**QUESTION 1 : l’entraînement physique et amélioration des performances (8 points) :**

1. Quelles sont les principales caractéristiques de chaque filière énergétique ? (2 points)
2. Définissez le VO2 max et le seuil ventilatoire 2 (aérobie-anaérobie).

En quoi ce seuil nous intéresse-t-il ? (2 points)

1. Dans le cadre de l’entrainement physique de stagiaires MF2, principalement en vue de leurs épreuves de nage, ayant lieu sur la durée d’une saison (septembre à juin)
2. Sur quelles filières choisiriez-vous de travailler ? dans quels objectifs ? (2 points)
3. Comment découperiez-vous la saison en différentes phases ? (1 points)
4. A quel rythme et en fonction de quels critères enchaineriez-vous les séances ? (1 point)

**QUESTION 2 : la ventilation du plongeur (6 points) :**

En quoi la ventilation est-elle modifiée chez le plongeur en immersion scaphandre, en termes de matériel (2 points), en termes de respiration buccale (1 point) , en termes de mécanique ventilatoire (3 points) ?

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

L’oxygène est nécessaire au bon fonctionnement de l’organisme. Cependant, en plongée,

il peut devenir toxique pour l’organisme.

1. Quelles sont les limites acceptables en immersion ? (1 point)
2. Citer les accidents susceptibles d’arriver et leurs principaux symptômes. Dans quels cas peut-on les rencontrer ? (3 points)
3. Le nitrox est en général utilisé pour réduire les effets de l’azote lors d’une plongée. La modification de son taux d’oxygène a-t-elle une influence sur les risques d’accidents toxiques ? Vous vous baserez pour l’exemple sur un mélange à 32% O2, couramment utilisé. (2 points)

Référentiel de correction

**QUESTION 1 : l’entraînement physique et amélioration des performances (8 points) :**

1. Quelles sont les principales caractéristiques de chaque filière énergétique ? (2 points)

*Les filières énergétiques sont les processus de production d’ATP (Adénosine Tri Phosphate). Il en existe 3 :*

* *La filière anaérobi~~e~~ alactique  : utilise des ressources propres du muscle, sans apport d’énergie. Cette filière est immédiatement disponible (au début de l’effort) et permet de gérer des efforts explosifs, de forte intensité, mais de faible durée (15 s max). La récupération qui y est associée est très rapide*
* *La filière anaérobie lactique : utilise le glycogène, sans apport d’oxygène. Elle nécessite 15 à 20 s pour atteindre sa pleine efficacité, et produit de l’acide lactique (qui a une action bloquante sur la contraction musculaire) L’effort produit est moins intense que dans la filière anaérobie alactique (environ 50%) et peut durer plus longtemps (jusqu’à 3 à 5 min selon l’entrainement).*
* *La filière aérobie : utilise du glucose et des lipides, par oxydation. Elle nécessite de 2 à 4 min pour se mettre en œuvre et permet de tenir l’effort pendant plusieurs heures. Cet effort est moins élevé que dans les autres filières.*

1. Définissez le VO2 max et le seuil ventilatoire 2 (aérobie-anaérobie). En quoi ce seuil nous intéresse-t-il ? (2 points)

* *Le VO2 max est la quantité maximale d’oxygène que l’organisme peut utiliser par unité de temps. Si l’on considère que la consommation d’oxygène est proportionnelle à l’intensité de l’effort, il correspond à la puissance maximale aérobie.*
* *Le seuil ventilatoire SV2 est le seuil aérobie – anaérobie. Il correspond à l’intensité maximale que l’on peut développer en filière anaérobie sans développer de lactates (donc de crampes) durant certaines épreuves du N4 et du MF2 en particulier.*

1. Dans le cadre de l’entrainement physique de stagiaires MF2, principalement en vue de leurs épreuves de nage, ayant lieu sur la durée d’une saison (septembre à juin)
2. Sur quelles filières choisiriez-vous de travailler ? dans quels objectifs ? (2 points)

* *Les épreuves impliquant de la nage et pour lesquelles les candidats MF2 doivent se préparer sont au nombre de 3 :*
  + *1500 m PMT*
  + *1000 m capelé*
  + *Mannequin*
* *Les 2 premières sont des épreuves pour lesquelles la durée est relativement longue. Il est donc important de travailler dans la filière aérobie Cependant, pour ces épreuves, la notion de temps réalisé est importante, ce qui implique un travail dans la zone haute de cette filière. On cherchera à augmenter le seuil aérobie-anaérobie pour travailler à intensité plus élevée dans la filière aérobie sans produire de lactates (passage en filière anaérobie lactique)*
* *L’épreuve du mannequin est plus courte, mais néanmoins trop longue pour n’utiliser que la filière anaérobie lactique. Dans cette épreuve, la 1ère partie (PMT) doit se faire en s’économisant : la filière aérobie est donc utilisée. Dans la 2e partie (tractage), un effort plus important doit être produit, avec un objectif de gain de temps.*

*C’est donc la filière aérobie (proche du SV2) qui sera utilisée à ce moment. Il faudra donc travailler également à l’amélioration de cette filière, en particulier en termes de tolérance à l’acidose et de récupération.*

1. Comment découperiez-vous la saison en différentes phases ? (1 point)

*Sur une saison d’entrainement, allant en général de septembre à juin (9 à 10 mois) , il peut être intéressant de découper la préparation en 3 phases de durée à peu près égale (3 mois) :*

* *La 1ère phase est une phase de préparation physique générale, avec un objectif d’endurance.*

*On y travaille avec durée et une intensité croissantes en restant en filière aérobie. La durée / longueur va au-delà de ce qui sera demandé à l’épreuve (ex : 2500 m pour un examen de 1500 m)*

* *La 2è phase est une phase de préparation physique spécifique, avec un objectif d’amélioration du seuil ventilatoire 2. Durant cette phase, on augmente l’intensité mais la durée reste stable*
* *La 3è phase est une phase de préparation physique à l’examen, avec un objectif d’adaptation. On y travaille sur une durée décroissante (jusqu’à la durée des épreuves préparées) mais avec une intensité constante*

1. A quel rythme et en fonction de quels critères enchaineriez-vous les séances ? (1 point)

* *Le facteur clé afin d’optimiser son entrainement est d’espacer suffisamment les séances afin d’avoir une bonne récupération et ainsi de ne pas s’épuiser. Cependant, un espacement trop grand n’est pas bon non plus, car il ne permet pas de bénéficier du phénomène de surcompensation, qui permet d’améliorer les performances sur le long terme.*
* *D’une manière générale, on peut prévoir 2 à 3 séances par semaine, avec éventuellement des cycles de 3 ou 4 semaines suivis d’une semaine de repos. Ceci montre que pour un club ayant un créneau piscine par semaines, les séances de nage ne sont certainement pas suffisantes pour s’entrainer correctement, et qu’il faudra les compléter par d’autres activités terrestres, telles que la course à pied ou le cyclisme.*

**QUESTION 2 : la ventilation du plongeur (6 points) :**

En quoi la ventilation est-elle modifiée chez le plongeur en immersion scaphandre, en termes de matériel ( 2 points), en termes de respiration buccale (1 point) , en termes de mécanique ventilatoire (3 points)?

*En immersion, la ventilation se modifie aussi bien du fait de l’augmentation de la pression ambiante que du fait de l’équipement du plongeur.*

1. *Du côté du matériel, plusieurs facteurs sont à prendre en compte :*

* *Le détendeur utilisé est un ensemble mécanique, qui a par définition une certaine résistance à l’inspiration : il induit donc un effort supplémentaire lors de l’inspiration se rajoutant à l’espace mort anatomique.*
* *Ce même détendeur induit également un effort à l’expiration (dans une moindre mesure), puisqu’il y a une soupape d’expiration, dont les dimensions sont relativement faibles par rapport à l’orifice buccal*
* *Le détendeur a un effet supplémentaire sur notre ventilation : il augmente le volume mort et de ce fait notre ventilation, pour un même volume inspiré, en est moins efficace (moins d’apport d’oxygène dans les poumons pour un volume inspiré constant)*
* *La combinaison, le gilet et la ceinture ont tendance à comprimer le corps et donc à exercer une pression supplémentaire sur la cage thoracique et le diaphragme, en opposition aux mouvements d’inspiration*

*2) En termes de respiration buccale ( 1 point)*

*L’air provient de la bouteille, où il est stocké sous pression, et est détendu par le détendeur, ce qui le refroidit. De plus, la ventilation se fait par la bouche, ce qui a pour effet d’éliminer les effets des fosses nasales (filtrage, réchauffement, humidification). La ventilation dans ces conditions à tendance à favoriser les effets du froid et de la déshydratation*

*3) En termes de mécanique ventilatoire ( 3 points)*

*Avec la profondeur et l’augmentation de pression, la viscosité et la densité du gaz respiré va augmenter.*

*En immersion scaphandre, le volume courant est déplacé vers le haut ( vers le volume de Réserve Inspiratoire). Si l’inspiration est spontanée, l’expiration a besoin d’être active.*

*En profondeur nous sommes potentiellement des insuffisants respiratoire, le travail ventilatoire augmente et les débits expiratoires sont diminués (VEMS limitant) d’où risque d’essoufflement en cas d’effort.*

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

L’oxygène est nécessaire au bon fonctionnement de l’organisme. Cependant, en plongée,

il peut devenir toxique pour l’organisme

1. Quelles sont les limites acceptables en immersion ? (1 point)

* *Afin de limiter les risques dus à la toxicité de l’oxygène, il convient de se limiter à une pression partielle maximale d’O2 de 1.6 bar.*
* *Cette limite est fixée par l’article A 322-92 du Code du Sport (qui définit également la pression partielle minimale d’O2 à 0.16 bar).*

1. Citer les accidents susceptibles d’arriver et leurs principaux symptômes. Dans quels cas peut-on les rencontrer ? (3 points)

* *Effet Paul Bert : Lorsque l’oxygène est respiré à une pression importante pendant une durée suffisante, une crise hyperoxique peut apparaître. Plus la pression et* *la durée d’exposition sont importantes plus le délai d’apparition est réduit. Cette crise est souvent précédée de signes (variations de la vision, du rythme cardiaque, du rythme respiratoire, de l’humeur…), qui ne sont pas forcément perceptibles.*
* *La crise convulsive généralisée décrite classiquement est observée en milieu sec (caisson). Dans l’eau, les accidents observés notamment en trimix et en recycleur montrent qu’elle se résume à une perte de connaissance brutale suivie d’une contraction des mâchoires (trismus) qui empêche de remettre le détendeur en bouche. Quelques brèves secousses sont parfois observées.*
* *Effet Lorrain-Smith : il est beaucoup moins souvent observé et se produit pour des pression partielles beaucoup plus faibles et des durées d’exposition plus longues (dès 0.5 bars). Il s’agit d’une toxicité pulmonaire, avec des symptômes variés, tels qu’irritation trachéobronchique, avec des lésions au niveau des capillaires pulmonaires, œdème pulmonaire, etc. Ce risque se révèle en particulier sur des plongées où l’exposition à l’oxygène est prolongée :*
  + *Le recycleur qui permet de rester très longtemps en plongée.*
  + *Les plongées nitrox qui sont souvent utilisées pour allonger le temps de plongée plutôt que faire la même plongée avec moins de paliers*
  + *Les plongées profondes avec une décompression nitrox ayant un taux d’oxygène très élevé (ces taux, supérieurs à 70%, sont de moins en moins utilisés, et on aura plutôt tendance à rester sur des taux compris entre 50 et 70%, permettant par ailleurs de les prendre plus tôt dans le remontée)*

1. Le nitrox est en général utilisé pour réduire les effets de l’azote lors d’une plongée. La modification de son taux d’oxygène a-t-elle une influence sur les risques d’accidents toxiques ? Vous vous baserez pour l’exemple sur un mélange à 32% O2, couramment utilisé. (2 points)

* *Si l’on prend une composition standard de l’air à 79% N2 et 21% O2, l’application de la loi de Dalton nous indique qu’une pression partielle de 1.6 bar d’O2 sera atteinte pour une pression absolue 7.6 bars (1.6 / 0.21), soit une profondeur de 66 m, située au-delà des limites de profondeur autorisées.*
* *Sur un mélange à 32%, cette pression absolue est abaissée à 5 bars (1.6 / 0.32), soit une profondeur de 40m. Cette profondeur étant dans la limite autorisée, il est beaucoup plus facile de s’en approcher, voire de la dépasser, ce qui implique un risque accru d’accident hyperoxique (importance de la profondeur plancher à respecter).*
* *De plus, le nitrox est en principe utilisé pour diminuer les risques d’ADD, en diminuant la concentration d’azote. En corollaire de cela, il augmente la courbe de sécurité. Une des conséquences directes de ce point est que la plupart des plongeurs vont se servir de cette latitude supplémentaire non pas pour réduire les temps de palier, mais pour augmenter le temps de plongée.*
* *Du point de vue des risques d’hyperoxie, ils vont donc rester exposés plus longtemps à des pressions partielles plus élevées qu’en plongée air, et augmenter les risques.  
  La limite de 1.6 bars est cependant suffisante pour autoriser des plongées plus longues de ce type (les travailleurs hyperbares sont limités à 3h d’exposition à cette pression). En plongée tech, certains abaissent cette limite à 1,4 bar, notamment en eau froide.*
* *Les risques d’accident de type Lorrain-Smith sont également amplifiés : la pression partielle d’oxygène est toujours supérieure à celle que l’on aurait avec de l’air et la durée d’exposition est plus longue pour deux raisons : l’allongement de la durée de plongée précitée, mais également le fait qu’une pression partielle de 0.5 bar est atteinte dès 6m de profondeur avec le nitrox (0.32 \* 1.6 = 0.512), alors qu’elle est atteinte à partir de 14m seulement avec de l’air (0.21 \* 2.4 = 0.504). Le temps d’exposition importante peut encore augmenter si les plongeurs font leur paliers autour de 6m (cas fréquemment observé avec les explorations de fin de plongée et les décompressions gérées par ordinateur).*