

**Anatomie, physiologie, physiopathologie**  
**Durée : 1H30 - Coefficient 4**

En tant que MF2, vous participez à la préparation et au déroulement d'un stage de Niveau 4 de 2 semaines qui se conclut par un examen, que votre CTR a décidé d'organiser au sein d'une structure de bord de mer. Il y a 8 stagiaires préparant le Niveau 4, et le directeur de stage souhaite profiter de l'occasion pour incorporer au staff 4 stagiaires pédagogiques MF1 qui pourront ainsi parfaire leur expérience.

**I - Entraînement physique - amélioration des performances (7 points)**

Un stagiaire MF1 vous demande de lui apporter les notions de base de l'entraînement physique afin de mieux comprendre l'objectif des séances de nage proposées traditionnellement aux candidats Niveau 4. Vous lui apportez quelques bases en abordant les questions suivantes :

- a) Rappelez brièvement les filières énergétiques et leurs caractéristiques principales : délai de mise en route, durée de tenue de l'effort, puissance et facteur limitant.
- b) Lesquelles sont principalement mises en jeu dans les épreuves de nage du Niveau 4 ? Justifiez.
- c) Nommez et définissez le paramètre que vous cherchez principalement à améliorer en travaillant la filière aérobie : justifiez ? Quel type d'entraînement spécifique proposez-vous et pourquoi ? (Il ne vous est pas demandé le détail de séances d'entraînement mais seulement des notions générales)
- d) En quoi l'entraînement de la filière aérobie est-il bénéfique pour la plongée en scaphandre ?

Le stage a lieu au printemps en Méditerranée. Vous avez entraîné 2 des stagiaires pendant la saison d'hiver en piscine, où ils réussissent sans problème chaque épreuve, 4 se sont entraînés seuls en piscine tout l'hiver, et enfin 2 avouent « réaliser des performances très moyennes ».

- e) Comment concevez vous d'adapter vos séances de nage aux trois groupes de candidats dans le cadre de ce stage de deux semaines.

**II - Efforts en immersion (7 points)**

Lors d'un entraînement à la DTH, le stagiaire Niveau 4 qui vous remonte abandonne l'exercice après s'être essoufflé en fin de remontée. Il récupère relativement difficilement. Le stagiaire MF1 vous questionne sur ce sujet :

- 1) Expliquez les modifications subies par la ventilation en plongée.
- 2) Etablissez le rapport entre ces modifications et la survenue de l'essoufflement en plongée.
- 3) Listez les accidents favorisés par un taux de CO<sub>2</sub> élevé dans l'organisme.
- 4) Outre l'effort physique, quels sont les facteurs susceptibles d'augmenter la probabilité d'essoufflement lors de la DTH ?

**III - Prise en charge d'une situation (6 points).**

La RSE a pour objectif la maîtrise de la ventilation. Elle nécessite une grande rigueur dans son enseignement et une progressivité indispensable, faute de quoi, un risque, même minime subsiste.

A l'issue de l'épreuve de RSE, au cours de l'examen, l'un des stagiaires ressort de l'eau en se plaignant de légères douleurs à l'inspiration. Aucun autre symptôme flagrant n'est présent.

- 1) Quel accident suspectez-vous ? Décrivez le mécanisme et les conséquences physiologiques possibles de tous les stades de gravité de cet accident.
- 2) Quelle conduite adopterez-vous et pourquoi, sachant que d'autres palanquées sont encore dans l'eau
- 3) Quels facteurs favorisants ont à votre avis prédominé à la survenue de cet accident ?

## Référentiel de correction et proposition de barème

### I - Entraînement physique - amélioration des performances (8 points)

#### Question 1 (2 points) :

Filière	Délai	Durée	Puissance	Facteur limitant dans le temps
Anaérobie alactique	Immédiat	Courte (10 à 20 sec)	Maximale	Réserve de créatine phosphate (faible)
Anaérobie lactique	Rapide (20 à 30 sec)	Moyenne (1 à 3 min)	Sub-maximale	Acide lactique (toxique)
Aérobie	Plus lent (2 à 3 min)	Très longue (plusieurs heures)	Moyenne, fonction du VO <sub>2</sub> max	Illimité en théorie (mais entraînement, fatigue, chaleur...)

#### Question 2 (1 point) :

Filière aérobie principalement, caractéristique des efforts d'intensité moyenne qui durent, comme les épreuves de nage PMT et capelée du Niveau 4 (13 à 19 minutes environ).

Filière anaérobie lactique : lors de l'effort final du mannequin, intense et d'une durée de l'ordre de 2 à 3 minutes, caractéristique de la filière.

#### Question 3 (2 points) :

Le VO<sub>2</sub>max : capacité de l'organisme à consommer une certaine quantité d'O<sub>2</sub> par unité de masse corporelle et de temps. Reflète la condition physique d'un individu. De 40 à 80 ml/kg/min entre le sédentaire et le sportif de haut niveau. 60 à 65 ml/kg/min pour un sportif entraîné.

#### Pourquoi ?

Parce-que son amélioration conduit à pouvoir augmenter la puissance de l'effort produit dans la durée.

#### Par quel type d'entraînement ?

Principalement par un travail au seuil anaérobie, zone de transition entre la mobilisation des filières aérobie et anaérobie lactique, intéressante à développer pour toutes les activités physiques d'endurance où un effort d'une certaine intensité doit être maintenu plus d'une dizaine de minutes.

#### Qui a quels objectifs ?

D'une part d'augmenter le VO<sub>2</sub>max dans le but de repousser le seuil anaérobie pour améliorer la rentabilité de la filière sur la durée, et d'autre part d'améliorer la capacité de la filière à fonctionner dans le temps (endurance) en habituant les muscles à supporter une certaine présence d'acide lactique sur des durées croissantes sans se bloquer (aspects physiques mais aussi psychiques).

Un entraînement au seuil a pour but de conduire le pratiquant à tenir un exercice d'intensité de plus en plus élevée sur une durée de plus en plus longue.

#### **Question 4 (1 point) :**

Pour accroître la sécurité dans toutes les situations d'assistance nécessitant la mobilisation de cette filière : retour au bateau en assistant un plongeur fatigué ou peu performant, dans des conditions défavorables de courant, de météo, etc...

Parce-que la solidité de la filière aérobie est la base de l'efficacité des autres filières, qui peuvent être mobilisées dans toutes les situations d'assistance subaquatique.

Par une meilleure prévention des accidents par l'augmentation du VO<sub>2</sub>max, notamment ADD (un VO<sub>2</sub>max faible, donc une mauvaise condition physique, est un facteur favorisant) et essoufflement, mais aussi bien sûr noyade et surpression pulmonaire qui peuvent en découler.

#### **Question 5 (2 points) :**

Stagiaires que vous avez entraînés personnellement : adapter leurs acquis au milieu marin pour y retrouver leur niveau de performance (combinaison, lest, vagues, courant, visibilité, température, manque de repères... sont autant de paramètres nouveaux à intégrer) en leur permettant de réaliser plusieurs fois l'épreuve et de s'étalonner avant l'examen. Eviter le surentraînement.

Stagiaires à performances moyennes : atteindre a minima l'objectif de non élimination (avoir 10/20 au groupe sans note éliminatoire) : résolution des problèmes de matériel (palmes, combinaison, lestage et tuba notamment, réduction de la traînée pour le capelé), résolution des problèmes grossiers de technique (notamment freinage dû à une mauvaise technique de bras). Intensité moindre pour s'adapter à leur propre seuil anaérobie. Eviter la surcharge d'entraînement (=> production d'acide lactique), au besoin augmenter la récupération avant l'examen en les dispensant de la dernière séance de nage du stage.

Enfin, un candidat qui n'a pas un minimum d'entraînement aérobie avant le stage ne pourra pas espérer progresser suffisamment en 2 semaines.

Stagiaires qui se sont entraînés en piscine tout l'hiver : évaluation de performance, suivie d'une orientation vers les objectifs de l'un des deux autres groupes.

## **II - Efforts en immersion (7 points)**

### **Question 1 (3 points) :**

Evolution des pressions partielles :

La PpO<sub>2</sub> alvéolaire augmente, cette augmentation provoque une augmentation de la partie d'O<sub>2</sub> transportée sous forme dissoute dans le sang, à proportion de la P.Abs, mais pas sur celle transportée par l'Hb qui est déjà quasi-saturée. Ceci dit, l'organisme dispose d'autant d'O<sub>2</sub> qu'il le souhaite.

La PpCO<sub>2</sub> alvéolaire reste stable dans des conditions de ventilation normales, la légère augmentation de la PpCO<sub>2</sub> est compensée par un accroissement du travail ventilatoire.

La PpN<sub>2</sub> alvéolaire augmente, provoquant la dissolution du N<sub>2</sub> dans le sang et les tissus.

Production / élimination du CO<sub>2</sub> :

D'un côté :

- Augmentation de la densité de l'air → résistances à l'écoulement (le flux laminaire devient turbulent, la « viscosité » augmente...), le simple relâchement des muscles ventilatoires ne suffit plus à expulser l'air dont le poids a également augmenté → diminution des débits ventilatoires, surtout à l'expiration → l'expiration devient active d'où une augmentation du travail ventilatoire,
- Utilisation du détendeur : résistances mécaniques, d'où une augmentation du travail ventilatoire,
- Evolution dans un milieu froid (même relatif) : mécanismes d'adaptation au froid,

Ces facteurs conduisent à une production accrue de CO<sub>2</sub>.

De l'autre :

- Expiration moins efficace, (cf ci-dessus),
- Utilisation du détendeur : augmentation de l'espace mort,

Ces facteurs conduisent à une moins bonne aptitude à éliminer le CO<sub>2</sub>.

Résultat : le taux de base de CO<sub>2</sub> augmente dans l'organisme : hypercapnie. A effort équivalent, il est plus élevé qu'à l'air libre.

#### Adaptations :

Le Volume courant augmente et a tendance à se déplacer dans le VRI.

L'expiration devient active (cf ci-dessus).

Plus le plongeur est entraîné, plus son rythme ventilatoire diminue (accoutumance au CO<sub>2</sub>).

Notion d' « insuffisant respiratoire ».

#### **Question 2 (2 points) :**

Tout facteur conduisant à produire encore plus de CO<sub>2</sub> (effort, froid, etc...) ou à moins bien l'éliminer → augmentation de la TCO<sub>2</sub> → augmentation de la PpCO<sub>2</sub> alvéolaire par gradient, mais mauvaise élimination → gradient avec la TCO<sub>2</sub> sanguine diminue → élimination du CO<sub>2</sub> de l'organisme devient moins efficace → hypercapnie augmente → excitation des chémorécepteurs (TCO<sub>2</sub>, pH ?) → activation accrue de l'inspiration avec déplacement supplémentaire du VC dans le VRI → moins bonne élimination du CO<sub>2</sub> → cercle vicieux de l'essoufflement.

Tout pousse l'organisme à accroître le travail du côté de l'inspiration, alors qu'il faudrait faire exactement le contraire en forçant sur l'expiration.

#### **Question 3 (1 point) :**

Accidents favorisés par un taux de CO<sub>2</sub> élevé : hyperoxie, narcose, ADD

Accidents pouvant être directement causés par un essoufflement : noyade, surpression pulmonaire, éventuellement ADD si remontée rapide et/ou impossibilité de tenir les paliers

#### **Question 4 (1 point) :**

Le matériel : qualité du détendeur, combinaison trop serrée qui entrave la ventilation, lestage trop important, palmes inadaptées...

La position verticale, qui place le détendeur au-dessus de la cage thoracique → différence de pression négative entre la cage thoracique et le détendeur → augmentation de la difficulté ventilatoire (ex. du « long tuba » pour respirer sous l'eau).

### **III - Prise en charge d'une situation (5 points)**

#### **Question 1 (2 points) :**

Il s'agit sans doute d'une distension alvéolaire, stade primitif de la surpression pulmonaire.

Distension alvéolaire : sans rupture des alvéoles, mais certaines sont rendues impropres au fonctionnement → douleur, difficultés respiratoires

Surpression pulmonaire : avec rupture des alvéoles :

1) Phase mécanique :

- L'air reste à l'intérieur de la cage thoracique et va se loger entre les deux poumons : **emphysème du médiastin**, et symptômes associés,
- Le feuillet viscéral de la plèvre est rompu, il y a pénétration d'air entre les deux feuillets de la plèvre rendant inefficace le travail ventilatoire, et compression des poumons : **pneumothorax**, et symptômes associés,
- Les deux feuillets de la plèvre sont rompus, l'air passe sous le derme dans la région du cou : **emphysème sous-cutané**, et symptômes associés,

2) Phase neurologique : (pouvant survenir même avec une atteinte mécanique faible.

- L'air pénètre dans la circulation sanguine par les alvéoles rompues, remonte au cœur et est projeté dans la circulation artérielle d'où il remonte au cerveau : **embolie cérébrale**, et symptômes associés,

3) **Œdème pulmonaire** :

- Le sang pénètre dans les alvéoles et les tissus pulmonaires, et symptômes associés.

**Question 2 (2 points) :**

La distension alvéolaire nécessite le déclenchement de la chaîne des secours, d'autant que l'on ne peut pas préjuger de l'atteinte effective de l'appareil ventilatoire :

1) Traitement de la SP (probabilité d'ADD associé) selon les directives enseignées :

- Mettre sous O<sub>2</sub> à 15 l/min sans arrêter jusqu'à la prise en charge médicalisée,
- Faire boire 1 à 2 l d'eau plate,
- Proposer 500 mg d'aspirine pour un adulte (s'il n'est pas allergique),

2) Déclencher les secours et accomplir les autres gestes de secourisme :

- Déséquiper et au besoin réchauffer, rassurer le plongeur,
- Alerter les secours (CROSS canal 16 VHF),
- Remplir la fiche d'évacuation (paramètres de plongée, symptômes, traitements et heures),

3) Gérer les autres palanquées :

- rappel des autres palanquées en immersion par un moyen convenu : pétard, coups de moteur....

**Question 3 (1 point) :**

En plus des facteurs « classiques » que peuvent être une vitesse excessive et une insuffisance de la libération des voies aériennes et/ou du volume d'air relâché.

Départ du fond sur une inspiration maximum.

Le stress de l'examen, l'envie de réussir à tout prix.