est réchauffé et hydraté au niveau des voix aériennes supérieures. Ce phénomène augmente la perte d’eau. (1 pt)*
* *Les aléas climatiques. Lors d’une sortie en mer, le soleil et/ou le vent sont parfois au rendez-vous et une déshydratation « naturelle » peut-être augmentée. (1 pt)*

1. Quelle est la conséquence en plongée et quelle prévention mettre en place dans votre position de D.P. ?

* *Le cumul de la diurèse d’immersion, de la diurèse liée au froid ainsi que la déshydratation engendrée par l’air inspiré a pour conséquence une grande perte d’eau par l’organisme. Cette perte, si elle n’est pas compensée, augmente la viscosité du sang et favorise la possibilité de faire un ADD en perturbant les échanges gazeux(1 pt)*
* *Il faut donc apporter de l’eau sur le lieu de plongée et rappeler constamment aux plongeurs de s’hydrater correctement avant et après leur plongée. (1 pt)*