**Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur**

Durée 1h30 Coefficient 4

**Question N°1 : Le système circulatoire et le cœur en plongée (8 points)**

a) Expliquez ce qu’est un Œdème Pulmonaire d’Immersion.

b) Détaillez les mécanismes de cet accident.

c) Expliquez les effets de l’immersion sur le système circulatoire et le cœur.

d) Expliquez ce qu’est un FOP et citez les causes qui peuvent entrainer son ouverture (dans le cadre de la plongée).

**Question N°2 : La ventilation en immersion (8 points)**

a) Expliquez pourquoi l’essoufflement peut survenir, même lorsque les efforts physiques sont limités.

b) Expliquez pourquoi il est difficile de récupérer d’un essoufflement en plongée et justifiez la conduite à tenir qui consiste à remonter.

c) L’essoufflement est un facteur favorisant d’autres accidents de plongée. Citez-les et expliquez pourquoi.

**Question N°3 : La déshydratation (4 points)**

a) Citez et expliquez les mécanismes physiologiques liés à la plongée qui provoquent la déshydratation du plongeur.

b) Expliquez pourquoi la déshydratation peut favoriser l’apparition des accidents de désaturation.

c) Quels conseils pouvez-vous donner à vos plongeurs ?

**Référentiel de correction**

**Question N°1 : Le système circulatoire et le cœur en plongée (8 points)**

a) Expliquez ce qu’est un Œdème pulmonaire d’immersion (OPI) *(1 Pt.) C’est un gonflement pathologique du tissu pulmonaire lors d’une immersion causée par le passage de plasma voire sang dans l’espace interstitiel alvéolo capillaire jusqu’aux alvéoles pulmonaires.*

*Passage de liquide sanguin des capillaires pulmonaires dans les alvéoles pulmonaires.*

*Cela diminue la capacité des échanges gazeux et provoque une hypoxie sévère.*

b) Détaillez les mécanismes de cet accident. *(3 Pt.)*

*L’air respiré en plongée est sec, froid, hyperoxique, a une masse volumique plus grande en profondeur et produit une réaction inflammatoire de la paroi alvéolo capillaire et un effet vasoconstricteur augmentant les résistances respiratoires*

*Les volumes ventilés sont plus grands (VRI et VRI) 🡪 Travail ventilatoire plus important, amincissement des parois capillaires et plus grande perméabilité.*

*Pour compenser ce travail accru, la fréquence cardiaque augmente ainsi que le volume d’éjection systolique et donc la pression intra capillaire.*

*Les matériels utilisés augmentent l’inconfort respiratoire d’autant plus que le détendeur est mal réglé et/ou la combinaison trop serrée.*

*En immersion la redistribution des volumes sanguins, due à la pression hydrostatique et au froid, favorise l’accumulation de sang dans les capillaires pulmonaires (bloodshift = retour veineux) ce qui contribue aussi à l’augmentation de la pression sanguines dans les artères pulmonaires.*

*A la remontée il peut arriver cette pression devienne supérieure à la pression alvéolaire.*

*Dans ce cas le liquide sanguin (plasma, globules rouges) passe dans les alvéoles pulmonaires. Ceci est favorisé par une insuffisance cardiaque non diagnostiquée (cardiopathie valvulaire (cœur gauche) expliquée par une diminution du volume d’éjection systolique qui entraine un engorgement du cœur gauche et donc une augmentation de la pression dans les veines pulmonaires et en amont les capillaires alvéolaires.*

c) Expliquez les effets de l’immersion sur le système circulatoire et le cœur. *(1 pt)*

*En plongée il y a redistribution des volumes sanguins avec un afflux de sang dans le thorax (bloodshift ou érection pulmonaire). Cela entraine une augmentation du débit cardiaque et du travail du cœur.*

*La différence de température entre le milieu ambiant et la peau créé une vasoconstriction qui augmente le phénomène de bloodshift.*

*Tout cela entraine un ralentissement du rythme cardiaque (bradycardie).*

*Pour compenser l’afflux de sang dans le thorax l’organisme stimule l’activité rénale pour en réduire son volume qui y est trop important : c’est la diurèse d’immersion.*

d) Expliquez ce qu’est un FOP et citez les causes qui peuvent entrainer son ouverture (dans le cadre de la plongée). *(3 Pt)*

*FOP : Foramen Ovale Perméable.*

*Le foramen ovale est le nom d’une dépression de la paroi qui sépare les deux oreillettes. Ouvert chez le fœtus, il se referme à la naissance. Cependant on considère qu’il reste perméable de façon plus ou moins importante chez environ 30% des individus.*

*En cas de FOP une partie du sang veineux passe directement de l’oreillette droite dans l’oreillette gauche sans passer par les poumons. On parle alors de shunt cardiaque : l’azote bullaire contenu dans le sang n’est alors pas éliminé par le filtre pulmonaire et repart dans la circulation perturbant ainsi la désaturation.*

*Causes d’ouverture :*

*- Valsalva violent ou répété à la remontée.*

*- Efforts physiques après le retour en surface glotte fermée (nage, remontée sur le bateau, remonter l’ancre à la main, porter une charge lourde…).*

*- Tout effort qui augmente la pression intrathoracique : effort statique ou résistant, tousser, jouer d’un instrument : trompette, etc.*

*- Apnée (après la plongée)*

**Question N°2 : La ventilation en immersion (8 points)**

a) Expliquez pourquoi l’essoufflement peut survenir, même lorsque les efforts physiques sont limités. *(3 Pt.)*

*L’essoufflement en immersion sans efforts est probable en raison des points suivants :*

***Accumulation progressive de CO2*** *dans l’organisme à cause de :*

* *Apnées prolongées,*
* *Non contrôle de la ventilation, efforts musculaires non maitrisés,*
* *Inertie du détendeur, espaces morts plus grands, bouteille mal ouverte,*
* *La lutte de l’organisme contre le froid,*
* *La masse volumique de l’air plus grande en profondeur entraînant une augmentation des résistances ventilatoires et donc des efforts musculaires ventilatoires,*
* *Expiration peu ou non active,*
* *Motricité plus éprouvante dans l’eau que dans l’air.*

*La stimulation bulbaire qui en résulte provoque une hyperventilation*

*Si elle n’est pas efficace (baisse de l’hypercapnie) entraîne un essoufflement.*

b) Expliquez pourquoi il est difficile de récupérer d’un essoufflement en plongée et justifiez la conduite à tenir qui consiste à remonter. *(2 Pt)*

*La récupération d’un essoufflement en immersion reste problématique en raison des causes ci-avant définies. La suppression des causes et une hyperventilation contrôlée et efficace : expirations approfondies et durables, permettent un retour progressif à la normale (normocapnie voire hypocapnie).*

*La remontée va dans ce sens car la masse volumique de l’air diminue avec la pression ambiante, réduisant ainsi les frottements laminaires et les turbulences de l’air circulant dans les voies aériennes, entraînant aussi une baisse de la PCO2 alvéolaire, favorisant donc l’élimination du CO2 sanguin, donc la baisse de l’hypercapnie.*

*La diminution de la pression hydrostatique en remontant, permet aussi une réduction du travail des muscles respiratoires, réduisant ainsi la production de CO2.*

c) L’essoufflement est un facteur favorisant d’autres accidents de plongée. Donnez 2 exemples d’accidents ou d’incidents qui peuvent être provoqués par un essoufflement et expliquez pourquoi. *(3 Pt.)*

*- ADD : l’essoufflement entretient et accentue l’hypercapnie en raison d’une hypoventilation alvéolaire. Au pire la ventilation ne concerne que l’espace mort anatomique, expliquant ainsi une respiration très superficielle et haletante (fréquence élevée). Cela a pour conséquence un mauvais dégazage d’azote pendant la remontée et les paliers favorisant un ADD, d’autant plus que la remontée peut être incontrôlée (rapide) et les paliers écourtés en raison de l’inconfort respiratoire.*

*Par ailleurs, le CO2 dissout a un effet potentialisateur de la formation, à partir de noyaux gazeux, des bulles silencieuses lors de la désaturation.*

*- Surpression pulmonaire : la victime peut paniquer et subir un blocage de la glotte occasionnant une SP.*

*De même mais plus rare si la vitesse de remontée est excessive et ne permet pas à l’air pulmonaire de s’évacuer sans lésion des poumons en raison d’une tension musculaire thoracique importante.*

*- Noyade : l’essoufflement peut entraîner une panne d’air et/ou une panique. En manque d’air ou en détresse respiratoire, le plongeur essoufflé peut aussi arracher son embout, inhaler de l’eau et se noyer.*

*- Narcose : l’hypercapnie agit en synergie avec l’azote dissout, notamment dans le système nerveux central, ce qui favorise l’apparition d’une narcose. Sans réaction du plongeur, d’un équipier ou du GP, la narcose peut s’accentuer, le plongeur peut perdre connaissance et se noyer.*

Question N°3 : La déshydratation (4 points)

a) Citez et expliquez les mécanismes physiologiques liés à la plongée qui provoquent la déshydratation du plongeur. *(3 Pt).*

*- La ventilation :*

*L’air provenant des bouteilles est sec et pour maintenir la pression alvéolaire constante, l’air respiré en plongée est humidifié dans les voies aériennes. Le plongeur enregistre alors une perte hydrique à ce niveau.*

*- La diurèse d’immersion :*

*Lors de l’immersion, comme déjà dit, il y a une redistribution du volume sanguin : le sang circule moins dans les membres et se répartit davantage dans le tronc et la tête. Le cœur doit donc pomper un volume sanguin plus grand que la normale et l’organisme répond par une stimulation de l’activité rénale dans le but d’éliminer l’eau en excès dans cette partie du corps. Le résultat est une perte hydrique.*

*- La diurèse due au froid :*

*De même le froid provoque une vasoconstriction cutanée et entraîne également une redistribution sanguine vers le tronc et la tête. L’activité rénale est donc aussi augmentée expliquant le besoin d’uriner en plongée.*

b) Expliquez pourquoi la déshydratation peut favoriser l’apparition des accidents de désaturation. *(1 pt)*

*Un plongeur déshydraté a un sang moins fluide en raison de la diminution de son volume (hypovolémie). Les vaisseaux sont moins dilatés, les parois des capillaires pulmonaires sont moins perméables contrariant ainsi l’élimination des bulles circulantes dans le sang veineux. Celles-ci peuvent alors davantage s’agglutiner les unes aux autres, former des manchons gazeux créant une stase circulatoire pulmonaire, favorisant un ADD.*