**Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur**

Durée 1h30 Coefficient 4

**QUESTION 1 : la ventilation en plongée. (7 points)**

1. Présentez les éléments et mécanismes qui interfèrent sur la ventilation en immersion et leurs conséquences sur le plongeur. (4 points)
2. L’essoufflement peut entrainer un certain nombre d’incidents ou d’accidents en plongée.

Citez les mécanismes de ceux-ci. (3 points)

**QUESTION 2 : Entrainement et filières énergétiques. (7 points)**

Vous devez organiser l’entraînement de candidats préparant le GPN4.

1. Rappelez les grands cycles d’entraînement que vous allez prévoir dans le cadre de cette préparation physique en précisant les filières utilisées, leur intensité et les volumes d’entraînement correspondants. (4 points)
2. Définissez le Seuil ventilatoire 2 (anciennement appelé seuil aérobie-anaérobie). (1 point)
3. Justifiez l’utilité d’une bonne préparation physique dans la formation de plongeurs N4. (2 points)

**QUESTION 3 : Toxicité de l’oxygène en plongée. (6 points)**

1. Détaillez les conséquences sur la physiologie du plongeur lorsque la PPO2 du mélange respiré est supérieure à 0,21 bar. (4 points)
2. Cependant, l’oxygène est très utile dans notre activité. Présentez les différents usages et, pour chacun d’eux, les effets recherchés. (2 points)

Référentiel de correction

**QUESTION 1 : la ventilation en plongée (7 points)**

1. **Présentez les éléments et mécanismes qui interfèrent sur la ventilation en immersion et leurs conséquences sur le plongeur. (4 points)**

* *Le travail ventilatoire est fonction de la densité́ des gaz respirés. En plongée scaphandre, il y a une augmentation de la masse volumique du gaz par augmentation de la pression absolue. Ceci implique un accroissement des résistances dynamiques à l’écoulement des gaz dans l’appareil respiratoire. Les débits sont diminués, ce qui accroit le travail des muscles ventilatoires qui tentent de les maintenir. On peut dire que des sujets sains présentent en plongée les mêmes débits que des sujets insuffisants respiratoires en surface.*
* *La pression hydrostatique modifie les conditions hémodynamiques (bloodshift) Le sang est déplacé́ vers les tissus profonds et préférentiellement vers les tissus pulmonaires. Ceux-ci sont rendus moins élastiques et l’espace disponible pour les volumes gazeux est plus réduit. Les conséquences sont une perte de 30% du VRE et un travail ventilatoire augmenté de 60%,*
* *Il résulte de ces mécanismes une diminution de la ventilation alvéolaire et donc de l’élimination du gaz carbonique. Le résultat est une hypercapnie ou augmentation de la PpCO2 de gaz carbonique dans le sang. Cela favorise l’essoufflement et la fatigue des muscles respiratoires,*
* *La résistance ventilatoire est aussi accrue du fait des détendeurs qui rendent plus difficiles les inspirations tête haute et les expirations tête basse. Dans tous les cas, la mise en bouche d'un détenteur oblige une expiration active et augmente les risques de fatigue à l'effort,*
* *Le débit expiratoire maximal chute malgré́ un accroissement de l’effort expiratoire. Le contrôle de la qualité́ de l’expiration en plongée est bien le souci principal du plongeur.*
* *Le froid, le stress, la combinaison sont autant de facteurs intervenant également dans le processus de la ventilation en plongée.*

1. **L’essoufflement peut entrainer un certain nombre d’incidents ou d’accidents en plongée. Citez les mécanismes de ceux-ci. (3 points)**

* *ADD : le CO2 peut « nourrir » les micronoyaux gazeux et former des bulles à l’origine d’ADD. Les échanges ventilatoires sont perturbés pour l’azote comme pour le CO2 et l’élimination ventilatoire du N2 devient inconnue.*
* *Narcose : le CO2 potentialise l’effet narcotique de l’azote, plus l’anxiété liée à l’essoufflement.*
* *Surpression pulmonaire : le plongeur atteint d’un essoufflement sévère a tendance à diminuer les volumes expirés. En cas de remontée en panique par exemple, cela augmente le risque de SP.*
* *Noyade : Le plongeur qui subit un essoufflement sévère a un raisonnement confus et peut paniquer. Cette panique peut l’entraîner à arracher son embout et, ne pouvant réaliser une apnée, à se noyer.*
* *Panne d’air : par surconsommation liée à l’essoufflement.*

**QUESTION 2 : Entrainement et filières énergétiques (7 points)**

**Vous devez organiser l’entraînement physique de candidats préparant le GPN4.**

1. **Rappelez les grands cycles que vous allez prévoir dans le cadre de cette préparation physique en précisant les filières utilisées, leur intensité et les volumes d’entraînement correspondants. (4 points)**

* *Cycle 1 – période foncière ou préparation générale : le travail est basé essentiellement sur la filière aérobie, avec une intensité de travail moyenne et un entraînement (distances parcourues) sur des durées prolongées augmentant progressivement. Elle a pour effet le développement des fonctions cardio-respiratoires nécessaires pour une bonne élimination des déchets métaboliques (CO2, chaleur, acide lactique, etc.) et l’approvisionnement en O2 et en nutriments énergétiques des muscles. Elle constitue aussi un préalable au bon développement des filières anaérobies glycolytique et phosphagène. (2 points)*
* *Cycle 2 – préparation auxiliaire : tout en maintenant des séances de préparation foncière, mise en place de séances développant tout particulièrement une filière anaérobie : phosphagène ou glycolytique. Le travail doit augmenter progressivement en intensité dans la filière choisie et se situer au voisinage du seuil ventilatoire 2 sur des durées limitées par l’épuisement des réserves. (1 point)*
* *Cycle 3 –période pré-examen : séances permettant le maintien des performances. Importance de la récupération entre les séances intensives (2 à 3 jours). Spécialisation de l’activité. Travail en conditions d’examen. (1 point)*

1. **Définissez le Seuil ventilatoire 2 (anciennement appelé seuil aérobie-anaérobie) (1 point)**

*Le seuil ventilatoire 2 est le passage d’un effort de type aérobie à un effort de type anaérobie. Il est atteint lorsque l’effort aérobie est à son maximum (puissance maximale aérobie) et lorsque la fréquence cardiaque est maximale. (0,5 point)*

*Le principe d’entraînement au seuil ventilatoire 2 est de permettre le développement de la filière aérobie, c’est-à-dire de permettre à l’organisme de fournir des efforts d’intensité submaximale le plus longtemps possible sans production d’acide lactique. C’est la zone de travail optimale entre intensité et durée. (0,5 point)*

1. **Justifiez l’utilité d’une bonne préparation physique dans la formation de plongeurs N4. (2 points)**

*Un plongeur GPN4 encadre en immersion des plongeurs qui n’ont pas obligatoirement de bonnes capacités physiques. En situation d’exploration, l’organisme des plongeurs se trouve en aérobie et, à tout moment, l’évolution peut demander un effort plus intense et plus long. Le GPN4 doit donc gérer son effort et celui des plongeurs qu’il encadre, voire les aider à surmonter des efforts qu’ils n’ont pas l’habitude de gérer. Connaître ses limites fait donc partie de la sécurité et de la formation à ce niveau. (2 points)*

**QUESTION 3 : Toxicité de l’oxygène en plongée. (6 points)**

1. **Détaillez les conséquences sur la physiologie du plongeur lorsque la PPO2 du mélange respiré est supérieure à 0,21 bar. (4 points)**

***L’effet Paul Bert****: c’est une crise neurotoxique aigüe du système nerveux central, comparable à la crise épileptique. Il apparaît pour des PPO2 supérieures à 1,6 bar.*

*La tolérance à l’hyperoxie varie fortement d’un individu à l’autre, en fonction de la durée d’exposition et du milieu (le seuil de tolérance est augmenté en caisson hyperbare). Il existe également des facteurs aggravants comme le froid, la fatigue, l’effort physique, certains médicaments et l’alcool. (1 point)*

***Manifestations cliniques****:*

*Des signes prémonitoires (secousses musculaires, crispations du visage, crampes, nausées, augmentation du rythme cardiaque) peuvent survenir avant la crise.*

*La crise se décrit en 3 phases : phase tonique (raidissement musculaire généralisé), phase clonique (agitation intense, convulsions, morsure de la langue) et phase dépressive (perte de connaissance et retour progressif à la normale).*

*Les plongeurs Tek observent le plus souvent une perte de connaissance brutale précédée parfois de secousses brèves dans les membres et une contraction permanente des mâchoires (trismus) qui empêchent la remise en bouche du détendeur. (1 point)*

***L’effet Lorain Smith****: c’est une intoxication pulmonaire lente qui apparaît lors de respirations prolongées à des PPO2 supérieures à 0,5 bar entraînant des dégâts parfois irréversibles.*

*La tolérance varie avec la pression absolue : plus celle-ci est grande, plus elle diminue.*

***Manifestations cliniques :*** *toux, irritation pulmonaire, douleurs rétro-sternales, œdème pulmonaire, insuffisance respiratoire 🡪 hypoxie et décès. (1 point)*

*Il concerne peu la plongée de loisir à l’air, peut être rencontré en plongée en recycleur ou trimix qui nécessite de longues décompressions à l’O2. Pour les éviter, ces décompressions se font plus volontiers avec des Nitrox enrichis en O2 (par ex : 70/30) qu’à l’oxygène pur. (1 point)*

1. **Cependant, l’oxygène est très utile dans notre activité. Présentez les différents usages et, pour chacun d’eux, les effets recherchés. (2 points)**

|  |  |
| --- | --- |
| *Usages* | *Effets recherchés* |
| *Nitrox en plongée.* | *Réduire la charge en azote en immersion permettant d’augmenter la durée de plongée et de la sécuriser en optimisant la désaturation.* |
| *Nitrox riche en O2 ou O2 pur au palier* | *Accélérer la désaturation et réduire le risque d’ADD.* |
| *Trimix* | *Atteindre des profondeurs plus importantes en diminuant le risque de toxicité de l’O2.*  *Désaturation aux Nitrox enrichis.* |
| *Oxygénothérapie normobare (secourisme)* | *Oxygéner une victime accidentée.*  *Améliorer la qualité des échanges gazeux.* |
| *Oxygénothérapie hyperbare* | *Améliorer la délivrance d’O2 aux tissus par les circulations collatérales non obstruées par les bulles.* |