

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : un accident en plongée (7 pts)

Isabelle et Christian, tous les deux N3 et âgés de 55 ans, entament la remontée d'une plongée à 37 m, l'ordinateur le plus pénalisant leur indique un palier de 2' à 3m. Vers 8 m Christian fait le signe « je suis essoufflé » à Isabelle qui le prend en charge. Malgré les difficultés de Christian pour respirer, ils effectuent le palier obligatoire et regagnent la surface. Comme Christian a beaucoup de mal pour reprendre sa respiration, il enlève son détendeur, tousse et crache un liquide rosâtre. Isabelle fait le signal de détresse et le bateau vient les récupérer rapidement. On aide Christian à remonter, il est épuisé et ses lèvres sont bleutées.

- A ce stade, quels sont les types d'accidents possibles ? (1pt)
- Si d'autres symptômes apparaissent, quels sont ceux qui pourraient vous permettre d'identifier plus précisément l'accident de Christian (1 pts)
- Aucun autre symptôme n'apparaissant, quel est selon vous l'accident le plus probable et quels sont les facteurs favorisant ce type d'accident. (2 pts)
- Décrivez le mécanisme physiopathologique de cet accident. (3 pts)

QUESTION N°2 : les oreilles et la plongée (7 pts)

Les atteintes de l'oreille peuvent être nombreuses en plongée. Citez les différents incidents ou accidents que vous connaissez, expliquez leurs mécanismes de survenue, décrivez les symptômes qui y sont associés et leurs préventions.

QUESTION 3 : le froid en plongée (6 pts)

Dans le cadre de l'organisation de la première sortie sur le littoral méditerranéen début avril, vous présentez à l'équipe d'encadrement de votre club les risques liés au froid en plongée.

- Quels sont les mécanismes de lutte contre le froid mis en œuvre par l'organisme ? (2 pts)
- Quels sont les éléments de prévention que vous pouvez mettre en place ? (2pts)
- Pourquoi l'adaptation physiologique de l'enfant est-elle différente de celle de l'adulte ? (2 pts)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : un accident en plongée (7 pts)

Isabelle et Christian, tous les deux N3 et âgés de 55 ans, entament la remontée d'une plongée à 37 m, l'ordinateur le plus pénalisant leur indique un palier de 2' à 3m. Vers 8 m Christian fait le signe « je suis essoufflé » à Isabelle qui le prend en charge. Malgré les difficultés de Christian pour respirer, ils effectuent le palier obligatoire et regagnent la surface. Comme Christian a beaucoup de mal pour reprendre sa respiration, il enlève son détendeur, tousse et crache un liquide rosâtre. Isabelle fait le signal de détresse et le bateau vient les récupérer rapidement. On aide Christian à remonter, il est épuisé et ses lèvres sont bleutées.

- a) A ce stade, quels sont les types d'accidents possibles ? (1pt)
- *Œdème Pulmonaire d'Immersion (OPI)*
 - *Surpression pulmonaire (SP)*
- b) Si d'autres symptômes apparaissent, quels sont ceux qui pourraient vous permettre d'identifier plus précisément l'accident de Christian (1 pts)
- *Si signes neurologiques => SP*
 - *Si emphysème sous-cutané => SP*
- c) Aucun autre symptôme n'apparaissant, quel est selon vous l'accident le plus probable et quels sont les facteurs favorisant ce type d'accident. (2 pts)
- *L'OPI est le plus probable car apparition dans la zone 0-10m, proche de la surface, et pas de blocage de la respiration au cours de la remontée. (0,25pt)*
 - *Facteurs favorisants :*
 - *Age du plongeur > 45 ans*
 - *Augmentation du travail respiratoire : augmentation de la densité des gaz avec la profondeur, augmentation de l'espace mort avec le détendeur, bloodshift, augmentation de la pression thoracique par la combinaison (0,5 pt)*
 - *Hypertension artérielle, anomalie cardiaque, tabagisme (0,5 pt)*
 - *Froid, stress, effort (0,5 pt)*
 - *Condition physique insuffisante (0,25pt)*
- d) Décrivez le mécanisme physiopathologique de cet accident. (3 pts)
- L'œdème pulmonaire d'immersion est consécutif aux contraintes liées à l'immersion telles que le froid, le blood shift (concentration du volume sanguin au niveau du tronc et de l'abdomen à l'origine d'une augmentation des pressions sanguines dans les capillaires pulmonaires, les forces mécaniques exercées à la surface des alvéoles, la toxicité de l'oxygène ou à l'inverse le manque d'oxygène, le stress, l'effort... (1 pt)*

L'augmentation des pressions au niveau des capillaires pulmonaires est à l'origine d'une fuite du contenu des capillaires pulmonaires, (d'abord plasma puis GR) autour de ces capillaires (espace interstitiel), puis dans les alvéoles.(2 pts)

QUESTION N°2 : les oreilles et la plongée (7 pts)

Les atteintes de l'oreille peuvent être nombreuses en plongée. Citez les différents incidents ou accidents que vous connaissez, expliquez leurs mécanismes de survenue, décrivez les symptômes qui y sont associés et leurs préventions.

a) Les incidents ou accidents de l'oreille externe (1 pt) :

***Otite externe** : infection et/ou eczéma du conduit auditif externe due à la pénétration d'eau.*

*• **Symptômes** : prurit (grattage), douleurs.*

*• **Prévention** : après la plongée, bien rincer et sécher le conduit auditif externe, ne pas utiliser de coton tige car on risque de provoquer des lésions. On peut appliquer de l'alcool boriqué.*

b) Les incidents ou accidents de l'oreille moyenne (3 pts)

*• **Barotraumatisme du tympan** (otite barotraumatique de l'oreille moyenne) dû à une manœuvre d'équilibrage mal exécutée. Les symptômes vont varier considérablement en fonction du degré de sévérité des lésions du tympan. Dans le cas le plus fréquent et bénin, le patient va ressentir une douleur intense s'estompant en quelques jours. Le patient peut souffrir d'acouphènes associés, de bourdonnements ou d'une perte partielle d'audition. Dans les cas sévères, le patient peut ressentir une douleur intense, une perte importante d'audition allant jusqu'à la surdité, des troubles de l'équilibre et des nausées. Un saignement des oreilles peut survenir à la suite du traumatisme pouvant traduire une mini perforation.*

*• **Vertige alternobarique** : survient le plus souvent à la remontée. Stimulation vestibulaire asymétrique liée à une équipression non simultanée dans les caisses tympaniques entraînant un vertige bref et intense (troubles visuels = vertiges). Symptômes : vertige vrai, isolé, transitoire et régressif, avec une désorientation spatiale totale.*

c) Les incidents ou accidents de l'oreille interne (3 pts) :

*• **Barotraumatisme de l'oreille interne** dû au coup de piston par 2 mécanismes différents :*

*○ **Indirect** : par association d'un barotraumatisme du tympan sur la chaîne des osselets (absence d'équilibration à la descente) qui se transmet à la fenêtre ovale. Il y a donc 2 traumatismes en un seul (oreille moyenne et interne : barotraumatisme mixte). Symptômes : violente douleur, possibles vertiges, surdité de perception et acouphènes*

*○ **Direct** : par un Valsalva forcé qui lors de l'insufflation de l'oreille moyenne va se transmettre sur la fenêtre ronde. Barotraumatisme pur de l'oreille interne. Symptômes : mêmes symptômes mais souvent sans douleur car le tympan n'est en général pas touché.*

- **ADD de l'oreille interne.** Deux mécanismes possibles : microbulles bulles obstruant l'artère vestibulaire qui est de type terminale, dans le cadre d'un FOP et/ou dégazage dans le liquide labyrinthique
 - **Symptômes :** nausées, vomissements, vertiges et troubles de l'équilibre par atteinte vestibulaire. Dans un tiers des cas, on retrouve des troubles de l'audition avec acouphènes par atteinte cochléaire associée, mais ce sont les vertiges qui occupent le devant de la scène.
 - **Prévention :** éviter les situations à risques d'ADD types remontés de type yo-yo. Eviter les facteurs d'hypertension thoraciques qui ouvriraient un FOP latent (30 % de la population)

Prévention des incidents ou accidents de l'oreille moyenne et de l'oreille interne : ne pas plonger lorsque la sphère ORL est inflammatoire. Ne jamais forcer pendant une manœuvre de Valsalva et utiliser les manœuvres passives, moins traumatisantes comme BTV, Valsalva sans pince nasale, déglutition, contraction du voile du palais...

QUESTION 3 : le froid en plongée (6 pts)

Dans le cadre de l'organisation de la première sortie sur le littoral méditerranéen début avril, vous présentez à l'équipe d'encadrement de votre club les risques liés au froid en plongée.

- a) Quels sont les mécanismes de lutte contre le froid mis en œuvre par l'organisme ? (2 pts)
Les réponses thermorégulatrices mises en œuvre par l'organisme en plongée ont 2 objectifs :
- La diminution de la thermolyse (limitation des pertes de chaleur) par une vasomotricité artérielle et veineuse qui redistribue le volume sanguin en faveur du territoire vasculaire central (thorax et abdomen). Cette vasoconstriction périphérique vient donc majorer les effets vasculaires de l'immersion. (1 pt)
 - L'augmentation de la thermogenèse (production de chaleur) par l'intensification du métabolisme cellulaire, puis par les frissons (contractions musculaires involontaires et augmentation de la glycolyse anaérobie). (1 pt)
- b) Quels sont les éléments de prévention que vous pouvez mettre en place ? (2pts)
- Port d'une combinaison humide avec cagoule, semi étanche ou étanche selon la température de l'eau et sa susceptibilité au froid, gants, chaussons. (0,5 pt)
 - Connaissance de sa susceptibilité au froid, contexte de fatigue générale (0,5 pt)
 - Tester, prendre la température de l'eau, ne pas s'exposer au soleil et/ou ne pas s'équiper trop longtemps avant toute mise à l'eau, s'asperger le visage, la nuque d'eau froide, etc. (0,5 pt)
 - Apports énergétiques suffisants (repas adaptés, boissons chaudes) (0,5 pt)
- c) Pourquoi l'adaptation physiologique de l'enfant est-elle différente de celle de l'adulte ? (2 pts)
- L'enfant maintient aussi bien sa température centrale que l'adulte. Sa particularité réside dans le fait qu'il présente un rapport surface corporelle/poids, plus grand et une protection adipeuse plus mince. (1 pt)
 - Ces particularités sont compensées par des réponses thermorégulatrices plus intenses (thermogenèse plus élevée et réactions vasoconstrictrices plus rapides) mais moins durables dans le temps. Cela explique les limitations en durée d'exposition, pour les plus jeunes, lorsque les températures sont basses. (1 pt)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : L'essoufflement (6 pts)

L'essoufflement, incident bénin s'il intervient en milieu terrestre, est problématique en plongée et constitue un facteur favorisant d'autres accidents.

- En vous basant sur vos connaissances, expliquez-le mécanisme physiologique et la réponse de l'organisme face à ce phénomène.
- Quels accidents un essoufflement peut-il favoriser ? Expliquez pourquoi ?
- Quels conseils donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour diminuer le risque de survenue de cet incident aux différents niveaux de plongeurs ?

QUESTION 2 : L'oxygène (5 pts)

L'oxygène est un élément important dans notre activité, utilisation en décompression

- Expliquez les principes du transport de l'oxygène dans notre organisme en surface et en immersion.
- Expliquez le mécanisme thérapeutique de l'oxygène, lorsqu'il est administré lors d'un accident.
- L'oxygène est un élément essentiel pour le fonctionnement de notre organisme, pourtant, dans certaines circonstances d'utilisation, ce composé peut être toxique. Expliquez les mécanismes de toxicité, leurs manifestations...

QUESTION 3 : La narcose (6 pts)

Votre MF2 en poche, vous serez amenés à encadrer au-delà de 40m. Dans cette zone, la narcose est un incident relativement fréquent.

- Grâce à vos connaissances en physiologie, expliquez le mécanisme de la narcose.
- Décrivez votre démarche face à vos futurs stagiaires pour limiter la survenue de cet incident lors de plongées profondes (moyens pédagogiques, briefing, conseils ...).

QUESTION 4 : La Béance Tubaire Volontaire (3 pts)

La compensation des oreilles. Parmi les solutions inculquées à nos plongeurs tout au long de leur cursus, la méthode de Valsalva est la plus fréquemment enseignée, pourtant d'autres manœuvres existent.

- Expliquez le principe de la manœuvre appelée 'BTV'.
- Pourquoi, d'après-vous, celle-ci devrait-elle être préférée à celle de Valsalva ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : L'essoufflement (6 pts)

L'essoufflement, incident bénin s'il intervient en milieu terrestre, est problématique en plongée et constitue un facteur favorisant d'autres accidents.

- a) En vous basant sur vos connaissances, expliquez-le mécanisme physiologique et la réponse de l'organisme face à ce phénomène. (2 pts)

L'essoufflement en plongée est lié une augmentation du taux de CO₂ alvéolaire lié à une diminution de l'élimination de celui-ci (par diminution des débits inspiratoires et expiratoires) et aggravé par une augmentation de la production.

La diminution de l'élimination de CO₂ par la ventilation est liée à l'augmentation de la masse volumique des gaz aggravée par la diminution de l'élasticité pulmonaire liée au bloodshift. Un détendeur mal réglé, une combinaison trop serrée sont aussi des facteurs favorisant. La diminution des débits prédominant sur les débits expiratoires entraîne une augmentation de la capacité résiduelle fonctionnelle, donc une augmentation du CO₂ alvéolaire, à volume courant constant, l'air renouvelé se mélangeant dans un volume plus grand.

La fatigue des muscles ventilatoires ne permettant pas l'élimination suffisante du CO₂ est aussi un facteur favorisant.

L'augmentation de production est liée à un effort trop important ou mal géré. Le froid, un détendeur mal réglé sont des facteurs favorisant.

Le taux de CO₂ augmente et entraîne une augmentation du pH sanguin (acidose) qui va stimuler les chémorécepteurs situés dans le bulbe. Lorsque le taux de CO₂ devient trop important, la ventilation devient très rapide et le volume courant diminue, car une fréquence rapide ne peut se faire qu'aux dépens du maintien de l'amplitude des mouvements ventilatoires.

La ventilation devient superficielle et ne ventile que l'espace mort, ce qui augmente encore plus le taux de CO₂, alors qu'il faudrait au contraire forcer sur l'expiration. On est donc dans un « cercle vicieux » dont il est difficile de sortir.

- b) Quels accidents un essoufflement peut-il favoriser ? Expliquez pourquoi ? (2 pts)

- 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 (« panique » par exemple), cela augmente le risque de SP.*
- Noyade : Le plongeur qui subit un essoufflement sévère a un raisonnement confus et panique. Cette panique peut l'entraîner à lâcher son détendeur et, ne pouvant réaliser une apnée, à se noyer.*
- Panne d'air*

- c) Quels conseils donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour diminuer le risque de survenue de cet incident aux différents niveaux de plongeurs. . (2 pts)

- *privilégier l'entraînement physique : meilleure adaptation à l'effort, meilleure technique de palmage*
- *Privilégier la technique et le travail de la ventilation afin d'affiner rapidement le lestage des plongeurs.*
- *Pour l'accoutumance à la profondeur, mettre en place des ateliers pour limiter le stress (pendeur, descente en phoque...)*
- *Etre vigilant au matériel (état et modèle) de ses élèves, en particulier le modèle et la configuration des détendeurs*
- *Accession progressive à la profondeur selon l'entraînement des élèves*
- *Ne pas plonger profond à contre-courant etc...*
- *Bouteille mal ouverte*
- *Ne pas descendre si on est déjà essoufflé en surface*

QUESTION 2 : L'oxygène (5 pts)

L'oxygène est un élément important dans notre activité, utilisation en décompression

- a) Expliquez les principes du transport de l'oxygène dans notre organisme en surface et en immersion. (1 p)
- *Véhiculé par le sang :*
 - *98% combiné avec hémoglobine,*
 - *2% dissoute dans plasma.*
 - *Concentration O_2 + forte dans alvéoles pulmonaires que dans capillaire → diffusion de alvéoles vers capillaires,*
 - *En immersion, augmentation PpO_2 → hémoglobine saturée → O_2 supplémentaire sous forme dissoute.*
- b) Expliquez le mécanisme thérapeutique de l'oxygène, lorsqu'il est administré lors d'un accident, en milieu hyperbare. (1 pt)
- Effet bénéfique en oxygénothérapie hyperbare : augmentation de la fraction dissoute dans tous les capillaires de l'organisme, en particulier dans ceux qui ne sont pas obstrués par des bulles. Ceci permet de suppléer l'alimentation en O_2 au niveau des tissus lésés.*
- c) L'oxygène est un élément essentiel pour le fonctionnement de notre organisme, pourtant, dans certaines circonstances d'utilisation, ce composé peut être toxique. Expliquez les mécanismes de toxicité, leurs manifestations... (2 pts)
- *La toxicité neurologique (effet Paul Bert) :*
 - *Mécanisme :*
L'utilisation de l'oxygène par l'organisme entraîne une production de radicaux libres de l'oxygène qui peuvent provoquer des convulsions par réaction avec les lipides des cellules cérébrales.
 - *Manifestations :*
La crise hyperoxique classiquement décrite en trois phases :
 - *La phase tonique qui est matérialisée par des contractions musculaires généralisées.*
 - *La phase clonique de 2 à 3 minutes pendant laquelle ont lieu des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière.*
 - *La phase résolutive avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation.*

- *Cependant :*
 - Ces trois phases ont été décrites en milieu sec (caisson). Sous l'eau la crise se résume le plus souvent à une perte de connaissance brutale précédée parfois par quelques secousses brèves au niveau des membres
 - Les signes avant-coureurs classiques (tremblements musculaires des petits muscles de la face ou du diaphragme, troubles sensitifs visuels (effet tunnel) et auditifs (sifflements), troubles de l'humeur et du comportement, nausées...) sont inconstants et peuvent être causés par une hypercapnie concomitante.

- *Remarque (non demandée aux candidats) : Le risque de surpression pulmonaire supposé si l'on remonte l'accidenté pendant la phase tonique est rarissime : les 3 phases classiques sont le plus souvent absentes ou impossibles à différencier. Des expériences sur l'animal ont montré que la glotte reste ouverte et laisse sortir l'air des poumons pendant cette phase (ref. Vann R.D., Hamilton B. Central nervous system oxygen toxicity. In : Vann RD, Mitchell SJ, Denoble PJ, Anthony TG, eds. Technical diving. Proceedings of the Divers Alert Network 2008 January 18-19 Conference. Durham, NC: Divers Alert Network; 2009. P 38 - 64. De plus, les autopsies réalisées chez les plongeurs décédés après une crise hyperoxique n'ont pas montré de lésions de surpression pulmonaire. Lorsque la remise en bouche de l'embout est impossible, l'accidenté doit être remonté à la surface tel quel, sans perte de temps.*

- *La toxicité pulmonaire (effet Lorrain-Smith) :*
 - Mécanisme :
Inflammation pulmonaire due à une exposition supérieure ou égale à 50%. Même elle ne touche pas les plongeurs loisir, cette toxicité a été notée chez des moniteurs professionnels lors d'une utilisation intensive du Nitrox.
 - Manifestations :
Les signes de toxicité débutent par une douleur rétro sternale et une irritation trachéale avec toux. Si l'exposition se poursuit, une gêne respiratoire apparaît avec fièvre et diminution de la capacité vitale.

QUESTION 3 : La narcose (6 pts)

Votre MF2 en poche, vous serez amenés à encadrer au-delà de 40m. Dans cette zone, la narcose est un incident relativement fréquent.

- a) Grâce à vos connaissances en physiologie, expliquez le mécanisme de la narcose. (3 pts)
Compte tenu des symptômes relatifs à la narcose (diminution des capacités motrices et de raisonnement), il s'agit d'une atteinte au niveau du système nerveux. Plusieurs hypothèses ont été retenues
- *l'hypothèse lipidique : reconnue comme ancienne et obsolète depuis plus de 30 ans, mais qui figure malheureusement toujours en bonne place dans l'enseignement théorique de la plongée.*
- *l'hypothèse protéique : les gaz inertes interagiraient directement avec les neurotransmetteurs et les récepteurs présents dans les synapses de neurones situés dans certaines zones*

particulières du cerveau (noyaux gris centraux, voie nigro-striée) impliquées dans la coordination des processus moteurs et cognitifs. Les perturbations des neurotransmetteurs concernés (GABA, Glutamate et Dopamine) entraînent un ralentissement global de ces fonctions.

- *On sait depuis les années 60 que le CO₂ potentialise le rôle narcotique de l'azote (référence non demandée aux candidats : Badier M. Hypercapnie. In : Broussolle B, Meliet J.L, Coulange M. Physiologie et médecine de la plongée 2ème éd. Paris : Ellipse ; 2006. P 306 - 312)*

- b) Décrivez votre démarche face à vos futurs stagiaires pour limiter la survenue de cet incident lors de plongées profondes (moyens pédagogiques, briefing, conseils ...). (3 pts)
- *On peut se baser sur les facteurs favorisant la narcose et en déduire le comportement adéquat du moniteur pour limiter son apparition :*
 - *La pression : plus on descend profond, plus les effets de la narcose sont majeurs. Augmenter progressivement les profondeurs d'évolution au fur et à mesure du cursus de formation, accoutumance à la profondeur (Des éducatifs sur la technique, stabilisation, réponse aux signes peuvent être faits dans un premier temps puis des éducatifs de raisonnements comme des calculs, demander de faire un nœud de chaise, écriture.....à des profondeurs progressives, 40m, puis 45m puis 50m)*
 - *L'essoufflement : le CO₂ est un facteur favorisant de la narcose. L'effort ventilatoire étant plus important avec la profondeur, il faut limiter les efforts, technique de palmage efficace... Etre vigilant à l'équipement des plongeurs (détendeur, lestage)*
 - *Environnement (perte de repères)*
 - *Mettre en place des situations pédagogiques avec des repères si jamais le milieu n'en est pas pourvu. En cas de plongée dans le 'noir', descendre le long d'un pendeur, avoir une source de lumière (non aveuglante). Ne pas descendre trop vite, plutôt en phoque, éviter les retournements violents en profondeur.*
 - *Facteurs individuels*
 - *Etre vigilant à l'état de forme physique et psychologique des élèves, à leur équipement (combinaison adaptée).*
 - *Les symptômes annonciateurs ne sont pas forcément visibles par les coéquipiers (vision en tunnel, dialogue intérieur, troubles de la mémorisation des instruments), il faut donc sensibiliser les stagiaires pédagogiques à la surveillance et la communication qui doit être mise en place afin d'anticiper et réagir au plus vite.*

QUESTION 4 : La Béance Tubaire Volontaire (3 pts)

La compensation des oreilles. Parmi les solutions inculquées à nos plongeurs tout au long de leur cursus, la méthode de Valsalva est la plus fréquemment enseignée, pourtant d'autres manœuvres existent.

- a) Expliquez le principe de la manœuvre appelée 'BTV'. (1 pt)

C'est un mouvement volontaire qui consiste à mobiliser les muscles péristaphylins pour commander l'ouverture des trompes d'Eustache qui relie l'oreille moyenne au pharynx. Il faut provoquer un 'début' de bâillement ou 'projeter' la mâchoire en avant

b) Pourquoi, d'après-vous, celle-ci devrait-elle préférée à celle de Valsalva ? (2 pts)

Cette technique n'est pas souvent enseignée à nos plongeurs. C'est vrai qu'elle est plus difficile à appréhender pour les débutants. De plus certaines personnes présentent des variations anatomiques peu propices à sa pratique (trompes d'Eustaches non rectilignes).

Pourtant elle présente de nombreux avantages par rapport à la manœuvre de Valsalva :

- C'est une méthode passive, beaucoup moins traumatisante car impose peu de différence de pression, pas de possibilité de 'forcer'.*
- Ne cause pas d'hyper-pression pulmonaire.*
- Chose non négligeable pour les encadrants, elle libère les mains.*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Les jeunes plongeurs (7 points)

- a) A la FFESSM, la plongée en scaphandre des « jeunes plongeurs » n'est possible qu'après l'âge de 8 ans en raison d'un certain nombre de modifications physiologiques concernant la ventilation, le cœur et la circulation, la sphère ORL, la thermorégulation et l'appareil locomoteur. Décrivez-les brièvement. (4 points)
- b) En reprenant les éléments de la question a), reproduisez sur votre feuille le tableau ci-dessous et complétez les colonnes « Risques ou accidents » et « Adaptations et préventions » (3 points) :

APPAREIL OU FONCTION	RISQUES OU ACCIDENTS	ADAPTATIONS ET PREVENTIONS
Ventilation	•	•
Cœur et circulation	•	•
ORL	•	•
Thermorégulation	•	•
Appareil locomoteur	•	•

QUESTION 2 : La déshydratation en plongée (6 points)

Quand on parle de déshydratation en plongée on pense principalement à la diurèse d'immersion. Mais la température ambiante, de l'eau comme de l'air, peut aussi être à l'origine d'une déshydratation.

- a) Décrivez le phénomène de diurèse d'immersion ? (1 point)
- b) Quels autres facteurs peuvent intervenir dans la déshydratation du plongeur lors d'un séjour en pleine été ? (2 points)
- c) Quelles peuvent être les conséquences d'une déshydratation en plongée ? (1 point)
- d) Quels sont les conseils que vous pourriez donner pour prévenir ces déshydratations ? (2 points)

QUESTION 3 : les vertiges en plongée (7 points).

Vous désirez sensibiliser vos stagiaires pédagogiques à l'importance des vertiges en plongée

- a) Quelle définition pouvez-vous donner du vertige. ? (1 point)
- b) Quels éléments d'anatomie de l'oreille interne interviennent dans l'équilibre ? Expliquez leur rôle. (2 points)
- c) Décrivez le mécanisme des différents vertiges que l'on peut rencontrer en plongée (4 points)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : Les jeunes plongeurs (7 points)

- a) A la FFESSM, la plongée en scaphandre des « jeunes plongeurs » n'est possible qu'après l'âge de 8 ans en raison d'un certain nombre de modifications physiologiques concernant la ventilation, le cœur et la circulation, la sphère ORL, la thermorégulation et l'appareil locomoteur. Décrivez-les brièvement. (4 points)

- *Ventilation*

-

- *La maturation des alvéoles pulmonaires est atteinte vers 8 ans (limite FFESSM)*
- *L'élasticité pulmonaire est plus faible*
- *Les résistances pulmonaires sont plus élevées*
→ *le travail ventilatoire est augmenté*
- *Le volume de fermeture des alvéoles est augmenté → risque de piégeage gazeux et de surpression pulmonaire*
- *L'effet shunt droit-gauche est augmenté (les alvéoles sont perfusées et non ventilées) → hypoxie relative → risque d'essoufflement et d'hypoxie à l'effort*

- *Cœur et circulation*

-

- *La fréquence cardiaque plus élevée*
- *Le FOP est présent chez 40% des enfants*
- *Il y a une augmentation des turbulences dans le système vasculaire avec risque de formation de noyaux gazeux*
- *→ donc risque accru d'ADD*

- *ORL*

-

- *Grandes fréquences des otites et angines*
- *Difficulté pour ouvrir les muscles péristaphylins*
- *Difficultés à comprendre les manœuvres d'équilibrage*
- *Difficulté à équilibrer les oreilles*
→ *donc risque de barotraumatismes de l'oreille*

- *Thermorégulation*

-

- *Grande surface corporelle / masse*
- *Peu de protection adipeuse*
- *Métabolisme de base élevé*
→ *Augmentation des pertes caloriques (tête et cou ++)*

- *Appareil locomoteur*

-

- *Portage de charges lourdes → risque ostéo articulaire*

b) En reprenant les éléments de la question a), reproduisez sur votre feuille le tableau ci-dessous et complétez les colonnes « Risques ou accidents » et « Adaptations et préventions » (3 points) :

APPAREIL OU FONCTION	RISQUES OU ACCIDENTS	ADAPTATIONS ET PREVENTIONS
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Essoufflement et hypoxie</i> • <i>Piégeage gazeux alvéolaire et SP</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Détendeur compensé, tuba à faible espace mort</i> • <i>Remontée plus lente</i>
Cœur et circulation	<ul style="list-style-type: none"> • <i>ADD</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Limitation des profondeurs et des durées de plongée</i>
ORL	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Equilibration des oreilles</i> • <i>Barotraumatismes de l'oreille</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pas de plongée quand l'enfant est enrhumé</i> • <i>Masque adapté</i> • <i>Descente lente et vigilance de l'encadrement</i> • <i>Surveillance médicale régulière</i>
Thermorégulation	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Augmentation des pertes caloriques</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Combinaison adaptée</i> • <i>Pas de plongée si T° eau < 12°</i> • <i>Limitation de la durée : si T° eau < 23°C la durée de la plongée ne doit pas excéder 25 minutes)</i> • <i>Eviter l'exposition prolongée au soleil</i>
Appareil locomoteur	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Risque ostéo articulaire</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Matériel adapté à la morphologie : combinaison, palmes...</i> • <i>Bloc plus léger</i> • <i>Entraide (équipement, mise à l'eau, sortie de l'eau.)</i>

QUESTION 2 : La déshydratation en plongée (6 points)

Quand on parle de déshydratation en plongée on pense principalement à la diurèse d'immersion. Mais la température ambiante, de l'eau comme de l'air, peut aussi être à l'origine d'une déshydratation.

a) Décrivez le phénomène de diurèse d'immersion ? (1 point)

- *La poussée d'Archimède s'oppose à la gravité et redistribue une partie de la masse sanguine des membres inférieurs vers le thorax et l'abdomen (bloodshift).*
- *L'hypervolémie sanguine intra-thoracique entraîne une diminution de la sécrétion de l'hormone antidiurétique (ADH) au niveau de l'hypophyse, ce qui stimule la production d'urine (diurèse).*

b) Quels autres facteurs peuvent intervenir dans la déshydratation du plongeur lors d'un séjour en pleine été ? (2 points)

En plus du phénomène de diurèse d'immersion, le plongeur se déshydrate en raison de :

- *la respiration d'air détendu, sec et froid à la sortie du bloc.*
- *la diurèse due au froid : la T° de l'eau en méditerranée est généralement inférieure à 34° y compris l'été. Ce phénomène amplifie la diurèse d'immersion.*
- *la sudation due à l'exposition à des températures élevées en surface, particulièrement en combinaison*

c) Quelles peuvent être les conséquences d'une déshydratation en plongée ? (1 point)

- *Une hypovolémie avec une chute de la pression artérielle avec risque de perte de connaissance (baisse du débit sanguin cérébral)*
- *Le sang contenant moins de plasma : l'hématocrite augmente. Le sang est moins fluide, ce qui rend l'élimination des bulles par le filtre pulmonaire plus difficile et augmente le risque d'ADD.*
- *L'augmentation de la survenue de crampes.*

d) Quels sont les conseils que vous pourriez donner pour prévenir ces déshydratations ? (2 points)

- *S'hydrater correctement : boire de l'eau régulièrement avant même d'avoir soif (la soif est un mécanisme d'alerte, pas de régulation. Lorsqu'elle apparaît, l'organisme a déjà perdu entre 0,5 et 1 litre d'eau).*
- *Consommer des aliments riches en eau, tels que melon, pastèque, salades, tomates, courgettes.*
- *Limiter les déperditions : éviter le thé ou le café avant la plongée qui favorisent la diurèse.*
- *Eviter l'alcool qui est un puissant diurétique*
- *Limiter la sudation en restant le plus possible à l'ombre, et surtout en évitant de fermer sa combinaison trop longtemps avant la mise à l'eau.*
- *Limiter le refroidissement en adaptant la combinaison à la température de l'eau.*

QUESTION 3 : les vertiges en plongée (7 points).

Vous désirez sensibiliser vos stagiaires pédagogiques à l'importance des vertiges en plongée

a) Quelle définition pouvez-vous donner du vertige. ? (1 point)

Le vertige est une sensation erronée et subjective de déplacement du corps par rapport à l'espace ou de l'espace par rapport au corps, se traduisant par une impression de rotation et/ou d'ébriété.

b) Quels éléments d'anatomie de l'oreille interne interviennent dans l'équilibre ?

Expliquez leur rôle. (2 points)

- *Les 3 canaux semi-circulaires sont disposés perpendiculairement et couvrent les 3 plans de l'espace. Ils possèdent chacun, à leur extrémité, une zone contenant des cellules sensorielles ciliées qui renseignent sur les mouvements et sur l'accélération de la tête dans l'espace.*
- *L'utricle et le saccule contiennent une multitude de cellules sensorielles sensibles à l'action de la gravité et renseignent sur la position de la tête dans l'espace.*

c) Décrivez le mécanisme des différents vertiges que l'on peut rencontrer en plongée (4 points)

• Vertige alternobarique

Lors de la remontée, différence de pression entre les deux oreilles moyennes, due à un mauvais fonctionnement de la trompe d'Eustache d'une oreille. Les signaux nerveux du vestibule émis par chaque oreille sont divergents, ce qui crée la sensation de vertige

• Coup de piston

Valsalva brutal provoquant une déformation importante du tympan, amplifiée par les osselets, entraînant un déplacement important et brutal de l'étrier dans la fenêtre ovale. Ceci se répercute dans le vestibule en créant une onde dans l'endolymphe, qui n'existe pas dans l'autre oreille. L'incohérence des messages envoyés par chaque vestibule au niveau du cerveau, entraîne cette sensation de vertige

• Perforation tympanique

Elle a plusieurs conséquences qui peuvent donner des vertiges : Irruption d'eau froide provoquant des réactions locales responsables de la sensation vertigineuse (différence de température entre les deux oreilles)

Caisse du tympan pleine d'eau empêchant la fenêtre ronde de jouer son rôle d'amortisseur et hyperpression dans l'oreille interne provoquant un dysfonctionnement au niveau vestibulaire

• Accident de désaturation (peu d'exigence : sujet décompression)

Blocage circulatoire touchant l'artère vestibulaire (vascularisation terminale)

Bulles dans l'endolymphe des canaux semi-circulaires et/ou du vestibule (utricle et saccule)

• Mal de mer

Inadéquation entre les informations données par les canaux semi circulaires, les informations visuelles et les informations proprioceptives.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : L'oreille en plongée (9 pts) :

- Décrivez les fonctions de l'oreille. Citez les éléments anatomiques qui assurent ces fonctions et détaillez leur rôle (4 pts).
- Quels sont les accidents auxquels l'oreille du plongeur peut être soumise. Pour chacun d'eux vous détaillerez les éléments anatomiques concernés (3 pts).
- Quels conseils donneriez-vous aux plongeurs, et cadres pour préserver leurs oreilles ? (2 pts)

QUESTION 2 : Décrivez les adaptations de la ventilation et de la circulation au cours de la plongée (5 pts)

QUESTION 3 : La plongée chez les seniors (6 pts) :

Au mois d'avril, en Bretagne, vous êtes directeur de plongée pour 5 palanquées dont l'une est composée de deux plongeurs niveau 2 seniors (Bernard, 54 ans et Anselme 60 ans). Ces deux plongeurs sont sédentaires et disposent d'un certificat médical valide. Lors des discussions sur le bateau, Anselme dit qu'il faut qu'il investisse dans une nouvelle combinaison. Il se trouve un peu « à l'étroit » dans celle qu'il porte.

Lors de l'arrivée sur un fond de 15 m, après un temps de plongée relativement court (5 min), Anselme fait signe à Bernard qu'il se sent essoufflé. Ne réussissant pas à maîtriser ce début d'essoufflement, la palanquée décide de remonter. Durant la remontée, à vitesse contrôlée, Anselme a une respiration difficile, mais il semble expirer régulièrement. Cependant son état empire et sa sensation d'essoufflement augmente. Arrivé en surface, il a besoin d'aide pour remonter sur le bateau, il a une respiration superficielle et bruyante, une pâleur excessive. Il est cyanosé et a des crachats rosâtres. Il signale qu'il était déjà un peu essoufflé lors de la mise à l'eau, mais qu'il pensait que « ça passerait »

- Quelles actions engagez-vous lorsque vous vous rendez compte de l'état d'Anselme ? (1 pt)
- A quel accident pensez-vous ? Quels sont les éléments de la plongée qui vous permettent de penser à cet accident ? (1 pt)
- D'après vous, quels sont les facteurs annoncés dans le sujet, qui ont probablement favorisé cet accident (2 pts)
- A quel autre(s) accident(s) peuvent faire penser les symptômes ? Quels éléments du contexte contredisent cette hypothèse ? (1 pt)
- Expliquez pour quelles raisons, l'immersion favorise la survenance de ce type d'accident ? (1 pt)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : L'oreille en plongée (9 pts) :

- a) Décrivez les fonctions de l'oreille. Citez les éléments anatomiques qui assurent ces fonctions et détaillez leur rôle (4 pts).

L'oreille a deux fonctions principales : l'audition et l'équilibre

• **La fonction audition :**

○ *Elle est réalisée par plusieurs éléments assurant des rôles spécifiques :*

○ *le rôle de récepteur : il est rempli par le pavillon et le conduit auditif*

○ *le rôle d'amplificateur : il est rempli par la chaîne des osselets et la différence de surface entre tympan et fenêtre ovale*

○ *le rôle de traducteur/transmetteur : il est rempli par la cochlée composée de la rampe tympanique et des cils vibratiles. La transmission est assurée par le nerf cochléaire.*

• **Les fonctions équilibre et la proprioception :**

○ *Elles sont réalisées par trois éléments :*

○ *Utricule et saccule : détection de l'orientation de la tête dans l'espace et des accélérations*

○ *Canaux semi-circulaires : détection des accélérations horizontales d'avant en arrière, horizontales de droite à gauche et verticales de haut en bas et inversement*

○ *Le nerf vestibulaire assure la transmission de l'information au cerveau.*

○ *L'ensemble nerf cochléaire/nerf vestibulaire forme le nerf auditif.*

- b) Quels sont les accidents auxquels l'oreille du plongeur peut être soumise. Pour chacun d'eux vous détaillerez les éléments anatomiques concernés (3 pts).

• **L'otite infectieuse externe** : inflammation du conduit auditif

• **Le barotraumatisme de l'oreille moyenne** : atteinte +/- importante du tympan, par différence de pression entre l'oreille moyenne et la pression ambiante. Peut aller jusqu'à la perforation tympanique.

• **Le barotraumatisme de l'oreille interne (coup de piston)** : atteinte de la fenêtre ovale et/ou ronde par transmission de la pression à travers le tympan et la chaîne des osselets. Souvent conjugué à une atteinte du tympan.

• **Le vertige alterno-barique** : différence de pression entre les oreilles moyennes droite et gauche, souvent due à une perméabilité différente entre les deux trompes d'Eustache. Discordance des informations transmises par les organes de l'équilibre.

• **L'accident de désaturation de l'oreille interne** : deux origines : bulles stationnaires dans les liquides (cochlée, utricule, saccule, canaux semi-circulaires) ou bulles circulantes via l'artère cochléaire (terminale). Perturbation des informations d'équilibre et/ou d'audition.

- c) Quels conseils donneriez-vous aux plongeurs, et cadres pour préserver leurs oreilles ? (2 pts)

• *L'hygiène après la plongée : rinçage à l'eau douce, pas de cotons tige,*

• *La protection contre le froid (bonnet, cagoule).*

• *La répétition : limiter les yoyos, limiter les plongées*

• *La position et la vitesse de descente : privilégier les descentes tête en haut et lentes, avec arrêts multiples si nécessaire, avec repères visuels si possible.*

• *Privilégier les manœuvres d'équilibrage douces, éviter Valsalva si possible, surtout dans les phases de remontée et de paliers.*

• *Dans tous les cas, ne jamais forcer les manœuvres d'équilibrage.*

- *Par rapport à l'accident de désaturation de l'oreille interne, éviter les efforts à glotte bloquée après la plongée (remontée sur le bateau, ancre, etc).*

QUESTION 2 : Décrivez les adaptations de la ventilation et de la circulation au cours de la plongée (5 pts)

• **Au niveau ventilatoire (3 pts) :**

- *Le travail ventilatoire est fonction de la densité 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 ainsi diminués, ce qui accroît 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 déplacé 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 difficile les inspirations tête haute et les expirations tête basse. Dans tous les cas, la mise en bouche d'un détendeur oblige une expiration active et augmente les risques de fatigue à l'effort.*
- *Le débit expiratoire maximal chute malgré un accroissement de l'effort expiratoire. Le contrôle de la qualité 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.*

• **Au niveau circulatoire (2 pts):**

- *la respiration tissulaire augmente, car les tissus ont besoin de davantage d'oxygène. Les échanges gazeux s'accroissent et s'accélèrent, avec augmentation de la consommation d'oxygène et du rejet de gaz carbonique (CO₂), proportionnellement à la puissance de l'effort*
- *la répartition des volumes sanguins se modifie sous l'influence du système nerveux végétatif : au cours de l'effort, les muscles sont davantage irrigués.*
- *L'exposition cutanée entraîne une vasoconstriction, le « blood shift », soit une redistribution de la masse sanguine et l'augmentation du volume sanguin central, incidemment du travail cardiaque,*
- *Le volume d'éjection systolique et la fréquence cardiaque augmentent, le débit cardiaque s'accroît de 10 à 25 %.*
- *L'immersion en eau froide accentue encore le « blood shift » et concernant la face, cela provoque une bradycardie;*
- *L'augmentation du volume sanguin central explique la diurèse des plongeurs.*

QUESTION 3 : La plongée chez les seniors (6 pts) :

Au mois d'avril, en Bretagne, vous êtes directeur de plongée pour 5 palanquées dont l'une est composée de deux plongeurs niveau 2 seniors (Bernard, 54 ans et Anselme 60 ans). Ces deux plongeurs sont sédentaires et disposent d'un certificat médical valide. Lors des discussions sur le bateau, Anselme dit

qu'il faut qu'il investisse dans une nouvelle combinaison. Il se trouve un peu « à l'étroit » dans celle qu'il porte.

Lors de l'arrivée sur un fond de 15 m, après un temps de plongée relativement court (5 min), Anselme fait signe à Bernard qu'il se sent essoufflé. Ne réussissant pas à maîtriser ce début d'essoufflement, la palanquée décide de remonter. Durant la remontée, à vitesse contrôlée, Anselme a une respiration difficile, mais il semble expirer régulièrement. Cependant son état empire et sa sensation d'essoufflement augmente. Arrivé en surface, il a besoin d'aide pour remonter sur le bateau, il a une respiration superficielle et bruyante, une pâleur excessive. Il est cyanosé et a des crachats rosâtres. Il signale qu'il était déjà un peu essoufflé lors de la mise à l'eau, mais qu'il pensait que « ça passerait »

- a) Quelles actions engagez-vous lorsque vous vous rendez compte de l'état d'Anselme ? (1 pt)
- *Installer l'accidenté confortablement, le couvrir (Position $\frac{1}{2}$ assise ?)*
 - *Faire remonter les autres plongeurs*
 - *Administrer de l'O₂ pur normobare à 15 litres / minute.*
 - *Compte tenu des conditions de plongée-un accident de décompression est exclu. L'aspirine n'a pas besoin d'être proposée.*
 - *Alerter les secours, se conformer à leurs consignes, faire route vers le lieu indiqué par les secours*
- b) A quel accident pensez-vous ? Quels sont les éléments de la plongée qui vous permettent de penser à cet accident ? (1 pt)
- *Oedème Pulmonaire d'Immersion (OPI)*
 - *Dégradation de l'état d'Anselme de façon progressive, et notamment entre 10 m et la surface*
 - *Remontée à vitesse contrôlée sans blocage ventilatoire*
 - *Présence d'un début d'essoufflement en surface juste avant l'immersion (non spécifique : froid, mauvaise condition physique, combinaison trop serrée, etc.)*
- c) D'après vous, quels sont les facteurs annoncés dans le sujet, qui ont probablement favorisé cet accident (2 pts)
- *Age > 45 ans*
 - *Manque de condition physique (sédentarité)*
 - *Combinaison serrée qui entraîne un travail ventilatoire plus important*
 - *Le froid qui favorise également un travail ventilatoire plus important en surface et lors de la descente*
 - *L'immersion elle-même*
- d) A quel autre(s) accident(s) peuvent faire penser les symptômes ? Quels éléments du contexte contredisent cette hypothèse ? (1 pt)
- *La surpression pulmonaire*
Éléments contradictoires :
 - *Vitesse de remontée contrôlée et absence de blocage ventilatoire à la remontée*
 - *Absence de signes neurologiques*
- e) Expliquez pour quelles raisons, l'immersion favorise la survenance de ce type d'accident ? (1 pt)
- *L'immersion provoque un phénomène d'augmentation de la pression sanguine au niveau thoracique et un travail cardiaque plus important.*
 - *En cas d'insuffisance cardiaque, due à une pathologie connue ou inconnue, la pression sanguine peut devenir anormalement élevée dans les capillaires pulmonaires, et ne pas baisser lors du retour en surface, ce qui entraîne le passage de plasma dans les alvéoles pulmonaire*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

Question 1 (8 points) Des éléments souvent négligés

- 1) On évoque volontiers le stress comme étant un facteur pouvant être générateur de problèmes chez un plongeur. Une anxiété avérée avant une évaluation ou une plongée dans des conditions difficiles ou inhabituelles peut être génératrice de stress chez certains plongeurs.
 - a) Listez les manifestations physiologiques générées par le stress. (3 points)
 - b) Quelles peuvent en être les conséquences accidentelles chez le plongeur ? (1 point)
- 2) Les médecins conseillent fortement de boire régulièrement de l'eau avant et après la plongée. Justifiez ce conseil en répondant aux questions suivantes :
 - a) Précisez les causes de la perte hydrique de l'organisme d'un plongeur dans le cadre de son activité. (2 points)
 - b) Décrivez les mécanismes physiologiques mis en cause. (2 points)

Question 2 (6 points) la nécessité de s'échauffer

- 1) Un sportif, quelle que soit sa discipline, s'échauffe avant l'entraînement. Dans l'activité de plongée, on peut remarquer que certains candidats aux examens, avant les épreuves physiques négligent à tort cette phase préparatoire.
 - a) Définissez l'échauffement et précisez son objectif. (0,5 point)
 - b) Quelles sont ses répercussions sur l'organisme ? (2 points)
 - c) Quel serait la méthodologie d'un échauffement aux épreuves physiques du MF2 ou du GP-N4 ? (1 point)
- 2) Quelle préparation physique pourriez-vous proposer à des candidats au MF2 ou au GP-N4 durant la saison hivernale ? (2,5 points)

Question 3 (6 points) Le froid en plongée : comment le comprendre, comment sensibiliser ?

Vous organisez un stage à la fin de l'hiver, en carrière en métropole, auquel participeront des stagiaires pédagogiques et des plongeurs de tous âges. En cette saison et en ce lieu, l'eau est particulièrement froide et la température de l'air plutôt fraîche.

- a) Par quels mécanismes l'organisme lutte-t-il contre le froid ? (1 point)
- b) Expliquer en quoi l'adaptation physiologique d'un enfant au froid est différente de celle d'un adulte ? (1 point)
- c) En quoi le froid est-il un facteur favorisant d'autres accidents ? Quels sont ces accidents et par quels mécanismes sont-ils déclenchés ? (2 points)
- d) Quels conseils donneriez-vous aux stagiaires pédagogiques, afin de limiter les risques liés au refroidissement ? (2 points)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

REFERENTIEL DE CORRECTION

Question 1 (8 points) Des éléments souvent négligés

1) On évoque volontiers le stress comme étant un facteur pouvant être générateur de problèmes chez un plongeur. Une anxiété avérée avant une évaluation ou une plongée dans des conditions difficiles ou inhabituelles peut être génératrice de stress chez certains plongeurs.

a) Listez les manifestations physiologiques générées par le stress. (3 points)

Le stress génère une série de manifestations physiologiques générées par la sécrétion de différentes hormones (adrénaline et noradrénaline). La libération de ces hormones va avoir un certain nombre d'impact sur l'organisme :

- ⇒ Augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle,
- ⇒ Amplification de la ventilation,
- ⇒ Elévation de la glycémie,
- ⇒ Modifications de la vasomotricité (donc de la répartition du sang) : vasodilatation dans certaines zones et vasoconstriction dans d'autres,
- ⇒ Hypersensibilité aux bruits, aux odeurs, au contact,
- ⇒ Irritabilité émotionnelle, anxiété, déprime,
- ⇒ Sueurs abondantes,
- ⇒ Dilatation des pupilles,
- ⇒ Déséquilibre hormonal.

A plus ou moins long terme :

- ⇒ Fatigue de l'organisme (surmenage) qui entraîne : Insomnie, irritabilité, agressivité,
- ⇒ Difficultés de récupération
- ⇒ Diminution de capacité de performance physique

b) Quelles peuvent en être les conséquences accidentelles chez le plongeur ? (1 point)

Difficultés à réagir calmement face à une situation improbable, un incident.

Perte de sa technicité, du contrôle respiratoire favorisant un essoufflement, une narcose, une panique éventuelle, une noyade, une surpression pulmonaire à la remontée ou un ADD.

2) Les médecins conseillent fortement de boire régulièrement de l'eau avant et après la plongée. Justifiez ce conseil en répondant aux questions suivantes :

a) Précisez les causes de la perte hydrique de l'organisme d'un plongeur dans le cadre de son activité. (2 points)

- ⇒ L'exposition au soleil, avoir chaud ou faire de l'exercice physique avant une plongée favorise la sudation ;
- ⇒ Les gaz respirés en plongée sont secs et plus froids que l'air ambiant ;
- ⇒ L'immersion entraîne une redistribution des masses sanguines du plongeur en faveur des régions centrales et au détriment des régions périphériques (*bloodshift*) favorisant la diurèse d'immersion ;
- ⇒ L'immersion dans une eau à température inférieure à celle de la peau, entraîne également une redistribution sanguine vers le tronc favorisant aussi la diurèse d'immersion.

b) Décrivez les mécanismes physiologiques mis en cause. (2 points)

- ⇒ L'exposition à une température ambiante plus élevée que la température cutanée, comme l'exercice physique favorise la sudation donc la déshydratation.
- ⇒ Les gaz secs respirés assèchent les bronches et celles-ci sont réhydratées par le sang qui les irrigue.

- ⇒ Mécanisme de la diurèse d'immersion : le phénomène de *bloodshift* crée une hypervolémie cardiaque, stimulant les volorécepteurs. Le SNC entraîne une diminution de la sécrétion de l'hormone antidiurétique et donc une augmentation de l'activité rénale, entraînant une envie d'uriner. Lors du retour à bord, il y a redistribution des masses sanguines dans tout le corps, le sang est en général plus concentré et moins fluide qu'avant la plongée.
- ⇒ Mécanisme de lutte contre le froid : les récepteurs thermiques cutanés renseignent l'hypothalamus de la température ambiante et celui-ci commande une vasoconstriction périphérique. Les organes centraux sont principalement irrigués, ce qui augmente l'hypervolémie cardiaque et donc la diurèse d'immersion.

Question 2 (6 points) la nécessité de s'échauffer

1) Un sportif, quelle que soit sa discipline, s'échauffe avant l'entraînement. Dans l'activité de plongée, on peut remarquer que certains candidats aux examens, avant les épreuves physiques négligent à tort cette phase préparatoire.

a) Définissez l'échauffement et précisez son objectif. (0,5 point)

L'échauffement est la phase préparatoire de toute séance d'entraînement. Il est de durée plus ou moins longue et d'intensité plus ou moins importante.

Il a pour objectif d'établir un état optimal de préparation à la performance tant au plan physiologique que psychologique.

b) Quelles sont ses répercussions sur l'organisme ? (2 points)

⇒ **Amélioration des possibilités organiques :**

- Augmentation de la température corporelle ;
- Stimulation progressive des fonctions respiratoire et circulatoire → Augmentation du débit sanguin et de l'irrigation musculaire (dilatation des vaisseaux sanguins) ;
- Augmentation de la vitesse de contraction musculaire ;
- Meilleure utilisation de l'O₂ (transport et diffusion tissulaire).

⇒ **Amélioration de la coordination :**

- Meilleure transmission de l'influx nerveux ;
- Plus grande sensibilité proprioceptive ;
- Economie d'énergie.

⇒ **Optimisation psychologique à la réalisation de l'épreuve par une augmentation de l'attention et de la concentration.**

⇒ **Prévention des blessures :**

- Augmentation de la température des articulations ;
- Baisse de la viscosité de la synovie ;
- Baisse des frottements aux niveaux articulaire et musculaire ;
- Réduction du risque de claquage, élongation, tendinite, etc.

c) Quel serait la méthodologie d'un échauffement aux épreuves physiques du MF2 ou du GP-N4 ? (1 point)

Il n'y a pas d'échauffement type. Cependant, il peut comprendre deux parties :

- Un échauffement généralisé permettant la mise en route de tous les systèmes (exercices légers, sautilllements, course ou nage modérée, étirements actifs) ;
- Un échauffement spécifique par des exercices techniques et/ou exercices de concentration : visualisation des exercices de l'entraînement ou de l'épreuve à suivre, tenue du mannequin.

L'échauffement reste adapté à l'épreuve, progressif et dosé. Il ne doit pas entamer les réserves énergétiques, entraîner de fatigue superflue et amener une dispersion psychologique.

Exemple : épreuve 1500 m avec PMT, départ à 8h00.

7h30 : début échauffement

6 min de trottinement

6 min d'étirement actifs (rotation du tronc, du bassin, de la tête, des chevilles, lever de jambes, écartement des bras, moulinets souples, etc.)

8 min de relaxation et de mise en route psychologique

7h50 : mise à l'eau. 200 à 300m de nage souple coupée ou non d'apnées peu profondes de 10 à 20 secondes.

- 2) Quelle préparation physique pourriez-vous proposer à des candidats au MF2 ou au GP-N4 durant la saison hivernale ? (2,5 points)

Elle doit être au service des plongeurs et des épreuves préparées.

L'entraîneur doit donc au préalable analyser les caractéristiques des plongeurs et leur niveau de maîtrise au regard des exercices.

Elle peut se dérouler sur trois phases successives (Michel Pradet - *La préparation physique*) :

- Préparation générale (2 à 3 mois) : développement et harmonisation des diverses qualités physiques par des efforts aérobie de 60 à 80% d'intensité maximale sur des durées progressives prolongées : séances de nage en piscine, de course à pieds ou à vélo d'une heure et plus.
- Préparation auxiliaire (2 à 3 mois) : en piscine, développement des qualités physiques en rapport avec les épreuves par des efforts anaérobies d'intensité maximale sur des durées plus courtes correspondant à la limite du processus énergétique engagé, soit : de 3 à 15 s pour le processus alactique concerné lors des départs et arrivées en sprint des épreuves de nage, et de 45 s à 3 min pour le processus glycolytique (ou lactique) principalement utilisé lors du remorquage du mannequin.
- Préparation spécifique (1 mois) : maintien des qualités physiques à leur meilleur niveau pour être performant le jour de l'examen. Elle s'opère par des exercices en mer de nage, des tests aux épreuves dans des conditions si possible voisines de celles de l'examen.

Lors de chaque entraînement, la charge de travail doit créer un état de désordre physiologique (fatigue) nécessitant une adaptation de l'organisme. Celui-ci, stimulé, récupère en reconstituant son potentiel énergétique à un niveau supérieur au niveau initial : la **surcompensation**. Pour optimiser ce principe, il faut réitérer de nouveaux efforts lorsque l'organisme est en phase de surcompensation. Ces états fonctionnels successifs permettent une adaptation supérieure aux efforts, une meilleure récupération et l'amélioration des performances.

Lors de chaque séance d'entraînement auxiliaire, il faut associer aux phases de travail, des phases de récupération si possible active (nage souple) :

- Après chaque effort alactique (3x5m ou 2x8m ou 1x10m) d'intensité maximale : 100 % de la VMA (vitesse maximale aérobie) : 1 à 3 minutes de nage souple ;
- Après chaque effort glycolytique (1x45s, 1x60s, 1x45s, 1x80s) d'intensité submaximale : 80 à 90% de la VMA : 2 à 8 minutes de nage souple.

Enfin, il faut terminer chaque entraînement par un retour au calme : 2 ou 3 fois 100 m de nage souple et associer à cette préparation physique :

- Une alimentation équilibrée, une hydratation abondante et régulière entre et pendant les séances d'entraînement.



Monitorat fédéral 2^{ème} degré Tahiti - Novembre 2017

- Des nuits de 7 à 8 heures de sommeil, favorisant la récupération et la surcompensation.

Question 3 (6 points) Le froid en plongée : comment le comprendre, comment sensibiliser ?

Vous organisez un stage à la fin de l'hiver, en carrière en métropole, auquel participeront des stagiaires pédagogiques et des plongeurs de tous âges. En cette saison et en ce lieu, l'eau est particulièrement froide et la température de l'air plutôt fraîche.

a) Par quels mécanismes l'organisme lutte-t-il contre le froid ? (1 point)

• **Par limitation des pertes**

- Vasoconstriction périphérique pour limiter la circulation du sang dans les zones périphériques et retarder le refroidissement des organes vitaux (cœur, cerveau) → Coloration bleutée des extrémités.
- En association avec la chair de poule, érection des poils cutanés pour emprisonner la couche d'air au contact de la peau et l'empêcher de circuler.
- Hémococoncentration du sang.

• **Par augmentation de la production de chaleur**

- Augmentation du métabolisme cellulaire,
- Augmentation des apports énergétiques aux tissus par accélération de la fréquence cardiaque et de la fréquence ventilatoire.
- Tremblements, frissons : contractions musculaires saccadées et indépendantes de la volonté pour produire de la chaleur.

b) Expliquez en quoi l'adaptation physiologique d'un enfant au froid est différente de celle d'un adulte ? (1 point)

- La composition corporelle est différente (moins de graisses) et le rapport surface corporelle / poids est plus grand chez l'enfant explique que l'enfant se refroidit plus vite.
- La zone de déperdition maximale de chaleur chez l'enfant se situe au niveau de la tête et du cou d'où la nécessité d'une protection thermique adaptée.
- Le refroidissement est compensé par une thermogénèse plus élevée et une réaction vasoconstrictrice plus rapide et plus importante, mais lorsque la température de l'eau est inférieure à 34°, le bilan thermique devient défavorable, surtout avant 7 ans. Le refroidissement survient moins vite lorsque l'enfant grandit.

c) En quoi le froid est-il un facteur favorisant d'autres accidents ? Quels sont ces accidents et par quels mécanismes sont-ils déclenchés ? (2 points)

- Essoufflement : les tremblements et frissons augmentent la production de CO₂ et donc la fréquence ventilatoire avec risque d'essoufflement.
- ADD :
 - La vasoconstriction au niveau de certains tissus modifie leur taux de perfusion, et donc, leur comportement réel vis-à-vis de la saturation/désaturation par rapport à ce que prévoit le moyen de décompression choisi. Cela favorise l'apparition d'un ADD de type I (puces et moutons).
 - Dans une moindre mesure, l'augmentation du rythme cardiaque modifie également la vitesse de saturation/désaturation et, en phase de décompression favorise la formation de bulles et donc le risque d'un ADD.
- Infarctus du myocarde : la vasoconstriction périphérique augmente la volémie sanguine dans le cœur et donc il doit fournir un travail plus important. Cela augmente le risque de crise cardiaque sur des sujets à risques.
- Œdème pulmonaire d'immersion : de même, les pressions cardiaques augmentent, et par conséquent la pression artérielle pulmonaire ce qui favorise l'œdème pulmonaire chez les sujets à risques : personnes âgées, sédentaires, etc.).
- Syncope hypoglycémique, surtout chez le diabétique.

d) Quels conseils donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques, afin de limiter les risques liés au refroidissement ? (2 points)

• **Bien s'alimenter :**

- Alimentation riche en sucres lents avant la plongée.
- Bonne hydratation des plongeurs avant et après la plongée ;
- Boisson chaude, sucrée et biscuits après la plongée (pas d'alcool qui favorise la vasodilatation et augmente la déshydratation en stimulant la diurèse) ;

• **Choisir un matériel adéquat :**

- Détendeurs conçus pour plonger en eau froide (dispositifs antigivre, 1^{er} étage à membrane, etc.) ;
- Deux détendeurs complets montés sur deux sorties distinctes ;
- Gonfler les bouteilles sur un compresseur ayant une filtration terminale correctement entretenue → pas ou peu d'eau dans les bouteilles (l'air humide détendu givre facilement) ;
- Equipements adaptés à la température de l'eau, la susceptibilité des plongeurs et bien ajustés : combinaisons, cagoules, gants, chaussons ;
- Vêtements secs et chauds, coupe vents par-dessus la combinaison avant et après la plongée.

• **Donner des conseils adaptés :**

- Rappeler aux plongeurs de ne pas gonfler un gilet et/ou une combinaison étanche au moment de l'inspiration (ce qui augmente le débit d'air). Alternier inspiration et gonflage.
- Rappeler le signe « j'ai froid » et les circonstances de son exécution ;
- Rappeler la procédure à suivre en cas de givrage : plier le tuyau MP du détendeur mis en cause ou fermer le robinet correspondant.
- Se mouiller la face et la nuque avant de pénétrer dans l'eau ;
- S'immerger progressivement ;
- Contrôler sa respiration et éviter les efforts inutiles ;
- Limiter la durée de la plongée à des plongées sans paliers ;

• **Avoir un comportement adapté :**

- Vérifier le bon lestage des plongeurs ;
- Etre attentif à la respiration et aux comportements des plongeurs dès l'immersion ;
- Au besoin, réduire la durée de la plongée et/ou la profondeur ;
- Doubler de vigilance en fin de plongée ;
- Dès les premiers symptômes ou le signalement d'un problème lié au froid, remonter normalement et faire les paliers calculés par les ordinateurs. En l'absence de palier obligatoire, faire surface sans réaliser le palier de sécurité de 3 min à 3 m.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : L'Apnée à 10 mètres (8 points)

Lors de l'épreuve plongée libre à 10m du guide de palanquée, un des candidats qui s'entraîne régulièrement à l'apnée est contrarié par le fait de devoir mettre son tuba en bouche pour faire le canard. Il décide finalement de rejoindre l'atelier en hyperventilant sur son tuba puis de l'enlever juste avant de faire son canard. Arrivé au fond, son retournement est rapide, ses gestes pas très précis et il ne semble pas très à l'aise. Il remonte rapidement, fait surface après 20 secondes, fait vaguement le signe OK et retombe sur la surface de l'eau. Il est ramené conscient vers le bateau et tousse pendant 10 minutes.

- Que s'est-il passé selon vous ? Expliquez brièvement le mécanisme ? (2 points)
- Quelles sont les suites physiologiques possibles d'un tel problème ? (1 point)
- Quelle est la conduite à tenir ? Quelles sont les conséquences par rapport à l'examen ? (1 point)
- Définir les éléments de sécurité à mettre en place au niveau de l'atelier pour cette épreuve (3 points)
- Quelles consignes donnez-vous aux candidats à l'issue de l'épreuve et pour quelles raisons ? (1 point)

QUESTION 2 : Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée (8 points)

- Donnez-en une définition. (1 point)
- Il est très important que vous sachiez l'identifier, donnez-en les signes. (3 points)
- Le prévenir, c'est en connaître les mécanismes et les facteurs favorisants. Expliquez et citez-les. (3 points)
- Et, dans le pire des cas, quelle sera la conduite à tenir ? (1 point)

QUESTION 3 : Les barotraumatismes digestifs (4 points)

Les barotraumatismes du système digestif sont relativement peu abordés dans la vie du plongeur. Pourtant, il arrive que ces incidents conduisent à des situations très inconfortables.

- Vous développerez ces différents barotraumatismes en expliquant les conditions et les fréquences d'apparition, les conséquences possibles et les conduites à tenir (3 pts)
- Vous donnerez votre avis quant à l'enseignement de ces barotraumatismes spécifiques : à quel moment doit-on les aborder dans les cursus ? (1 point)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : L'Apnée à 10 mètres (8 points)

Lors de l'épreuve plongée libre à 10m du guide de palanquée, un des candidats qui s'entraîne régulièrement à l'apnée est contrarié par le fait de devoir mettre son tuba en bouche pour faire le canard. Il décide finalement de rejoindre l'atelier en hyperventilant sur son tuba puis de l'enlever juste avant de faire son canard. Arrivé au fond, son retournement est rapide, ses gestes pas très précis et il ne semble pas très à l'aise. Il remonte rapidement, fait surface après 20 secondes, fait vaguement le signe OK et retombe sur la surface de l'eau. Il est ramené conscient vers le bateau et tousse pendant 10 minutes.

- a) Que s'est-il passé selon vous ? Expliquez en brièvement le mécanisme ? (2 points)
- *Il s'agit d'une syncope (ou d'un syndrome pré syncopal) avec inhalation d'eau*
 - *La syncope a été favorisée par l'hyperventilation qui a fait baisser le taux de CO₂ dans le sang, donc le signal d'alarme qui donne envie au plongeur de respirer.*
 - *L'O₂ a été consommé à la descente et au fond. Quand le plongeur est remonté, la baisse brutale du taux d'O₂ a engendré une syncope*
 - *La diminution du taux d'oxygène durant l'apnée a été augmentée par une petite inhalation d'eau qui limite les échanges gazeux : aquastress.*
 - *De plus, le stress de l'examen et la contrariété ont ajouté des mauvaises conditions à la réalisation de cette apnée.*
- b) Quelles sont les suites physiologiques possibles d'un tel problème ? (1 point)
- *Conséquences immédiates : noyade si pas d'intervention (1 point)*
 - *Conséquences à moyen terme : problème pulmonaire consécutif à une petite inhalation d'eau → aquastress (1 point)*
- c) Quelle est la conduite à tenir ? Quelles sont les conséquences par rapport à l'examen ? (1 point)
- *Libération des voies aériennes supérieures (L.V.A.S)*
 - *Réchauffer et rassurer (séchage, frictions, couverture),*
 - *Oxygène en inhalation,*
 - *Faire hospitaliser la victime.*
 - *La décision de médicaliser le transport sera laissée au régulateur du SAMU .*
 - *Le candidat est éliminé à l'épreuve et à l'examen.*
- d) Définir les éléments de sécurité à mettre en place au niveau de l'atelier pour cette épreuve (3 points)
- *Un moniteur au fond qui peut intervenir en cas de problème*
 - *Un moniteur équipé d'un bloc à mi profondeur qui « suit le stagiaire » en apnée dans les derniers mètres de la remontée.*

- *Un moniteur en surface, sans bloc, capable de soutenir l'apnéiste en cas d'accident, capable de lui réaliser une insufflation par le nez bouche obstruée par la main du moniteur. Le rôle premier de la sécu surface est d'éviter la noyade (maintien des voies ariennes hors de l'eau), il va pouvoir limiter les efforts physiques de la personne*
 - *Prévoir un point d'appui : planche, bouée, etc.*
- e) Quelles consignes donnez-vous aux candidats à l'issue de l'épreuve et pour quelles raisons ? (1 point)
- *Pour vérifier l'absence de syncope ou de Samba et pouvoir intervenir rapidement si besoin :*
 - *Faire le signe OK*
 - *Articuler distinctement son nom ou son N° de candidat, puis dire « je vais bien »*
 - *Rester à la disposition du jury durant 30 secondes.*
 - *Pour effectuer une surveillance retour, entre l'atelier et le bateau*
 - *Demander aux candidats d'y retourner en binôme*

QUESTION 2 : Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée (8 points)

- a) Donnez-en une définition. (1 point)
- *C'est le passage de liquide (plasma, globules rouges) provenant du sang circulant dans les capillaires pulmonaires vers les alvéoles pulmonaires (0,5 pt)*
 - *Ce passage entraîne une altération des échanges gazeux. (0,25 pt)*
 - *Cette altération provoque une hypoxie sévère. (0,25 pt)*
- b) Il est très important que vous sachiez l'identifier, donnez-en les signes. (3 points)
- *Gêne et difficulté respiratoires provoquant un essoufflement important. (0,25 pt)*
 - *Accélération des fréquences respiratoire et cardiaque. (0,5 pt)*
 - *Apparition d'une toux, de crachats mousseux et rosés. (0,5 pt)*
 - *Parfois coloration bleutée des lèvres et des extrémités. (0,5 pt)*
 - *Fatigue extrême. (0,25 pt)*
 - *Dans le cas le plus défavorable : malaise voire une perte de connaissance ou un arrêt cardio-ventilatoire. (0,5 pt)*
 - *Absence de notion de blocage de la ventilation pendant la remontée. (0,25 pt) = signe qui permet de faire la différence avec la surpression pulmonaire.*
 - *Survenue de la gêne respiratoire à la remontée entre 10 m et la surface = signe qui permet de faire la différence avec l'essoufflement qui survient plutôt au fond (0,25 pt)*

c) Le prévenir, c'est en connaître les mécanismes et les facteurs favorisants. Expliquez et citez-les. (3 points)

- Mécanisme : (1,5 pts)
 - Sous l'effet conjoint de l'augmentation de la pression ambiante et de l'apesanteur :
 - redistribution du volume sanguin avec engorgement pulmonaire et augmentation
 - des pressions sanguines dans la circulation pulmonaire : le bloodshift (0,5 pt)
 - Une augmentation de la charge pour le cœur et augmentation du débit cardiaque.
 - Un travail respiratoire plus important (0,5 pt)
 - Une mobilisation des volumes pulmonaires plus marquée qui provoque des
 - étirements des parois alvéolaires plus importants (0,25 pt)
 - L'OAP d'immersion survient à la remontée, dans les zones proches de
 - la surface car la pression ambiante diminue alors que la pression capillaire reste élevée → déséquilibre (0,25 pt)

- Facteurs favorisants : (1,5 pts)
 - Gaz plus denses, (0,25 pt)
 - Matériel respiratoire : augmentation de l'espace mort. (0,25 pt)
 - Froid, stress, effort, âge, sexe féminin ... (0, 25 pts.)
 - Hypertension artérielle, anomalie cardiaque, (0,25 pt)
 - L'hyperoxie. (0,5 pt)

- d) Et, dans le pire des cas, quelle sera la conduite à tenir ? (1 point)
 - Sortir l'accidenté de l'eau. (0,25 pt)
 - Appliquer l'oxygénothérapie au masque 15 l/mn « idem SP ou ADD », (0,5 pt)
 - Appel des secours et évacuation. (0,25 pt)

QUESTION 3 : Les barotraumatismes digestifs (4 points)

Les barotraumatismes du système digestif sont relativement peu abordés dans la vie du plongeur. Pourtant, il arrive que ces incidents conduisent à des situations très inconfortables.

- c) Vous développerez ces différents barotraumatismes en expliquant les conditions et les fréquences d'apparition, les conséquences possibles et les conduites à tenir (3 pts)
- **Barotraumatisme des intestins**
 - Conditions d'apparition : consécutif à la fermentation d'aliments et à la genèse de gaz pendant la plongée qui se dilatent à la remontée.
 - Fréquence : rare, uniquement pour les plongées longues
 - Conséquence : douleurs abdominales aiguës
 - CAT : évacuer par les voies naturelles
 - **Barotraumatisme de l'estomac**
 - Consécutif à une ingestion d'air et à un blocage du sphincter supérieur de l'estomac (cardia)
 - Fréquence : rare, nécessite qu'il y ait suffisamment d'air dans l'estomac pour que cela bloque la sortie de l'air à la remontée

- *Conséquences : douleurs aiguës*
 - *CAT : stopper la remontée puis remontée lente.*
- d) Vous donnerez votre avis quant à l'enseignement de ces barotraumatismes spécifiques : à quel moment doit-on les aborder dans les cursus ? (1 point)
- *Le barotraumatisme des intestins ne pourra toucher que les plongées très longues et donc ne concerne pas la plongée loisir. Il pourra être abordé sur des cursus spécifiques tels que l'utilisation de combinaison étanche ou la plongée en circuit fermé.*
 - *La surpression stomacale est rare. Elle pourra donc être abordée lors du cursus du guide de palanquée, même si le contenu de l'enseignement reste très léger*
 - *Remarque (non demandée à l'examen) la rupture de l'estomac peut en théorie toucher les débutants qui ne contrôlent pas leur ventilation, cependant les cas recensés sont survenus en majorité chez des plongeurs expérimentés pour des plongées de courtes durée dans la zone des 40 mètres*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée 1h30 Coefficient 4

Sujet 1 Le froid (7 points)

Résidant dans les Alpes, vous êtes habitué à plonger en lac dans des conditions climatiques parfois difficiles. Vous prenez en charge Elsa, une stagiaire MF1 originaire de la Réunion qui vient d'arriver dans la région suite à une mutation professionnelle.

- Indiquez les différents types de perte de chaleur au cours de l'immersion. (2 points)
- Décrivez ensuite les mécanismes d'adaptation de l'organisme face au froid. (3 points)
- Précisez les différences d'adaptation de l'organisme de l'enfant face au froid ainsi que les recommandations fédérales par rapport à cela. (2 points)

Sujet 2 : L'entraînement physique (6 points)

Votre club compte 4 stagiaires GP. Elsa et 2 autres stagiaires MF1 seront en charge de leur formation. Ils vous demandent de leur donner quelques informations sur la préparation physique.

- Définissez les différentes filières énergétiques avec leurs caractéristiques (délai de mise en route, puissance développée, durée et facteurs limitants). (2 points)
- Indiquez pour les différentes épreuves du GP les filières mises en œuvre. (1 point)
- Proposez un programme d'entraînement pour les candidats GP dans le cadre d'une formation sur 6 mois. Pour chaque période de travail, vous préciserez sa durée, les filières travaillées, le nombre de séances par semaine, les objectifs principaux, le type d'exercice. (3 points)

Sujet 3 : La narcose (7 points)

Après sa première plongée au lac dans la zone des 40 mètres, Elsa vous avoue avoir ressenti les effets de la narcose. Vous profitez de l'occasion pour retravailler avec elle sur ce thème.

- En vous appuyant sur vos connaissances physiologiques, expliquez les causes de la narcose. (3 points)
- Décrivez les manifestations de cette narcose chez le plongeur. (1 point)
- Citez les facteurs favorisant de la narcose. (1 point)
- Donnez à votre stagiaire pédagogique des conseils pour :
 - prévenir la narcose chez ses plongeurs. (1 point)
 - réagir en cas de narcose d'un de ses élèves. (1 point)

REFERENTIEL DE CORRECTION

Sujet 1 Le froid (7 points)

Résidant dans les Alpes, vous êtes habitué à plonger en lac dans des conditions climatiques parfois difficiles. Vous prenez en charge Elsa, une stagiaire MF1 originaire de la Réunion qui vient d'arriver dans la région suite à une mutation professionnelle.

a) Indiquez les différents types de perte de chaleur au cours de l'immersion. (2 points)

- *Pertes par conduction : transfert de chaleur par contact direct entre des solides ou des liquides immobilisés, c'est à dire de la surface de la peau vers l'eau. Comme l'eau est environ 25 fois plus conductrice que l'air, les pertes de chaleur sont beaucoup plus importantes dans l'eau.*
- *Pertes par convection : transfert de chaleur entre l'organisme et l'eau en mouvement. (exemples : nageur qui évolue sans combinaison ou combi trop grande, etc...)*
- *Pertes par la ventilation : échanges par convection et évaporation. L'air expiré est humide et tiède (37°), tandis que l'air inspiré est sec et froid, en raison de la détente de l'air. La quantité de chaleur perdue dépendant du gradient de température entre l'organisme et les fluides environnants. Cette perte est non négligeable.*

b) Décrivez ensuite les mécanismes d'adaptation de l'organisme face au froid. (3 points)

- *La peau est dotée de récepteurs thermosensibles qui vont transmettre des informations au cerveau aux centres de la thermogénèse, l'hypothalamus). Cette stimulation va provoquer une augmentation de la production de chaleur et une diminution des pertes de calories.*
- *La lutte contre le froid s'effectue sur deux axes :*
- *Augmentation de la production de chaleur (augmentation de la thermogénèse)*
 - ✓ *Frissons, tremblements, horripilation des poils (chair de poule) : il s'agit de contractions musculaires saccadées ayant pour but de produire de la chaleur. Ces réactions sont peu efficaces (réflexes archaïques), et produisent du CO₂ qu'il va falloir éliminer*
 - ✓ *Augmentation de la ventilation : elle intervient rapidement après l'agression thermique. Elle vise à augmenter la quantité d'O₂ disponible pour permettre l'oxydation des réserves en glycogène de notre organisme, accroître la production calorifique, et éliminer le surplus de CO₂ engendré par les frissons.*
 - ✓ *Augmentation du métabolisme cellulaire.*
- *Limitation de la perte de chaleur (baisse thermolyse)*
 - ✓ *Vasoconstriction périphérique : l'eau est bien meilleure conductrice de chaleur que l'air, le corps se refroidit donc plus vite dans l'eau que dans l'air. Pour contrer cette perte de chaleur, l'organisme provoque une vasoconstriction des vaisseaux périphériques en contact avec le froid pour éviter que le sang ne refroidisse trop rapidement les organes nobles.*
 - ✓ *Position repliée sur lui-même du corps : pour diminuer la surface d'échanges*
 - ✓ *Diminution des mouvements pour diminuer les courants de convection.*

c) Précisez les différences d'adaptation de l'organisme de l'enfant face au froid ainsi que les recommandations fédérales par rapport à cela. (2 points)

➤ Différences d'adaptation

- ✓ Comparé à un adulte, l'enfant a une surface corporelle plus grande par rapport à sa masse et une masse adipeuse souvent faible, ce qui augmente sa déperdition calorifique par augmentation des échanges.
- ✓ Le refroidissement est compensé par une thermogénèse plus élevée et une réaction vasoconstrictrice plus rapide et plus importante, mais lorsque la température de l'eau est inférieure à 34°, le bilan thermique devient défavorable.
- ✓ La respiration peut devenir rapidement superficielle et inefficace avec risque d'essoufflement.

➤ Recommandations fédérales pour la plongée enfant

- ✓ Pas de plongée si la température de l'eau est inférieure à 12°,
- ✓ Durée limitée à 25 minutes de plongée si la température de l'eau est inférieure à 23°,
- ✓ Port d'une combinaison adaptée avec cagoule, chaussons, gants ...
- ✓ Hygiène de vie alimentaire : repas calorifique, boisson chaude.

Sujet 2 : L'entraînement physique (6 points)

Votre club compte 4 stagiaires GP. Elsa et 2 autres stagiaires MF1 seront en charge de leur formation. Ils vous demandent de leur donner quelques informations sur la préparation physique.

a) Définissez les différentes filières énergétiques avec leurs caractéristiques (délai de mise en route, puissance développée, durée et facteurs limitants). (2 points)

Filière énergétique	Délai	Puissance	Durée d'action	Facteur limitant
Anaérobie phosphagène = Anciennement « anaérobie alactique »	aucun	Efforts très intenses	De 3 à 10 secondes selon l'intensité de l'effort	Épuisement des réserves de créatine phosphate
Anaérobie glycolytique = Anciennement « anaérobie lactique »	10 secondes	Efforts assez importants	De 10 secondes à 3 minutes	Acidose
Aérobie	2 à 3 minutes	Efforts d'intensité moyenne	Illimité en théorie	VO2 max Fatigue musculaire Épuisement des réserves de glucose

b) Indiquez pour les différentes épreuves du GP les filières mises en œuvre. (1 point)

- 800m PMT : effort d'intensité moyenne sur une durée importante donc filière aérobie. Intervention de la filière anaérobie glycolytique car chrono
- 500m capelé : effort plus important que la nage PMT car cette épreuve impose une charge supplémentaire au nageur (poids du bloc, lestage, résistance à l'avancement causée par le gilet et l'équipement) donc sollicitation de la filière aérobie à une intensité supérieure, proche du seuil ventilatoire 2. Intervention de la filière anaérobie glycolytique.

- *Mannequin : nage avant l'apnée : filière aérobie, puis filière aérobie et filière anaérobie glycolytique pendant le tractage.*
- *Le seuil ventilatoire n'est pas une filière les différentes filières sont utilisées dans des proportions plus ou moins importantes.*

d) Proposez un programme d'entraînement pour les candidats GP dans le cadre d'une formation sur 6 mois. Pour chaque période de travail, vous préciserez sa durée, les filières travaillées, le nombre de séances par semaine, les objectifs principaux, le type d'exercice. (3 points)

(Un programme trop précis comme référentiel n'autorise pas d'autres réponses qui seraient correctes elles aussi).

- *Trois cycles de 2 mois : en alternant des phases de travail avec des phases de récupération.*
- *Proposer 3 séances par semaine, 48 h de récup entre chaque séance*
- *Premier cycle : le foncier*
 - ✓ *Le travail est basé sur la filière aérobie, phase commune pour la préparation de toutes les épreuves.*
 - ✓ *Intensité de travail relativement faible : fréquence cardiaque de travail comprise entre 60 et 70% de la fréquence cardiaque de réserve (à peu près entre 130 et 150 c/m)*
 - ✓ *Augmentation progressive des distances et durée*
 - ✓ *Travail sur des distances supérieures à celles des épreuves d'examen (de 1600m à 300 m en fin de période).*
 - ✓ *Travail en continu : parcourir les distances sans s'arrêter, en conservant la même intensité. Augmenter progressivement les distances et la durée.*
 - ✓ *En fractionné : conserver la même distance ou durée d'effort et introduire de courtes phases de récupération : 5 à 30 secondes ou des durées plus longues en récupération active.*
- *Deuxième cycle : foncier et intensité*
 - ✓ *Continuer le travail de la filière aérobie et ajouter des séances de travail au seuil ventilatoire 2 (seuil aérobie-anaérobie) et dans la filière anaérobie*
 - ✓ *Augmentation progressive de l'intensité de travail : fréquence cardiaque de travail entre 60 et 90% de la fréquence cardiaque de réserve*
 - ✓ *Travail en fractionné ou en continu : privilégier le travail des membres inférieurs*
 - ✓ *Diminuer les distances parcourues lorsque l'intensité de l'effort augmente*
- *Troisième cycle : pré-examen*
 - ✓ *Diminution de la quantité de travail consacrée à la filière aérobie*
 - ✓ *Le travail au seuil ventilatoire 2 devient l'objectif principal*
 - ✓ *Travail de plus en plus spécifique : on travaille le plus possible dans les conditions réelles de l'examen : travail chronométré sur les distances de l'examen, avec l'équipement qui sera utilisé*
 - ✓ *Importance de la récupération pour éviter tout phénomène de fatigue importante*

Sujet 3 : La narcose (7 points)

Après sa première plongée au lac dans la zone des 40 mètres, Elsa vous avoue avoir ressenti les effets de la narcose. Vous profitez de l'occasion pour retravailler avec elle sur ce thème.

- a) En vous appuyant sur vos connaissances physiologiques, expliquez les causes de la narcose. (3 points)**

- *Les narcoses surviennent principalement lors de plongées profondes. La pression environnante augmentant, la pression partielle de l'azote augmente en application de la loi de Dalton.*
- *La narcose, aussi nommée ivresse des profondeurs, est due à l'excès d'azote qui agit sur le système nerveux en entraînant des troubles du comportement.*
- *Les gaz inertes interagiraient directement sur les protéines de la membrane cellulaire, par action sur les protéines réceptrices des neurotransmetteurs dans certaines synapses du système nerveux central. En modifiant la transmission synaptique, ils perturbent la transmission des messages nerveux dans les neurones cérébraux, avec pour conséquence le ralentissement de l'activité motrice et des perturbations de la réflexion.*

b) **Décrivez les manifestations de cette narcose chez le plongeur. (2 points)**

La narcose entraîne des troubles du comportement qui diffèrent d'un individu à l'autre. La sensibilité par rapport à la narcose n'est pas la même pour tout le monde, ni la même d'un jour sur l'autre. Les sujets les plus sensibles peuvent ressentir les effets de la narcose dès 30/40 mètres. En revanche, à partir de 60 m, tous les plongeurs sont narcosés y compris ceux qui prétendent le contraire !

- *Dans les effets de la narcose, on peut citer :*
 - ✓ *troubles de l'idéation : baisse des facultés d'attention, de concentration, de raisonnement*
 - ✓ *troubles de l'humeur : euphorie ou au contraire angoisse pouvant conduire à des comportements inadaptés voire dangereux*
 - ✓ *troubles de la perception (vision et audition) : vision à effet tunnel (le plongeur a l'impression de voir les choses au bout d'un tunnel), impression de déséquilibre, acouphènes,*
 - ✓ *troubles moteurs : incoordination motrice, perte de dextérité manuelle*
 - ✓ *désorientation temporo-spatiale : disparition de la notion de durée,*

c) **Citez les facteurs favorisant de la narcose. (1 point)**

- *Sont considérés comme facteurs aggravants :*
 - ✓ *le froid,*
 - ✓ *la consommation d'alcool,*
 - ✓ *la consommation de drogue,*
 - ✓ *le stress,*
 - ✓ *la fatigue,*
 - ✓ *Les efforts.*

d) **Donnez à votre stagiaire pédagogique des conseils pour : (1 point)**

- **prévenir la narcose chez ses plongeurs. (0,5 point)**
- **réagir en cas de narcose d'un de ses élèves. (0,5 point)**
- *La seule prévention effective (hors plongée aux mélanges) est la limitation de la profondeur de plongée.*
- *L'absence de facteurs favorisant et l'accoutumance progressive à la profondeur permettent de prévenir ou limiter l'apparition et les effets de la narcose.*
- *L'attitude à avoir face à un plongeur victime d'une narcose est de le faire remonter à une profondeur moindre pour faire diminuer la pression partielle de l'azote. Les effets se dissipent assez rapidement. Une narcose peut provoquer une amnésie et certains plongeurs ne se souviennent pas du comportement qu'ils ont pu avoir au moment de la narcose.*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient

Question 1 : La plongée profonde (7 points)

Vous êtes chargé par le président de votre club de préparer un stage de 4 jours, destiné à 6 plongeurs niveau 3, sur le thème de la plongée profonde entre 40 et 60 mètres

- Indiquez les différentes causes et symptômes de la narcose. (3 pts)
- Indiquez les différentes précautions à prendre pour prévenir ce risque. (1,5 pt)
- Proposez votre planning de stage en justifiant vos choix. (Nb : la plongée de réadaptation a déjà été effectuée) (2,5 pts)

Question 2 : Les vertiges en plongée (6 pts)

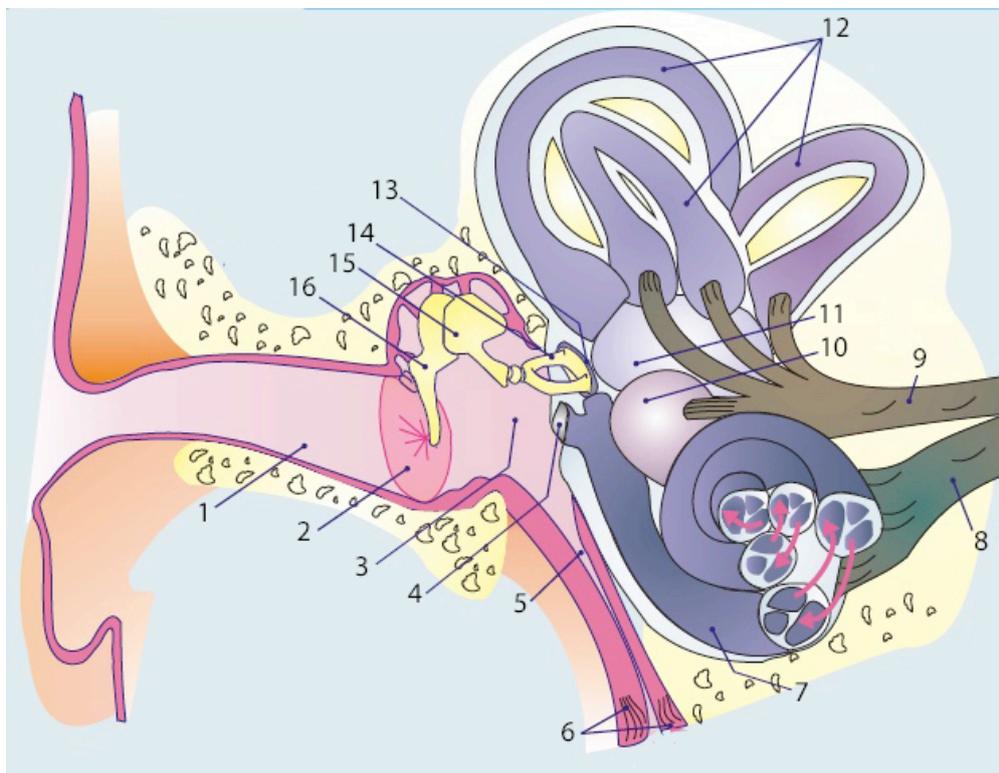
- Légendez le schéma sur l'annexe 1 (2pts)
- Quels éléments physiologiques de l'oreille interne interviennent dans l'équilibre ? Expliquez leur rôle. (2 pts)
- Citez les différents types de vertiges qui peuvent survenir en plongée? (2 pts)

Question 3 : La formation à l'épreuve d'apnée du MF2 (7 points)

Dans le cadre d'une formation MF2, on vous confie 6 élèves qui ont des difficultés à effectuer l'apnée à 15m.

- Quels sont les types d'accidents liés à cette activité ? Expliquez ce qu'est l'hyperventilation. Donnez en les conséquences (2 pts).
- Comment, dans votre organisation et vos consignes, pouvez-vous prévenir ces accidents ? (3 pts)
- Quelles sont les erreurs les plus marquantes chez les plongeurs scaphandre qui ne parviennent pas à effectuer cette apnée ? Comment pouvez-vous les faire progresser ? (2 pts)

ANNEXE 1 Complétez les annotations du schéma ci joint



1 :	9 :
2 :	10 :
3 :	11 :
4 :	12 :
5 :	13 :
6 :	14 :
7 :	15 :
8 :	16 :

REFERENTIEL DE CORRECTION

Question 1 : La plongée profonde (7 points)

Vous êtes chargé par le président de votre club de préparer un stage de 4 jours, destiné à 6 plongeurs niveau 3, sur le thème de la plongée profonde entre 40 et 60 mètres

a) Indiquez les différentes causes et symptômes de la narcose. (3 pts)

Causes : (1 pt)

En plongée à l'air, le gaz impliqué est l'azote mais le CO₂ à un rôle facilitateur (ex : narcose lors de l'essoufflement). Les gaz inertes interagiraient avec les neurotransmetteurs et les récepteurs présents dans les synapses de neurones situés dans certaines zones du cerveau impliquées dans la coordination des processus moteurs et cognitifs. Les perturbations des neurotransmetteurs concernés (GABA, Glutamate et Dopamine) entraînent un ralentissement global de ces fonctions. (NB : l'hypothèse dite « lipidique » est actuellement considérée comme obsolète)

Symptômes : (2 pts)

- Troubles de l'idéation : détérioration des facultés d'attention, de concentration, d'abstraction, de raisonnement ; difficultés à anticiper*
- Désorientation temporo-spatiale : incapacité à évaluer l'écoulement du temps*
- Troubles mnésiques : défaillance de la mémoire immédiate*
- Troubles de la perception et hallucinations : altération des perceptions visuelles et auditives (intensification), appréhension perturbée de la douleur (hypoalgésie), hallucinations visuelles mais aussi auditives (flash, phénomènes de réverbération sonore)*
- Troubles psychomoteurs et intellectuels : détérioration de la dextérité manuelle et de la coordination (gestes fins difficiles à réaliser)*
- Troubles de l'humeur (euphorie, anxiété) pouvant conduire à des comportements aberrants voire dangereux*

b) Indiquez les différentes précautions à prendre pour prévenir ce risque. (1,5 pt)

- L'entraînement par accoutumance progressive à la pression partielle d'azote permettrait transitoirement une meilleure résistance.*
- Effectuer sa plongée de réadaptation annuelle sans risque narcotique : moins de 30m*
- Favoriser une vitesse de descente lente après 40m, privilégier la position tête en haut à partir de cette profondeur*
- L'entraînement physique, l'absence de fatigue et de stress sont également des points importants afin de favoriser la prévention du risque. Il en va de même pour le repos quotidien et plus généralement l'hygiène de vie.*
- Utiliser du Trimix à partir de 30 ou 40 m*

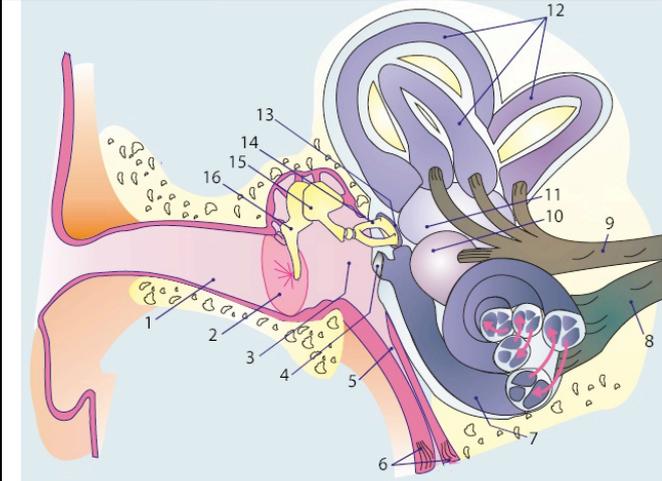
c) Proposez votre planning de stage en justifiant vos choix. (Nb : la plongée de réadaptation a déjà été effectuée) (2,5 pts)

• *Doit apparaître sur le planning :*

- *Une première plongée autour de 40m avec immersion lente tête en haut*
- *Une augmentation de profondeur de 5m par jour environ*
- *Une seule plongée par jour à plus de 40m et un intervalle d'au moins 6h si deuxième plongée à 30m l'après midi.*
- *Immersions et descentes progressives avec tête en bas. Apprentissage du contrôle de la vitesse de descente et de la prise en compte du binôme.*
- *L'accent doit être mis sur l'apprentissage d'une descente contrôlée avec une arrivée quasiment stabilisé : stabilisation rapide*

Question 2 : Les vertiges en plongée (6 pts)

a) Légendez le schéma sur l'annexe 1 (2pts)

	<p>1 : conduit auditif externe 2 : tympan 3 : oreille moyenne 4 : fenêtré ronde 5 : trompe d'Eustache 6 : muscles péristaphylins 7 : cochlée 8 : nerfs cochléaire</p>	<p>9 : nerf vestibulaire 10 : Saccule 11 : utricule 12 : canaux semi circulaires 13 : fenêtré ovale 14 : étrier 15 : enclume 16 : marteau</p>
---	---	---

b) Quels éléments physiologiques de l'oreille interne interviennent dans l'équilibre ? Expliquez leur rôle. (2 pts)

- *Les 3 canaux semi-circulaires sont disposés perpendiculairement et couvrent les 3 plans de l'espace. Ils possèdent chacun à leur extrémité une zone contenant des cellules sensorielles ciliées qui renseignent sur les mouvements et sur l'accélération de la tête dans l'espace.*
- *L'utricule et le saccule contiennent une multitude de cellules sensorielles sensibles à l'action de la gravité et renseignent sur la position de la tête dans l'espace.*

c) Citez les différents types de vertiges qui peuvent survenir en plongée ? (2 pts)

- *Vertiges transitoires :*
 - *Perforation :*
 - *Ancienne : par stimulation asymétrique de l'eau froide*
 - *Récente : par barotraumatisme récent*
 - *Par bouchon de cérumen unilatéral*
- *Vertiges durables : exceptionnels*
 - *Le coup de piston : par Valsalva forcé, trop tardif*
 - *La rupture des fenêtres rondes et /ou ovales*
- *Vertiges a la remontée*
 - *Vertiges transitoires*
 - *Hyper extension cervicale*
 - *Vertige alterno barique*
 - *Vertiges durables = ADD*

Question 3 : La formation à l'épreuve d'apnée du MF2 (7 points)

Dans le cadre d'une formation MF2, on vous confie 6 élèves qui ont des difficultés à effectuer l'apnée à 15m.

a) Quels sont les types d'accidents liés à cette activité? Expliquez ce qu'est l'hyperventilation. Donnez en les conséquences (2 pts)

- *Type d'accidents :*
 - *Samba ou PCM (perte contrôle moteur)*
 - *Syncope hypoxique ou anoxique*
 - *Barotraumatismes de la sphère ORL*
 - *Hypothermie*
- *Hyperventilation :*
 - *Principe : faire baisser la PaCO₂ en forçant sur l'expiration afin de commencer son apnée avec un taux inférieur et pouvoir la prolonger en diminuant l'envie d'inspirer. (remarque : courbe avec explications acceptées).*
 - *Conséquences : le réflexe inspiratoire est décalé, ce qui permet de diminuer l'envie de respirer. Gros risque de rentrer dans un taux d'O₂ faible, atteinte du seuil hypoxique et syncope à la remontée ou en surface.*

b) Comment, dans votre organisation et vos consignes, pouvez-vous prévenir ces accidents ? (3 pts)

- Organisation

- Mise en place d'un échauffement suivi d'un temps de repos avant le début de l'activité.
- Système de binôme exigé et contrôlé.
- Augmentation de la profondeur petit à petit
- Mise en place :
 - Soit d'un plongeur au fond (pour évaluer l'aisance et la bonne réalisation de l'épreuve), d'un plongeur à mi-profondeur (si nécessaire) et d'une personne en surface (chargé d'assurer la sécurité en surface).
 - Soit d'une organisation « type apnée » où le moniteur descend avec chaque élève.
- Rappeler les consignes de sécurité (voir consignes)
- Surveiller le retour au bateau de l'apnéiste qui vient de terminer son apnée.

- Consignes

- S'échauffer par binôme
- Pas de tuba à la remontée
- Ne pas lâcher de bulles durant l'apnée
- Position de la tête à la remontée (dans l'axe du buste)
- Compenser les oreilles avant le canard
- Prévention de la samba et de la syncope hypoxique :
 - Ventilation de préparation adaptée sans hyperventilation
 - relaxation mentale et physique
 - ventilation de récupération maîtrisée (au moins 4 grandes inspirations)
- Maîtrise technique
 - propulsion, canard
 - contrôle lestage
 - dégagement rapide du fond

- Barotraumatismes :

- Sinus et oreilles (rhumes, sinusites, voir médecin)
- Explication détaillée des différentes techniques de compensation
- Exercices effectués tête en haut pour essayer ces différentes méthodes

- Hypothermie :

- Séance à écourter si température de l'eau est basse
- Combinaison adaptée
- Bonne coordination afin de limiter les temps d'attentes entre apnées

c) Quelles sont les erreurs les plus marquantes chez les plongeurs scaphandre qui ne parviennent pas à effectuer cette apnée ? Comment pouvez-vous les faire progresser ? (2 pts)

Erreurs :

- *Mauvaise position du corps avec perte de fluidité et d'hydrodynamisme*
- *Palmage tout au long de la remontée*
- *Pas d'amplitude dans le palmage*
- *Canard « boiteux » avec flexion des genoux*
- *Manque de verticalité (position tête et regard vers le fond)*
- *Souffler des bulles à la remontée*
- *Blocage quant à la profondeur*
- *Ne suit pas le boot sous la bouée et n'a donc pas de repères*

Comment les faire progresser :

- *Travail de la verticalité (position tête, yeux fermés) avec immersion libre et ensuite en poids constant*
- *Travail du palmage de sustentation en surface pour développer l'amplitude*
- *Travail de canard avec mouvement de brasse avec les bras (objectif d'atteindre 4 -5 m)*
- *Profondeur de 15 m à atteindre en immersion libre puis en poids constant*
- *Travail autour de la bouée, ou se placer en fonction du courant, ou faire son canard, ne voir que le bout pendant la descente et la remontée*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1 : Les effets narcotiques de l'air en plongée (6 points)

Une des spécificités du MF2 réside dans ses prérogatives d'encadrement de plongeurs au-delà de 40 mètres. Dans cette zone, le risque de narcose ne peut être négligé.

1. Quelles sont les manifestations de la narcose à l'azote ? (2 pts)
2. Les mécanismes de la narcose à l'azote. (2 pts)
 - a) Expliquez le mécanisme de la transmission de l'influx nerveux dans le cerveau.
 - b) Expliquez le rôle de l'azote dans la manifestation du syndrome narcotique.
3. Quelle est la conduite à tenir face à un plongeur qui manifeste des symptômes de narcose ? Quels conseils donneriez-vous à un plongeur PE60 pour limiter le risque de narcose ? (2 pts)

QUESTION N°2 : Préparation physique du plongeur candidat GP-N4 (7 points)

Vous êtes MF2 et responsable de la préparation physique des plongeurs candidats à l'examen GP-N4. Vous proposez une séance qui démarre de la façon suivante :

- Echauffement :
 - 600 mètres PMT (souple)
 - 2 x (50 mètres PMT accélération progressive + 100 mètres PMT récupération)
 - Séance comprenant à la fin la série suivante :
 - 8 x (50 mètres PMT - rythme soutenu - récupération 30 secondes)
 - 200 mètres PMT récupération
 - Récupération : 10 min (souple)
1. Dans cette séance, la série cible particulièrement l'entraînement dans une filière énergétique précise : laquelle ? Donnez ses caractéristiques (substrat utilisé, puissance, durée d'action, facteur limitant). (2pts)
 2. Sur quels principes d'entraînement repose cette séance ? (2 pts)
 3. Plus globalement, présentez les grandes périodes (cycles) de la planification que vous envisagez dans le cadre de la préparation physique d'un candidat au GP-N4 (filières sollicitées, intensité, volume d'entraînement.). (3 pts)

QUESTION N°3 : le froid en plongée (7 points)

1. En plongée, quelles sont les contraintes, liées au froid, subies par l'organisme ? (1 pt)
2. Quels sont les mécanismes de lutte contre le froid, mis en œuvre par l'organisme ? (2 pts)
3. Selon vous, quels sont les éléments de prévention des risques d'une exposition au froid ? (2 pts)
4. Chez l'enfant, le froid est un des principaux facteurs limitant la durée de la plongée. Expliquez pourquoi. (2 pts)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1 : Les effets narcotiques de l'air en plongée (6 points)

Une des spécificités du MF2 réside dans ses prérogatives d'encadrement de plongeurs au-delà de 40 mètres. Dans cette zone, le risque de narcose ne peut être négligé.

1. Quelles sont les manifestations de la narcose à l'azote ? (2 pts)

A partir de 30 mètres, la pression partielle d'azote importante dans l'air respiré peut déclencher le syndrome de « narcose ». Les manifestations associées s'amplifient avec l'accroissement de la profondeur et disparaissent à la remontée lorsque la pression partielle d'azote de l'air délivré par le détendeur diminue. (0,5 pt) :

- Troubles de l'idéation : détérioration des facultés d'attention, de concentration, d'abstraction, de raisonnement ; difficultés à anticiper (0,25 pt)*
- Désorientation temporo-spatiale : incapacité à évaluer l'écoulement du temps (0,25 pt)*
- Troubles mnésiques : défaillance de la mémoire immédiate (0,25 pt)*
- Troubles de la perception et hallucinations : altération des perceptions visuelles et auditives (intensification), appréhension perturbée de la douleur (hypoalgésie), hallucinations visuelles mais aussi auditives (flash, phénomènes de réverbération sonore,) (0,25 pt)*
- Troubles psychomoteurs et intellectuels : détérioration de la dextérité manuelle et de la coordination (gestes fins difficiles à réaliser) (0,25 pt)*
- Troubles de l'humeur (euphorie, anxiété) pouvant conduire à des comportements aberrants voire dangereux (0,25 pt)*

2. Les mécanismes de la narcose à l'azote. (2 pts)

a) Expliquez le mécanisme de la transmission de l'influx nerveux dans le cerveau.

Le siège de l'action narcotique de l'azote est le cerveau, qui peut se décrire comme un enchevêtrement de cellules nerveuses : les neurones. Le signal nerveux circule le long de ces cellules qui sont interconnectées entre elles par des synapses. (0,5 pt)

La transmission du signal s'explique à la fois par un phénomène électrique (propagation d'une onde de dépolarisation par différence de potentiel transmembranaire, le long de la paroi des neurones), et par un phénomène biochimique (transmission synaptique, par libération de neurotransmetteurs au niveau de la jonction entre deux neurones) (0,5 pt)

b) Expliquez le rôle de l'azote dans la manifestation du syndrome narcotique.

La théorie qui s'impose pour expliquer les mécanismes de la narcose à l'azote est assez récente puisqu'elle date des années 1960 (R. FEATHERSTONE) : à forte pression, l'azote se lie directement à un site protéique des récepteurs membranaires et perturbe l'action de certains neurotransmetteurs, et donc la transmission synaptique (théorie protéique). (0,5 pt)

Par ailleurs, l'effet potentialisateur du CO₂ est désormais reconnu : si la rétention de CO₂ accompagne l'augmentation de la pression partielle d'azote, l'intensité du syndrome peut s'en trouver fortement augmentée (effets additionnels N₂+CO₂). (0,5 pt)

3. Quelle est la conduite à tenir face à un plongeur qui manifeste des symptômes de narcose ? Quels conseils donneriez-vous à un plongeur PE60 pour limiter le risque de narcose ? (2 pts)

En cas de narcose, il est primordial de faire diminuer la pression partielle d'azote de l'air respiré : prendre en charge le plongeur en difficulté et quitter la zone profonde en contrôlant la vitesse de remontée afin d'éviter le sur-accident. (1 pt)

Pour prévenir le risque de narcose :

- *Pratiquer progressivement et régulièrement dans les zones au-delà de 30 mètres (0,25 pt)*
- *Contrôler la vitesse de descente : ne pas dépasser 30 mètres/minute (0,25 pt)*
- *Adapter la position du corps lors de la descente : la position tête en bas peut favoriser la narcose : privilégier la descente pieds les premiers ou à plat-ventre « parachutiste » (0,25 pt)*
- *Limiter l'exercice musculaire : effet potentialisateur du CO₂ (0,25 pt)*
- *Plonger en bonne forme physique et psychique.*

QUESTION N°2 : Préparation physique du plongeur GP-N4 (7 points)

Vous êtes MF2 et responsable de la préparation physique des plongeurs candidats à l'examen GP-N4. Vous proposez une séance qui démarre de la façon suivante :

- Echauffement :
 - 600 mètres PMT (souple)
 - 2 x (50 mètres PMT accélération progressive + 100 mètres PMT récupération)
- Séance comprenant à la fin la série suivante :
 - 8 x (50 mètres PMT - rythme soutenu - récupération 30 secondes)
 - 200 mètres PMT récupération
- Récupération : 10 min (souple)

1. Dans cette séance, la série cible particulièrement l'entraînement dans une filière énergétique précise : laquelle ? Donnez ses caractéristiques (substrat utilisé, puissance, durée d'action, facteur limitant). (2 pts)

La série cible plus spécifiquement la filière anaérobie glycolytique. (1 pt)

Substrat utilisé : glucose - Puissance : sub-maximale - Durée : < 3 minutes - Facteur limitant : l'acidose (l'hydrolyse productrice d'énergie libère des ions H⁺ responsables de l'acidose). (1 pt)

2. Sur quels principes d'entraînement repose cette séance ? (2 pts)

- *L'objectif recherché est de faire reculer l'apparition de l'acidose et d'entraîner l'organisme à mobiliser ses lactates et substances tampons plus efficacement. (0,5 pt)*
- *L'intensité doit correspondre à une fréquence cardiaque d'environ 95% de la FC de réserve et la durée de l'effort doit se limiter à 2 ou 3 minutes maximum. (0,25 pt)*
- *La récupération doit être suffisante pour permettre d'enchaîner, mais incomplète pour forcer l'organisme à mettre en œuvre les adaptations nécessaires. (0,25 pt)*
- *Dans les séries, la récupération doit être passive, afin de créer l'acidose. (0,5 pt)*
- *Hors des séries, la récupération doit être active, afin de solliciter le métabolisme des lactates. (0,5 pt)*

3. Plus globalement, présentez les grandes périodes (cycles) de la planification que vous envisagez dans le cadre de la préparation physique d'un candidat au GP-N4 (filières sollicitées, intensité, volume d'entraînement.) (3 pts)

- *Cycle 1 - volume : le travail est basé essentiellement sur la filière aérobie, avec une intensité de travail faible et un volume d'entraînement qui augmente progressivement. (1 pt)*

- Cycle 2 - intensité et volume : le travail doit augmenter progressivement en intensité dans la filière anaérobie et au seuil ventilatoire 2 (intensité maximale de la voie aérobie, avant de solliciter la filière anaérobie glycolytique). Poursuivre également le travail de la filière aérobie (1 pt)
- Cycle 3 - intensité et travail spécifique : travail au seuil ventilatoire 2. Importance de la récupération entre les séances intensives (2 à 3 jours). La spécialisation est grande : travail en conditions d'examen et en milieu naturel (si possible). A ce stade il est essentiel de préserver les capacités pour l'examen et/ou le stage en limitant l'intensité. (1 pt)

QUESTION N°3 : le froid en plongée (7 points)

1. En plongée, quelles sont les contraintes, liées au froid, subies par l'organisme ? (1 pt)
L'homme est un homéotherme : sa température centrale doit rester relativement stable, autour de 37°C, malgré les variations possibles de la température de son environnement. Cependant, compte tenu de la conductivité thermique de l'eau qui est environ 25 fois plus grande que celle de l'air, la neutralité thermique d'un corps nu en mouvement dans l'eau est atteinte pour des températures d'environ 33°C (contre 26°C dans l'air). Dans l'eau, le plongeur est donc soumis à des échanges thermiques très intenses. (1 pt)
2. Quels sont les mécanismes de lutte contre le froid, mis en œuvre par l'organisme ? (2 pts)
En plongée, les réponses thermorégulatrices mises en œuvre par l'organisme ont 2 objectifs :
 - La diminution de la thermolyse (limitation des pertes de chaleur) par une vasomotricité artérielle et veineuse qui redistribue le volume sanguin en faveur du territoire vasculaire central (thorax et abdomen). Cette vasoconstriction périphérique vient donc majorer les effets vasculaires de l'immersion. (1 pt)
 - L'augmentation de la thermogénèse (production de chaleur) par l'intensification du métabolisme cellulaire, puis par les frissons (contractions musculaires involontaires et augmentation de la glycolyse anaérobie). (1 pt)
3. Selon vous, quels sont les éléments de prévention des risques d'une exposition au froid ? (2 pts)
 - *Port d'un vêtement adapté avec cagoule, gants et chaussons (0,5 pt)*
 - *Apports énergétiques suffisants (repas adaptés, boissons chaudes,) (1 pt)*
 - *Adaptation progressive de l'organisme au froid (p.e : se mouiller la face avant l'immersion) (0,5 pt)*
4. Chez l'enfant, le froid est un des principaux facteurs limitant la durée de la plongée. Expliquez pourquoi. (2 pts)
L'enfant maintient aussi bien sa température centrale que l'adulte. Sa particularité réside dans le fait qu'il présente un rapport surface corporelle/poids, plus grand et une protection adipeuse plus mince. (1 pt) Ces particularités sont compensées par des réponses thermorégulatrices plus intenses (thermogénèse plus élevée et réactions vasoconstrictrices plus rapides) mais moins durables dans le temps. Cela explique les limitations en durée d'exposition, pour les plus jeunes, lorsque les températures sont basses. (1 pt)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée 1h30 Coefficient 4

1) La syncope anoxique en apnée (8 pts)

- a. Après avoir défini ce terme, vous exposerez les mécanismes qui y conduisent.
- b. Vous conseillez deux préparants MF2. Dressez-leur un tableau des signes ressentis (par le candidat) et visibles (par le jury), annonciateurs d'une syncope anoxique.
- c. Quels conseils de prévention leur donnerez vous pour leur préparation à l'épreuve de l'apnée à 15m, afin d'éviter cet accident ?

2) Le froid en plongée (7 pts)

Vous organisez un stage de préparation niveau 4 au printemps, en lac. Avant le départ, vous réunissez l'équipe d'encadrement pour évoquer la problématique du froid.

- a) Quels sont les conseils et consignes que vous allez donner ?
- b) Quels sont les processus de perte d'énergie de l'organisme du plongeur ?
- c) Comment l'organisme réagit-il pour limiter ces pertes ?
- d) Quelles sont les conséquences visibles de ces réactions ?

3) L'essoufflement (5 pts)

Après avoir défini ce qu'est un essoufflement, vous expliquerez pourquoi l'évolution en milieu subaquatique est défavorable à la récupération d'un essoufflement ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

1) La syncope anoxique en apnée (8 pts)

a. Après avoir défini ce terme, vous exposerez les mécanismes qui y conduisent.

- Définition du terme (1 pt) :

La syncope est une perte de connaissance brutale et transitoire, spontanément résolutive avec un retour rapide à un état de conscience normal, s'accompagnant d'une perte du tonus postural. Elle est la conséquence d'une ischémie cérébrale globale et passagère.

- Mécanismes (3 pts) :

L'hypoxie, dont les effets néfastes commencent à se manifester pour un $PaO_2 < 50\text{mmHg}$ (mémoire à court terme perturbée), provoque au-dessous de 40mmHg une disparition du jugement critique et en dessous de 30mmHg une perte de connaissance. Normalement, la sensation d'inconfort provoquée par l'augmentation du taux de CO_2 nous oblige à respirer avant d'arriver à ces taux d' O_2 .

En apnée, il est possible d'atteindre ce seuil critique de PaO_2 sans que le signal entraîné par l'augmentation de la $PaCO_2$ n'intervienne. Cela s'explique par trois phénomènes qui se superposent :

- *Pendant la descente, les variations rapides des pressions partielles alvéolaires d' O_2 en fonction de la pression hydrostatique jouent un rôle capital. L'augmentation de la PaO_2 permet :*
 - o *une utilisation de la réserve alvéolaire d' O_2 plus poussée qu'elle ne le serait à la pression atmosphérique, permettant de prolonger l'apnée ;*
 - o *de ressentir un état d'euphorie, incitant l'apnéiste à rester plus longtemps au fond ;*
 - o *une inhibition du stimulus CO_2 , donc l'apnéiste ne ressent pas l'envie de respirer au fond.*

A la remontée, la consommation d' O_2 et la baisse de la pression hydrostatique jouent dans le même sens pour faire chuter la PaO_2 , créant une hypoxie très rapidement croissante, d'autant plus importante que la surface est proche.

- *Avec l'entraînement, les apnéistes développent une plus grande tolérance au CO_2 et surtout un plus grand détachement des sensations d'inconfort.*
- *L'hyperventilation réduit la $PaCO_2$, qui reste basse tout au long de l'apnée ; l'apnéiste peut ainsi prolonger son apnée, sans sensation désagréable de besoin d'air.
Pendant ce temps, le corps continue à consommer de l'oxygène. Or, le stimulus PaO_2 , en l'absence d'autre stimulus, est insuffisant pour interrompre l'apnée.
De plus, l'hypercapnie provoque une vasoconstriction cérébrale provoquant une moins bonne tolérance à l'hypoxie.*

La syncope anoxique peut se produire sous l'eau (le plus souvent à quelques mètres de la surface) ou en surface, même quelques secondes après la reprise ventilatoire.

b. Vous conseillez deux préparants MF2. Dressez-leur un tableau des signes (par le candidat) et visibles (par le jury), annonciateurs d'une syncope anoxique (2 pts)

	<i>Ressenti personnel</i>	<i>Signes visibles</i>
<i>Pendant la préparation à l'apnée</i>	<i>Picotements des extrémités Sensations de flottement Excitation importante</i>	
<i>Au fond</i>	<i>Sensation de confort inhabituel Disparition de l'envie de respirer ou de remonter Sentiment de stress</i>	<i>Durée excessive Agitation ou relâchement anormaux</i>
<i>A la remontée</i>	<i>Lourdeur ou chaleur dans les muscles des cuisses Troubles visuels (rétrécissement, flash...) Confort prolongé ou, au contraire, pénibilité anormale</i>	<i>Avant la syncope :</i> - <i>Largage ceinture</i> - <i>Mouvements rapides et désordonnés</i> - <i>Recherche anxieuse d'une aide visuelle</i> <i>Pendant la syncope</i> - <i>Lâcher de bulles +++</i> - <i>Mouvements réflexes d'oscillation</i> - <i>Arrêt de palmage, apnéiste immobile</i>
<i>En surface</i>	<i>Les mêmes qu'à la remontée + Après la syncope</i> - <i>Amnésie</i> - <i>Négation de l'épisode</i>	<i>Avant la syncope :</i> - <i>Pâleur du visage</i> - <i>Cyanose</i> - <i>Hypotonie ou hypertonie</i> - <i>Regard vide, panique dans le regard</i> - <i>Secousses musculaires, gestes saccadés</i> - <i>Impossibilité de répondre à une question du jury (tu vas bien ?, etc) ...)</i> <i>Pendant la syncope :</i> - <i>Ralentissement ou arrêt ventilatoire</i> - <i>Pas d'arrêt cardiovasculaire initial</i> - <i>Troubles du tonus pouvant provoquer des mouvements tonico-cloniques brefs</i>

c. Quels conseils de prévention leur donnerez vous pour leur préparation à l'épreuve de l'apnée à 15m, afin d'éviter cet accident ? (2 pts)

- *Toujours en binôme avec quelqu'un capable d'atteindre la profondeur visée*
- *Savoir revoir son objectif à la baisse, voire remettre le travail à un autre jour, si les conditions extérieures (météo, visibilité, froid...) ou internes (état physique et/ou psychique) ne sont pas favorables*
- *Limiter au maximum son lestage*
- *Ne pas hyperventiler avant l'apnée*
- *Ne pas se focaliser sur l'objectif à atteindre, privilégier le relâchement*
- *Ne pas rester au fond*

- Savoir repérer les signes précurseurs de syncope, communiquer avec le binôme
- Bien se ventiler après l'émergence
- Assurer des périodes de récupération au moins égale à 3 fois la durée des apnées
- Ne pas majorer son effort en fin d'apnée

2) Le froid en plongée (7 pts)

Vous organisez un stage de préparation niveau 4 au printemps, en lac. Avant le départ, vous réunissez l'équipe d'encadrement pour évoquer la problématique du froid.

a. Quels sont les conseils et consignes que vous allez donner ? (2,5 pts)

- *Conseils diététiques : nourriture adaptée en amont (apport en glucides lents), hydratation avant et après, boissons chaudes et sucrées après la plongée, pas d'alcool (aggrave la déshydratation et inhibe la sensation de refroidissement)*
- *Conseils matériels : vêtements chauds/bonnet/gants/cape-vent pour avant et après la plongée ; deux détendeurs complets sur deux sorties indépendantes ; privilégier des détendeurs spécifiques eau froide, privilégier une combinaison étanche, gants et chaussons adaptés, choisir avec soin sa cagoule.*
- *caler le gonflage des gilets et/ou étanche en fonction du rythme ventilatoire (ne pas respirer en même temps que l'on gonfle)*
- *Consignes : limiter la durée d'immersion, limiter la profondeur en fonction des possibilités, être attentif à tout signe visible, mettre en place avec les élèves une communication précise sur le signe de froid, mettre en place avec les élèves une CAT précise en cas de givrage, limiter les temps de paliers obligatoires*
- *+ consignes spécifiques à la plongée lac (lestage, visibilité, stabilisation, déco, etc...)*

b. Quels sont les processus de perte d'énergie de l'organisme du plongeur ? (2 pts)

- *Perte par conduction : transfert de chaleur par contact direct entre des solides ou des liquides immobilisés. En plongée, les échanges s'effectuent du milieu le plus chaud vers le plus froid, c'est à dire de la surface de la peau vers l'eau. Comme l'eau est environ 25 fois plus conductrice que l'air, les pertes de chaleur sont beaucoup plus importantes dans l'eau*
- *Perte par convection : transfert de chaleur entre l'organisme et l'eau en mouvement*
- *Perte par radiation : transfert de la chaleur du corps dans l'air ambiant (minime en plongée, sauf cas de combinaison étanche)*
- *Perte par évaporation : sueur, transformation en vapeur d'eau pour refroidir l'organisme (rare en plongée, sauf si station prolongée au soleil. Peu vraisemblable dans le cas proposé)*
- *Pertes mixtes (par convection et évaporation) : par la ventilation sur détendeur : l'air expiré est humide et tiède (37°), tandis que l'air inspiré est sec et froid, en raison de la détente et de l'influence de la température ambiante.*

c. Comment l'organisme réagit-il pour limiter ces pertes ? (1,5 pt)

- *Par limitation des pertes (baisse thermolyse): Vasoconstriction périphérique pour préserver les organes vitaux. Cette vasoconstriction entraîne une augmentation du retour veineux au niveau du thorax et de l'abdomen (bloodshift). En découle une augmentation de la diurèse par augmentation de la quantité de sang filtrée par les reins, par inhibition de l'hormone antidiurétique et sécrétion d'une hormone augmentant la diurèse grâce à des*

volocépteurs situés dans l'oreillette droite. Le froid accentue la vasoconstriction périphérique et majore le bloodshift (diurèse au froid)

- Par augmentation de la production de chaleur (thermogénèse) : Augmentation du métabolisme cellulaire, augmentation des apports énergétiques aux tissus. Contractions musculaires, tremblements, frissons.

d. Quelles sont les conséquences visibles et ressenties de ces réactions ? (1pt)

Perte de dextérité, position fœtale, augmentation de la ventilation (production accrue de bulles), envie d'uriner, désintéressement de la plongée, frissons, crampes, coma

3) L'essoufflement (5 pts)

Après avoir défini ce qu'est un essoufflement, vous expliquerez pourquoi l'évolution en milieu subaquatique est défavorable à la récupération d'un essoufflement ?

L'intitulé de la question amène une réponse rédigée, construite, répondant précisément à la question posée.

On attend a minima les informations suivantes :

Définition de l'essoufflement : augmentation de la concentration du dioxyde de carbone (CO₂) sanguin qui n'arrive plus à être éliminé par la ventilation et qui provoque une intoxication chez l'individu. (1 pt)

Cette pression partielle de CO₂ créé de façon endogène n'est pas directement influencée par la pression absolue. Cependant, la profondeur et donc l'augmentation de la pression absolue impacte la densité de l'air ventilé et de ce fait augmente sa viscosité (résistance à l'écoulement dans le réseau bronchique). Cela rend plus difficile le travail ventilatoire et l'expiration des gaz alvéolaires.

Le matériel utilisé en plongée (combinaison, gilet, détendeur) augmente les résistances et le travail ventilatoire, et donc l'effort.

La redistribution de la masse sanguine vers les organes centraux et les poumons conduit à augmenter le travail musculaire nécessaire pour ventiler.

L'eau exerce également une pression sur l'organisme (augmentation de la pression hydrostatique sur la cage thoracique).

L'ensemble de ces éléments rend la récupération d'un essoufflement beaucoup plus problématique en hyperbarie (on évoque l'exemple suivant : un plongeur en immersion est assimilable à un insuffisant respiratoire léger).

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1. Un accident lors d'une plongée (4 points)

Lors de sa première plongée en mer de l'année (eau à 16 °C), Jean-Pierre âgé de 67 ans, mesurant 1,80 m, pesant 95 kg, s'équipe d'une combinaison 7 mm du club dans laquelle il est un peu à l'étroit. Sur le trajet, il n'est pas très à l'aise à cause de la houle. Vous l'emmenez réaliser une plongée à 40 m dans le courant. Votre palanquée remonte à vitesse contrôlée.

Durant le palier pourtant « calme », Jean-Pierre vous fait le signe de l'essoufflement et tousse. Arrivé en surface, il rejette quelques crachats sanguins et se sent fatigué.

- Que suspectez vous et expliquez le mécanisme et les facteurs favorisant l'apparition de cet accident ?
- Quelle est votre action pour porter assistance à Jean-Pierre ?

QUESTION N°2. L'équilibre et les vertiges (5 points)

Dans le cadre d'une formation MF1, votre stagiaire vous sollicite pour lui apporter des réponses à un problème. Lors d'une préparation niveau 2, il a emmené un niveau 1 issu d'un cursus carrière dans une descente dans le bleu en milieu marin sur 20 m. A peine immergé, son plongeur a eu peur du fait de vertiges importants.

- Pouvez-vous décrire les différents centres de l'équilibre et expliquer les causes probables des vertiges constatés par votre stagiaire ?
- Comment votre stagiaire peut-il remédier à cette difficulté pour emmener son plongeur sous l'eau ?

QUESTION N°3. La manoeuvre de Valsalva (6 points)

Votre CTR vous demande d'intervenir au cours d'un colloque de moniteurs sur la prévention des accidents liés à un Valsalva mal exécuté. Vous développerez notamment :

- Les différents types d'accidents pouvant être la conséquence d'une technique de Valsalva mal exécutée (en vous aidant de schémas pour illustrer les mécanismes).
- Les conseils de prévention que vous apportez aux moniteurs assistant au colloque.

QUESTION 4 - Physiologie de l'effort (5 points)

- En vous appuyant sur vos connaissances physiologiques et sportives, expliquez pourquoi les barèmes de notation des épreuves de performance sportive (nage en PMT et en capelé) sont différentes chez les femmes et chez les hommes.
- Déterminer les fréquences cardiaques maximales théoriques pour un plongeur de 25 ans et un plongeur de 50 ans qui préparent leur Guide de Palanquée
- Donnez un exemple de séries d'exercices à travailler en précisant le % de fréquence cardiaque maximale pour :
 - développer la filière aérobie lors du premier mois de formation,
 - améliorer la performance pour le 800m.

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1. Un accident lors d'une plongée (4 points)

Lors de sa première plongée en mer de l'année (eau à 16 °C), Jean-Pierre âgé de 67 ans, mesurant 1,80 m, pesant 95 kg, s'équipe d'une combinaison 7 mm du club dans laquelle il est un peu à l'étroit. Sur le trajet, il n'est pas très à l'aise à cause de la houle. Vous l'emmenez réaliser une plongée à 40 m dans le courant. Votre palanquée remonte à vitesse contrôlée.

Durant le palier pourtant « calme », Jean-Pierre vous fait le signe de l'essoufflement et tousse. Arrivé en surface, il rejette quelques crachats sanguins et se sent fatigué.

a) Que suspectez-vous et expliquez le mécanisme et les facteurs favorisant l'apparition de cet accident ?

3 points

OAP cardiaque : Augmentation de la pression capillaire due à une défaillance de la pompe cardiaque (mécanisme hémodynamique)

OAP (Œdème aigu pulmonaire ou Œdème pulmonaire à l'immersion) : rupture de la barrière alvéolo-capillaire suite à une augmentation de la pression sanguine dans les capillaires pulmonaires (un schéma peut aider à la compréhension). L'augmentation de la pression sanguine se fait par :

1- Augmentation du travail ventilatoire

- Diminution des volumes pulmonaires par la redistribution des masses sanguines à l'immersion. Les capteurs d'immersion et les capteurs thermiques provoquent une vasoconstriction périphérique. Lorsqu'on est totalement immergé, entre 500 et 1000 ml de sang supplémentaires se retrouvent ainsi répartis dans les poumons et le cœur*
- Résistance ventilatoire accrue :
 - du fait d'une combinaison trop serrée qui comprime la poitrine*
 - du fait du détendeur (espace mort, résistance à l'inspiration en tête haute et expiration en tête basse)**
- Augmentation de la masse volumique de l'air avec la profondeur. L'écoulement de l'air devient turbulent, ce qui réduit le débit ventilatoire maximal (à 60 m, le débit ventilatoire est de 70% de sa valeur en surface...équivalent à un insuffisant respiratoire en surface)*

2-Effort (courant) : augmente la pression artérielle et fréquence cardiaque

3-Stress : augmente la pression artérielle et fréquence cardiaque

=> l'OAP peut se déclencher dès la surface sur un capelé avec gros effort physique

=> Le risque d'OAP augmente avec la profondeur couplée à un effort

Le froid

L'âge

Le surpoids

b) Quelle est votre action pour porter assistance à Jean-Pierre ? **1 point**

- Position assise ou semi-assise (pas allongée pour éviter d'aggraver les difficultés respiratoires),*
- Oxygène*
- Evacuation pour confirmer et traiter l'OAP*

QUESTION N°2. L'équilibre et les vertiges (4 points)

Dans le cadre d'une formation MF1, votre stagiaire vous sollicite pour lui apporter des réponses à un problème. Lors d'une préparation niveau 2, il a emmené un niveau 1 issu d'un cursus carrière dans une descente dans le bleu en milieu marin sur 20 m. A peine immergé, son plongeur a eu peur du fait de vertiges importants.

- a) Pouvez-vous décrire les différents centres de l'équilibre et expliquer les causes probables des vertiges constatés par votre stagiaire ?

(3 points) La présence d'un schéma simplifié peut être utile à la bonne compréhension.

Le centre de gestion de l'équilibre est composé de 3 systèmes périphériques (VESTIBULE-VISION-PROPRIOCEPTION) et d'un coordinateur au niveau du Système Nerveux Central : le CERVELET

1- Le système vestibulaire : *L'oreille interne renvoie l'information de positionnement 3D et d'accélération de la tête :*

- *les 3 canaux semi-circulaires sont disposés dans les 3 plans de l'espace. L'extrémité de chaque canal est équipée d'une crête ampullaire (ampoules) contenant des cellules sensorielles reliées au nerf vestibulaire donnant des informations au cerveau sur les mouvements et l'accélération de la tête dans l'espace (3D).*
- *Le système maculaire otolithique composé de l'utricule et du saccule permet de donner des informations en statique : angulation de l'axe tête-tronc*

L'immersion provoque notamment une perte de la référence de la fonction otolithique (par la poussée d'Archimède)

2- Le système visuel : *La vision donne des repères permettant d'avoir une profondeur de champs et de palier aux déficiences du système vestibulaire. Le système visuel est dépendant du fonctionnement du système vestibulaire (le regard fixe une particule quand la tête tourne si et seulement si le vestibule le renseigne correctement):*

- *vision périphérique : situation dans l'environnement*
- *vision centrale : reconnaissance*
- *vision binoculaire : relief*
 - > *L'absorption des couleurs réduit la perception des reliefs*
 - > *l'eau claire ne permet plus aux yeux de faire la mise au point sur des repères statiques comme les particules de tailles plus grosses en carrière (absence de verticalité subjective)*

3- Le système proprioceptif : *les références proprioceptives (informations provenant des mécanorécepteurs musculaires, tendineux, ligamentaires et articulaires) aident le SNC à la coordination de l'équilibre. La voûte plantaire renvoie notamment les références posturales.*

- > *l'immersion réduit les références proprioceptives et ne permet plus à la voûte plantaire de renvoyer des informations concernant l'appui au sol et la posture générale*

L'immersion perturbe fortement le système de l'équilibre. En eau très claire, la modification des repères visuels perturbe encore plus la coordination système visuel-vestibulaire et peut provoquer des vertiges importants.

- b) Comment votre stagiaire peut remédier à cette difficulté pour emmener son plongeur sous l'eau ?

(1 point) *Le jury appréciera la capacité du candidat à transférer son savoir théorique à la mise en place d'éducatifs correctifs.*

- *Par exemple en lui redonnant des repères visuels :*
 - *Au moment du vertige, le stagiaire MF1 peut se positionner devant le plongeur qui a perdu ses repères*
 - *Il peut aussi lui montrer les particules plus fines en milieu clair par rapport à celles qu'il a l'habitude d'observer en carrière.*

- En préventif, installer un pendeur et descendre le long d'un bout pour les premières descentes

QUESTION N°3. La manoeuvre de Valsalva (6 points)

Votre CTR vous demande d'intervenir au cours d'un colloque de moniteurs sur la prévention des accidents liés à un Valsalva mal exécuté. Vous développerez notamment :

- a) Les différents types d'accidents pouvant être la conséquence d'une technique de Valsalva mal exécutée (en vous aidant de schémas pour illustrer les mécanismes).

(4 points) Le jury sera attentif au lien fait entre la physiologie et la pathologie. Les éventuels schémas doivent mettre en évidence les zones atteintes/fragiles - les mécanismes

1. Accidents barotraumatiques :

- Barotraumatisme de l'oreille moyenne : otite barotraumatique

Atteintes du tympan entraînant des lésions plus ou moins graves. Les 5 stades de Haines et Harris (modifié par Riu et Flottes) sont :

- 1- congestion au droit du marteau sur le tympan
- 2- congestion diffuse du tympan
- 3- épanchement de liquide séreux avec bulles au niveau du tympan
- 4- en plus, hématome au niveau du tympan
- 5- perforation du tympan

- Barotraumatisme de l'oreille interne

Moins fréquents que les barotraumatismes de l'oreille moyenne, mais plus graves car peuvent entraîner une surdité de perception, des acouphènes et des vertiges

Un Valsalva violent entraîne une surpression brutale de l'oreille moyenne transmise à l'oreille interne par l'étrier. Soit l'OM (tympan) et l'OI sont atteintes simultanément (barotraumatisme mixte), soit il y a un « coup de piston » direct de l'étrier sur la fenêtre ovale et seule l'OI est touchée avec possibilité de rupture des fenêtres ovale et ronde (par contre coup : transmission de l'onde liquidienne).

2 Vertige alterno-barique :

Les Valsalva répétés ou les sécrétions nasales peuvent entraîner une congestion (rétrécissement inflammatoire) d'une des 2 trompes d'Eustache. L'air ne s'évacue pas à la même vitesse des 2 côtés lors de la remontée ce qui entraîne une différence de pression entre les 2 OM ... les informations transmises aux vestibules n'étant pas symétriques, il en résulte un vertige qui peut être important à la remontée.

3 Surpression pulmonaire

Un Valsalva à la remontée peut majorer la pression alvéolaire et entraîner des lésions alvéolo capillaires entraînant gêne respiratoire et passage d'air dans la circulation → ADD

4 Ouverture d'un FOP

L'hyperpression thoracique est susceptible de provoquer l'ouverture du Foramen Ovale avec passage des bulles de la petite vers la grande circulation → ADD.

- b) Les conseils de prévention que vous apportez aux moniteurs assistant au colloque.

(2 points). Le jury sera attentif à la capacité des MF2 à utiliser leur savoir pour mettre en pratique des préventions adaptées à la formation de cadre.

- Information sur différentes techniques d'équilibration des oreilles dès le N 1

- Encourager à réaliser les méthodes moins violentes que le Valsalva ... par défaut le faire en expiration et en douceur
- BTV Cette manœuvre se traduit par une stimulation de certains muscles permettant d'ouvrir les trompes d'Eustache. Ceci est réalisé en reproduisant les mouvements provoqués par un bâillement, tout en conservant la mâchoire quasi-fermée.
- Toynbee : Elle consiste, nez pincé et mâchoire fermée, à effectuer un mouvement de déglutition
- Frenzel : La manœuvre dite de Frenzel consiste à plaquer la langue en haut et à l'arrière du palais. Il faut, nez pincé, bouche ouverte et glotte fermée, placer la langue sur le palais en prononçant le son "KE". Ce mouvement crée ainsi une légère surpression. La méthode de Frenzel nécessite un certain entraînement.
- Choix des éducatifs : ne pas mettre les élèves en difficulté par rapport à la compensation des oreilles :
 - Par exemple : il est préférable d'accrocher les plombs plutôt que de les faire tenir dans les deux mains
 - Adapter l'exercice en fonction de l'état des oreilles des plongeurs
 - Limiter le nombre de remontées en surface : canards, phoques, etc ...
 - Observer les élèves lors de la réalisation des manœuvres d'équilibrage des oreilles : crispation du visage ...
à la descente comme à la remontée
 - Privilégier les descentes lentes et tête en haut lorsque la plongée le permet
 - Prévenir les situations d'hyperpression thoracique (souffler dans son gilet, Valsalva à la remontée, etc.)

QUESTION 4 - Physiologie de l'effort (5 points)

- a) En vous appuyant sur vos connaissances physiologiques et sportives, expliquez pourquoi les barèmes de notation des épreuves de performance sportive (nage en PMT et en capelé) sont différentes chez les femmes et chez les hommes.
- (1,5 points)**
- Les épreuves PMT et capelé sont des épreuves de performance sportive (l'épreuve de mannequin est à dominante technique, même si la part de performance sportive y est importante).
 - Pour une même note, les temps sont de 5 à 10 % plus larges chez les femmes par rapport aux hommes pour refléter une performance plus en rapport aux capacités biomécaniques et physiologiques constatées sur les écarts de performances sportives entre les hommes et femmes.
 - On peut notamment expliquer ces écarts par
 - une taille moyenne plus importante chez les hommes (par action hormonale différentes à la puberté) : développement d'effet de levier plus important dans les bras et jambes pour les personnes plus grandes.
 - masse musculaire plus importante chez les hommes (35% chez les hommes contre 28% chez les femmes)
 - $VO_2 \text{ max}$: 10 à 20 % en plus chez les hommes par rapport aux femmes : conséquence directe sur la performance aérobie.
- b) Déterminer les fréquences cardiaques maximales théoriques pour un plongeur de 25 ans et un plongeur de 50 ans qui préparent leur Guide de Palanquée
- (0,5 point)**
- La fréquence cardiaque maximale (FC max) : mesure directe en laboratoire, indirecte par des tests de terrain à l'aide d'un cardio-fréquencemètre, théorique : 220 pulsations/min moins l'âge
- FC max pour plongeurs de 25 ans : $220 - 25 = 195$ pulsations/min
 - FC max pour plongeurs de 50 ans : $200 - 50 = 170$ pulsations/min

c) Donnez un exemple de séries d'exercices à travailler en précisant le % de fréquence cardiaque maximale pour :

- développer la filière aérobie lors du premier mois de formation,

(1 point)

NOTA Jury : Les exemples ci-après sont en % de FC max pour rester en cohérence avec la simplification qui est faite dans la plupart des enseignements de filières énergétiques. Si les réponses des candidats sont en % de FC réserve (avec FC réserve = FC max - FC repos), les réponses sont bien sûr acceptées (il faudra alors que la fréquence cardiaque de travail = % FC réserve + FC repos) Beaucoup de réponses sont possibles, le jury appréciera les réponses réalistes, où celles qui font ressortir un vécu (conseil pour la récupération, etc) et non uniquement l'application théorique d'un concept de travail de filière.

La filière aérobie de « base »

- *Toujours prévoir un échauffement pour éviter les blessures et passer la latence de la mise en route de la filière aérobie (15 à 20 minutes)*
- *FC travail : de 60 à 70 % de la FC max*
- *Durée d'exercice (hors échauffement):*
- *Le volume de travail augmente dans ce premier mois de travail.*
- *Le fractionné peut-être possible pour éviter la monotonie mais il faut rester dans des intensités de travail faibles*

-améliorer les performances pour le 800 m.

(2 points)

- *Plusieurs façons de travailler sont possibles. L'idée générale est d'augmenter en intensité pour repousser le seuil d'essoufflement et limiter l'augmentation de la fréquence cardiaque (seuil ventilatoire 2, anciennement aérobie-anaérobie). Si l'intensité est trop faible, le plongeur ne progresse pas. Si l'intensité est trop forte, le plongeur rentre en essoufflement, il ne s'alimente plus assez en oxygène et il passe en filière anaérobie glycolytique (anciennement appelé anaérobie lactique).*
- *Un exemple est le travail en cycles d'intensités variables : le plongeur doit produire un effort à la limite de l'essoufflement :*
 - *Toujours prévoir un échauffement pour éviter les blessures et passer la latence de la mise en route de la filière aérobie*
 - *FC travail :*
 - *Sur des séries de 400m on est plutôt à 70% FC max*
 - *Sur des séries de 200m, on est plutôt à 80% FC max*
 - *Sur des séries de 100 m, on est plutôt à 90% FC max*
- *La récupération active entre chaque série doit permettre de poursuivre l'activité mais aussi de ralentir pour revenir à 60% de la FC max afin de rester dans le seuil de travail aérobie (partir sur un temps de récupération de 1/3 à 1/2 du temps de travail). Si la récupération est trop courte, le plongeur n'arrivera pas à finir les séries, il faut alors augmenter la durée de récupération entre 2 séries.*
- *La récupération passive peut être acceptée.*
- *Pour augmenter l'intensité, l'augmentation de la vitesse n'est pas la seule possibilité. Il faut faire varier les conditions pour éviter l'ennui :*
 - *augmentation de l'intensité en natation en créant une émulation ex : des relais.*
 - *augmentation de l'intensité en course à pied en choisissant un parcours en côte en gardant sa vitesse.*
- *Durée d'exercice (hors échauffement):*
- *Variable selon le placement de la séance dans le programme d'entraînement.*
- *Le fractionné est nécessaire pour varier les intensités de travail*
- *L'intensité et le volume de travail augmentent dans ce cycle*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Question 1 (6 points)

Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée :

- Décrivez le mécanisme physiologique de cet accident. (2 points)
- Pendant longtemps, l'OAP a été confondu avec la surpression pulmonaire. Dites comment il est possible de les reconnaître et les distinguer. (2 points)
- Décrivez les facteurs favorisants et la CAT suite à un OAP. (2 points)

Question 2 (6 points)

En dehors de l'audition, l'oreille joue un rôle prépondérant dans l'équilibre du plongeur.

- Détaillez l'anatomie et la physiologie des éléments de l'oreille participant à la fonction « équilibre » (2 points)
- D'autres récepteurs participent à la fonction « équilibre » : détaillez-les et expliquez leur fonctionnement (2 points)
- Mise en pratique : en vous appuyant sur les réponses apportées aux questions a) et b), citez les éléments anatomiques et physiologiques impliqués dans la survenue des vertiges en plongée. (2 points)

Question 3 (8 points)

L'entraînement en vue de l'épreuve de mannequin et de 800 m PMT du Guide de palanquée

- Décrivez les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire en précisant pour chacune : le ou les substrats utilisés, la puissance, la durée d'action et les facteurs limitants. (3 points)
- Quelles filières énergétiques sont sollicitées dans chacune des 2 épreuves ? (1 point)
- Quels sont les principes d'entraînement pour développer les filières sollicitées lors du mannequin et 800m PMT ? Donnez des exemples d'exercices d'entraînement pour chacune des filières. (4 points)

Référentiel de correction

Question 1(6 points)

Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée :

a) Décrivez le mécanisme physiologique de cet accident. (2 points)

- *Passage de liquide (plasma, globules rouges) provenant du sang circulant dans les capillaires pulmonaires vers les alvéoles pulmonaires*
- *Altération des échanges gazeux.*
- *Hypoxie sévère.*
- *Au fond, la pression capillaire s'élève en raison du bloodshift mais elle est contre balancée par l'augmentation de la pression alvéolaire → pas de fuite plasmatique du capillaire vers l'alvéole*
- *Dans des conditions normales les deux pressions baissent et restent en équilibre à la remontée*
- *En cas d'OAP, la pression capillaire pulmonaire reste anormalement élevée à la remontée → fuite plasmatique vers les alvéoles qui sont « noyées » -> OAP*

b) Pendant longtemps, l'OAP a été confondu avec la surpression pulmonaire. Dites comment il est possible de les reconnaître et les distinguer. (2 points)

- *Reconnaitre OAP et SP :*
- *Gêne respiratoire très importante avec essoufflement*
- *Toux et crachats mousseux +/- sanglants*
- *Coloration bleutée des extrémités (hypoxie)*
- *Anxiété et fatigue extrême*
- *Auscultation pulmonaire caractéristique : râles crépitants*
 - *Distinguer :*
 - *Surpression pulmonaire*
 - *remontée rapide, blocage respiratoire,*
 - *signes neuro présents*
 - *emphysème*
 - *signes débutent en surface*
 - *OAP :*
 - *les signes débutent à la remontée*
 - *pas de blocage ventilatoire*
 - *pas de signes neurologiques*

c) Décrivez les facteurs favorisants et la CAT suite à un OAP. (2 points)

- **Facteurs :**
 - Age > 45 ans
 - Pathologie cardio vasculaire
 - Effort physique pendant la plongée
 - Mauvaise condition physique
 - Froid, stress
 - Augmentation du travail ventilatoire : combi trop serrée, matériel (recycleur)
 - Antécédent d'OAP d'immersion
- **CAT :**
 - Sortir victime de l'eau,
 - Faire respirer O2 normobare : 15 litres par minute
 - Faire évacuer.

Question 2 (6 points)

En dehors de l'audition, l'oreille joue un rôle prépondérant dans l'équilibre du plongeur.

a) Détaillez l'anatomie et la physiologie des éléments de l'oreille participant à la fonction « équilibre » (2 points)

- *Le système vestibulaire régit l'équilibre à deux niveaux :*
 - *Déplacements de la tête dans l'espace et vitesse*
 - *position de la tête par rapport à l'axe de gravité.*
- *Il se compose des 3 canaux semi-circulaires, du saccule et de l'utricule.*
 - *Les 3 canaux semi-circulaires (supérieur, postérieur, externe), disposés à angle droit l'un par rapport à l'autre (frontal, sagittal et horizontal) couvrent les 3 plans de l'espace. Ils possèdent chacun à leur extrémité une zone contenant des cellules sensorielles ciliées qui renseignent sur les mouvements et sur l'accélération de la tête dans l'espace.*
 - *L'utricule et le saccule contiennent une multitude de cellules sensorielles ciliées. Ces cellules contiennent les otolithes. L'utricule et le saccule sont sensibles à l'action de la gravité et renseignent sur la position de la tête dans l'espace.*

b) D'autres récepteurs participent à la fonction « équilibre » : détaillez-les et expliquez leur fonctionnement (2 points)

- *La vision est un facteur primordial de l'information qui peut soit engendrer une confusion en cas de trouble d'adaptation ou au contraire pallier les déficiences du système vestibulaire. La vision périphérique permet de se situer dans l'environnement, la vision centrale permet la reconnaissance et nos deux yeux permettent la vision binoculaire (relief).*

- *Le système proprioceptif permet, grâce à de multiples récepteurs musculaires d'avoir en permanence une représentation du corps dans l'espace et de savoir si nous sommes en mesure de conserver notre équilibre grâce au jeu musculaire et articulaire.*
- *L'intégration centrale située au niveau du tronc cérébral et des noyaux vestibulaires a pour rôle de centraliser, analyser et comparer, synthétiser toutes les informations intervenant dans l'équilibre*
- *Le cervelet joue un rôle coordinateur entre les informations qui entrent et celles qui sortent. Mais pour agir, il a besoin d'être renseigné en permanence par les informations arrivant au niveau du tronc cérébral.*

c) Mise en pratique : en vous appuyant sur les réponses apportées aux questions a) et b), citez les éléments anatomiques et physiologiques impliqués dans la survenue des vertiges en plongée. (2 points)

1- Caisse du tympan : perforation

Caisse du tympan pleine d'eau empêchant la fenêtre ronde de jouer son rôle d'amortisseur et hyperpression dans l'oreille interne provoquant un dysfonctionnement au niveau vestibulaire

2- Trompe d'Eustache

Lors de la remontée, différence de pression entre les deux oreilles moyennes, dû à un mauvais fonctionnement de la Trompe d'Eustache d'une oreille. Les signaux nerveux du vestibule émis par chaque oreille sont divergents, ce qui crée la sensation de vertige

3- Chaîne des osselets : coup de piston labyrinthique

Valsalva brutal entraînant une déformation importante du tympan, amplifiée par les osselets, entraînant un déplacement important et brutal de l'étrier dans la fenêtre ovale. Ceci se répercute dans le vestibule en créant une onde dans l'endolymphe, qui n'existe pas dans l'autre oreille. L'incohérence des messages envoyés par chaque vestibule au niveau du cerveau, entraîne cette sensation de vertige

4- Yeux, voute plantaire, OI : mal de mer

Inadéquation entre les informations données par les canaux semi circulaires, les informations visuelles et les informations proprioceptives.

Question 3 (8 points)

L'entraînement en vue de l'épreuve de mannequin et de 800 m PMT du Guide de palanquée

a) Décrivez les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire en précisant pour chacune : le ou les substrats utilisés, la puissance, la durée d'action et les facteurs limitants. (3 points)

<i>Filière</i>	<i>Substrat</i>	<i>Puissance</i>	<i>Durée d'action</i>	<i>Facteur limitant</i>
----------------	-----------------	------------------	-----------------------	-------------------------

énergétique				
Anaérobie phosphagène	Créatine phosphate	Maximale	Entre 7 et 20 secondes selon l'intensité de l'effort	Quantité de créatine phosphate musculaire Reserve ATP musculaire Activité enzymatique
Anaérobie glycolytique	Glucose	Importante	2 à 3 minutes	Acidose dans le muscle
Aérobie	Glucides et lipides	Modérée	Plusieurs heures	VO ₂ , chaleur Fatigue musculaire Niveau d'entraînement

b) Quelles filières énergétiques sont sollicitées dans chacune des 2 épreuves ? (1 point)

• **Mannequin :**

- Nage avant l'apnée : filière aérobie,
- Remontée et tractage : anaérobie glycolytique

• **800m PMT :**

- Aérobie et seuil ventilatoire 2 et éventuellement anaérobie glycolytique sur le final

c) Quels sont les principes d'entraînement pour développer les filières sollicitées lors du mannequin et 800m PMT ? Donnez des exemples d'exercices d'entraînement pour chacune des filières. (4 points)

Principe aérobie

- Continu (longue distance) et fractionné avec peu de récupération
- Intensité faible à modérée

Exemples :

- de 500m à plus en continu
- Séries de 50m avec 5" de récup
- Séries de 100m avec 10" de récup
- Séries de 200m avec 20" de récup

Les temps de récup et séries sont donnés à titre d'exemple, les candidats peuvent donner d'autres exemples bien entendu.

Principe seuil ventilatoire 2

- Augmenter l'intensité de travail dans la filière aérobie afin de reculer l'apparition du seuil.
- Travailler donc à haute intensité dans la filière aérobie
- Augmenter la durée de maintien au seuil
- En résumé : nager le plus vite possible le plus longtemps possible

Exemples :

- séries de 50 à 400m à une intensité limite essoufflement avec récup de 15" sur 50m à 45"-1' sur 400m
- Récupération incomplète mais permettant de repartir à la même vitesse

Principe anaérobie glycolytique

- *Intensité sub maximale*
- *Fractionné de 2 à 3'*
- *Récupération permettant de repartir à la même vitesse mais incomplète afin d'augmenter la tolérance à l'acidose*

Exemples :

- *séries de 50 à 100m récup de 30" à 1'*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1. Entraînement physique au N4/GP (10 pts)

En vous basant sur vos connaissances quels sont les conseils que vous donneriez à votre stagiaire MF1 pour la mise en place d'un programme entraînement pour les épreuves physiques (hors apnée) du GP ? Justifiez vos choix en ce qui concerne les points suivants :

- Objectifs généraux de la préparation physique (2 pts)
- Hygiène de vie et condition physique (2 pts)
- Programme d'entraînement (5 pts)
- Articulation des séances d'entraînement et des plongées techniques (1 pt)

QUESTION N°2. La plongée au féminin (5 pts)

Quelles spécificités physiologiques des femmes peuvent impacter la pratique des plongeuses ? Détaillez pour chaque spécificité son mécanisme et les effets en plongée, ainsi que les répercussions en termes : de prévention, contre-indication, CAT en cas d'accident.

Question n° 3 : La surpression pulmonaire (5 pts)

En vous basant sur vos connaissances d'anatomie et de physiologie, expliquez les symptômes suivants rencontrés lors d'une surpression pulmonaire.

- Spume rosâtre (0,5 pt)
- Insuffisance ventilatoire (0,5 pt)
- Insuffisance cardiaque (0,5 pt)
- Douleur thoracique (0,5 pt)
- Hémiparésie gauche (0,5 pt)
- Pourquoi l'apparition d'une paraplégie est-elle improbable lors d'une surpression pulmonaire ? (0,5 pt)

Une des recommandations de secourisme est de mettre en PLS une victime inconsciente. Comment vous apercevez-vous qu'elle est victime d'un pneumothorax ? (1 pt)

Qu'est-ce que le secouriste peut faire pour éviter cela ? (1 pt)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1. Entraînement physique au N4/GP (10 pts)

En vous basant sur vos connaissances quels sont les conseils que vous donneriez à votre stagiaire pour la mise en place d'un programme entraînement pour les épreuves physiques (hors apnée) du GP ? Justifiez vos choix en ce qui concerne les points suivants :

a) Objectif de la préparation physique (2 pts)

Le futur guide de palanquée devra assurer sa sécurité ainsi que celle de sa palanquée. Il devra être capable d'intervenir tout en restant opérationnel pour une éventuelle assistance en surface. Il doit donc avoir une bonne condition physique aussi bien pour présenter l'examen (800 m PMT, 500 m capelé, mannequin) qu'après (surtout après !). Le but de la préparation physique est d'améliorer son adaptation à l'effort, améliorer son temps de récupération et diminuer l'énergie dépensée.

Développement de la filière aérobie permettant d'effectuer les épreuves dans leur durée, d'assurer l'apnée du mannequin.

Développement de la filière anaérobie (glycolytique) permettant d'améliorer les temps du PMT mais aussi de réaliser l'épreuve du capelé.

b) Hygiène de vie et condition physique (2pts)

- *Une bonne hygiène de vie est à recommander pour les futurs candidats au N4/GP. Il s'agit de soutenir l'effort d'entraînement ainsi qu'éliminer les facteurs de risque des accidents de plongée. Avoir une alimentation équilibrée correspondante au programme d'entraînement mis en place,*
 - *3 à 4 repas par jour, équilibré : 5 fruits et légumes par jour, répartition 4/2/1 GPL (contrôle sur le poids qui doit rester constant et de forme (IMC entre 18.5 et 25) les chiffres ne sont pas indispensables.*
 - *Respecter un intervalle de 2 heures après un repas pour s'entraîner et d'une heure après une séance d'entraînement pour s'alimenter.*
 - *Prendre des repas digestes, légers après une séance d'entraînement et le lendemain.*
- *Hydratation quotidienne : 1.5 l à 2 l par jour, et plus le lendemain d'une séance d'entraînement.*
 - *Boire avant d'avoir soif*
 - *S'habituer à boire pendant l'entraînement.*
- *Respecter les temps de sommeil physiologiques (variables d'un individu à un autre) après une séance d'entraînement, mais aussi avant.*
- *Eliminer (limiter) la cigarette et la consommation d'alcool.*

c) Programme d'entraînement (5 pts)

• **Respecter des temps de récupération**

- 24 heures après une séance aérobie
- 72 heures après une séance anaérobie

• **Premier tiers d'entraînement:**

- Entraînement de la filière aérobie, phase commune pour la préparation de toutes les épreuves.
- Travail en milieu artificiel permettant de corriger les défauts techniques
- Diversifier les activités physiques (natation, vélo, course à pied, ski de fond : on privilégiera les activités qui musclent les membres inférieurs)
- Augmentation progressive des distances et de la durée.
- Augmentation progressive du volume d'entraînement (nombre de séances /semaine)

• **Deuxième tiers d'entraînement:**

- Continuer le travail de la filière aérobie.
- Ajouter des séances de travail au seuil ventilatoire 2 (seuil aérobie-anaérobie)
- Maintenir ou augmenter le volume d'entraînement (nombre de séances/semaine)
- Privilégier les séances de natation par rapport aux autres activités physiques.

• **Dernier tiers d'entraînement:**

- Privilégier le travail au seuil ventilatoire 2
- Diminuer la filière aérobie
- Augmenter les phases de récupération
- Priorité à la spécificité des épreuves d'examen
- Priorité et travail privilégié en milieu naturel
- Travail anaérobie : exercices de 1' à 1'30

d) Articulation des séances d'entraînement et des plongées techniques (1 pts)

L'entraînement de fond peut avoir lieu en piscine mais l'examen ayant lieu en mer il faut, dans la mesure du possible privilégier l'entraînement dans les conditions d'examen (et de pratique !). Il faudra veiller à s'entraîner aux nages (500 capelé ou 800 PM T) le matin, avant la journée de plongée (pas d'effort après la plongée). Il en est de même pour l'apnée et le mannequin (12h après la dernière plongée au plus tôt) pour ne pas perturber la désaturation.

QUESTION N°2. La plongée au féminin (5 pts)

Quelles spécificités physiologiques des femmes peuvent impacter la pratique des plongeuses ?
Détaillez pour chaque spécificité son mécanisme et les effets en plongée, ainsi que les répercussions en terme de prévention, de contre-indication, de CAT en cas d'accident.

- Performance physique : les plongeuses ont le plus souvent une force physique inférieure et un gabarit plus petit que les plongeurs. La manipulation du matériel sera donc plus difficile, d'autant

plus qu'il est souvent pas ou mal adapté. Il est donc nécessaire d'adapter au mieux le matériel au gabarit des plongeuses et être vigilants à apporter une aide parfois nécessaire à l'équipement et au retour sur le bateau. (1 pt)

- Anatomie: les femmes ont un % de masse grasse plus important que les hommes. Elles auront donc besoin d'un lestage plus important que les hommes pour un gabarit similaire, leur centre de gravité sera également différent.*
- Elles sont plus sensibles au froid, en particulier au niveau des extrémités. Une combinaison plus épaisse ainsi que des gants et des chaussons sont donc à recommander. (1 pt)*
- Accident de décompression : les études ne font pas apparaître de différence significative entre les hommes et les femmes en ce qui concerne les accidents de plongée. Les femmes sont moins nombreuses dans les statistiques d'accidentologie mais cela serait dû à leur sous-représentation dans les rangs des plongeurs ainsi qu'à un comportement moins accidentogène (moins de besoin de descendre très profond, meilleur respect des procédures et souvent meilleure hygiène de vie). (1 pt)*
- Les règles : pendant la période menstruelle, une partie du fluide sanguin est absorbé dans les tissus. Il en résulte une diminution du volume sanguin dont les effets peuvent être rapprochés de ceux d'une déshydratation. Il n'y a pas d'études poussées sur l'impact des règles sur la décompression, on peut toutefois conseiller aux femmes durant cette période d'appliquer les mêmes règles de prudence qu'en cas de fatigue et/ou douleurs (pour plonger il faut être "en bonne condition physique et mentale"), en étant vigilant aux antalgiques utilisés pour soulager la douleur (on privilégiera les antalgiques n'ayant pas d'effet sur la circulation sanguine tels que l'aspirine, et n'entraînant pas d'effet secondaire neurologique) et prévenir la déshydratation. (1 pt)*
- La grossesse : la grossesse est considérée en France comme une contre-indication temporaire à la pratique de la plongée. Un risque existe également pour le fœtus, même si celui-ci n'est que très peu connu. Il peut être impacté par la désaturation et par la toxicité des gaz, mais aussi par les traitements de la mère en cas d'accident. La reprise de plongée après la grossesse devrait être soumise à l'avis du médecin, et dans tous les cas avec la prise en compte de l'état physique et mental de la mère. (1 pt)*
- En terme de prévention il semble fondamental d'anticiper et d'intégrer dans les cours ainsi que dans les pratiques d'encadrement la prise en compte de ces spécificités. Ce sont les formateurs qui attirent l'attention des plongeurs dès leurs premiers coups de palme sur ce qu'ils doivent faire ou non, il ne faut donc pas oublier les conseils à prodiguer aux plongeuses. La CAT en cas d'accident est strictement similaire à celle pour les hommes. (1 pt)*

Question n° 3 : La surpression pulmonaire (5 pts)

En vous basant sur vos connaissances d'anatomie et de physiologie, expliquez les symptômes suivants rencontrés lors d'une surpression pulmonaire.

- Spume rosâtre (0,5 pt)
Membrane alvéolo-capillaire fragile, distendue ou déchirée laissant passer des éléments figurés du sang qui remontent à la bouche lors d'efforts de toux.
- Insuffisance ventilatoire (0,5 pt)
Effraction d'air dans les feuillets de la plèvre qui les désolidarise et provoque un pneumothorax, ce qui ne permet plus l'expansion du poumon du côté lésé.
- Insuffisance cardiaque (0,5 pt)
Emphysème médiastinal, comprimant le cœur, et empêchant son fonctionnement normal et/ou bulles d'air en nombre important dans le cœur gauche perturbant le débit cardiaque.
- Douleur thoracique (0,5 pt)
Due aux lésions pleurales.
- Hémiplégie gauche (0,5 pt)
Bulles d'air circulant dans la crosse aortique et qui remontent dans la carotide droite.
- Pourquoi l'apparition d'une paraplégie est-elle improbable lors d'une surpression pulmonaire ? (0,5 pt)
Les bulles d'air en provenance des veines pulmonaires passent dans la grande circulation via les cavités gauches du cœur, empruntent l'Aorte puis remontent vers les carotides pour former une embolie gazeuse cérébrale. De ce fait, la circulation médullaire n'est pas concernée.

Une des recommandations de secourisme est de mettre en PLS une victime inconsciente. Comment vous apercevez-vous qu'elle est victime d'un pneumothorax ? (1 pt)

Une personne victime d'un pneumothorax, si elle est placée en PLS du côté du poumon sain, va rapidement avoir une déficience respiratoire entraînant une cyanose des extrémités malgré l'inhalation d'oxygène. En effet, le poumon sain écrasé par le poids du corps perd de sa compliance (mouvements ventilatoires moins importants) et n'oxygène pas assez les cellules.

Qu'est-ce que le secouriste peut faire pour éviter cela ? (1 pt)

*Lors du bilan, le secouriste aurait pu constater une diminution des mouvements de la cage thoracique et donc positionner la victime sur le poumon affecté pour permettre au poumon sain d'avoir toute la compliance nécessaire pour bien oxygéner l'organisme.
Si la victime est consciente, la laisser choisir le côté le moins inconfortable.*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

Question N°1: l'oreille et la plongée (6 points)

Exposez les incidents ou accidents de l'oreille en plongée en décrivant leurs mécanismes, symptômes, localisations et préventions.

Question N°2 : La déshydratation en plongée (7 points)

Les encadrants n'insistent pas suffisamment sur le fait que la déshydratation est un facteur de risque important des accidents de plongée.

Exposez les causes, les mécanismes et les conséquences de la déshydratation en plongée et les conseils de prévention que vous donneriez pour l'éviter.

Question 3 : l'essoufflement en plongée (7 points)

- a) Expliquez pourquoi le risque d'apparition d'un essoufflement est important en plongée bien que l'effort physique en immersion ne semble pas très élevé (en comparaison de ce qu'il peut être dans d'autres activités physiques).
- b) Expliquez pourquoi il est difficile, voire impossible, de récupérer d'un essoufflement en plongée.
- c) L'essoufflement est un facteur favorisant d'autres accidents de plongée.
Citez lesquels et expliquez pourquoi.

REFERENTIEL DE CORRECTION

Question N°1: l'oreille et la plongée (6 points)

Exposez les incidents ou accidents de l'oreille en plongée en décrivant leurs mécanismes, symptômes, localisations et préventions.

- Les incidents ou accidents de l'oreille externe (1 pt) :
 - *Otite externe : infection et/ou eczéma du conduit auditif externe due à la pénétration d'eau.*
 - *Prévention : après la plongée, bien rincer et sécher le conduit avec un mouchoir en papier, ne pas utiliser de coton tige car risque de provoquer des lésions. On peut appliquer de l'alcool boriqué.*

- Les incidents ou accidents de l'oreille moyenne (2 pts)
 - *Barotraumatisme du tympan (otite barotraumatique de l'oreille moyenne) dû à une manœuvre d'équilibrage mal exécutée.*
 - *Prévention : ne pas plonger lorsque la sphère ORL est inflammatoire. Ne jamais forcer pendant une manœuvre de Valsalva et utiliser des méthodes plus douces, moins traumatisantes comme la déglutition ou la BTV, etc.*
 - *Vertige alternobarique : survient le plus souvent à la remontée. Stimulation vestibulaire asymétrique liée à une équipression non simultanée dans les caisses tympaniques entraînant un vertige bref et intense (troubles visuels = vertiges).*
 - *Prévention : ne pas relever la tête brusquement, communiquer avec l'équipier et attendre stabilisé que les troubles disparaissent.*

- Les incidents ou accidents de l'oreille interne (3 pts) :
 - *Barotraumatisme de l'oreille interne dû au coup de piston sur la fenêtre ovale par 2 mécanismes différents :*
 - *Indirect : par répercussion d'un barotraumatisme du tympan sur la chaîne des osselets : violente douleur, vertiges, surdité de perception et acouphènes. Il y a donc 2 traumatismes en un seul (oreille moyenne et interne : barotraumatisme mixte)*
 - *Direct : par un Valsalva forcé. Mêmes symptômes mais pas de douleur car le tympan n'est pas touché. Barotraumatisme pur de l'oreille interne.*
 - *ADD de l'oreille interne : bulles obstruant l'artère cochléo-vestibulaire et/ou présentes dans le liquide labyrinthique, ce qui engendre des nausées, vomissements, vertiges et des troubles de l'équilibre par atteinte vestibulaire. Dans un tiers des cas, on retrouve des troubles de l'audition avec acouphènes par atteinte cochléaire associée.*
 - *Prévention : éviter les situations à risques d'ADD.*

Question N°2 : La déshydratation en plongée (7 points)

Les encadrants n'insistent pas suffisamment sur le fait que la déshydratation est un facteur de risque important des accidents de plongée.

Exposez les causes, les mécanismes et les conséquences de la déshydratation en plongée et les conseils de prévention que vous donneriez pour l'éviter.

Mécanismes (4 pts) : la déshydratation est un facteur important de l'ADD. Les encadrants se doivent d'insister sur la nécessité de bien s'hydrater avant et après la plongée. La déshydratation est liée à plusieurs mécanismes et peut être due :

- A un apport initial insuffisant et/ou à une déperdition (sudation) liée à une exposition prolongée à la chaleur*
- A la respiration buccale : air non humidifié par les muqueuses nasale.*
- A l'air sec de la bouteille dû au système de filtration du compresseur. La pression de vapeur d'eau dans les alvéoles pulmonaires doit être compensée. Pour maintenir l'équilibre, le sang va éliminer une partie de l'eau du plasma en produisant de la vapeur d'eau*
- A la diurèse d'immersion : la redistribution des masses sanguines vers le thorax et l'abdomen provoque une augmentation du volume sanguin central (+ 0,7 L). Le système circulatoire s'adapte en augmentant la diurèse pour diminuer cette surcharge.*
- Au froid accentue la diurèse en créant une vasoconstriction périphérique pour réduire les pertes caloriques et augmente aussi le volume sanguin central. Tout ceci entraîne une élimination de l'eau du plasma par une plus forte production d'urine.*

Conséquences (1 pt) : tous ces mécanismes rendent le sang plus concentré (hémococoncentration), ce qui entraîne une moins bonne circulation des micros-bulles et donc une moins bonne élimination de l'azote. Il en résulte un risque accru d'ADD.

Conseils (2 pt) :

- Insister sur la nécessité de s'hydrater avant et après la plongée, même en l'absence de sensation de soif. Il faut éviter les boissons diurétiques (type thé) et les boissons alcoolisées. En cas d'accident il faut poursuivre la réhydratation.*
- Il faut avoir une combinaison adaptée à la température de l'eau pour réduire les effets aggravants du froid sur la déshydratation.*

Question 3 : l'essoufflement en plongée (7 points)

- a) Expliquez pourquoi le risque d'apparition d'un essoufflement est important en plongée bien que l'effort physique en immersion ne semble pas très élevé (en comparaison de ce qu'il peut être dans d'autres activités physiques).

L'immersion augmente le risque d'essoufflement car : (3 pts)

- L'augmentation de la densité des gaz ventilés avec la profondeur conduit également à augmenter le travail musculaire nécessaire pour ventiler
- La redistribution de la masse sanguine vers les organes centraux et, en particulier, les poumons conduit à augmenter le travail musculaire nécessaire pour ventiler. En particulier, l'expiration devient active
- Le matériel (ex. : détendeur, combinaison, stab) a tendance à augmenter également le travail musculaire nécessaire pour ventiler.

- b) Expliquez pourquoi il est difficile, voire impossible, de récupérer d'un essoufflement en plongée.

Un essoufflement en profondeur est difficile à récupérer car : (2 pts)

- Lorsqu'un essoufflement survient alors la quantité de CO₂ produite est supérieure à celle qui est éliminée.
- Or, le mécanisme de l'essoufflement (augmentation de la ventilation par augmentation de la fréquence) a tendance à produire encore plus de CO₂ (issu des muscles ventilatoires), tout en diminuant son élimination.
- De plus, le réflexe inné de réponse à l'essoufflement est de forcer l'inspiration alors qu'il faut, en plongée, forcer sur l'expiration pour sortir de l'essoufflement. On est donc bien dans un « cercle vicieux » dont il est difficile de sortir.

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

L'essoufflement est un facteur favorisant des accidents suivants : (2 pts)

- ADD : Les bulles de CO₂ peuvent servir de micronoyaux gazeux à l'origine d'ADD.
- Narcose : le CO₂ potentialise les effets narcotiques de l'azote
- Surpression pulmonaire : Le plongeur atteint d'un essoufflement sévère a tendance à diminuer les volumes expirés. En cas de remontée (« panique » par exemple), cela augmente le risque de SP.
- Noyade : Le plongeur qui subit un essoufflement sévère a un raisonnement confus et panique. Cette panique peut l'entraîner à lâcher son détendeur et, ne pouvant réaliser une apnée, à se noyer.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1. Un accident de plongée chez un sénior (7 points)

Marcel, MF1 de 59 ans effectue une plongée d'exploration de 30 minutes à 20 mètres de profondeur. Il présente une hypertension artérielle bien équilibrée, et son médecin fédéral l'a autorisé à plonger sans restriction particulière. En manque d'exercice physique, et ayant un peu forcé sur le chocolat lors des fêtes de Pâques, il se trouve un peu à l'étroit dans sa combinaison. La plongée se déroule sans problème particulier, et il effectue sa remontée en 2 minutes sans bloquer sa respiration, il ressent à partir de 8 mètres de profondeur une sensation d'essoufflement qui va en augmentant. Arrivé en surface, ses compagnons doivent l'aider à remonter sur le bateau, car il n'y parvient pas tout seul. Il est pâle, ses lèvres sont bleutées, sa respiration est rapide, bruyante, et il crache régulièrement un liquide rosâtre. Son thorax ne présente pas de signe d'emphysème sous cutané et il n'y a aucun signe évocateur d'un problème neurologique

- Avant d'avertir les secours, quelle est votre première action pour porter secours à Marcel ?
- A quel accident pensez-vous ? Justifiez votre réponse en vous appuyant sur les éléments de l'énoncé
- En vous basant uniquement sur les éléments de l'énoncé, listez les facteurs qui ont probablement favorisé cet accident
- Quels éléments de l'énoncé pourraient vous faire évoquer une surpression pulmonaire ?
- Quels éléments contredisent cette hypothèse ?
- Pourquoi les signes ont-ils débuté à la remontée et non au fond ?

QUESTION N°2. Orientation et ... désorientation (5 points)

Il y a quelques années, l'examen du MF2 comportait une épreuve d'orientation sans instrument, qui consistait à retrouver la position de 3 bouées disposées en triangle. Les candidats démarraient l'épreuve en sautant de la falaise du quai de Niolon d'une hauteur d'environ 3 mètres. Afin de garder la bonne direction et d'éviter de se laisser déporter par le léger courant qui existait parfois, un candidat qui pesait 50 kg se lesta de 9 plombs de 1 kilos, partiellement dissimulés et dégonfla son gilet avant de sauter. Arrivé au fond, il ressentit un violent vertige rotatoire qui l'empêcha de poursuivre son épreuve. A la sortie de l'eau, le vertige avait disparu mais il entendait moins bien de l'oreille droite et se plaignait d'entendre des acouphènes.

- Quel accident a vraisemblablement présenté ce plongeur ?
- Expliquez-en le mécanisme dans le cas évoqué dans l'énoncé
- Pourquoi est-il partiellement sourd d'une oreille et entend-il des acouphènes
- En utilisant les données de l'énoncé, expliquez en quoi cet accident était prévisible ?

QUESTION N°3. L'entraînement physique du guide de palanquée (8 pts)

En tant que MF₂, vous êtes chargé de la préparation des candidats à un examen de Guide de Palanquée.

- a) Décrivez brièvement (sous forme de tableau par exemple) les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire avec leurs principales caractéristiques : substrat(s) utilisé(s), puissance, durée d'action, facteur limitant de la filière. Qu'est ce que le seuil ventilatoire 2 ?
- b) Indiquez en justifiant votre réponse, quelles filières énergétiques sont mises en œuvre au cours des épreuves suivantes : 800m PMT, 500m capelé, et mannequin.
- c) Présentez une planification d'entraînement concernant l'épreuve du 500m capelé ou 800m PMT, intégrée dans la préparation physique de vos candidats sur une durée de 3 mois : découpage, répartition des filières, type d'activités physiques, etc.

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1 : un accident de plongée chez un sénior (7 points)

Marcel, MF1 de 59 ans effectue une plongée d'exploration de 30 minutes à 20 mètres de profondeur. Il présente une hypertension artérielle bien équilibrée, et son médecin fédéral l'a autorisé à plonger sans restriction particulière. En manque d'exercice physique, et ayant un peu forcé sur le chocolat lors des fêtes de Pâques, il se trouve un peu à l'étroit dans sa combinaison. La plongée se déroule sans problème particulier, et il effectue sa remontée en 2 minutes sans bloquer sa respiration, il ressent à partir de 8 mètres de profondeur une sensation d'essoufflement qui va en augmentant. Arrivé en surface, ses compagnons doivent l'aider à remonter sur le bateau, car il n'y parvient pas tout seul. Il est pâle, ses lèvres sont bleutées, sa respiration est rapide, bruyante, et il crache régulièrement un liquide rosâtre. Son thorax ne présente pas de signe d'emphysème sous cutané et il n'y a aucun signe évocateur d'un problème neurologique

a) Avant d'avertir les secours, quelle est votre première action pour porter secours à Marcel ? (0,5 pt)

Administrer de l'O₂ pur normobare à 15 litres / minute. Il est essoufflé et hypoxique

b) A quel accident pensez-vous ? Justifiez votre réponse en vous appuyant sur les éléments de l'énoncé (1,5 pt)

- *Un OAP d'immersion :*
- *Début des signes de façon progressive entre 10 m et la surface*
- *Remontée à 10 m / min sans blocage ventilatoire*

c) En vous basant uniquement sur les éléments de l'énoncé, listez les facteurs qui ont probablement favorisé cet accident (2 pts)

- *Age > 45 ans*
- *Pathologie cardiaque, même stable (HTA)*
- *Manque de condition physique*
- *Combinaison trop serrée (œufs de Pâques !) → augmentation du travail ventilatoire*

d) Quels éléments de l'énoncé pourraient vous faire évoquer une surpression pulmonaire ? (0,5 pt)

Ventilation rapide, lèvres bleutées, crachats saumonés

e) Quels éléments contredisent cette hypothèse ? (1 pt)

- *Absence de blocage ventilatoire à la remontée*
- *Absence de signes neurologiques, car pas d'aéroembolisme comme dans la SP*
- *Absence d'emphysème sous cutané*

f) Pourquoi les signes ont-ils débuté à la remontée et non au fond ? (1,5 pt)

- *Au fond, la pression capillaire s'élève en raison du bloodshift mais elle est contre balancée par l'augmentation de la pression alvéolaire → pas de fuite plasmatique du capillaire vers l'alvéole*
- *Dans des conditions normales les deux pressions baissent et restent en équilibre à la remontée*

- En cas d'OAP, la pression capillaire pulmonaire reste anormalement élevée à la remontée → fuite plasmatique vers les alvéoles qui sont « noyées » → OAP

QUESTION N°2 : orientation et ... désorientation (5 points)

Il y a quelques années, l'examen du MF2 comportait une épreuve d'orientation sans instrument, qui consistait à retrouver la position de 3 bouées disposées en triangle. Les candidats démarraient l'épreuve en sautant de la falaise du quai de Niolon d'une hauteur d'environ 3 mètres. Afin de garder la bonne direction et d'éviter de se laisser déporter par le léger courant qui existait parfois, un candidat qui pesait 50 kg se lesta de 9 plombs de 1 kilos, partiellement dissimulés et dégonfla son gilet avant de sauter. Arrivé au fond, il ressentit un violent vertige rotatoire qui l'empêcha de poursuivre son épreuve. A la sortie de l'eau, le vertige avait disparu mais il entendait moins bien de l'oreille droite et se plaignait d'entendre des acouphènes.

a) Quel accident a vraisemblablement présenté ce plongeur ? (1 pt)

Un accident barotraumatique de l'oreille interne.

b) Expliquez-en le mécanisme dans le cas évoqué dans l'énoncé (1 pt)

L'onde de choc s'est transmise du tympan à la chaîne des osselets puis à la fenêtre ovale : c'est le « coup de piston labyrinthique ».

c) Pourquoi est-il partiellement sourd d'une oreille et entend-il des acouphènes ? (2 pt)

- *L'onde de choc a pu entraîner :*
- *Une atteinte de la chaîne des osselets et/ou une entorse stapédo vestibulaire → surdité partielle*
- *Une atteinte de l'organe de Corti → surdité et acouphènes.*

d) En utilisant les données de l'énoncé, expliquez en quoi cet accident était prévisible ? (1 pt)

Le surlestage démesuré par rapport à sa constitution et le fait qu'il ait vidé sa stab avant de sauter a entraîné le candidat très rapidement au fond. L'augmentation de pression a été particulièrement brutale, et le candidat n'a pas eu le temps d'équilibrer ses oreilles ou à fait une manœuvre de Valsalva violente en arrivant au fond. .

QUESTION N°3 : l'entraînement physique du guide de palanquée (8 pts)

En tant que MF₂, vous êtes chargé de la préparation des candidats à l'examen du Guide de Palanquée.

a) Décrivez brièvement (sous forme de tableau par exemple) les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire avec leurs principales caractéristiques : substrat(s) utilisé(s), puissance, durée d'action, facteur limitant de la filière. Qu'est ce que le seuil ventilatoire 2 ? (3 pts)

Anaérobie à haute intensité phosphagène (ex anaérobie alactique) :

- *Substrats : ATP, créatine phosphate*
- *Puissance : maximale*
- *Durée d'action (variable en fonction du niveau d'entraînement) : de 2 à 15 "*
- *Facteur limitant : baisse des réserves en créatine phosphate*

Anaérobie glycolytique (ex anaérobie lactique) :

- Substrats : glucose
- Puissance : sub-maximale
- Durée d'action (variable en fonction du niveau d'entraînement) : de 2 à 3 minutes
- Facteur limitant : acidose musculaire (augmentation de H^+)

Aérobie:

- Substrats : glucides, lipides et parfois protéines
- Puissance : faible à modérée
- Durée d'action (variable en fonction du niveau d'entraînement) : plusieurs heures
- Facteur limitant : fatigue, niveau d'entraînement du sujet, chaleur, etc..

Seuil ventilatoire 2 :

- Compromis énergétique permettant d'utiliser l'intensité maximale de la filière aérobie, sans entrer dans la filière anaérobie glycolytique (acidose). Zone préférentielle à développer dans toutes les activités où l'on cherche à être performant sur une longue durée (500 et 1000m capelé, 800m et 1500m PMT).

b) Indiquez en justifiant votre réponse, quelles filières énergétiques sont mises en œuvre au cours des épreuves suivantes : 800m PMT, 500m capelé, et mannequin (2 pts)

- **800m PMT et 500m capelé**: seuil ventilatoire 2, c'est à dire la partie la plus intense de la filière aérobie.
- **Mannequin** : nage avant l'apnée : filière aérobie, puis seuil ventilatoire 2 et/ou filière anaérobie glycolytique pendant le tractage

c) Présentez une planification d'entraînement concernant l'épreuve du 500m capelé ou 800m PMT, intégrée dans la préparation physique de vos candidats sur une durée de 3 mois : découpage, répartition des filières, type d'activités physiques, etc. (3 pts)

• **Premier mois :**

- Entraînement de la filière aérobie, phase commune pour la préparation de toutes les épreuves.
- Diversifier les activités physiques (natation, vélo, course à pied, ski de fond, etc.)
- Augmentation progressive des distances et de la durée.
- Augmentation progressive du volume d'entraînement (nombre de séances /semaine)

• **Deuxième mois :**

- Continuer le travail de la filière aérobie.
- Ajouter des séances de travail au seuil ventilatoire 2 (seuil aérobie-anaérobie)
- Maintenir ou augmenter le volume d'entraînement (nombre de séances/semaine)
- Privilégier les séances natation par rapport aux autres activités physiques.

• **Dernier mois :**

- Privilégier le travail au seuil ventilatoire 2
- Diminuer la filière aérobie
- Augmenter les phases de récupération
- Priorité à la spécificité des épreuves d'examen
- Priorité et travail privilégié en milieu naturel

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1 : Les vertiges en plongée (7 pts)

Les vertiges peuvent être la manifestation de différents incidents ou accidents de plongée.

- Quels sont-ils ?
- Expliquez la physiopathologie de chacun d'entre eux

QUESTION n° 2 : La surpression pulmonaire (8 pts)

En vous basant sur vos connaissances d'anatomie et de physiologie, expliquez les symptômes suivants rencontrés lors d'une surpression pulmonaire.

- Spume rosâtre
- Insuffisance ventilatoire
- Insuffisance cardiaque
- Douleur thoracique
- Hémiparésie gauche
- Pourquoi l'apparition d'une parapésie est-elle improbable lors d'une surpression pulmonaire ?

Une des recommandations de secourisme est de mettre en PLS une victime inconsciente. Comment vous apercevez-vous qu'elle est victime d'un pneumothorax ?

Auriez-vous pu éviter cela ?

QUESTION n° 3 : La descente dans le bleu. (5 pts)

La technique de descente dans le bleu nécessite une éducation sensorielle du plongeur.

- Quelles sont les contraintes physiques et/ou physiologiques rencontrées lors du travail de cette capacité ?
- Citez les organes ou les sens mis en œuvre pour y remédier.
- Quels conseils donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour qu'ils puissent former leurs futurs plongeurs à dominer ces difficultés.

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1 : Les vertiges en plongée (7 pts)

Les vertiges peuvent être la manifestation de différents incidents ou accidents de plongée.

- **Quels sont-ils ? (1 pt)**
 - *Vertige alterno-barique*
 - *Coup de piston de l'étrier sur la fenêtre ovale*
 - *Perforation tympanique unilatérale*
 - *Accident de désaturation labyrinthique*
 - *Mal de mer*
- **Expliquez la physiopathologie de chacun d'entre eux (6 pts)**

Vertige alternobarique (1 pt)

Lors de la remontée, différence de pression entre les deux oreilles moyennes, due à un mauvais fonctionnement de la trompe d'Eustache d'une oreille. Les signaux nerveux du vestibule émis par chaque oreille sont divergents, ce qui crée la sensation de vertige

Coup de piston (1 pt)

Valsalva brutal entraînant une déformation importante du tympan, amplifiée par les osselets, entraînant un déplacement important et brutal de l'étrier dans la fenêtre ovale. Ceci se répercute dans le vestibule en créant une onde dans l'endolymphe, qui n'existe pas dans l'autre oreille. L'incohérence des messages envoyés par chaque vestibule au niveau du cerveau, entraîne cette sensation de vertige

Perforation tympanique (2 pts)

Elle provoque plusieurs conséquences qui peuvent donner des vertiges :

Irruption d'eau froide provoquant des réactions locales responsables de la sensation vertigineuse (différence de température entre les deux oreilles)

Caisse du tympan pleine d'eau empêchant la fenêtre ronde de jouer son rôle d'amortisseur et hyperpression dans l'oreille interne provoquant un dysfonctionnement au niveau vestibulaire

Accident de désaturation (peu d'exigence : sujet décompression) (1 pt)

Blocage circulatoire touchant l'artère vestibulaire (vascularisation terminale)

Bulles dans l'endolymphe des canaux semi-circulaires et/ou du vestibule (utricle et saccule)

Mal de mer (1 pt)

Inadéquation entre les informations données par les canaux semi-circulaires, les informations visuelles et les informations proprioceptives.

Question n° 2 : La surpression pulmonaire (8 pts)

En vous basant sur vos connaissances d'anatomie et de physiologie, expliquez les symptômes suivants rencontrés lors d'une surpression pulmonaire.

- **Spume rosâtre (1 pt)**

Membrane alvéolo-capillaire fragile, distendue ou déchirée laissant passer des éléments figurés du sang qui remontent à la bouche lors d'efforts de toux.
- **Insuffisance ventilatoire (1 pt)**

Effraction d'air dans les feuillets de la plèvre qui les désolidarise et provoque un pneumothorax, ce qui ne permet plus l'expansion du poumon du côté lésé.
- **Insuffisance cardiaque (1 pt)**

Emphysème médiastinal, comprimant le cœur, et empêchant son fonctionnement normal et/ ou bulles d'air en nombre important dans le cœur gauche perturbant le débit cardiaque.
- **Douleur thoracique (1 pt)**

Due aux lésions pleurales.
- **Hémiplégie gauche (1 pt)**

Bulles d'air circulant dans la crosse aortique et qui remontent dans la carotide droite.

- Pourquoi l'apparition d'une paraplégie est-elle improbable lors d'une surpression pulmonaire ? (1 pt)
Les bulles d'air en provenance des veines pulmonaires passent dans la grande circulation via les cavités gauches du cœur, empruntent l'Aorte puis remontent vers les carotides pour former une embolie gazeuse cérébrale. De ce fait, la circulation médullaire n'est pas concernée.

Une des recommandations de secourisme est de mettre en PLS une victime inconsciente. Comment vous apercevez-vous qu'elle est victime d'un pneumothorax ? (1 pt)

Une personne victime d'un pneumothorax, si elle est placée en PLS du côté du poumon sain, va rapidement avoir une déficience respiratoire entraînant une cyanose des extrémités malgré l'inhalation d'oxygène. En effet, le poumon sain écrasé par le poids du corps perd de sa compliance et n'oxygène pas assez les cellules.

Comment auriez-vous pu éviter cela ? (1 pt)

Lors du bilan, le secouriste aurait pu constater un affaissement de la cage thoracique et un emphysème sous cutané (côté pneumothorax) et donc positionner la victime sur le poumon affecté pour permettre au poumon sain d'avoir toute la compliance nécessaire pour bien oxygéner l'organisme.

QUESTION n° 3 : La descente dans le bleu. (5 pts)

La technique de descente dans le bleu nécessite une éducation sensorielle du plongeur.

- Quelles sont les contraintes physiques et/ou physiologiques rencontrées lors du travail de cette capacité ?
- Citez les organes ou les sens mis en œuvre pour y remédier.

Les contraintes physiques physiologiques et organes mis en œuvres

- *Absence de repère visuel (Système labyrinthique, proprioception et tonus musculaire)*
- *Maintien de la verticalité (Proprioception à développer, recherche de sensations kinesthésiques)*
- *Équilibrage des oreilles (sphère ORL)*
- *Prévention de l'essoufflement et/ou la narcose (Adaptation de la ventilation avec la profondeur)*

- Quels conseils donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour qu'ils puissent former leurs futurs plongeurs à dominer ces difficultés.

Conseils aux stagiaires pédagogiques

Développer la proprioception, apprendre la verticalité, utiliser le glissement des bulles, chercher les petits repères visuels (particules), sentir le couple plongeur matériel et son centre de gravité, adopter une ventilation calme, ne pas descendre trop rapidement, équilibrer les oreilles dès le premier mètre et tout au long de la descente, réguler la vitesse de descente (gonflage du gilet), bien gréer et positionner son matériel.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION N°1 : La narcose en plongée à l'air : (8 points)

- Décrivez les principales hypothèses physiologiques concernant l'action de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux. (2 pts)
- Décrivez les modifications comportementales et sensorielles chez le plongeur affecté par la narcose. (3 pts)
- Listez les facteurs favorisant la narcose. (1 pt)
- Comment réagir face à la narcose et la prévenir ? (2 pts)

QUESTION N°2 : La ventilation en plongée (5 points)

Certains médecins hyperbares n'hésitent pas à affirmer que l'immersion transforme le plongeur en insuffisant respiratoire.

- Justifiez cette affirmation en expliquant comment l'augmentation de la pression ambiante modifie la ventilation. (3 pts)
- Comment les pressions partielles alvéolaires évoluent-elles en fonction de la profondeur ? (1 pt)
- Sous quelle(s) forme(s) peut se manifester l'insuffisance respiratoire évoquée plus haut (incidents ou accidents) ? (1 pt)

QUESTION N° 3 : La récupération dans l'entraînement physique. (7 points)

L'amélioration des performances physiques du sportif nécessite un entraînement qui se construit de manière raisonnée. L'activité physique, durant les séances de préparation, sollicite les réserves énergétiques de l'organisme, tout en améliorant les capacités physiologiques et métaboliques. La récupération fait partie intégrante de la planification des séances d'entraînement.

- Quel est l'intérêt d'une phase de récupération après un exercice physique ? (1 pt)
- Quelle différence fait-on entre récupération active et récupération passive ? Quelles sont les répercussions de ces deux modalités sur l'organisme ? (2 pts)
- En s'attachant aux principes généraux de préparation physique, comment la récupération participe-t-elle à l'amélioration des performances (un schéma peut être proposé) ? En conséquence, quels sont les effets d'une récupération inadaptée ? (4 pts)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1 : La narcose en plongée à l'air : (8 points)

- a) Décrivez les principales hypothèses physiologiques concernant l'action de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux. (2 pts)

La narcose à l'azote est due à l'augmentation de la pression partielle d'azote lorsque la profondeur augmente. L'azote agit sur le système nerveux en entraînant des troubles du comportement, ainsi que des troubles sensoriels, moteurs et mnésiques.

Différents mécanismes sont suspectés :

- ***L'hypothèse lipidique** : l'azote se diffuserait dans la double couche de lipides formant la membrane cellulaire, la distendant, avec pour conséquence une perturbation de la libération des neurotransmetteurs et une perturbation de la propagation du message électrique. C'est une hypothèse ancienne considérée actuellement comme obsolète.*
- ***L'hypothèse protéique** : Les gaz inertes interagiraient directement avec les neurotransmetteurs et les récepteurs présents dans les synapses de neurones situés dans certaines zones particulières du cerveau (noyaux gris centraux, voie nigro-striée) impliquées dans la coordination des processus moteurs et cognitifs. Les perturbations des neurotransmetteurs concernés (GABA, Glutamate et Dopamine) entraînent un ralentissement globales de ces fonctions.*

- b) Décrivez les modifications comportementales et sensorielles chez le plongeur affecté par la narcose. (3 pts)

La narcose entraîne des troubles qui diffèrent d'un individu à l'autre. La sensibilité par rapport à la narcose n'est pas la même pour tout le monde, ni d'un jour à l'autre. On peut citer:

- *Euphorie,*
- *Angoisse,*
- *Agressivité*
- *Replis sur soi,*
- *Augmentation du discours intérieur,*
- *Troubles de la vision, hallucinations*
- *Mauvaise appréciation de l'espace-temps (durée de plongée)*
- *Perturbation de la mémoire immédiate (lecture répétée des instruments de plongée sans interprétation correcte)*
- *Retard de réaction, signes répétitifs.*
- *Troubles sensoriels (impression de déséquilibre, hyper réflectivité, acouphènes)*
- *Troubles moteurs (incoordination motrice, syndrome cérébelleux)*

A noter que les sujets les plus sensibles peuvent ressentir les effets de la narcose dès 30/40 mètres. En revanche, à partir de 60 m, tous les plongeurs sont narcosés y compris ceux qui, à cause de cette même narcose, prétendent le contraire et ne s'en rendent pas compte.

c) Listez les facteurs favorisant la narcose. (1 pt)

- *Froid,*
- *Stress,*
- *Fatigue,*

- *Descente rapide dans le bleu, absence de repères visuels*
- *Consommation d'alcool, de drogues et de certains médicaments.*
- *Efforts : le CO₂ potentialise les perturbations engendrées par l'azote (lors de l'essoufflement par exemple)*

d) Comment réagir face à la narcose et la prévenir ? (2 pts)

- *Pour les plus sensibles, utilisation d'un Nitrox jusqu'à 40 m (Baisse de la PpN₂ dans le mélange)*
- *Utilisation de Trimix à partir de 40 m : on remplace une partie de l'azote par de l'hélium moins narcotique aux profondeurs atteintes en plongée loisir.*
- *L'accoutumance progressive à la profondeur permet de prévenir ou limiter l'apparition et les effets de la narcose.*
- *L'attitude à avoir face à un plongeur victime d'une narcose est de le faire remonter à une profondeur moindre pour faire diminuer la pression partielle de l'azote. Les effets se dissipent assez rapidement. Une narcose peut provoquer une amnésie et certains plongeurs ne se souviennent pas du comportement qu'ils ont pu avoir au moment de la narcose.*
- *L'organisme pourrait s'accoutumer aux effets de l'azote. Des plongeurs ayant l'habitude de descendre à des profondeurs élevées voient les effets de la narcose diminuer.*

QUESTION N°2 : la ventilation en plongée

Certains médecins hyperbares n'hésitent pas à affirmer que l'immersion transforme le plongeur en insuffisant respiratoire.

a) Justifiez cette affirmation en expliquant comment l'augmentation de la pression ambiante modifie la ventilation. (3 pts)

- *Augmentation de la masse volumique du gaz en profondeur.*
- *Augmentation du travail musculaire lié à la ventilation.*
- *Augmentation des résistances à l'écoulement au niveau des bronches : le flux laminaire devient turbulent.*
- *Résistances externes surajoutées (détendeur, combinaison)*
- *Diminution du VEMS (Volume Expiratoire Maximal Seconde)*
- *Augmentation de l'espace mort (détendeur)*
- *Diminution du Débit Ventilatoire Maximal.*

b) Comment les pressions partielles alvéolaires évoluent-elles en fonction de la profondeur ? (1 pt)

- *Augmentation de la Pp alvéolaire de l'O₂ et du CO₂.*
- *Pp CO₂ alvéolaire stable, car sa production et son élimination sont régulées par l'organisme et indépendamment de la profondeur d'évolution.*
- c) **Sous quelle(s) forme(s) peut se manifester l'insuffisance respiratoire évoquée plus haut (incidents ou accidents) ? (1 pt)**
 - *Essoufflement.*
 - *Panique / Noyade.*
 - *SP et/ ou ADD*

QUESTION N° 3 - La récupération dans l'entraînement physique.

L'amélioration des performances physiques du sportif nécessite un entraînement qui se construit de manière raisonnée. L'activité physique, durant les séances de préparation, sollicite les réserves énergétiques de l'organisme, tout en améliorant les capacités physiologiques et métaboliques. La récupération fait partie intégrante de la planification des séances d'entraînement.

- a) **Quel est l'intérêt d'une phase de récupération après un exercice physique ? (1 pt)**
- *Reconstitution des réserves énergétiques et nutritionnelles (créatine phosphate, glycogène, lipides, eau).*
 - *Recyclage des résidus des processus énergétiques stockés dans les muscles (lactates).*
 - *Phénomène de surcompensation*

b) **Quelle différence fait-on entre récupération active et récupération passive ? Quelles sont les répercussions de ces deux modalités sur l'organisme ? (2 pts)**

- *La récupération active qui doit solliciter prioritairement les groupes musculaires qui ont travaillé, met en jeu des processus énergétiques utilisant l'acide lactique et limite ainsi son stockage. On doit rappeler que les lactates ne peuvent pas être considérés comme toxiques puisqu'ils sont métabolisés pendant la phase de récupération. Elle favorise ainsi l'élimination des toxines et diminue la fatigue musculaire.*
- *A l'opposé, la récupération passive ne permet pas une élimination rapide des lactates. La récupération passive peut constituer une modalité d'exposition de l'organisme à l'acide lactique en vue d'accroître la tolérance. La récupération passive permet tout de même l'élimination des lactates.*

c) **En s'attachant aux principes généraux de préparation physique, comment la récupération participe-t-elle à l'amélioration des performances (un schéma peut être proposé) ? En conséquence, quels sont les effets d'une récupération inadaptée ? (4 pts)**

- *La notion de récupération est associée aux notions de charge, de fatigue et de surcompensation.*
- *A la suite d'une activité physique qui suppose une charge de travail musculaire, l'organisme voit diminuer sa capacité de travail en raison de la fatigue musculaire. La récupération permet de restaurer, au-delà du niveau initial, les capacités de travail musculaire. Le dépassement de la capacité de travail initiale constitue la surcompensation et participe à l'amélioration des performances par la répétition.*
- *Effets d'une récupération inadaptée :*
Une récupération trop longue (Inter séries, inter répétitions, inter entraînement) ne permet pas de bénéficier de la surcompensation et entraîne une stagnation des performances.



Monitorat fédéral 2^{eme} degré La Réunion - Oct 2014

Une récupération trop courte (Inter séries, inter répétitions, inter entraînement) favorise l'accumulation de fatigue et la régression des performances.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

1. L'entraînement à l'épreuve du mannequin pour un futur Guide de Palanquée (8 points)

Au cours d'un stage de préparation au Guide de Palanquée pendant deux semaines en mer, un MF1 vous demande de l'aider à mettre en place une progression spécifique à l'apnée de l'épreuve du mannequin.

- Quelles sont les spécificités physiologiques de ce type d'apnée ? (2 points)
- Quels sont les risques et les précautions à prendre pour cette épreuve ? (2 points)
- Proposez vos axes d'entraînement au cours du stage pour cette épreuve. (4 points)

2. L'oreille et la plongée (6 pts)

- Tous les plongeurs n'équilibrent pas les oreilles avec la même facilité.
En vous appuyant sur vos connaissances, comment pouvez vous expliquer ce constat ? (2 pts)
- Listez et détaillez les différents incidents ou accidents de l'oreille en plongée (hors ADD). (2 pts)
- Exposez le mécanisme et les symptômes du barotraumatisme de l'oreille interne. (2 pts)

3. L'eau : une amie du plongeur (6 points)

Dans votre rôle de moniteur, vous conseillez à vos plongeurs d'avoir à disposition une bouteille d'eau dans leur sac. Justifiez ce conseil en répondant aux questions suivantes :

- Identifiez les phénomènes physiques et physiologiques liés à la plongée et responsables d'une perte en eau pour le plongeur. (1 pt)
- Explicitez les mécanismes physiologiques mis en œuvre. (3 pts)
- Expliquez pourquoi la déshydratation peut favoriser l'apparition des accidents de désaturation. (1 pt)
- Quelles conduites préventives conseillez-vous ? (1 pt)

REFERENTIEL DE CORRECTION
ANATOMIE PHYSIOLOGIE

1. L'entraînement à l'épreuve du mannequin du futur Guide de Palanquée (8 points)

Au cours d'un stage de préparation au Guide de Palanquée pendant deux semaines en mer, un MF1 vous demande de l'aider à mettre en place une progression spécifique à l'apnée de l'épreuve du mannequin.

a) Quelles sont les spécificités physiologiques de ce type d'apnée ? (2 points)

- *C'est une apnée dynamique de 20 s, en déplacement sur un fond de 4 à 6 m, suivie de 10 sec en surface puis d'une nouvelle apnée pour récupérer le mannequin.*
 - *Elle est réalisée après un effort assez important de nage en surface pendant environ 2 mn, faisant intervenir les filières énergétiques aérobie et anaérobie glycolytique (anciennement appelée anaérobie lactique), avec accumulation de CO₂ et de lactates dans le sang.*
- *Après la nage, la durée nécessaire pour éliminer le CO₂ stocké est de plusieurs minutes avant de retrouver un rythme ventilatoire normal. Ce rythme ventilatoire est rapide et ample, et le CO₂ accumulé limite les capacités d'apnée immédiate. L'apnée du mannequin N4, réalisée juste après l'effort, est donc une apnée forcée qui se réalise avec un niveau de CO₂ élevé et un fort besoin de respirer.*

b) Quels sont les risques et les précautions à prendre pour cette épreuve ? (2 points)

- *Les risques inhérents à ce type d'épreuve sont liés à des efforts intenses et à l'accumulation de CO₂ : essoufflement (hypercapnie) crampes, noyade si mauvaise gestion de la respiration en surface (boire la tasse..). La volonté de tenir l'apnée ne doit pas aboutir à une inhalation d'eau suite à un besoin incontrôlable de respirer.*
- *L'entraînement doit privilégier la recherche du dosage optimal entre l'effort lié à la nage et la capacité à tenir l'apnée. La sécurité doit primer sur la performance.*
- *La surveillance en surface est obligatoire, voire l'accompagnement par un nageur d'assistance pendant la durée de l'épreuve. Des points d'appui sont obligatoires pour permettre la récupération après l'effort.*
- *Ce type d'épreuve ou d'entraînement ne doit pas se faire dans les heures suivant une plongée ou immédiatement après les repas.*
- *La condition physique des stagiaires doit être vérifiée.*

c) Proposez vos axes d'entraînement au cours du stage pour cette épreuve. (4 points)

- **Au cours du stage précédant l'examen :**
 - *Travail sur l'équilibre effort/performance/apnée*
Au-delà de l'amélioration des performances aérobies ou de résistance à l'acidose, l'objectif principal de l'entraînement à ce type d'épreuve au cours de la période précédant l'examen est de permettre aux stagiaires de trouver le dosage optimal entre performance et effort/CO₂ induit par la nage avant l'apnée, et leur capacité à tenir les apnées qui suivent. Concrètement cela revient à leur proposer d'augmenter ou diminuer leur effort (par exemple ne pas utiliser les bras dans la dernière partie de la nage), pour augmenter ou diminuer l'accumulation de CO₂ dans le sang, et permettre une meilleure

tenue de l'apnée tout en réalisant le temps minimal à l'épreuve. Ce dosage peut se faire par différents essais et mesures de performance.

De toute évidence et sauf exception, il est difficile sans entraînement de tenir l'apnée de 20 secondes avec un temps de nage au 100 mètres inférieur à 1 min 30

- *Ventilation*

Il doit également permettre aux stagiaires de pouvoir éventuellement mettre en œuvre pendant la dernière phase de la nage ou pendant une récupération active courte statique avant l'apnée (quelques dizaines de secondes) une ventilation avec expiration forcée (quelques cycles respiratoires) permettant d'abaisser temporairement le CO₂ sanguin pour améliorer la tenue de l'apnée de 20 sec. Ce mécanisme doit être court et ne peut pas s'assimiler à de l'hyperventilation, le taux de CO₂ initial étant déjà très élevé et pouvant difficilement aboutir à une syncope anoxique.

- *Propulsion/immersion*

L'entraînement doit aussi permettre de perfectionner ou remédier aux défauts de propulsion ou de technique d'immersion pouvant pénaliser la performance du stagiaire.

- **Ces axes de travail complètent le travail effectué pendant l'année**

- *Travail aérobic*

La réalisation d'un travail de fond en endurance (travail aérobic) tout au long de l'entraînement préalable (les mois précédant l'épreuve) augmentera les possibilités de stockage et de transport de l'O₂. Au cours de la phase précédant l'examen, l'entraînement en endurance (par exemple 2 nages par semaine) doit permettre de maintenir la condition physique préalable, mais ne doit pas avoir pour objectif d'améliorer la performance. En effet, trop augmenter les efforts d'entraînement quelques jours avant l'examen risque de pénaliser les stagiaires (effet de sous compensation lié à un surentraînement avant l'épreuve)

- *Travail anaérobic*

Un des objectifs de l'entraînement préalable peut être aussi est de permettre à l'organisme de mieux résister à l'accumulation de lactates dans le sang lié au travail en filière anaérobic glycolytique.

Pour cela, insister sur un travail à fréquence cardiaque proche de la VMA (vitesse maximale aérobic), entre 80 et 100% de la fréquence cardiaque maximale. Par exemple, des séries de nage rapide suivie immédiatement d'apnées, pour mettre l'organisme en situation de "souffrance" par l'anaérobiose associée à l'acidose, puis de récupération en nage lente. (Travail fractionné)

2. L'oreille et la plongée (6 pts)

a) Tous les plongeurs n'équilibrent pas les oreilles avec la même facilité. En vous appuyant sur vos connaissances, comment pouvez vous expliquer ce constat ? (2 pts)

- *Les facteurs de perméabilité de la trompe varient selon les individus :*
 - *la rectitude de l'axe de la trompe d'Eustache,*
 - *l'étroitesse de son isthme, sa muqueuse et ses cellules sécrétrices,*
 - *la position de son ostium (orifice) pharyngé (sensible aux infections),*
 - *ainsi que son appareil musculaire (péri staphylins) qui contribue à son ouverture.*
- *Les méthodes d'équilibrage : plus ou moins faciles à réaliser, plus ou moins traumatisantes également pour les oreilles tout au long d'un stage technique.*

b) Listez et détaillez les différents incidents ou accidents de l'oreille en plongée (hors ADD). (2 pts)

Le candidat doit parfaitement connaître la physiologie associée à l'oreille ainsi que les mécanismes des incidents pour mettre en place des actions de prévention auprès des plongeurs mais aussi des moniteurs. On attend donc une description détaillée des mécanismes pour l'attribution des points. Doivent être présentés à minima :

- *les incidents et accidents « fréquents » du plongeur (1 point) : l'otite externe (infection du conduit auditif externe étroit) et le barotraumatisme de l'oreille moyenne (dysfonctionnement de la fonction équipressive de la trompe d'Eustache).*
- *les « classiques » de la littérature, moins fréquents (1 point) : le vertige alternobarique (dysfonctionnement unilatéral de la trompe d'Eustache) et le barotraumatisme de l'oreille interne*

c) Exposez le mécanisme et les symptômes du barotraumatisme de l'oreille interne. (2 pts)

- *Barotraumatisme mixte : (plus de la moitié des cas) barotraumatisme de l'oreille moyenne transmis à l'oreille interne par la chaîne des osselets. Il existe à la fois une lésion au niveau du tympan et une lésion de l'oreille moyenne.*
- *Barotraumatisme direct : l'injection brutale d'air dans l'oreille moyenne par une manœuvre de Valsalva forcée peut entraîner :*
 1. *une déformation du tympan vers l'extérieur puis un coup de piston de l'étrier dans la fenêtre ovale (= coup de piston labyrinthique) responsables de plusieurs lésions isolées ou associées : entorse stapédo-vestibulaire, rupture de la fenêtre ovale ou rupture de la fenêtre ronde par transmission de l'onde de choc. Ces 2 dernières lésions entraînent une fuite du liquide contenu dans la cochlée vers l'oreille moyenne. : c'est la fistule labyrinthique.*
 2. *Une rupture isolée de la fenêtre ronde → fistule labyrinthique*
- *Symptômes :*
 - *surdité : totale ou partielle*
 - *acouphènes ; perception de bourdonnements ou sifflements*
 - *vertiges pouvant s'accompagner de nausées et de vomissements*
 - *nystagmus (mouvements d'oscillation des yeux quand l'accidenté fixe le doigt d'un examinateur qui explore son champ visuel)*
 - *douleur : seulement lorsqu'il y a une atteinte du tympan associée, donc dans le barotraumatisme mixte. Le barotraumatisme direct de l'oreille interne est indolore.*

3. L'eau : une amie du plongeur (6 points)

Dans votre rôle de moniteur, vous conseillez à vos plongeurs d'avoir à disposition une bouteille d'eau dans leur sac.

Justifiez ce conseil en répondant aux questions suivantes :

a) Identifiez les phénomènes physiques et physiologiques liés à la plongée et responsables d'une perte en eau pour le plongeur. (1 pt)

- *Respiration buccale : l'air n'est pas filtré, réchauffé ni humidifié par les fosses nasales et les sinus.*
- *Respiration d'air détendu au niveau buccal, donc froid et sec, ce qui aggrave la déshydratation et le refroidissement*
- *Diurèse d'immersion*

- *Diurèse due au froid*

b) Explicitez les mécanismes physico-physiologiques mis en œuvre. (3 pts)

- *Respiration*

L'air de la bouteille est plus sec que celui de l'atmosphère puisqu'une partie de sa vapeur d'eau a été éliminée pendant la compression. La pression de vapeur d'eau dans les alvéoles pulmonaires doit être compensée.

Pour maintenir l'équilibre, le sang va éliminer une partie de l'eau du plasma qui va se transformer en vapeur d'eau lors de l'hématose, ce qui accroît la viscosité du sang.

- *Diurèse d'immersion*

Pression hydrostatique → redistribution des volumes sanguins des membres inférieurs vers le thorax et l'abdomen (bloodshift) → augmentation du volume sanguin central → dilatation (modérée) des cavités cardiaques → sécrétion de Facteur Atrial Natriurétique par l'oreillette droite → action sur les reins → diurèse → perte d'eau

- *Diurèse due au froid*

Stimulation des récepteurs cutanés → commande nerveuse → vasoconstriction périphérique → puis même mécanisme que pour la diurèse d'immersion

La diurèse due au froid augmente les effets de la diurèse d'immersion et aggrave donc la déshydratation, d'où l'intérêt d'avoir une combinaison adaptée lorsque l'on plonge en eau froide.

c) Expliquez pourquoi la déshydratation peut favoriser l'apparition des accidents de désaturation. (1 pt)

- *Une partie de l'eau ayant été éliminée du plasma, cela conduit à une moins bonne irrigation des tissus par un sang plus visqueux et donc à une moins bonne élimination de l'azote dissous durant la plongée par le filtre pulmonaire.*
- *Une moins bonne circulation des petites bulles dans les capillaires lors de la remontée, pouvant provoquer obturer les capillaires.*

d) Quelles conduites préventives conseillez-vous ? (1 pt)

- *Sensibiliser les plongeurs sur les protections contre le froid*
- *S'hydrater régulièrement avant et après la plongée avec de l'eau (éventuellement accompagné de solutés anti déshydratation) ou des jus de fruits*
- *Eviter les boissons alcoolisées. L'alcool entraîne une déshydratation par 3 mécanismes :*
 - *Inhibition de la sécrétion d'hormone anti diurétique par l'hypophyse. Ce phénomène entraîne une diurèse plus importante que le volume de liquide absorbé, ce qui aggrave la déshydratation.*
 - *Vasodilatation des capillaires périphériques avec augmentation de la transpiration, surtout en ambiance chaude)*
 - *Perte d'eau directement liée à ses propriétés physico-chimiques (hyperosmolarité).*

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : l'OAP d'immersion (8 points)

Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée.

- Donnez-en une définition (1 pt)
- Il est très important que vous sachiez l'identifier, donnez-en les signes (3 pts)
- Le prévenir, c'est en connaître les mécanismes et les facteurs favorisants.
Expliquez et citez-les (3 pts)
- Et, dans le pire des cas, quelle sera la conduite à tenir ? (1 pt)

QUESTION 2 : l'oxygène et la plongée (7 points)

L'utilisation du Nitrox s'est démocratisée, et de plus en plus de plongeurs l'utilisent.

- Décrivez l'importance et le rôle joué par l'oxygène pour l'être humain (1 pt)
- Quels sont les moyens de transport et de distribution de l'oxygène dans l'organisme ? (1 pt)
- Quels sont les risques physiologiques liés à l'utilisation de l'oxygène (3 pts)
- Dans notre activité, quelles sont les principales utilisations de l'O₂ ? (2 pts)

QUESTION 3 : le système nerveux et l'azote (5 points)

Vous souhaitez mettre en place une formation aux épreuves à 50 mètres du MF2.

Vous souhaitez prévenir tout incident dû à la narcose lors de vos entraînements :

- A quelle(s) profondeur(s) cet incident peut-il survenir ? (1 pt)
- Développez les aspects physiologiques de l'action de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux. (4 pts)

Proposition de correction

Un Œdème Aigu Pulmonaire d'Immersion peut survenir lors d'une plongée :

a) Donnez-en une définition (1 pt)

- C'est le passage de liquide (plasma, globules rouges) provenant du sang circulant dans les capillaires pulmonaires vers les alvéoles pulmonaires (0,5 pt)
- Ce passage entraîne une altération des échanges gazeux. (0,25 pt)
- Cette altération provoque une hypoxie sévère. (0,25 pt)

b) Il est très important que vous sachiez l'identifier, donnez-en les signes. (3 pts)

- Gêne et difficulté respiratoires provoquant un essoufflement important. (0,25 pt)
- Accélération des fréquences respiratoire et cardiaque. (0,5 pt)
- Apparition d'une toux, de crachats mousseux et rosés. (0,5 pt)
- Parfois coloration bleutée des lèvres et des extrémités. (0,5 pt)
- Fatigue extrême. (0,25 pt)
- Dans le cas le plus défavorable : malaise voire une perte de connaissance ou un arrêt cardio-ventilatoire. (0,5 pt)
- Absence de notion de blocage de la ventilation pendant la remontée. (0,25 pt) = signe qui permet de faire la différence avec la surpression pulmonaire.
- Survenue de la gêne respiratoire à la remontée entre 10 m et la surface = signe qui permet de faire la différence avec l'essoufflement qui survient plutôt au fond (0,25 pt)

c) Le prévenir, c'est en connaître les mécanismes et les facteurs favorisants.
Expliquez et citez-les (3 pts)

- Mécanisme: (1,5 pts)
 - Sous l'effet conjoint de l'augmentation de la pression ambiante et de l'apesanteur : redistribution du volume sanguin avec engorgement pulmonaire et augmentation des pressions sanguines dans la circulation pulmonaire : le bloodshift (0,5 pt)
 - Une augmentation de la charge pour le cœur et augmentation du débit cardiaque.
 - Un travail respiratoire plus important (0,5 pt)
 - Une mobilisation des volumes pulmonaires plus marquée qui provoque des étirements des parois alvéolaires plus importants (0,25 pt)
 - L'OAP d'immersion survient à la remontée, dans les zones proches de la surface car la pression ambiante diminue alors que la pression capillaire reste élevée → déséquilibre (0,25 pt)

- Facteurs favorisants : (1,5 pts)
 - Gaz plus denses, (0,25 pt)
 - Matériel respiratoire : augmentation de l'espace mort. (0,25 pt)
 - Froid, stress, effort, âge, sexe féminin ... (0, 25 pts.)
 - Hypertension artérielle, anomalie cardiaque, (0,25 pt)
 - L'hyperoxie. (0,5 pt)

- d) Et, dans le pire des cas, quelle sera la conduite à tenir ? (1 pt)
 - Sortir l'accidenté de l'eau. (0,25 pt)
 - Appliquer l'oxygénothérapie au masque 15 l/mn « idem SP ou ADD », (0,5 pt)
 - Appel des secours et évacuation. (0,25 pt)

QUESTION 2 : l'oxygène et la plongée (7 points)

L'utilisation du Nitrox s'est démocratisée, et de plus en plus de plongeurs l'utilisent.

- a) Décrivez l'importance et le rôle joué par l'oxygène pour l'être humain (1 pt)
 - Ce gaz est indispensable à la vie car l'oxygène est utilisé dans les réactions biologiques pour générer de l'énergie chimique et de la chaleur. C'est un oxydant (0,5 pt)
 - Présent dans l'air, l'O₂ constitue un besoin permanent pour l'organisme. Sa privation entraîne une syncope pouvant déboucher sur la mort ou entraîner des séquelles neurologiques (0,5 pt)

- b) Quels sont les moyens de transport et de distribution de l'oxygène dans l'organisme ? (1 pt)
 - L'oxygène est véhiculé par l'intermédiaire du sang : 2% dissous dans le plasma et 98% combiné avec l'hémoglobine des globules rouges. (0,5 pt)
 - Celle-ci est libérée en fonction des besoins. La concentration d'O₂ étant plus forte dans les alvéoles pulmonaires que dans les capillaires pulmonaires, l'O₂ du sang est transféré aux cellules musculaires par diffusion (des hautes pressions vers-basses pressions. (0,5 pt)
 - Au sein de chaque cellule musculaire existent de petites formations, les mitochondries qui constituent la « centrale énergétique » de la cellule. La synthèse d'ATP, élément indispensable à la contraction musculaire, s'y déroule en présence ou en l'absence d'O₂ ».

- c) Quels sont les risques physiologiques liés à l'utilisation de l'oxygène (3 pts)
 - Pour une PpO₂ < à 0,16 b : c'est l'hypoxie
 - Accélération du rythme ventilatoire et de la fréquence cardiaque. (0,5 pt)

- Apparition de tremblements ? lors du retour en surface, après une apnée prolongée on parlera de «Samba ». (0,5 pt)
- Si la PpO₂ est < à 0,1 b la syncope est brutale sans signe annonciateur (0,5 pt)
- Pour l'O₂ pur ou > à 50% sur une durée longue : effet « Lorrain-Smith » : gêne ventilatoire, et toux. Apparition de brûlures rétro sternales, altération et destruction du surfactant provoquant un œdème pulmonaire. (0,5 pt)
- Si PpO₂ ≥ à 1,6 b, c'est l'hyperoxie : effet « Paul Bert » : atteinte du système nerveux central débutant par des troubles visuels, auditifs, de l'équilibre, du comportement et moteurs. (0,5 pt)
- En fonction de la PpO₂ et de la durée d'exposition, la perte de connaissance est brutale et souvent précédée de tremblements brefs. (0,5 pt)

d) Dans notre activité, quelles sont les principales utilisations de l'O₂ ? (2 pts)

- En plongée : Permet d'améliorer la sécurité des plongées et de la désaturation (O₂ pur ou Nitrox au palier), mais limitation selon la profondeur (0,5 pt)
- En surface : effet bénéfique en oxygénothérapie normobare à 100%. Permet de suppléer l'alimentation en O₂ au niveau des tissus lésés et d'augmenter la fraction dissoute dans tous les capillaires de l'organisme. . (0,5 pt)
- Traitement de certains accidents : obligatoire pour l'activité. (0,5 pt)
 - Victime inconsciente, application en insufflation 15 l/mn
 - Victime consciente, application en inhalation 15 l/mn si adulte
- O₂ pur en inhalation entre deux plongées. (0,5 pt)

QUESTION 3 : le système nerveux et l'azote (5 points)

Vous souhaitez mettre en place une formation aux épreuves à 50 mètres du MF2.
Vous souhaitez prévenir tout incident dû à la narcose lors de vos entraînements :

a) A quelle(s) profondeur(s) cet incident peut-il survenir ? (1 pt)

- Effets ressentis pour les plus sensibles des plongeurs à une PpN₂ égale à 3,2 bars donc 30 m, pour la majorité d'entre eux à 40 m et par tous au-delà de 60 m (raison pour laquelle la plongée à l'air est limitée à 60 m)

c) Développez les aspects physiologiques de l'action de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux. (4 pts)

- Son action globale : diminution des capacités motrices et de réflexion. (0,5 pt)
- Descriptifs du système nerveux :

- Les nerfs sont constitués d'axones entourés d'une gaine de myéline (constituée de lipides).
- Le message nerveux se propage entre les axones par des connections appelées synapses, sous forme de message « électrique » : ondes de dépolarisation se propageant le long des parois cellulaires. (0,5 pt)
- Mode de communication :
 - La communication au niveau des synapses est de nature chimique.
 - L'extrémité du neurone situé en amont de la synapse produit des molécules appelées neurotransmetteurs. Ces neurotransmetteurs stimulent un neurone récepteur situé en aval de la synapse qui, à son tour, produit un message nerveux (0,5 pt)
- Action de l'azote :
 - Il agit au niveau des synapses sur un neurotransmetteur inhibiteur de l'information (appelé GABA) diminuant l'activité motrice et réflexe. C'est une action sur la transmission synaptique « théorie protéique » (0,5 pt)
 - L'azote est très soluble dans les lipides. En se dissolvant dans la paroi des membranes cellulaires, l'azote perturberait la transmission des messages nerveux et serait une entrave à la libération des neurotransmetteurs. « théorie lipidique » (0,5 pt)
 - Au niveau cérébral, (très riche en lipide), la perturbation des centres nerveux sur l'intégration des informations entraîne une « viscosité » intellectuelle (des fonctions cognitives). (0,5 pt)
- Action du CO₂ :
 - Il aggrave les effets de l'azote au niveau du SNC et peut lui-même engendrer une narcose appelée « Carbonarcose ». Ce mécanisme explique, entre autre, que l'essoufflement puisse déclencher ou aggraver une narcose. (0,25 pt)
- Préconisation de la conduite à adopter en plongée en cas de narcose:
 - Une action rapide s'impose : remonter afin de diminuer la TN₂ en sortant de la zone profonde tout en évitant de redescendre (0,5 pt)
 - Un contrôle et une gestion de la respiration et de la vitesse de remontée s'impose pour éviter un sur-incident, voire un sur-accident : surpression pulmonaire, ou accident de décompression» (0,25 pt)
 - Éviter la redescente car celle-ci aggraverait la situation (augmentation de la TN₂).
 - Éviter de descendre trop vite dans le bleu : favorise la narcose au fond. (0,25 pt)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur
Durée 1h30 Coefficient 4

Question1 (6 points)

En plongée, notre organisme et notamment notre système cardio-ventilatoire s'adaptent de façon physiologique.

- a) Expliquez les modifications physiologiques pulmonaires et cardiaques induites par la ventilation en immersion et citez les conséquences qui peuvent en découler
- b) Quelles mesures peuvent être prises par le plongeur pour diminuer l'impact de ces modifications sur son organisme ?

Question 2 (6 points)

La plongée pour les jeunes est très réglementée et plus restrictive que l'adulte. La température de l'eau est un des principaux facteurs limitant la durée d'immersion.

- a) Décrivez les mécanismes de la thermorégulation en général (en dehors du mécanisme des pertes de chaleur)
- b) Pour quelles raisons l'adaptation physiologique de l'enfant au froid est-elle différente de celle de l'adulte ?
- c) Comment peut-on y remédier ?

Question 3 (8 points)

En dehors de l'audition, l'oreille joue un rôle prépondérant dans l'équilibre du plongeur.

- a) Dans le corps humain, citez les éléments qui interviennent sur l'équilibre
- b) Décrivez le mécanisme de gestion de l'équilibre par l'oreille.
- c) D'autres récepteurs participent-ils à cette fonction ? Si oui lesquels ?

Proposition de correction

Question 1 (6 points)

En plongée, notre organisme et notamment notre système cardio-ventilatoire s'adaptent de façon physiologique.

- a) Expliquez les modifications physiologiques pulmonaires et cardiaques induites par la ventilation en immersion et citez les conséquences qui peuvent en découler (5 pts)

Modifications physiologiques ventilatoires (3 pts)

- *Effet de la pression :*
 - *Augmentation de la densité des gaz et de leur viscosité, ce qui entraîne une augmentation des résistances à l'écoulement dans les voies aériennes et donc un travail plus important des muscles ventilatoires;*
 - *L'utilisation du détendeur augmente l'espace mort anatomique ainsi que l'effort ventilatoire (pics inspiratoire et expiratoire propre au détendeur)*
- *Effet de l'immersion :*
 - *Déplacement du sang veineux périphérique vers le système central (cœur droit et capillaires pulmonaires) = bloodshift. Ce phénomène qui diminue la compliance (~ souplesse) pulmonaire*
 - *Gène inspiratoire dû au port de la combinaison*
- *Conséquences :*
 - *Diminution de la fréquence ventilatoire*
 - *Augmentation de l'amplitude et déplacement du volume courant vers le volume de réserve inspiratoire*
 - *L'expiration devient active*
 - *Le travail ventilatoire augmente*
 - *Production accrue de CO₂ avec risque d'essoufflement*

Modifications physiologiques cardiaques (2 pts)

- *La pression hydrostatique, le froid, la position horizontale, la pseudo apesanteur et dans un degré moindre le port de la combinaison favorisent le « blood shift ».*
- *Conséquences : l'hypervolémie « relative » (0,6 à 0,7 litres) due à la redistribution des masses sanguines au niveau du compartiment central (viscères abdo, cœur et poumons) entraîne :*
 - ✓ *une dilatation des cavités cardiaques droite. Ce phénomène provoque la sécrétion d'une hormone appelée Facteur Atrial Natriurétique (FAN) qui favorise la diurèse.*

- ✓ Une augmentation du volume d'éjection systolique.
 - ✓ Une augmentation de la pression artérielle.
 - ✓ Les barorécepteurs (sinus carotidien, crosse aortique et oreillette droite) détectent cette différence de pression et provoquent via le système parasympathique le ralentissement du rythme cardiaque (bradycardie) pour tenter de rétablir l'équilibre.
- b) Quelles mesures peuvent être prises par le plongeur pour diminuer l'impact de ces modifications sur son organisme ? (1 pt)

- Nécessité d'un entraînement physique suffisant de façon à produire moins de CO₂ pour un même effort et de pouvoir l'éliminer plus facilement.
- Entraînement d'autant plus nécessaire car l'essoufflement est un facteur favorisant de beaucoup d'autres accidents comme la narcose, la noyade, l'ADD et la surpression pulmonaire.
- Utilisation plus large du Trimix au-delà de 40 m (moindre viscosité lorsque la pression augmente)
- Port d'une combinaison bien ajustée (pas trop serrée) pour ne pas gêner l'inspiration
- Avoir un détendeur adapté aux conditions de plongée

Question 2 (6 points)

La plongée pour les jeunes est très réglementée et plus restrictive que l'adulte. La température de l'eau est un des principaux facteurs limitant la durée d'immersion.

- a) Décrivez les mécanismes de la thermorégulation en général (en dehors du mécanisme des pertes de chaleur) (3 pts)

La thermorégulation intervient pour maintenir une température centrale autour de 37°C : La conductivité de l'eau est 25 fois supérieure à celle de l'air et les échanges thermiques sont donc importants et rapides.

La peau est dotée de récepteurs thermosensibles qui vont transmettre des informations à d'autres récepteurs situés dans la moelle épinière. Ces récepteurs vont à leur tour envoyer des influx nerveux au cerveau, vers le centre de la thermorégulation situé au niveau de l'hypothalamus. Cette stimulation va provoquer une libération d'adrénaline via le système parasympathique

La lutte contre le froid s'effectue par :

- *L'augmentation de la thermogénèse, obtenue par :*
 - *L'augmentation des combustions cellulaires entraînant une élévation du métabolisme (dégradation de molécules comme le glucose)*
 - *L'augmentation de l'activité musculaire consciente*
 - *L'apparition d'une activité musculaire involontaire (frissons)*
- *Et également par la diminution de la thermolyse obtenue par la vasoconstriction cutanée qui limite et ralentit la circulation du sang dans les zones les plus exposées (membres, peau...). Ce phénomène retarde le refroidissement du compartiment central représenté par le cœur, les poumons et les viscères abdominaux*

- b) Pour quelles raisons l'adaptation physiologique de l'enfant au froid est-elle différente de celle de l'adulte ? (1 pt)

La déperdition maximale de chaleur chez l'enfant se situe au niveau de la tête et du cou. Le refroidissement est compensé par une thermogénèse plus élevée et une réaction vasoconstrictrice plus rapide et plus importante, mais lorsque la température de l'eau est inférieure à 34°, le bilan thermique devient défavorable, surtout avant 7 ans. Le refroidissement diminue avec l'âge. Les filles se refroidissent moins vite car elles ont un panicule adipeux plus important.

- c) Comment peut-on y remédier ? (2 pt)

- Respect des directives de la CTN
- Pas de plongée lorsque la température de l'eau est inférieure à 12°
- Durée limitée à 25 minutes si elle est inférieure à 23°
- Port d'une combinaison adaptée avec cagoule,
- Hygiène de vie alimentaire (repas calorique, boisson chaude, etc.)

Question 3 (8 points)

En dehors de l'audition, l'oreille joue un rôle prépondérant dans l'équilibre du plongeur.

- a) Enumérez les éléments qui interviennent sur l'équilibre dans le corps humain (1,5 pts)

Vestibule, vision, proprioception et système nerveux central (tronc cérébral et cervelet)

- b) Décrivez le mécanisme de gestion de l'équilibre par l'oreille. (4 pts)

- *Le système vestibulaire régit l'équilibre à deux niveaux :*
 - *Déplacements de la tête dans l'espace (et sur la vitesse de ce déplacement)*
 - *Position de la tête par rapport à l'axe de gravité.*
- *Il se compose des 3 canaux semi-circulaires, du saccule et de l'utricule.*
 - *Les 3 canaux semi-circulaires (supérieur, postérieur, externe), disposés à angle droit l'un par rapport à l'autre (frontal, sagittal et horizontal) couvrant les 3 plans de l'espace. Ils possèdent chacun à leur extrémité une zone renflée contenant la crête ampullaire formée à son sommet d'une masse gélatineuse contenant des cellules sensorielles ciliées qui renseignent sur les mouvements et sur l'accélération de la tête dans l'espace.*
- *L'utricule et le saccule contiennent les macules otolithiques composés d'une multitude de cellules sensorielles ciliées. Ces cellules sont recouvertes d'une substance gélatineuse dans laquelle sont disposés de nombreux cristaux de carbonate de calcium, appelés*

Otolithes. L'utricule et le saccule sont sensibles à l'action de la gravité et renseignent sur la position de la tête dans l'espace.

- Les informations concernant l'équilibre proviennent aussi de la vision de la proprioception et de l'intégration centrale.*
- c) D'autres récepteurs participent-ils à cette fonction ? Si oui lesquels ? (2,5 pts)
- La vision est un facteur primordial de l'information qui peut soit engendrer une confusion en cas de trouble d'adaptation ou au contraire pallier les déficiences du système vestibulaire. La vision périphérique permet de se situer dans l'environnement, la vision centrale permet la reconnaissance et nos deux yeux permettent la vision binoculaire (relief). Toutefois, il nous est possible d'évaluer les distances et de nous situer dans l'espace.*
 - Le système postural proprioceptif, troisième source d'information pour les centres, permet grâce à de multiples récepteurs musculaires, tendineux, ligamentaires et articulaires d'avoir en permanence une représentation du corps dans l'espace (voûte plantaire) et de savoir si nous sommes en mesure de conserver notre équilibre grâce au jeu musculaire et articulaire.*
 - L'intégration centrale située au niveau du tronc cérébral et des noyaux vestibulaires a pour rôle de centraliser, analyser et comparer, synthétiser toutes les informations intervenant dans l'équilibre (vision, des 2 labyrinthes, et le système proprioceptif). Le cervelet joue un rôle coordinateur entre les informations qui entrent et celles qui sortent. Mais pour agir, il a besoin d'être renseigné en permanence par les informations arrivant au niveau du tronc cérébral.*



**Monitorat fédéral 2^{ème} degré
Martinique 2013**

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur (Coefficient 4 durée 1h 30)

Vous êtes directeur d'un stage proposé par le calendrier annuel de votre comité de la FFESSM pour la préparation physique et technique de candidats au niveau 4.

Votre stage durera 3 jours, et il a lieu en eau tropicale. Il se situera en début de formation. Il s'agit donc d'un stage initial dont vous ne connaissez pas les participants. Pour chaque demi-journée, vous avez la possibilité d'associer l'entraînement physique et la formation technique du plongeur.

A- Organisation de l'entraînement (6 points)

1. Exposez vos orientations générales en ce qui concerne l'entraînement physique, en les justifiant.
2. Proposez le programme des séances physiques de votre stage en précisant à chaque exercice quelle est la filière concernée.
3. Rappeler succinctement les risques et problèmes qui peuvent être rencontrés au cours de ce type de stage.
4. Vous développerez plus particulièrement les problèmes d'oreille qui peuvent être rencontrés dans une telle formation et vous présenterez les conseils de prévention qui vous semblent pertinents.

B- Reaction à un problème rencontré au cours de ce stage (8 points)

Lors de la dernière journée, en fin de matinée du troisième jour un incident survient : Georges, après sa plongée, est titubant, se plaint de vertiges, il semble être assez mal, il est très pâle et il a des difficultés à se déséquiper seul.

a) A première vue quelles peuvent être les différentes causes possibles de ce malaise ?

Information sur le déroulement de cette plongée.

- Mise à l'eau à 10 h 00 après une séance de travail physique et une période de récupération d'environ 15 min.
- 10 minutes d'attente en surface, gilet gonflé, rappel des dernières consignes sur la remontée assistée. Puis les plongeurs rejoignent la zone sous-marine de travail par une descente "dans le bleu". Georges, est descendu en vrillant anormalement. Très mal à l'aise, il est remonté trop rapidement.
- L'équipe se reconstitue en surface, puis redescend pour reprendre l'exercice d'assistance. Cette nouvelle descente ne se fait pas sans difficulté pour Georges. Ce dernier est le « cobaye assisté ». Malheureusement, cette remontée est elle aussi mal gérée. Les ordinateurs ne donnent aucun palier. Le moniteur propose alors un palier à mi-profondeur de 5 minutes et un palier à 3 mètres de 3 minutes. La profondeur maximum atteinte a été de 30 mètres, les ordinateurs annoncent 15 minutes d'immersion et la sortie de l'eau se fait à 10 h 35.

b) A la lumière de ces faits, quelle est, selon vous, la nature du problème rencontré par Georges.

c) Identifiez-vous des erreurs commises ?

d) Comment prenez-vous ce plongeur en charge ?

C- Sensibilisation au rôle de Guide de palanquée(.6 points)

Lorsqu'on encadre des plongeurs en tant que guide de palanquée, on doit être particulièrement attentif à la prévention de l'essoufflement.

- a) Listez les critères observables qui permettent à un GP de prévenir l'essoufflement des membres de sa palanquée.
- b) Exposez la raison physiologique pour laquelle la profondeur est un facteur particulièrement important à prendre en compte pour l'essoufflement.
- c) Donnez la chronologie des modifications physiologiques qui aboutissent à un essoufflement.

Référentiel de correction : Martinique 2013

Anatomie Physiologie

A- Organisation de l'entraînement (6 points)

- 1- L'idée générale recherchée : Le candidat doit montrer que, sur un stage initial, il ne recherchera pas à évaluer les candidats sur les épreuves finales bien qu'il ne les connaisse pas, mais plutôt à leur proposer des séances aérobies de faible intensité. C'est également l'occasion de rectifier des erreurs en technique de nage. Certains participants peuvent être hors de condition physique et un programme dur générerait une fatigue excessive qui s'ajouterait à celle du travail technique.
- 2- Ce programme doit être en adéquation avec les principes précédents. On peut y rencontrer différentes possibilités, nage PMT, capelé mannequin, apnée mais sans aller jusqu'à l'épreuve complète évaluée
- 3- Le problème essentiel se situe au niveau de la condition physique foncière initiale qui peut être insuffisante. La charge de travail, même avec des exercices d'intensité modérée, peut donc générer une forte fatigue. On peut également signaler des participants dont la technique de nage est très déficiente.
- 4- Dans un stage intensif de trois jours, les oreilles sont fortement sollicitées. Parmi les problèmes qui peuvent être évoqués on peut signaler que l'eau chaude est un facteur pouvant provoquer des infections de l'oreille externe. On cherchera donc à voir si le candidat pense à cet aspect et propose des solutions de prévention de « l'entretien des oreilles ».

B - Un problème rencontré (8 points)

- a) ADD possible mais HS (épreuve sur la déco)
Les médecins reçoivent souvent des plongeurs avec des **symptômes** plus ou moins **atypiques**. Cette notion est attendue car elle correspond à la réalité du terrain. Ce plongeur pourrait simplement faire « un coup de fatigue » pour peu que sa condition physique initiale ait été insuffisante, peut être une hypoglycémie pour peu qu'il ait négligé le repas du matin.
Barotraumatisme de l'oreille interne
Plus grave : un OAP d'immersion ?
- b) La descente en vrille révèle un pb d'oreille : probablement un vertige alternobarique sur lequel Georges a forcé pour descendre. Cette mauvaise descente peut donc avoir généré un barotraumatisme (de l'oreille interne)
Des erreurs : Avoir fait redescendre Georges après sa première immersion.
L'avoir désigné comme cobaye au risque de lui faire subir une nouvelle remontée mal maîtrisée.

La redescende à mi-profondeur sollicite à nouveau les oreilles. La pertinence de ce choix se discute car l'équipe a utilisé les ordinateurs.

- c) En cas de doute et de symptômes atypiques tels que ceux décrits, mettre sous O₂. Il n'y a pas de cas où l'oxygène pourrait être déconseillé. Cette mise sous O₂ implique l'évacuation obligatoire.

C- Sensibilisation (6 points)

- a) On attendra d'un candidat MF2 qu'il soit capable de donner des indicatifs précis et pertinents résultant de sa propre expérience, dans le cadre de la formation des GP.
- b) Exigible : La profondeur oblige le plongeur à ventiler un air de densité très supérieure à la normale. De fait, l'expiration qui doit être active en immersion est perturbée.
- c)
- Insuffisance de l'expiration / Quantité de CO₂ produit
 - Augmentation de la Pp de CO₂ dans l'air alvéolaire.
 - Diminution du gradient d'élimination (47 mm Hg / 40 mm Hg)
 - Hypercapnie
 - Stimulation du centre bulbaire inspirateur : réaction inefficace
 - La ventilation devient de plus en plus superficielle
 - Détresse ventilatoire.

Anatomie, physiologie, physiopathologie

Durée : 1h30 coefficient 4

Sujet 1 - La ventilation en hyperbarie.

L'essoufflement en plongée est une situation délicate à gérer. Vous décidez de sensibiliser vos stagiaires pédagogiques à cet incident avant l'organisation d'une sortie en mer durant laquelle ils devront assurer la formation de futurs plongeurs N3.

- 1/ Décrivez l'adaptation de la ventilation humaine aux conditions d'hyperbarie. *(3 points)*
- 2/ Présentez le mécanisme physiologique de l'essoufflement en plongée, les circonstances de son apparition, les conditions d'aggravation, la conduite à tenir. *(4 points)*
- 3/ Déterminez l'ensemble des actions de prévention que vous conseillerez à vos stagiaires. Précisez les axes de formation fondamentaux qu'ils devront transmettre à leurs élèves. *(1 point)*

Sujet 2 - L'oxygène, indispensable mais toxique.

L'oxygène est indispensable à la vie, pourtant ce gaz est également particulièrement toxique pour l'organisme en dehors de plages de pression assez limitées. Avec le développement de la plongée NITROX, son usage apporte certainement une dimension nouvelle à la plongée, mais le risque de toxicité constitue un aspect à ne pas négliger.

- 1/ Vous décrierez dans un premier temps la manière dont l'oxygène est assimilé par l'organisme en précisant comment se font les échanges gazeux, et le transport de l'oxygène. *(4 points)*
- 2/ Vous évoquerez ensuite les effets de la neurotoxicité de l'oxygène en décrivant les caractéristiques d'une crise hyperoxique, et les conditions d'apparition. *(2 points)*
- 3/ Vous donnerez les principes de la conduite à tenir en de telles circonstances en plongée. *(1 point)*

Sujet 3 - La récupération dans l'entraînement physique.

L'amélioration des performances physiques du sportif nécessite un entraînement qui se construit de manière raisonnée. L'activité physique, durant les séances de préparation, sollicite les réserves énergétiques de l'organisme, tout en améliorant les capacités physiologiques et métaboliques. La récupération fait partie intégrante de la planification des séances d'entraînement.

- 1/ Quel est l'intérêt d'une phase de récupération après un exercice physique ? *(1 point)*
- 2/ Quelle différence fait-on entre récupération active et récupération passive ? Quelles sont les répercussions de ces deux modalités sur l'organisme ? *(2 points)*
- 3/ En s'attachant aux principes généraux de préparation physique, comment la récupération participe-t-elle à l'amélioration des performances (un schéma peut être proposé) ? En conséquence, quels sont les effets d'une récupération inadaptée ? *(2 points)*

Sujet 1 - La ventilation en hyperbarie. (8 points)

1/ Adaptation de la ventilation aux conditions hyperbares. (3 points)

Augmentation du travail musculaire : l'augmentation de la masse volumique des gaz entraîne des résistances dynamiques à l'écoulement des gaz dans l'appareil respiratoire. Pour maintenir les débits, le travail des muscles respiratoires est accru, d'autant plus que le plongeur produira des efforts.

Augmentation du VRE : la baisse des débits expiratoires conduit l'organisme à constituer un VRE plus important, la ventilation se déplace vers le VRI, les muscles respiratoires se fatiguent puisque ne travaillant pas dans les conditions habituelles.

Le candidat peut répondre en utilisant un pneumogramme de la ventilation en hyperbarie.

Effets de la pression hydrostatique : le sang des vaisseaux cutanés est déplacé vers les tissus profonds, particulièrement les poumons qui perdent leur élasticité et ce qui limite les espaces des volumes gazeux.

2/ L'essoufflement en plongée. (4 points)

Circonstances d'apparition : augmentation de la production de CO_2 provoque une faible augmentation dans le sang.

L'insuffisance de la ventilation alvéolaire, due à la densité de l'air ambiant, et à une adaptation insuffisante provoquent une augmentation du CO_2 alvéolaire. Secondairement, cette augmentation produit une diminution du gradient d'élimination, donc une hypercapnie (augmentation du taux de CO_2 dans le sang).

Conditions d'aggravation : la surproduction de CO_2 entraîne une ventilation superficielle qui diminue l'élimination du CO_2

Le phénomène s'amplifie en s'autoalimentant, ce qui interdit la récupération d'un essoufflement en profondeur (à cause de la densité de l'air).

L'angoisse consécutive à l'accident ajoute un stress qui s'oppose au contrôle de la ventilation.

La lutte de l'organisme contre le froid constitue également un facteur favorisant.

Les exercices en poumon-ballast ou ceux nécessitant la présence de points d'appui, un détendeur mal réglé, robinet mal ouvert, de même les efforts trop importants surtout en cas d'entraînement insuffisant sont autant de facteurs favorisant.

Conduite à tenir : nécessité d'extraire la victime des conditions déclenchantes en remontant vers la surface ou à une plus faible profondeur. La limitation des mouvements contribue à la diminution de la production de CO_2 par l'organisme, et à la diminution de la masse volumique de l'air.

3/ Prévention. (1 point)

Plongée dans des conditions favorables en général (condition physique, milieu) visant à diminuer les conditions de stress, utilisation d'un équipement adapté (lestage) et d'un détendeur bien réglé, entraînement à la plongée en vue d'améliorer la résistance des muscles respiratoires à la fatigue.

Attitude du moniteur : contrôle de la ventilation, des consommations, des efforts fournis en plongée.

Sujet 2 - L'oxygène, indispensable mais toxique. (7 points)

1/ Echanges gazeux et transport de l'oxygène. (4 points)

Le mode d'échange des gaz dans l'organisme est la diffusion.

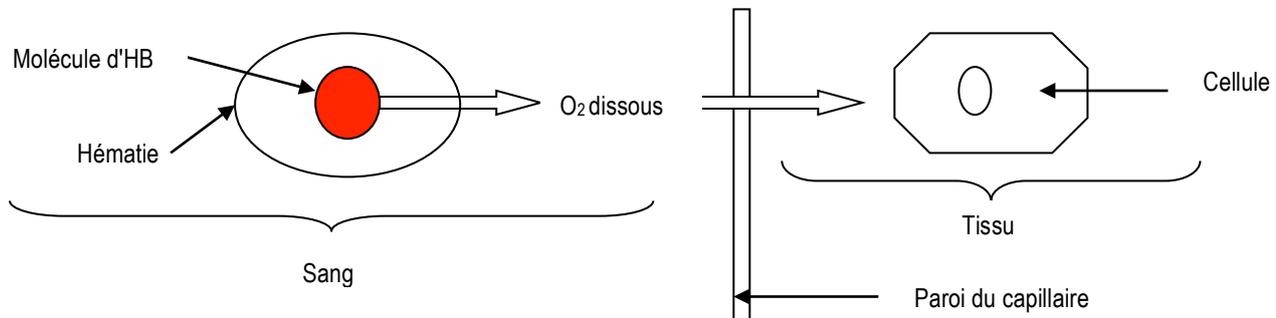
Au niveau alvéolaire : diffusion au travers de la membrane alvéolo-capillaire de l'air alvéolaire vers le liquide sanguin. Le phénomène se réalise grâce au gradient de pression entre la Pp du gaz alvéolaire (100 mm Hg) et la T du gaz sanguin dissous (40 mm Hg). La saturation du liquide sanguin s'établit très rapidement (0,3 s).

L'espace mort des voies respiratoires explique la différence de Pp entre l'air inspiré (160 mm Hg) et l'air alvéolaire (100 mm Hg).

Transport de l' O_2 : sous deux formes

- fixation de l'O₂ sur l'hémoglobine des hématies donnant l'oxyhémoglobine (1 molécule d'hémoglobine pour 4 molécules d'O₂, sur le fer de l'hème) la combinaison est réversible, représente 98% de l'O₂ transporté.
- forme dissoute de l'O₂ dans le plasma, représente 2% de l'O₂ transporté. (passage obligé de l'O₂ par la forme dissoute)

Au niveau tissulaire : libération de l'O₂ fixé sur l'hémoglobine et diffusion vers la forme dissoute puis au travers des parois du capillaire et de la cellule à la faveur d'un gradient de pression favorable.



2/ Crise hyperoxique. (2 points)

L'effet Paul Bert correspond à une crise convulsive de type épileptique. Elle apparaît d'autant plus vite que la PaO₂ est élevée. L'O₂ devient dangereux si sa Pp dépasse 1,6 bar. Mais la tolérance à l'hyperoxie dépend également de facteurs individuels et des conditions de plongée (efforts, fatigue, froid, anxiété, hypercapnie).

La crise hyperoxique se déroule classiquement en 3 phases :

- Précédée d'une phase annonciatrice parfois absente ou très courte (gêne respiratoire, anxiété, secousses musculaires, crampes, nausées, tachycardie, vision en tunnel, euphorie)
- phase tonique (contraction générale des muscles et blocage respiratoire)
- phase clonique (convulsions généralisées, contraction et décontraction alternées des muscles)
- phase résolutive (relâchement généralisé)

3/ Conduite à tenir. (1 point)

L'intervention durant la phase tonique peut présenter un risque pour le sauveteur. Le blocage de la glotte suppose d'attendre la phase résolutive pour remonter la victime et éviter au mieux les risques de suppression pulmonaire.

L'intervention visera dans un premier temps à éviter la perte de l'embout, puis à remonter en surface pour une évacuation médicalisée.

Sujet 3 - La récupération dans l'entraînement physique. (5 points)

1/ Intérêt de la récupération. (1 point)

Reconstitution des réserves énergétiques et nutritionnelles (créatine phosphate, glycogène, lipides, eau).

Recyclage des résidus des processus énergétiques stockés dans les muscles (lactates).

Phénomène de surcompensation

2/ Différence entre récupération active et récupération passive. (2 points)

La récupération active qui doit solliciter prioritairement les groupes musculaires qui ont travaillé, met en jeu des processus énergétiques utilisant l'acide lactique et limite ainsi son stockage. On doit rappeler que les lactates ne peuvent pas être considérés comme toxiques puisqu'ils sont remétabolisés pendant la phase de récupération. Elle favorise ainsi l'élimination des toxines et diminue la fatigue musculaire.

A l'opposé, la récupération passive ne permet pas une élimination rapide des lactates. La récupération passive peut constituer une modalité d'exposition de l'organisme à l'acide lactique en vue d'accroître la tolérance. La récupération passive permet tout de même l'élimination des lactates.

3/ Récupération et amélioration des performances. (1 point)

La notion de récupération est associée aux notions de charge, de fatigue et de surcompensation.

A la suite d'une activité physique qui suppose une charge de travail musculaire, l'organisme voit diminuer sa capacité de travail en raison de la fatigue musculaire. La récupération permet de restaurer, au-delà du niveau initial, les capacités de travail musculaire. Le dépassement de la capacité de travail initiale constitue la surcompensation et participe à l'amélioration des performances par la répétition.

Effets d'une récupération inadaptée. (1 point)

Une récupération trop longue (entraînements trop espacés) ne permet pas de bénéficier de la surcompensation et entraîne une stagnation des performances.

Une récupération trop courte (entraînements trop rapprochés) favorise l'accumulation de fatigue et la régression des performances.



**Monitorat fédéral 2^{ème} degré
Trébeurden 2013**

**Epreuve d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie du plongeur.
Durée 1h 30, Coefficient 4**

Question 1 : le public des seniors : la pratique de la plongée sous-marine et de la randonnée subaquatique (8 points)

Tout le monde s'accorde pour vanter les mérites d'une pratique sportive modérée dans la lutte contre les effets du vieillissement chez les personnes âgées.

Le recensement de l'accidentologie (dans le sport) met en évidence qu'il n'y a pas plus d'accidents chez ce public dès l'instant où les pratiques sont adaptées.

En vous référant spécifiquement au public des seniors (au-delà de 60 ans) et en votre qualité de formateur de cadres, indiquez :

- les caractéristiques physiologiques plus spécifiquement à prendre en compte
- les adaptations que vous conseilleriez;

pour organiser la plongée et la randonnée subaquatique à destination de ce public.

Question 2 : L'oreille en plongée (5 pts)

Deux plongeurs de votre club souhaitent devenir PA 40. Au cours de leur progression, dans le but de travailler leur compétence à assister, en immersion, un plongeur autonome, il leur est proposé un exercice de remontée de 30 mètres. L'un d'eux, après avoir décollé de 6 mètres est redescendu au fond. Il équilibre ses oreilles par une manœuvre de VALSALVA « en dernière limite » (très tardive). De retour en surface, ce même plongeur se plaint d'une surdité et d'acouphènes.

1 - Au vu du profil de plongée décrit précédemment de quoi peut être atteint votre plongeur (à l'exclusion de l'accident de décompression)? (1 pt)

2 - Développez la nature de la pathologie que vous suspectez (4pts) :

- explication du ou des mécanismes possibles (2 pts) ;
- symptômes possibles et délais d'apparition (1 pt) ;
- prévention (1 pt) ;

Question 3 : La ventilation en plongée (7 pts)

La ventilation est un mécanisme qui peut être scindée en deux phases : l'inspiration, phase active, et l'expiration, phase passive. N'ayant jamais eu à apprendre à ventiler, peu de moniteurs se préoccupent de cet apprentissage dans les formations de plongeurs qu'ils mènent.

1. Après avoir expliqué les modifications de la ventilation entre le milieu terrestre et le milieu subaquatique hyperbare (1pt),

2. Vous expliquerez pourquoi un débutant peut se trouver en difficulté en l'absence d'un apprentissage de la ventilation en plongée (2 pts) et comment cela se traduit dans sa pratique de la plongée si ces difficultés ne sont pas surmontées (1pt) ;
3. En votre qualité de formateur de cadre, vous proposez enfin à vos stagiaires pédagogiques, des possibilités d'apprentissages de la ventilation pour ce niveau (3 pts)

Epreuve d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie du plongeur. Eléments de correction

Question 1 : le public des seniors : la pratique de la plongée sous-marine et de la randonnée subaquatique (8 points)

Tout le monde s'accorde pour vanter les mérites d'une pratique sportive modérée dans la lutte contre les effets du vieillissement chez les personnes âgées.

Le recensement de l'accidentologie (dans le sport) met en évidence qu'il n'y a pas plus d'accidents chez ce public dès l'instant où les pratiques sont adaptées.

En vous référant spécifiquement au public des seniors (au delà de 60 ans) et en votre qualité de formateur de cadres, indiquez :

- les caractéristiques physiologiques plus spécifiquement à prendre en compte
- les adaptations que vous conseilleriez;

pour organiser la plongée et la randonnée subaquatique à destination de ce public.

Les causes du vieillissement sont complexes. Nous sommes en mesure d'évoquer de façon plus claire les effets de ce dernier sur le corps et les performances physiques. Cependant, l'âge physique ne correspond pas toujours à l'âge physiologique. Certains plongeurs de 70 ans sont en bien meilleure santé et forme physique que leurs collègues qui ont 20 ou 30 ans de moins.

1. Vieillissement du système neurosensoriel : 1 pt

Deux aspects nous intéressent particulièrement :

- La diminution des capacités sensorielles : très importantes dans la locomotion et la sensation du corps dans l'espace (proprioception)
- Diminution des performances visuelles et auditives.
- Perte d'efficacité (moins rapide notamment) de la transmission de l'influx nerveux aux cellules musculaires ;

2. Vieillissement des systèmes cardiovasculaire et pulmonaire : 2 pts

Les artères s'épaississent, perdent de leur élasticité et durcissent. La tension artérielle augmente, ce qui peut favoriser l'OAP d'immersion. Le nombre de capillaires diminue. Il est plus difficile pour le cœur d'irriguer correctement le corps en sang oxygéné et ce d'autant plus que les parois du muscle cardiaque perdent de leur élasticité et de leur capacité à se contracter efficacement. Le débit et la fréquence cardiaque maximum diminuent

Réduction de la surface consacrée aux échanges gazeux. Altération du filtre pulmonaire : augmentation du risque d'ADD. La mobilité de la cage thoracique est réduite. Diminution du VO₂ max, de la ventilation/min, du VEMS et de la capacité vitale

Toutes ces modifications diminuent l'apport de nutriments et d'oxygène à l'organisme et entravent donc la capacité à produire des efforts physiques intenses et prolongés.

3. Vieillissement de l'appareil locomoteur : 2 pts

Avec l'âge, la force diminue en raison de l'atrophie progressive des muscles, surtout si le plongeur est sédentaire

Les os deviennent plus friables et moins capables de soutenir des efforts (en raison de la perte de sels minéraux).

La souplesse diminue de façon importante notamment au niveau du rachis:

- Cartilage des articulations perd une partie de sa capacité à retenir l'eau ainsi que sa souplesse et sa capacité à résister aux frottements ;
- La lubrification des articulations est moins efficace ;
- Les ligaments articulaires deviennent fibreux ;

Difficultés à enfiler la combinaison et à porter des charges lourdes

Les adaptations conseillées : 3 pts

Il n'est pas possible de fournir une liste exhaustive de conseils. L'évaluation a donc été basée sur le caractère réaliste et adapté des propositions. Les différentes pistes pouvaient porter sur :

- Un suivi médical qui serait adapté aux seniors
- Un matériel qui prendrait en compte les caractéristiques morphologiques et physiologiques des seniors (poids du matériel, facilité pour s'équiper, facilité de lecture,...)
- Pratique adaptée (limitation des efforts, distances limitées en capelé, échauffement progressif, limitation des profondeurs, des durées, usage du Nitrox) afin de réduire les risques d'accident.
- Favoriser les conditions environnementales favorables (froid, visibilité, courant, ...)
- Approche pédagogique adaptée pour les seniors qui débutent en plongée (apprentissage des automatismes et des sensations rendu plus difficile)
- Préparation physique adaptée en piscine.

Question 2 : L'oreille en plongée (5 pts)

Deux plongeurs de votre club souhaitent devenir PA 40. Au cours de leur progression, dans le but de travailler leur compétence à assister en immersion un plongeur autonome, il leur est proposé un exercice de remontée de 30 mètres. L'un d'eux, après avoir décollé de 6 mètres est redescendu au fond. Il équilibre ses oreilles par une manœuvre de VALSALVA « en dernière limite » (très tardive). De retour en surface, ce même plongeur se plaint d'une perte auditive et d'acouphènes

1 - Au vu du profil de plongée décrits précédemment de quoi peut être atteint votre plongeur (à l'exclusion de l'accident de décompression)? (1 pt)

On peut suspecter un barotraumatisme de l'oreille interne

2 - Développez la nature de la pathologie que vous suspectez (2 pts):

- explication du ou des mécanismes possibles (2 pts) ;
- symptômes possibles et délais d'apparition (1 pt) ;
- prévention (1 pt) ;

Le ou les mécanismes possibles :

Les barotraumatismes de l'oreille interne sont 10 fois moins fréquents que les barotraumatismes de l'oreille moyenne. Ils sont surtout unilatéraux et atteignent plus souvent la cochlée que le vestibule.

Mécanisme indirect : barotraumatisme mixte

A la descente, la déformation du tympan est transmise par la chaîne des osselets à l'oreille interne qui peut être lésée. Cas du plongeur qui descend rapidement sans compenser (débutant) ou trop tard (montées et descente de type « yoyo » lors des plongées techniques). Il existe une douleur par atteinte de l'oreille moyenne associée à des signes cochléo-vestibulaires par atteinte de l'oreille interne.

Mécanisme direct : barotraumatisme de l'oreille interne sans atteinte de l'oreille moyenne

Cas du plongeur dont les oreilles « ne passent pas » et qui effectue un Valsalva violent à la descente. L'augmentation de la pression au niveau de l'oreille moyenne peut provoquer plusieurs phénomènes :

- Entorse stapédo-vestibulaire ou « coup de piston labyrinthique » : la platine de l'étrier s'enfonce brutalement dans la fenêtre ovale entraînant une hyperpression du liquide

endolyphatique susceptible de provoquer une rupture de membrane obstruant la fenêtre ronde en la déformant vers l'extérieur

□ Voie implosive (ou « implosive route » des anglo-saxons) : action directe de la pression sur la membrane de la fenêtre ronde qui se déforme vers l'intérieur et peut se rompre

□ Voie explosive (ou « explosive route » des anglo-saxons). Le liquide céphalo-rachidien (LCR) entoure le cerveau et communique avec le liquide endolyphatique par un orifice appelé « aqueduc cochléaire ». Un Valsalva violent peut entraîner une augmentation de la pression du LCR, qui se transmet au liquide endolyphatique et peut provoquer une rupture de membrane obstruant la fenêtre ronde en la déformant vers l'extérieur. Ce mécanisme est probablement beaucoup plus rarement en cause.

Ces 3 phénomènes provoquent une fuite du liquide endolyphatique dans l'oreille moyenne : c'est la fistule endolyphatique responsable de la surdité et des vertiges

Symptômes et délais d'apparition :

Ils n'apparaissent souvent qu'à la sortie de l'eau. Les symptômes rassemblent :

- hypoacousie (diminution forte ou progressive de l'acuité auditive) ;
- acouphènes aigus ;
- douleur violente et persistante en cas de barotraumatisme de l'oreille moyenne associée
- sensation persistante de présence d'eau dans l'oreille
- parfois vertiges avec nausées et vomissements ;

Prévention :

- ne pas effectuer de manœuvre de VALSALVA violentes et ne jamais plonger avec une perforation tympanique ;
- ne pas plonger seul (risque de noyade en cas de vertiges) ;
- Privilégier et enseigner le plus tôt possible les manœuvres d'équilibrations passives des oreilles

Question 3 : La ventilation en plongée (7 pts)

La ventilation terrestre est un mécanisme qui peut être scindée en deux phases : l'inspiration, phase active, et l'expiration, phase passive. N'ayant jamais eu à apprendre à ventiler, peu de moniteurs se préoccupent de cet apprentissage dans les formations de plongeurs qu'ils mènent.

4. Après avoir expliqué les modifications de la ventilation entre le milieu terrestre et le milieu subaquatique hyperbare (1pt),

En hyperbarie, la ventilation est modifiée :

- la compression de la cage thoracique par la combinaison augmente les résistances à l'inspiration
- La compression des bronches par la pression et l'augmentation de viscosité de l'air augmentent les résistances à l'écoulement des gaz dans les voies aériennes
- L'expiration devient active
- la ventilation sur détendeur augmente l'espace mort et le travail ventilatoire pour mobiliser les clapets et les ressorts.
- L'organisme s'adapte en augmentant le volume courant, et en diminuant la fréquence de la ventilation
- La CRF diminue et le volume courant « se déplace » dans le VRI

Ces modifications augmentent le travail ventilatoire et la production de CO₂ s'accroît avec risque d'essoufflement

5. Vous expliquerez pourquoi un débutant peut se trouver en difficulté en l'absence d'un apprentissage de la ventilation en plongée (2 pts) et comment cela se traduit dans sa pratique de la plongée si ces difficultés ne sont pas surmontées (1pt) ;
Le débutant a tendance à conserver un grand volume d'air dans ses poumons en fin d'inspiration et à ne pas expirer suffisamment.

Notre débutant en ayant ses poumons presque toujours plein d'air, se trouve perturbé dans le maintien de son équilibre et donc dans le fait de trouver de nouveaux appuis (nouveaux, car il passe d'une position verticale de terrien, visuel à 80% à une position horizontale de plongeur dans laquelle ses repères visuels sont perturbés par la nouvelle position de son corps et par le port d'un masque qui réduit son champ visuel). Le port d'un équipement de plongée complet, dont la combinaison (qui modifie sa flottabilité) et la bouteille (qui ajoute du poids à l'arrière de son corps et déplace le centre de gravité au niveau des vertèbres lombaires) renforce ces difficultés potentielles et nécessitent une adaptation.

Si la prise de conscience de la nécessité d'adapter sa ventilation n'est pas réalisée et que l'apprentissage n'est pas mené par le moniteur, cela se traduit le plus souvent en plongée par un surlestage et un excès de stress du plongeur débutant

6. En votre qualité de formateur de cadre, vous proposez enfin à vos stagiaires pédagogiques, des possibilités d'apprentissages de la ventilation pour ce niveau (3 pts)
 - Le 1er point est de faire en sorte que le plongeur formé ne soit pas entravé dans sa progression par un niveau de stress trop important. Il sera donc important pour le moniteur qui le prendra en charge de ne pas négliger la composante émotionnelle
 - Le 2^{ème} point, surtout s'il s'agit d'un public adultes, est de faire prendre conscience au plongeur en formation de l'évolution du statut de son corps entre le milieu terrestre et le milieu aquatique et sous-marin (voir plus haut)
 - Proposer un travail ventilatoire à sec (sans être équipé de combinaison) afin de faire prendre conscience aux apprentis plongeurs, de la réalité des volumes qu'ils peuvent mobiliser et des muscles ventilatoires impliqués ;
 - Proposer dans le milieu aquatique en surface, seulement équipé de la combinaison et des PMT, un travail d'adaptation ventilatoire (inspiration + expiration forcée) et de recherche d'appuis par la modification des positions du corps ;
 - 1ères immersions réalisées tête vers le haut pour ne pas perturber les repères visuels ;
 - Au fond, gonfler le gilet sur inspiration puis sur expiration pour prendre conscience des effets de la ventilation sur la flottabilité ;

**Epreuve d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie du plongeur.
Durée 1h 30 Coefficient x4**

QUESTION 1 (10 points) :

Le taux de glucose (la glycémie) d'un sujet non diabétique est de 1 g/L. Sylvain, diabétique insulino-dépendant, participe à un stage niveau 1 organisé sur une semaine. Après la signature des compétences à 6 mètres et à 12 mètres, une plongée est organisée de 30 minutes à 20 mètres. Avant de plonger, Sylvain mesure sa glycémie à 1.5g/L. Il est donc légèrement en hyperglycémie. Pourtant, sa glycémie est légèrement inférieure au taux recommandé par la Commission Médicale Nationale (environ 2 g/L), pour autoriser un plongeur diabétique à s'immerger.

Lors de la descente, la palanquée rencontre une thermocline. La température de l'eau est à 20°C en surface et passe à 15°C au-delà de 10 m. Au fond, à 20 m, le guide impose un rythme de palmage soutenu, à contre courant, afin d'atteindre le site choisi, pour réaliser les exercices.

Après 20 minutes de plongée, Sylvain se sent très fatigué, le signale à son guide de palanquée qui enclenche instantanément une remontée avec l'ensemble de la palanquée. A 15 mètres, Sylvain perd connaissance, et son guide adapte sa prise. Ils atteignent la surface en moins de 30 secondes.

En surface, Sylvain est toujours inconscient, de la spume sanguinolente sort de sa bouche. Il le ramène rapidement au bateau.

- a) **Comment expliquez-vous cette situation. Justifiez vos affirmations ?**
(2 pt)
- b) **Décrivez la physiopathologie de l'accident et les signes cliniques constatés ?**
(4 pts)
- c) **Quelle est la conduite à tenir sur le bateau ?**
(2 pts)
- d) **Quelles sont les erreurs commises dans la gestion de la plongée ?**
(2 pts)

QUESTION 2 (5 points)

Lors d'un examen de niveau 4 avec une mer agitée, Jacques, stressé, se prépare sur le bateau pour passer l'épreuve de la Démonstration Technique avec Handicap (D.T.H.). Pendant la descente, il équilibre difficilement ses oreilles en effectuant des manœuvres de Valsalva violentes, car il ne veut pas avoir à repasser son examen.

Arrivé au fond, Il signale des vertiges à son moniteur. Ce dernier remonte immédiatement avec son candidat vers le bateau. Jacques se plaint de douleurs, vertiges, oreille « bouchée ».

- a) **Quel accident suspectez-vous ?**
(1 pt)
- b) **Mettez en rapport les symptômes observés et leur explication physiologique.**
(3 pts)
- c) **Comment ce problème pourrait-il évoluer ?**
(1 pt)

QUESTION 3 (5 points)

Georges, homme d'affaire débordé professionnellement, fumeur, s'octroie enfin un weekend de détente. Ayant le niveau 2, il décide d'aller plonger. Le samedi matin, il se lève tôt comme à son habitude et après avoir bu un petit café, décide d'aller nager dans la baie avant sa plongée de 9 heures. Malgré une mer un peu houleuse et froide, il se met à l'eau. Après 500 mètres d'une nage « hésitante », il ressent une crampe à la jambe et commence à faire le bouchon. Il s'essouffle, il tousse un peu, avale de l'eau, mais toutefois il parvient à regagner la rive. Il se repose un peu, et se sent bien pour aller plonger.

Une plongée est prévue sur un site de 20 mètres avec ses copains de même niveau de plongée.

Pendant la descente il manifeste quelques quintes de toux. Après 10 minutes de déplacement contre le courant pendant lequel il n'arrive pas à suivre la palanquée, il ressent des difficultés respiratoires importantes, une grande fatigue et le signale aux autres plongeurs. Une remontée avec assistance est amorcée.

- a) **Quel type d'accident a présenté Georges ?**
(1 pt)
- b) **Décrire la physiopathologie et les facteurs favorisants?**
(4 pts)

Monitorat fédéral 2^{ème} degré

Proposition de réponses : Anatomie/physiopathologies

QUESTION 1 (10 points)

a) Comment expliquez-vous cette situation ? (2 point)

La spume sanguinolente est le témoin d'un accident barotraumatique à type de surpression pulmonaire secondaire à une perte de connaissance, ou éventuellement d'un OAP, suite à une hypoglycémie chez un diabétique.

b) Décrire la physiopathologie de l'accident et les signes cliniques pouvant être constatés ? (4 points)

L'air est en équipression avec la profondeur ; la conséquence de la loi de Boyle et Mariotte est une dilatation du volume intra-pulmonaire à la remontée ($P \times V = Cte$) ; S'il n'y a pas de soupape de surpression (cas de ce plongeur qui perd connaissance), écrasement de la barrière alvéolo-capillaire. Ces mécanismes entraînent une diffusion et une effraction broncho vasculaire expliquant les complications à type d'emphysème, de pneumothorax, de pneumo-médiastin. Ceci peut se traduire par différents signes respiratoires : Douleur rétro sternale, dyspnée, spume (mousse sanguinolente composée de surfactant), crachats sanglants, toux spontanée ou à la respiration profonde. Les embolies gazeuses peuvent diffuser jusqu'au cerveau expliquant les signes neurologiques parfois rencontrés (Hémiplégie droite fréquente, perte de connaissance, convulsions, vertiges, nausées, troubles de la vue de l'audition, paresthésies, paralysies), voire cardiaque pouvant entraîner un collapsus avec hypotension, tachycardie.

L'OAP peut également être l'explication des symptômes constatés, souvent confondus avec ceux de la SP.

Les signes neurologiques dans le cas de Sylvain surviennent en début de remontée ; ils sont attribuables aux complications de l'hypoglycémie chez un diabétique. Cependant, des atteintes neurologiques secondaires à la surpression pulmonaire peuvent coexister et devront faire l'objet d'examen complémentaires suite à la prise en charge médicalisée.

Diabète : Le froid et les efforts de palmage (nage contre courant avec un rythme soutenu) ont contribué à produire l'hypoglycémie, favorisée par une glycémie « trop basse » chez un diabétique au préalable à la plongée

Surpression pulmonaire : Remontée sans expirer (réflexe d'apnée lors de la perte de connaissance) ; la vitesse de remontée trop rapide potentialise ce risque.

c) Quelle est la conduite à tenir sur le bateau ? (2 points)

Coordination des secours sur le bateau

1. Par rapport à Sylvain

- Allonger la victime / déséquiper
- Bilan fonction neurologique cardio-respiratoire
- Oxygénothérapie normobare à 15 L/min avec calcul de l'autonomie et heure de début du traitement
- La prise d'aspirine n'a pas lieu d'être chez ce plongeur inconscient (risque de fausse route) ;
- Si le plongeur reprend conscience, un apport sucré par voie orale doit lui être proposé
- +/- couverture de survie
- Récupérer et noter les paramètres de plongée afin de pouvoir les transmettre au secours
- Alerter aux services d'urgence (VHF : C 16, tel 15.18.) et suivre les consignes du médecin régulateur pour une évacuation la plus rapide possible vers un centre médicalisé hyperbare

2. Coordonner le rappel des autres palanquées

3. Vérifier les paramètres des co-équipiers de Sylvain avec application des procédures de sécurité pour les plongeurs.

d) Quelles sont les erreurs commises dans la gestion de la plongée ? (2 points)

1. Avant de plonger :

- Ne pas faire plonger Sylvain si la glycémie préconisée par la CMPN n'était pas atteinte
- Le directeur de plongée aurait dû vérifier que le guide connaissait les problématiques d'un plongeur diabétique et suivre les recommandations de la commission médicale.

2. Pendant la plongée :

- Suite à la thermocline et l'évaluation du courant, le guide aurait dû arrêter l'exploration avec un diabétique.
- La remontée aurait dû être à la vitesse préconisée

QUESTION 2 (5 points)

a) Quel accident suspectez-vous ? (1 point)

Otite barotraumatique (OTB) de l'oreille moyenne compliquée d'une atteinte de l'oreille interne.

b) Mettre en rapport les symptômes observés avec leur explication physiologique. (3 points)

A la descente, la pression augmente au niveau du tympan, nécessitant de réaliser une équipression par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache (manœuvres appropriées). Dans ce cas, des difficultés ont été ressenties à la descente partiellement compensées par des manœuvres actives et brutales ; ceci traduit une dysperméabilité tubaire favorisée le plus fréquemment par une inflammation ORL ou descente trop rapide en lien avec des variations anatomiques de la trompe d'Eustache. Ceci est à l'origine des douleurs ressenties pendant la descente : ceci se traduit par des douleurs, hypoacousie, otorragie.

A la descente, l'hyperpression non compensée peut retentir sur l'oreille interne par deux mécanismes :

- Soit l'hyperpression est transmise par le système tympan/osselets. il s'agit du « coup de piston » (ou entorse stapèdo-vestibulaire) de l'étrier sur la fenêtre ovale avec atteinte du canal cochléaire
- Soit l'hyperpression agit directement sur l'oreille interne avec atteinte vestibulaire ou cochléaire et l'atteinte se fait soit :
 - dans le sens caisse -oreille interne par coup de pression au niveau de la fenêtre ronde, avec risque de fistule par rupture de la fenêtre cochléaire ;
 - soit dans le sens labyrinthe - caisse : l'hyperpression du liquide céphalo-rachidien engendrée par le Valsalva forcé entraîne une hyperpression du liquide labyrinthique.

Cette atteinte de l'oreille interne se traduit par surdité, vertige +/- associé à des signes à type de nausées, vomissements.

c) Comment ce problème pourrait-il évoluer ? (1 point)

Les signes qui peuvent évoluer en 5 stades :

- stade I : rougeur du manche du marteau ;
- stade II : rougeur diffuse du tympan qui est rétracté ;
- stade III : épanchement séreux dans la caisse du tympan ;
- stade IV : épanchement de sang dans la caisse ;
- stade V : perforation tympanique, avec otorragie minime.

Les termes spécifiques ne sont donnés qu'à titre informatif pour les correcteurs et ne sont pas exigibles pour les candidats.

QUESTION 3 (5 points)

1) Quel type d'accident a présenté Georges ? (1 point)

Œdème aigu du poumon suite à une difficulté pendant la nage, évoluant vers une majoration de l'insuffisance respiratoire aiguë du fait des contraintes physiques liées à la plongée.

2) Décrire la physiopathologie et les facteurs favorisant (4 points)

Quel que soit le type de noyade (eau de mer ou eau douce), l'œdème pulmonaire est constant ; il se caractérise par l'altération du surfactant qui tapisse normalement l'alvéole pulmonaire engendrant troubles des échanges alvéolo-capillaires et donc de la perméabilité entraînant des perturbations de l'hématose, et un passage de plasma vers l'alvéole. Les facteurs favorisants cités ci-dessous, vont contribuer à l'hypercapnie et à l'hypoxie et acidose ventilatoire secondaire caractérisant l'insuffisance respiratoire (tachypnée, tachycardie, cyanose) autoentretenu. L'encombrement pulmonaire et les bronchospasmes augmentent les résistances bronchiques. L'altération du parenchyme pulmonaire entraîne une diminution de la compliance. L'augmentation du retour veineux en lien avec la répartition des pressions hydrostatiques modifiées liées à l'immersion et à la vasoconstriction périphérique secondaire à la lutte de l'organisme contre le froid, entraîne une surcharge cardio-vasculaire. Ces mécanismes peuvent engendrer une défaillance cardiovasculaire et le décès de Georges ; de plus dans ce contexte, il peut se surajouter une surpression pulmonaire lors de la remontée (Georges n'a vraiment pas de chance !!)

Les facteurs favorisants :

La "tasse" a été favorisée pendant la nage :

- Personne non entraînée, stressée, probablement favorisée par un apport calorique insuffisant, en inadéquation avec l'effort physique demandé, fumeur.
- conditions de mer majorant les efforts

Pendant la plongée

- Sous estimation de l'accident initial
- Contrainte mécaniques supplémentaires liées au milieu augmentant les résistances pulmonaires (augmentation de la densité de l'air respiré ; détendeurs), diminution de la compliance liée (la combinaison et stab)
- Effort de déplacement favorisant l'essoufflement, le froid, la condition physique.
- Perte énergétique liée à la température de l'eau

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur 1h30 - Coefficient : 4

I. L'oxygène en plongée (6 pts)

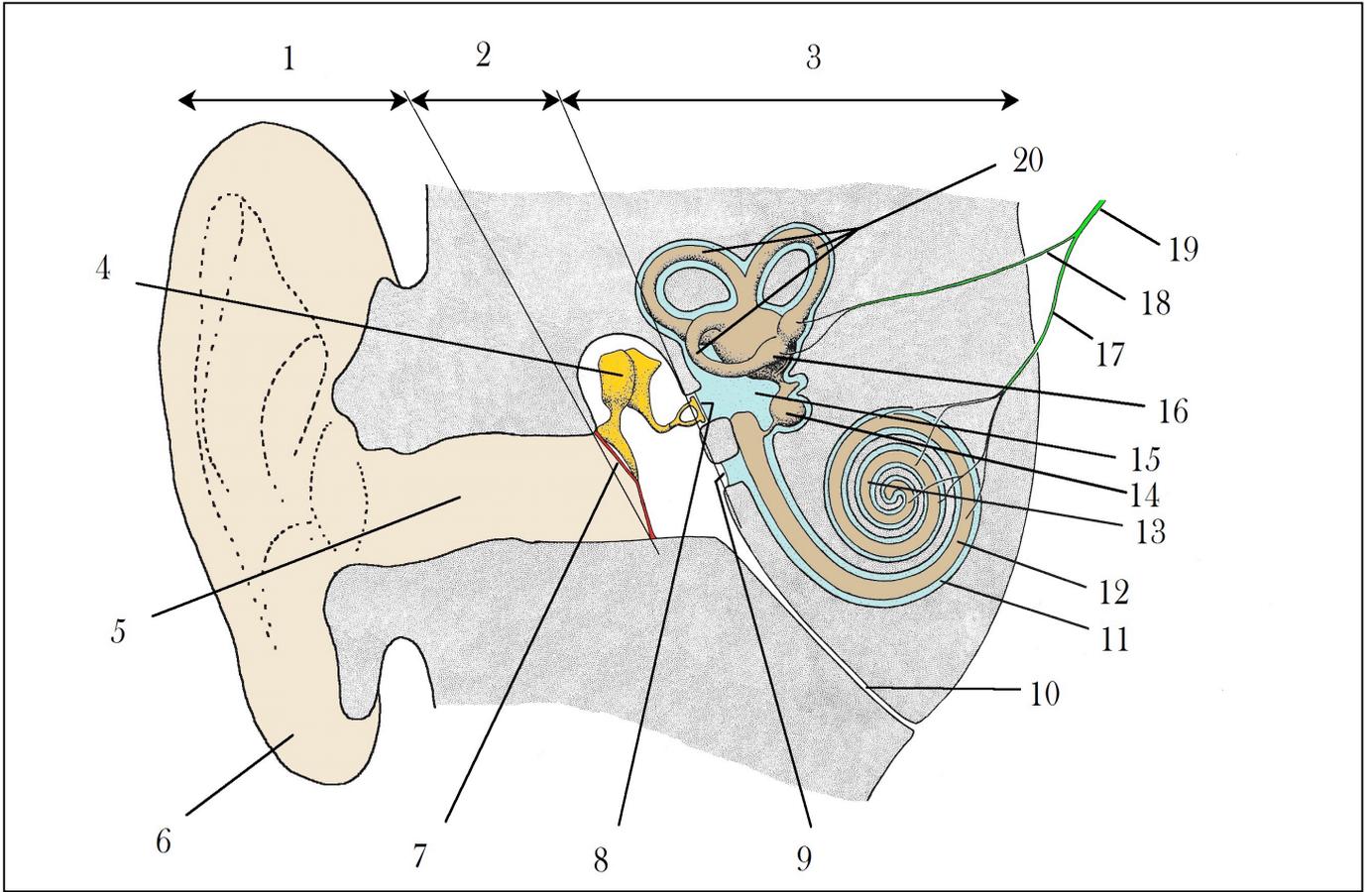
Listez les accidents ou incidents liés à l'utilisation de l'oxygène par le plongeur, tant par excès que par défaut. Vous décrierez leurs symptômes associés aux mécanismes ainsi que les actions qu'il convient de mettre en œuvre face à ces accidents.

II. Le froid en plongée (8 pts)

- a. Pourquoi le plongeur en immersion est-il plus sensible au froid que le terrien ?
- b. Décrivez les mécanismes d'adaptation de l'organisme face au froid ?
- c. Listez les comportements observables pouvant laisser présager au guide de palanquée qu'un de ses plongeurs subit les effets du froid ?
- d. En excluant l'ADD, quels types d'accidents peuvent survenir sur un plongeur subissant le froid ?
- e. Vous dirigez un stage de formation N IV dans des conditions climatiques difficiles (eau froide, vent, température faible, mer difficile). Quelles recommandations donnerez-vous à votre équipe d'encadrement ?

III. L'oreille en plongée (6 pts)

- a. Légendez le schéma fourni ci-dessous (Vous reporterez la numérotation du schéma sur votre copie). Listez les éléments de l'oreille ayant une fonction physiologique spécifique et précisez celle-ci pour chacun d'eux.
- b. Un plongeur ressent des vertiges pendant la remontée. Mal informé de cette éventualité, il tente d'équilibrer ses oreilles avec la manœuvre de Valsalva. Il ressent une vive douleur soudaine à l'oreille. En sortant de l'eau, il se plaint d'acouphènes. Expliquer le mécanisme initial ressenti par le plongeur ? Quelle recommandation donneriez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour prévenir ce type de situation ? Quel accident suspectez-vous au retour de plongée, comment réagissez vous ?
- c. Citez toutes les manœuvres d'équilibration utilisables par le plongeur ? Quels conseils donneriez vous à vos stagiaires pédagogiques afin qu'ils préservent au mieux leurs propres oreilles et celles de leurs élèves ?



I - L'oxygène en plongée :

L'hyperoxie : Mécanismes.

L'hyperoxie survient à une [pression partielle](#) d'O₂ de 1.6 bar dans l'air inspiré. C'est l'effet [Paul Bert](#) (neuro toxicité). Le surplus d'oxygène véhiculé par le sang est donc toxique pour les neurones. Sachant que l'augmentation de la PpO₂ génère une très faible majoration de l'oxygène transporté (hémoglobine quasiment saturée en normoxie), on peut en déduire que les neurones sont très sensibles à l'oxygène.

Cette PpO₂ correspond à une profondeur de 66 mètres pour une plongée à l'air et à 6 mètres pour une plongée à l'[oxygène](#) pur. Cet accident se déroule le plus généralement en trois phases : phase tonique, phase clonique, phase résolutive.

Ces profondeurs seuils sont variables en fonction du mélange utilisé lors de plongées au [Nitrox](#) ou Trimix et en fonction de la susceptibilité du plongeur. Le plongeur devra alors la calculer avant chaque plongée en fonction du pourcentage d'[oxygène](#) qu'il aura mesuré afin de fixer la profondeur maximale jusqu'à laquelle il pourra évoluer. On parle alors de Profondeur Maximum d'utilisation.

Un autre mécanisme d'accident hyperoxique est la trop longue exposition ou répétée souvent, à un niveau élevé de [pression partielle](#) d'O₂ (> 0.5b). Dans ce cas, la personne s'expose à un accident dû à l'effet [Lorrain Smith](#) (pneumotoxicité). Cette fois, ce sont les cellules pulmonaires qui réagissent par une réaction inflammatoire à l'exposition à une trop grande quantité d'oxygène pendant une longue durée.

La mise en évidence de la différence d'action de l'O₂ dans ces deux cas est exigible.

Mesures à mettre en place :

Dès l'apparition des symptômes, il faut ramener le plongeur à une [pression partielle](#) correcte, en le remontant à la profondeur adaptée. Il faut ensuite traiter les éventuels dommages consécutifs à ces accidents ([noyade](#), surpression pulmonaire, ADD...). L'intervention sur le plongeur en crise hyperoxique ne doit pas se pratiquer face à l'accidenté dont les gestes incontrôlés pourraient mettre en danger l'intervenant.

En cas d'effet [Lorrain Smith](#), la victime devra être vue par un [médecin](#) car les dégâts peuvent avoir des conséquences plus ou moins graves. A noter que l'utilisation régulière du NITROX peut amener à des réactions chroniques. (% d'OTU donnée par les ordinateurs)

Afin de prévenir ce type d'accident, on veillera en [plongée sous-marine](#):

- à ne jamais dépasser la profondeur maximale autorisée par le mélange que l'on respire
- ne pas effectuer de trop longues plongées à l'oxygène pur dans des intervalles trop courts.

L'hypoxie : Mécanismes.

Les apnéistes, ainsi que les plongeurs trimix, peuvent être sujets à une syncope hypoxique.

- ✓ Lors d'une apnée, les muscles produisent du CO₂. L'excès de CO₂ dans le sang provoque alors l'envie de respirer. Avant une apnée, certains apnéistes pratiquent l'hyperventilation. Ainsi, ils abaissent anormalement la quantité de CO₂ dans leur sang (ce qui génère une alcalose), sans pour autant augmenter la quantité d'O₂ (l'hémoglobine est déjà quasiment saturée). L'O₂ est consommé par les muscles et tout l'organisme. Le besoin de respirer, différé par l'hyperventilation, n'est pas perçu alors que le taux d'O₂ est déjà physiologiquement insuffisant. Ce fait peut entraîner différentes conséquences : samba suivie ou non d'une syncope ou syncope sans signe avant coureur. La samba et la syncope sont deux manifestations d'une souffrance cérébrale.
- ✓ Le plongeur trimix qui utilise un mélange hypoxique pour atteindre une profondeur supérieure à 70 m peut être confronté à l'hypoxie s'il utilise ce mélange à proximité de la surface. Ainsi la souffrance cérébrale qui en résulte est identique celle de l'apnéiste.
- ✓ Dans les deux cas, en l'absence d'intervention d'un compagnon, la reprise ventilatoire qui suit la syncope entraînera la noyade.

Conduite à tenir :

Le binôme doit le plus rapidement possible : remonter l'apnéiste, lui maintenir les voies aériennes hors de l'eau, prévenir les secours : Le binôme doit intervenir avant la noyade (avant la reprise ventilatoire qui entraîne une inhalation d'eau). Une fois au sec, il faut favoriser la reprise de conscience de l'accidenté en le stimulant.

Prévention :

Avant une apnée, il ne faut pas « mentir » à son corps : pas d'hyperventilation, pas d'expiration forcée. Pratiquer toujours en binôme de même niveau, avec une surveillance de chaque instant. Adopter un lestage permettant à l'apnéiste une remontée sans efforts. Ne pas souffler d'air durant l'apnée et surtout lors de la remontée. Etre relaxé. Respecter un temps de récupération avant une deuxième apnée égal à 2 fois la durée de la première au minimum. Ne pas chercher la performance.

II- Le froid en plongée (8 pts)

a. Sensibilité au froid du plongeur en immersion (1 pts)

L'homme est un homéotherme. L'homéostasie est la capacité que peut avoir un système quelconque (ouvert ou fermé) à conserver son équilibre de fonctionnement en dépit des contraintes qui lui sont extérieures. Chez l'homme, une des contraintes extérieures est la température. Le corps, par différents mécanismes de défense, maintient en permanence la température corporelle aux alentours des 37°.

L'équilibre thermique, dans l'air, est de 25° alors qu'il est de 33° dans l'eau. En d'autres termes, en dessous de 33° dans l'eau, nous sommes en déperdition thermique. Le corps est en permanence en train de lutter pour maintenir sa température corporelle. Lorsque la température s'éloigne de celle de l'équilibre thermique, le corps devra redoubler d'efforts.

En plongée, les échanges thermiques s'effectueront par conduction, convection, ventilation et évaporation après plongée.

b. Mécanismes de défense de l'organisme face au froid (3 pts)

Des notions de physiologie sont ici attendues pour étayer la réponse b.

✓ Augmentation de la production de chaleur (augmentation thermogénèse)

* Frissons, tremblements : signes de l'effort du corps pour maintenir de la température corporelle, Ces réactions sont peu efficaces (réflexes ancestraux)

* Augmentation ventilation : elle intervient rapidement après l'agression thermique et vise à augmenter la quantité d'O₂ capturée lors de la ventilation pour permettre l'oxydation des réserves en glycogène de notre organisme et accroître la production calorifique interne.

* Augmentation du métabolisme cellulaire

✓ Baisse de la perte de chaleur (baisse thermolyse)

* Horripilation (chair de poule) : les poils se dressent pour rajouter une couche d'air entre la peau et l'eau. Cette réaction est inefficace puisque nous n'avons plus une pilosité suffisante.

* Vasoconstriction périphérique : l'eau est un bien meilleure conductrice de chaleur que l'air ; le corps se refroidit plus vite dans l'eau que dans l'air. Pour contrer cette perte de chaleur, le corps "éloigne" le sang de la périphérie du corps en contact avec la source froide. En effet le froid produit une constriction des vaisseaux sanguins périphériques. Le sang y circule moins et il est refoulé vers les organes nobles provoquant une nouvelle augmentation de la pression sanguine dans le thorax, le cœur, et le cerveau.

* Celle-ci provoque l'élimination d'une grande quantité d'eau par les reins (diurèse), ce qui génère une hémococoncentration. La diurèse entraîne une déshydratation et une sensation de soif.

* Le bleuissement des extrémités : indique une limitation de la circulation

* L'homme en immersion subit une force supplémentaire: la poussée d'Archimède s'oppose à la pesanteur, ce qui favorise le retour veineux. Ce phénomène qui se produit même en mer chaude s'ajoute au précédent

provoquant également une augmentation de la pression sanguine similaire à celle provoquée par la vasoconstriction (cœur, cerveau, thorax).

* L'augmentation de la diurèse due au froid et celle générée par l'immersion constituent la même réaction adaptative de l'organisme destinée à lutter contre l'hyper-volémie sanguine

c. comportements observables du froid (1 pt)

Plongeur en position fœtale ; tremblements, crampes, perte d'attention, augmentation de la ventilation et respiration, désintéressement à la plongée

d. Accidents susceptibles survenir sur un plongeur subissant le froid. (1 pt)

Narcole, essoufflement, Surpression pulmonaire (expiration insuffisante)

e. Recommandations qu'un directeur de stage de formation niveau IV donnera à son équipe d'encadrement dans le cadre d'une plongée en eau froide et de condition climatique difficile (2 pt)

* L'alimentation

Hydratation des plongeurs avant et après la plongée

Apport en glucide des plongeurs avant une plongée en eau froide

Boisson chaude et sucrée après plongée (pas d'alcool pour se réchauffer)

* Le matériel

Il faut utiliser de préférence deux détendeurs séparés pour chaque plongeur (2 premiers étages avec chacun un premier étage) montés sur deux sorties indépendantes sur la bouteille.

Adapter la profondeur de manière à ne pas trop solliciter les détendeurs avec un débit d'air important.

Contrôler sa respiration en évitant les efforts inutiles qui augmentent le débit du détendeur.

Rappeler au plongeur de ne pas gonfler un gilet et/ou une combinaison étanche au moment de l'inspiration, ce qui augmente le débit d'air. Alternier inspiration et expiration + gonflage.

Il existe la possibilité de monter des kits antigivre sur certains détendeurs

Faire entretenir régulièrement ses détendeurs par un technicien agréé.

Gonfler vos bouteilles avec des compresseurs de bonne qualité pour éviter d'avoir de l'eau dans celle-ci (Condensation) qui augmente les risques de givrage.

Par palanquée, faire un exposé détaillé sur la procédure à suivre en cas de givrage

* Le plongeur

Vérification des équipements adaptés et bien ajustés avec gants, chaussons et cagoule malgré niveau IV ;

Protéger le plus possible la nuque (le bulbe est le centre de lutte contre le froid) ;

Limitation de la durée de la plongée en fonction de la température ;

Vêtements secs et chauds ou coupe vents sur combinaison après plongée ;

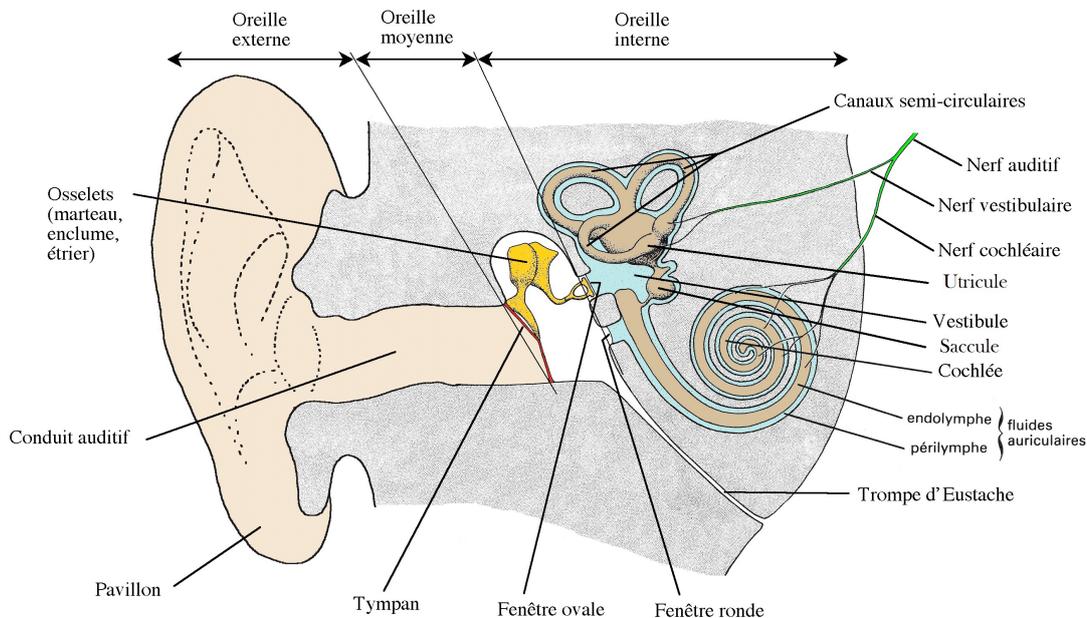
Limiter le nombre de remontées par plongée ;

Les moniteurs de l'équipe d'encadrement doivent adapter leur plongée :

- Réduire les temps de plongée
- Privilégier les plongées dans la courbe sans palier
- Réaliser un palier de sécurité si les conditions le permettent. (Adapter la profondeur et le temps pour le réaliser en situation de confort thermique optimal
- Limiter la profondeur (Voir détendeur)

III- L'oreille en plongée (6 pts)

a. Schéma simplifié (2 pts)



b. Liste des différents organes composant l'oreille avec leur fonction respective (1 pt).

- Pavillon : en forme d'entonnoir, capte le son
- Conduit auditif externe : conduit le son au tympan, filtre les poussières contenues dans l'air.
- Tympan : membrane souple qui transmet les vibrations de l'air aux osselets de l'oreille moyenne.
- Osselets : permettent la transmission et l'amplification des vibrations sonores du tympan jusqu'à la fenêtre ovale de la cochlée
- Trompe d'Eustache : conduit osseux et fibro-cartilagineux reliant la paroi antérieure de l'oreille moyenne au rhinopharynx
- Fenêtre ovale : permet la transmission des vibrations de la caisse tympanique à l'oreille interne.
- Fenêtre ronde : permet de compenser la déformation de la fenêtre ovale
- Cochlée : Le limaçon osseux est un minuscule tube osseux en forme de spirale formé de deux canaux et d'un conduit subdivisé par une paroi élastique fine appelée limaçon membraneux, qui longe la spirale. Cette paroi est fixée à une extrémité par la membrane basilaire et à l'autre extrémité par la membrane vestibulaire. Les vibrations sonores atteignant l'oreille interne sont transmises à travers le fluide des canaux cochléaires (le canal tympanique et le canal vestibulaire) et autour du canal cochléaire qui les divise. Avec la pression exercée par les vibrations sur la membrane basilaire, qui est la paroi vibratile du canal cochléaire, le fluide situé dans le canal est agité. Ces mouvements stimulent l'organe de Corti, qui se trouve dans une membrane située dans la paroi cochléaire. C'est un organe sensoriel de l'audition qui transforme les vibrations mécaniques en impulsions nerveuses. Il est composé d'une membrane gélatineuse (membrane de Corti) et de deux rangées de cellules ciliées (cellules ciliées réceptrices), l'une interne et l'autre externe, qui se trouvent entre la membrane de Corti et la membrane basilaire. Lorsque la membrane basilaire vibre, elle pousse les cellules ciliées contre la membrane de Corti, ce qui provoque la formation d'une substance chimique par les cellules ciliées. Cette substance transforme le mouvement en impulsions électriques dans les fibres nerveuses adjacentes. Il existe environ 30 000 fibres nerveuses dans chaque oreille. Ces fibres transmettent des signaux au tronc cérébral et au cortex auditif du cerveau.
- Canaux semi-circulaires : Ces canaux sont responsables de la perception des mouvements de la tête dans trois dimensions. Les canaux semi-circulaires occupent la plus grande partie de l'oreille interne. Chaque canal contient un liquide et des cils sensitifs reliés à des cellules réceptrices qui transmettent les informations au cervelet. Lors de l'inclinaison de la tête, le liquide exerce une pression sur les cils sensitifs des cellules réceptrices. Les cellules réceptrices transforment cette pression en signaux électriques qui sont envoyés au cerveau grâce à des impulsions nerveuses. D'autres cellules réceptrices sont situées dans les canaux semi-circulaires et à leur proximité. Les influx nerveux sont essentiels dans le contrôle de l'équilibre.

- L'utricle et le saccule : les cellules ciliées ne sont pas orientées dans une seule direction. Ainsi, cette disposition permet de répondre aux accélérations linéaires dans toutes les directions et aux forces gravitationnelles.
- Nerf Auditif : Les influx nerveux sont transmis au nerf auditif, qui vont l'amener aux centres auditifs du cerveau. C'est là que le cerveau va décoder et interpréter les messages reçus.

c. Etude de cas (2 pts)

- Problème initial rencontré : le vertige alternobarique : Lors de la remontée, différence de pression entre les deux oreilles moyennes, dû à un mauvais fonctionnement de la Trompe d'Eustache d'une oreille. Les signaux nerveux du vestibule émis par chaque oreille sont divergents, ce qui crée la sensation de vertige.
- Mauvaise réaction du plongeur : tentative de Valsalva pendant la remontée
- L'accident suspecté : Le barotraumatisme de l'oreille interne. Il est dû à un Valsalva à la remontée, responsable d'une dépression dans la caisse tympanique. Le tympan se déforme brutalement transmettant les osselets créant un mouvement de piston de la fenêtre ovale. Les liquides péri lymphatiques incompressibles transmettent ce mouvement brutal à la fenêtre ronde qui se déchire. Un « coup de piston » de l'étrier sur la fenêtre ronde dû à un Valsalva « forcé », peut entraîner un déchirement de celle-ci.
- Les symptômes associés à cet accident sont Hypoacousie (surdité de perception ou mixte), Acouphènes aigus, Sensation de plénitude de l'oreille, Parfois vertiges avec nausées +/- vomissements (à différencier d'un banal mal de mer ou d'un ADD de l'oreille interne.)

Quelques conseils que les stagiaires pédagogiques doivent appliquer avec leurs élèves :

- Repréciser à chaque briefing d'avant plongée avec les débutants qu'il ne faut pas faire de Valsalva à la remontée
- Faire remonter les débutants avec un point d'appui (mouillage ou fonds à proximité)
- Se tenir à porté de main des débutants pendant la remontée et être vigilant à ce qu'ils ne fassent pas de manœuvre de Valsalva à la remontée
- En cas de problème, faire stopper la remontée, pratiquer des déglutitions ou la manœuvre de Toynbee et surtout pas un Valsalva qui ne peut qu'aggraver le problème. Le plongeur peut être amené à redescendre d'un mètre ou deux pour réduire la différence pressionnelle dont nous parlions dans le mécanisme.

d. Quels types de manœuvres d'équilibration utilisables par le plongeur ? Quels conseils donneriez vous à vos stagiaires pédagogiques afin qu'ils préservent au mieux les oreilles de leurs élèves ? (1 pt)

Les méthodes de déglutition, Valsalva, BTV, Toynbee, Frenzel seront abordées. Il est attendu un descriptif et avantages de chaque méthode. « On insistera sur l'enseignement des techniques d'équipression passives, et sur l'enseignement de la béance tubaire volontaire qui permet au minimum d'apporter une rééducation et une gymnastique des muscles péristaphylins, et une meilleure perception de la physiologie tubaire chez le plongeur. » Fred Di Meglio

Quelques conseils que les stagiaires pédagogiques doivent appliquer avec leurs élèves :

- Faire une visite annuelle chez un médecin fédéral, sport, hyperbare ou ORL.
- Ne pas plonger lorsqu'on est enrhumé, arrêter la plongée si l'oreille ne passe pas.
- Commencer à équilibrer dès le début d'immersion et avant la gêne.
- Ne jamais forcer si ça ne passe pas à la descente, remonter pour tenter de rééquilibrer.
- Ne jamais compenser à la remontée.
- Tenter d'enseigner le « Valsalva allégé » préconisé par Fred Di Meglio dès le baptême

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur 1h30 - Coefficient : 4

Question 1 : Froid et plongée (5 points)

- A) Listez et explicitiez les différents symptômes de l'organisme d'un plongeur confronté au froid. (1 pt)
- B) Le froid est un facteur favorisant d'autres incidents ou accidents. Citez lesquels et expliquez pourquoi. (2 pts)
- C) En tant que formateur de formateur, que conseillez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour prévenir les effets du froid chez leurs élèves ? (2 pts)

Question 2 : Consommation en air et Essoufflement (7 points)

Lorsqu'une plongée se déroule normalement (en l'absence d'essoufflement), la consommation en air d'un plongeur est maximale en début de plongée.

- A) En vous aidant de vos connaissances en anatomie-physiologie, expliquez pourquoi l'essoufflement survient parfois, et nécessite de réagir vite, et de manière adaptée, afin de ne pas évoluer vers un accident. (2 pts)
- B) Expliquez pourquoi le risque d'apparition d'un essoufflement est important en plongée bien que l'effort physique en immersion ne semble pas très élevé (en comparaison de ce qu'il peut être dans d'autres activités physiques). (2 pts)
- C) Expliquez pourquoi il est difficile, voir impossible, de récupérer d'un essoufflement en plongée. (1 pt)
- D) L'essoufflement est un facteur favorisant d'autres accidents de plongée. Citez lesquels et expliquez pourquoi. (2 pts)

Question 3 : Vitesse de remontée et sensations (8 points)

L'un de vos stagiaires pédagogique vous demande de lui expliquer en quoi la maîtrise d'une bonne vitesse de remontée est une affaire de sensations.

- A) Dans la vie de tous les jours, hors de l'eau, un individu évolue dans son environnement grâce à la perception de différents stimuli sensoriels. Quels sont-ils, quels sont les organes récepteurs sollicités pour percevoir chacun d'eux ? (3 pts)
- B) En vous basant sur une explication simple du fonctionnement de ces organes, expliquez comment ces prises d'informations sont modifiées par l'évolution en immersion. (3 pts)

Votre stagiaire indique qu'un de ses élèves manque de régularité dans la vitesse de remontée. Celle-ci est constituée d'une succession d'accélération et d'arrêts complets au cours de la remontée.

- C) En vous aidant des réponses précédentes, expliquez-lui en quoi ce problème est probablement lié à un manque d'apprentissage sensoriel. Les physiologistes nomment un tel apprentissage un "conditionnement". Que signifie cette notion dans la formation du plongeur ? (1 pt)
- D) Expliquez les raisons pour lesquelles l'utilisation d'un sur-lest perturbe cet apprentissage sensoriel. (1 pt)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur 1h30 - Coefficient : 4

Question 1 : Froid et plongée (5 points)

D) Listez et explicitez les différents symptômes de l'organisme d'un plongeur confronté au froid. (1 pt)

Eléments de réponse et référentiel de correction

- a. Augmentation du rythme ventilatoire, (0,25 pts)
- b. Perte de sensibilité aux extrémités (mains, pieds), (0,25 pts)
- c. Couleur pâle de la peau, (0,25 pts)
- d. Envie d'uriner, (0,25 pts)
- e. Frissons, crampes, tremblements musculaires, (0,25 pts)
- f. Position recroquevillée (« fœtale »).

E) Le froid est un facteur favorisant d'autres incidents ou accidents. Citez lesquels et expliquez pourquoi. (2 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Le froid est un facteur favorisant des accidents suivants :

- Essoufflement : l'augmentation du rythme ventilatoire augmente la production de CO₂ et donc le risque d'essoufflement. (0,5 pts)
- ADD :
 - La vasoconstriction de certains tissus modifie leur taux de perfusion, et donc, leur comportement réel vis-à-vis de la saturation/désaturation par rapport à ce que prévoit le moyen de décompression choisi. Cela augmente donc le risque d'ADD. (0,5 pts)
 - Dans une moindre mesure, l'augmentation du rythme cardiaque modifie également la vitesse de saturation/désaturation et donc le risque d'apparition d'un ADD.
- Crise cardiaque : la vasoconstriction périphérique augmente la charge que doit fournir la pompe cardiaque ce qui augmente le travail qu'elle doit fournir. Cela augmente le risque de crise cardiaque sur des sujets « à risque ». (0,5 pts)
- Œdème pulmonaire : la vasoconstriction périphérique augmente le volume sanguin, et la pression, au niveau pulmonaire ce qui peut favoriser l'apparition d'un œdème pulmonaire. (0,5 pts)

F) En tant que formateur de formateur, que conseillez-vous à vos stagiaires pédagogiques pour prévenir les effets du froid chez leurs élèves ? (2 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Lors de plongées en eaux froides, ou en hiver, les stagiaires pédagogiques doivent être particulièrement attentifs aux points suivants :

- Avant la plongée (1 pt) :
 - Vérifier que leurs élèves ont correctement mangé avant de venir plonger,
 - Ils doivent être habillés chaudement,
 - Le briefing ne doit pas être trop long, ou se faire à l'abri du froid,
 - S'il s'agit de la 2nd plongée de la journée, bien vérifier que les élèves se sont réchauffés depuis la plongée du matin.
 - Pour les plongeurs réguliers dans ces conditions → promouvoir l'utilisation du vêtement étanche.
- Pendant la plongée (0,5 pts) :
 - Être attentif au comportement et aux signes des élèves,
 - Limiter la durée totale de la plongée.
- Après la plongée (0,5 pts) :
 - Se mettre rapidement « au sec » (habits chauds, local chauffé, ...),
 - Favoriser la lutte contre le froid en buvant des boissons chaudes (apport de chaleur) et énergétiques (apport de calories alimentaires).

Question 2 : Consommation en air et Essoufflement (7 points)

Lorsqu'une plongée se déroule normalement (en l'absence d'essoufflement), la consommation en air d'un plongeur est maximale en début de plongée.

- E) En vous aidant de vos connaissances en anatomie-physiologie, expliquez pourquoi l'essoufflement survient parfois, et nécessite de réagir vite, et de manière adaptée, afin de ne pas évoluer vers un accident. (2 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

L'essoufflement survient lorsque l'on produit plus de CO₂ que l'on ne peut en évacuer.

Les raisons d'une production accrue de CO₂ sont les suivantes (1 pt) :

- Augmentation du travail musculaire nécessaire pour ventiler dû :
 - à la redistribution de la masse sanguine vers les organes centraux (comme les poumons),
 - à l'augmentation de la densité des gaz avec la profondeur,
 - à la présence du matériel (détendeur, combinaison).
- A des efforts particuliers (nage contre le courant,)
- Stress intense.

Il est nécessaire de réagir vite car si on produit trop de CO₂, le corps humain va choisir d'augmenter la ventilation (dans le but d'évacuer le CO₂) mais cela conduira, en réalité (et compte-tenu des éléments cités précédemment), à augmenter sa production, ce qui augmentera le problème au lieu de le résoudre. (1 pt).

- F) Expliquez pourquoi le risque d'apparition d'un essoufflement est important en plongée bien que l'effort physique en immersion ne semble pas très élevé (en comparaison de ce qu'il peut être dans d'autres activités physiques). (2 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

L'immersion augmente le risque d'essoufflement car :

- La redistribution de la masse sanguine vers les organes centraux et, en particulier, les poumons conduit à augmenter le travail musculaire nécessaire pour ventiler. (0,5 pts)
- L'augmentation de la densité des gaz ventilés avec la profondeur conduit également à augmenter le travail musculaire nécessaire pour ventiler. (1 pt)
- Le matériel (ex. : détendeur, combinaison, stab) a tendance à augmenter également le travail musculaire nécessaire pour ventiler. (0,5 pts)

- G) Expliquez pourquoi il est difficile, voire impossible, de récupérer d'un essoufflement en plongée. (1 pt)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Lorsqu'un essoufflement survient alors la quantité de CO₂ produite est supérieure à celle qui est éliminée.

Or, le mécanisme de l'essoufflement (augmentation de la ventilation par augmentation de la fréquence) a tendance à produire encore plus de CO₂ (0,5 pts) (issu des muscles ventilatoires), tout en diminuant son élimination.

De plus, le réflexe inné de réponse à l'essoufflement est de forcer l'inspiration alors qu'il faut, en plongée, forcer sur l'expiration pour sortir de l'essoufflement. (0,5 pts).

On est donc bien dans un « cercle vicieux » dont il est difficile de sortir.

- H) L'essoufflement est un facteur favorisant d'autres accidents de plongée. Citez lesquels et expliquez pourquoi. (2 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

L'essoufflement est un facteur favorisant des accidents suivants :

- ADD : Les bulles de CO₂ peuvent servir de micronoyaux gazeux à l'origine d'ADD. (0,5 pts)
- Narcose (0,5 pts) : Il y a plusieurs hypothèses possibles pour expliquer cela. Aucune n'étant meilleure que les autres, ce point n'a pas à être développé.
- Surpression pulmonaire : Le plongeur atteint d'un essoufflement sévère a tendance à diminuer les volumes expirés. En cas de remontée (« panique » par exemple), cela augmente le risque de SP. (0,5 pts)
- Noyade : Le plongeur qui subit un essoufflement sévère a un raisonnement confus et panique. Cette panique peut l'entraîner à lâcher son détendeur et, ne pouvant réaliser une apnée, à se noyer. (0,5 pts)

Question 3 : Vitesse de remontée et sensations (8 points)

L'un de vos stagiaires pédagogique vous demande de lui expliquer en quoi la maîtrise d'une bonne vitesse de remontée est une affaire de sensations.

- E) Dans la vie de tous les jours, hors de l'eau, un individu évolue dans son environnement grâce à la perception de différents stimuli sensoriels. Quels sont-ils, quels sont les organes récepteurs sollicités pour percevoir chacun d'eux ? (3 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Ces types d'informations sensorielles sont les suivantes :

- Sensations visuelles, (0,5 pts) ; perçues avec les yeux (0,25 pts),
- Sensations d'accélération, (0,5 pts) ; perçues grâce aux canaux semi-circulaires de l'oreille interne, (0,25 pts)
- Sensation de verticalité ou d'horizontalité, (0,5 pts) perçues grâce à l'utricule et à la saccule (0,25 pts)
- Sensations proprioceptives (0,5 pt) (i.e. : ensemble des perceptions impliquées dans la perception de son corps, de la position des différents membres et de leur tonus, en relation avec la situation du corps par rapport à l'intensité de l'attraction terrestre) perçues par les récepteurs neuromusculaires et neurotendineux. (0,25 pts)

En vous basant sur une explication simple du fonctionnement de ces organes, expliquez comment ces prises d'informations sont modifiées par l'évolution en immersion. (3 pts)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Ces organes sont (dans le même ordre qu'à la réponse précédente) :

- Sensations visuelles : Du fait de l'absorption des couleurs et de la perte de repères visuels (ex. : « dans le bleu »), ces perceptions sont diminuées par l'immersion. (1 pt) Néanmoins, elles restent utilisables si on remonte près d'un tombant, ou si on voit le fond, ou les bulles, etc.
- Sensations d'accélération : Aucune modification liée à l'immersion car le fonctionnement des canaux semi-circulaires de l'oreille interne n'est pas modifié par l'immersion, (0,5 pts)
- Sensations de verticalité ou d'horizontalité : Aucune modification liées à l'immersion car le fonctionnement de l'utricule et de la saccule n'est pas modifié par l'immersion, (0,5 pts)
- Sensations proprioceptives : L'intensité de ces sensations étant dépendante du poids, celles-ci sont très fortement diminuées par l'immersion. (1 pt)

Votre stagiaire indique qu'un de ses élèves manque de régularité dans la vitesse de remontée. Celle-ci est constituée d'une succession d'accélération et d'arrêts complets au cours de la remontée.

- G) En vous aidant des réponses précédentes, expliquez lui en quoi ce problème est probablement lié à un manque d'apprentissage sensoriel. Les physiologistes nomment un tel apprentissage un "conditionnement". Que signifie cette notion dans la formation du plongeur. (1 pt)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Cet élève ne se concentre pas assez sur les sensations d'accélération et/ou visuelles pour évaluer sa vitesse de remontée (0,5 pts) ce qui lui donne « un temps de retard » par rapport à l'action qu'il devrait faire pour corriger sa vitesse. (0,5 pts)

- H) Expliquez les raisons pour lesquelles l'utilisation d'un sur-lest perturbe cet apprentissage sensoriel. (1 pt)

Eléments de réponse et référentiel de correction

Un sur-lest va perturber l'apprentissage sensoriel car :

- Pour une action donnée (ex. : une impulsion sur le direct-system), il va modifier l'accélération résultante par rapport à ce qu'elle serait sans ce sur-lest, (0,5 pts)
- Les temps de réponse d'une action sur la variation de vitesse de remontée seront modifiés par rapport à ce qu'il serait sans ce sur-lest (ex. : temps entre la purge d'un gilet et la conséquence de cette purge sur la vitesse), (0,5 pts)

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée 1h30

SUJET N°1 : L'entraînement physique du plongeur

(7 pts)

En tant que MF2, vous êtes chargé de la préparation des candidats à l'examen du guide de palanquée.

- a) Décrivez brièvement sous forme d'un tableau les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire. Vous indiquerez pour chacune d'entre elles son délai de mise en œuvre, la puissance maximale développée, la durée d'action et les facteurs limitant.
- b) Expliquez brièvement la notion de travail au seuil ventilatoire 2 (anciennement appelé seuil de transition aérobie-anaérobie) et son intérêt dans la préparation de vos candidats.
- c) Indiquez en justifiant votre réponse quelles filières énergétiques sont mises en œuvre au cours des épreuves suivantes : 800m PMT, 500m capelé, mannequin et DTH.
- d) Donnez votre progression d'entraînement concernant l'épreuve du 500m capelé, intégrée dans la préparation physique de vos candidats sur une durée de 6 mois.

SUJET 2 : Le froid en plongée

(7 pts)

- a) Décrivez les mécanismes par lesquels l'organisme perd de la chaleur au cours de l'immersion. Illustrez vos propos en prenant des exemples appliqués à la plongée.
- b) Quels facteurs physiologiques sont susceptibles d'aggraver le refroidissement du plongeur ?
- c) Quels mécanismes l'organisme va-t-il mettre en œuvre pour limiter ses pertes caloriques pendant la plongée ? Décrivez uniquement les manifestations ressenties ou observables par les plongeurs pendant la phase d'immersion.
- d) Quels conseils d'ordre diététique donnez-vous à des plongeurs devant évoluer en eau froide ?

SUJET 3 : Un accident de plongée chez un sénior

(6 pts)

David, plongeur niveau 2, âgé de 65 ans, peu sportif, effectue une plongée d'exploration au Nitrox de 30 min à une profondeur de 26 m dans une eau calme, dont la température est de 18° C. Dès la remontée à la surface, il se plaint d'une gêne respiratoire importante et d'une fatigue majeure. Il est tracté jusqu'au bateau par ses coéquipiers qui le hissent à bord. Sa respiration est rapide et bruyante, on observe une coloration bleutée au niveau de ses ongles et de ses lèvres, des crachats de couleur rosée, mais il n'y a aucun signe neurologique. La plongée s'est déroulée dans de bonnes conditions. David est remonté lentement, et il a commencé à éprouver une gêne respiratoire pendant la remontée aux alentours de 10 m.

- 1) De quel accident s'agit-il ? Justifiez votre réponse en utilisant les données exposées dans le texte
- 2) Quel est son mécanisme ?
- 3) Quels autres accidents pourraient être évoqués ? Pourquoi sont-ils peu probables dans le cas de David ?
- 4) David est mis sous O₂ normobare au masque et réchauffé. L'administration d'aspirine vous semble-t-elle indiquée dans cette situation ?
- 5) En dehors de cet accident, quelles sont les principales modifications dues à l'âge qui peuvent avoir un retentissement sur la plongée des séniors ?

SUJET N°1 : L'entraînement physique du plongeur (7 pts)

En tant que MF₂, vous êtes chargé de la préparation des candidats à l'examen du guide de palanquée.

a) Décrivez brièvement sous forme d'un tableau les 3 filières énergétiques mises en œuvre dans l'effort musculaire. Vous indiquerez pour chacune d'entre elles son délai de mise en route, la puissance maximale développée, la durée d'action et les facteurs limitant. **(2 pts)**

Filière énergétique	Délai	Puissance	Durée d'action	Facteur limitant
Anaérobie phosphagène = ex « anaérobie alactique »	aucun	Maximale	Entre 7 et 20 secondes selon l'intensité de l'effort	Quantité de créatine phosphate musculaire Reserve ATP musculaire Activité enzymatique
Anaérobie glycolytique = ex « anaérobie lactique »	15 à 20 secondes	Importante	2 à 3 minutes	Accumulation de lactates Activité enzymatique
Aérobie	2 à 4 minutes	Moderée	Plusieurs heures	VO ₂ Fatigue musculaire Température

b) Expliquez brièvement la notion de travail au seuil ventilatoire 2 (anciennement appelé seuil de transition aérobie-anaérobie) et son intérêt dans la préparation de vos candidats. **(1 pts)**

□ Quand l'intensité du travail augmente lorsque l'on sollicite la filière aérobie, des lactates commencent à s'accumuler, entraînant une augmentation de la réponse ventilatoire. Cette réponse se fait en 2 temps, une « adaptation » de la ventilation, qui se traduit par une légère inflexion de la courbe (seuil V1) et une « inadaptation ventilatoire » qui se traduit par une forte inflexion de la courbe (seuil V2, caractérisé entre autre par l'essoufflement). Chez le non sportif, V2 survient à environ 65% de la puissance maximale aérobie. La zone où survient ce seuil est susceptible d'être décalée vers des % plus grands, permettant une amélioration de la performance.

Travailler dans cette zone permet d'augmenter progressivement l'intensité des exercices effectués en sollicitant la filière aérobie. Cela permet d'augmenter la puissance et la durée des exercices en habituant l'organisme à supporter des valeurs de lactatémie plus importantes.

c) Indiquez en justifiant votre réponse quelles filières énergétiques sont mises en œuvre au cours des épreuves suivantes : 800m PMT, 500m capelé, mannequin et DTH. **(2pts)**

- **800m PMT** : effort d'intensité moyenne étalé sur une durée importante donc filière aérobie
- **500m capelé** : effort plus important que la nage PMT car cette épreuve impose une charge supplémentaire au nageur (poids du bloc, lestage, résistance à l'avancement causée par le gilet et l'équipement) donc sollicitation de la filière aérobie à une intensité supérieure, proche du seuil ventilatoire 2
- **Mannequin** : nage avant l'apnée : filière aérobie, puis seuil ventilatoire 2 et/ou filière anaérobie glycolytique pendant le tractage
- **DTH** : anaérobie phosphagène (alactique) pendant l'impulsion et les premiers mètres du décollage puis seuil ventilatoire 2 et/ou filière anaérobie glycolytique pendant le tractage.

d) Donnez votre progression d'entraînement concernant l'épreuve du 500m capelé, intégrée dans la préparation physique de vos candidats sur une durée de 6 mois. **(2pts)**

- **Deux premiers mois** :
- Entraînement de la filière aérobie, phase commune pour la préparation de toutes les épreuves :

- Augmentation progressive des distances.
 - Travail sur des distances supérieures à celles des épreuves d'examen.
 - Fréquence cardiaque de travail comprise entre 60 et 70% de la fréquence cardiaque de réserve (à peu près entre 130 et 150 c/m)
 - En continu : parcourir les distances sans s'arrêter, en conservant la même intensité. Augmenter progressivement les distances et la durée.
 - En fractionné : conserver la même distance ou durée d'effort et introduire de courtes phases de récupération : 5 à 30 secondes.
- **Deux mois suivants :**
 - Continuer le travail de la filière aérobie.
 - Ajouter des séances de travail au seuil ventilatoire 2 (seuil aérobie-anaérobie) :
 - Augmentation progressive de la fréquence cardiaque de travail entre 60 et 90% de la fréquence cardiaque de réserve
 - Travail en fractionné ou en continu : privilégier le travail des membres inférieurs en résistance ce qui permet aussi de préparer les épreuves en profondeur (DTH, 40 m)
 - Diminuer les distances parcourues lorsque l'intensité de l'effort augmente pour éviter l'apparition de lactates
 - Permettre des périodes de récupération plus longues : 30 à 90 secondes
- **Deux derniers mois :**
 - Continuer le travail au seuil ventilatoire 2
 - Travail chronométré sur les distances de l'examen

SUJET 2 : Le froid en plongée (7 pts)

a) décrivez les mécanismes par lesquels l'organisme perd de la chaleur au cours de l'immersion. Illustrez vos propos en prenant des exemples appliqués à la plongée (3 pts)

□ **Pertes par conduction :**

- **mécanisme** : transfert de chaleur par contact direct entre des solides ou des liquides immobilisés.
En plongée, les échanges s'effectuent du milieu le plus chaud vers le plus froid, c'est à dire de la surface de la peau vers l'eau. Comme l'eau est environ 25 fois plus conductrice que l'air, les pertes de chaleur sont beaucoup plus importantes dans l'eau.
- **exemple** (à titre indicatif)
 - Le port de la combinaison en néoprène permet de retarder le refroidissement, car elle isole le corps de l'eau environnante. Le corps réchauffe la fine couche d'eau immobile, située entre la peau et la combinaison humide.
 - Le refroidissement est d'autant plus tardif que la combinaison est épaisse.
 - Lors des plongées profondes, l'épaisseur du néoprène diminue sous l'effet de la pression ambiante : le corps est moins « isolé » et les pertes de chaleur augmentent.

□ **Pertes par convection :**

- **mécanisme** : transfert de chaleur entre l'organisme et l'eau en mouvement.
- **exemple** (à titre indicatif) :
 - Lorsque la combinaison est trop grande, mal ajustée, trouée ou lorsque le plongeur fait des mouvements brusques sous l'eau, la fine couche d'eau située entre la peau et le néoprène devient mobile, ce qui augmente les pertes de chaleur.

□ **Pertes par la ventilation :**

- **mécanisme** : échanges par convection et évaporation. L'air expiré est humide et tiède (37°), tandis que l'air inspiré est sec et froid, en raison de la détente et de l'influence de la température ambiante.

- exemples (à titre indicatif)

- Ce phénomène s'aggrave en profondeur, car la masse volumique de l'air inspiré augmente..
- mécanisme majeur de pertes de chaleur lorsque la température de l'eau est élevée et en plongée en circuit ouvert

b) Quels facteurs physiologiques sont susceptibles d'aggraver le refroidissement du plongeur **(1 pt)**

- Les différences morphologiques : rôle isolant de la couche de graisse
- L'âge : les enfants et les personnes âgées se refroidissent beaucoup plus vite que les adultes
- La fatigue et le manque de sommeil.
- Une alimentation déséquilibrée ou insuffisante : le refroidissement augmente les besoins caloriques.

c) Quels mécanismes l'organisme va-t-il mettre en œuvre pour limiter ses pertes caloriques pendant la plongée ?

Décrivez uniquement les manifestations ressenties ou observables par les plongeurs pendant la phase d'immersion **(2 pts)**

□ Prostration

- Le plongeur est recroquevillé sur lui-même pour diminuer la surface de son corps exposée au milieu environnant, ce qui permet de limiter les pertes par conduction.
- Il bouge peu, car les mouvements mobilisent la couche d'eau située entre la peau et la face interne de la combinaison, ce qui accroît les pertes par convection.

□ Vasoconstriction périphérique

- C'est la fermeture des capillaires proches des extrémités du corps et de la surface de la peau pour limiter la quantité de sang exposé au refroidissement, et concentrer la circulation au niveau des organes vitaux : cœur, poumons et cerveau afin de maintenir une température convenable.
- On observe un engourdissement au niveau des mains. Il peut devenir difficile d'effectuer certains gestes : manipulation de l'inflateur et des purges du gilet, réponse aux signes, préhension des instruments ou du détendeur de secours, ce qui rend la poursuite de la plongée dangereuse.
(NB : la coloration bleutée au niveau des extrémités (cyanose), ou la pâleur de la peau sont visibles en surface, mais non sous l'eau)
- l'afflux sanguin en provenance des territoires périphériques va entraîner un excès de liquide au niveau des organes centraux qui sera éliminé sous forme d'urine : on ressent l'envie d'uriner.

□ Augmentation de la fréquence respiratoire et du rythme cardiaque

- L'organisme cherche à augmenter la quantité d'O₂ disponible afin d'utiliser ses réserves pour produire de la chaleur. Mais le phénomène peut s'emballer pour aboutir à l'essoufflement.
- On observe une production accrue de bulles, on ressent ou on entend une accélération du rythme de la ventilation et de la fréquence cardiaque.

□ Frissons, crampes et tremblements.

- Il s'agit de contractions musculaires saccadées ayant pour but de produire de la chaleur.
- Ce phénomène entraîne un accroissement de la consommation d'oxygène, un risque d'essoufflement et une diminution de l'agilité avec les mêmes conséquences que pour l'engourdissement dû à la vasoconstriction périphérique.

d) Quels conseils d'ordre diététique donnez-vous à des plongeurs devant évoluer en eau froide ?

Expliquez pourquoi il est déconseillé de consommer des boissons alcoolisées après une telle plongée. **(1 pt)**

• Conseils diététiques :

- Augmenter les apports caloriques pour compenser les pertes supplémentaires dues au froid.

- Augmenter l'hydratation avant et après la plongée pour compenser la déshydratation.
 - Alimentation riche en glucides rapides (miel, confiture...) et lents (pâtes...).
 - Consommer des boissons chaudes et sucrées après la plongée
- **L'alcool est déconseillé car il peut entraîner :**
 - une vasodilatation qui augmente les pertes caloriques au niveau périphérique.
 - une fausse sensation de réchauffement. Le plongeur ne prendra pas les mesures adaptées pour se réchauffer et le refroidissement continuera.
 - une augmentation de la diurèse qui majore la déshydratation et provoque une diminution de la fluidité du sang. Il en résulte une possible diminution de l'élimination de l'azote au niveau du filtre pulmonaire, donc un risque accru d'ADD.

SUJET 3 : Un accident de plongée chez un sénior (6 pts)

David, plongeur niveau 2 âgé de 65 ans, effectue une plongée d'exploration au Nitrox de 30 min à une profondeur de 26 m dans une eau calme dont la température est de 18° C. Dès la remontée à la surface, il se plaint d'une gêne respiratoire importante et d'une fatigue majeure. Il est tracté jusqu'au bateau par ses coéquipiers qui le hissent à bord. Sa respiration est rapide et bruyante, on observe une coloration bleutée au niveau de ses ongles et de ses lèvres, des crachats de couleur rosée, mais il n'y a aucun signe neurologique. La plongée s'est déroulée dans de bonnes conditions. David est remonté lentement et calmement mais il a commencé à éprouver une gêne respiratoire pendant la remontée aux alentours de 10m.

1) De quel accident s'agit-il ? Justifiez votre réponse en utilisant les données exposées dans le texte **(1 pt)**

***OAP d'immersion.** Signes uniquement respiratoires (pas de signes neurologiques associés), La remontée lente permet de supposer l'absence de blocage de la ventilation, respiration bruyante (râles crépitants), gêne respiratoire débutant vers 10 mètres, âge du plongeur supérieur à 45 ans, peu sportif, peut être fumeur, et en surcharge pondérale.*

2) Quel est son mécanisme ? **(2 pts)**

- *Passage de liquide provenant du sang des capillaires pulmonaires vers les alvéoles entraînant une altération des échanges gazeux et une hypoxie sévère. Ce liquide est composé de plasma et de globules rouges en proportion plus faible que dans le sang.*
- *La perméabilité capillaire peut être augmentée par de nombreux facteurs :*
 - *redistribution du sang au niveau des organes centraux (blood shift)*
 - *diminution de la "compliance" des poumons causée par l'effet combiné du « bloodshift » et de l'augmentation de la pression ambiante, aggravée par l'âge.*
 - *Augmentation de la densité des gaz respirés responsable de résistances à l'écoulement des gaz au niveau des voies aériennes*
 - *Le froid (respiration d'air détendu et température de l'eau à 18°) augmente les résistances respiratoires, le « bloodshift » (par vasoconstriction des vaisseaux périphériques) et la pression capillaire pulmonaire.*
 - *L'hyperoxie (Nitrox) entraîne une réaction inflammatoire locale.*
- *Les premiers signes débutent souvent à la remontée, entre 15 et 10 mètres. Au fond, l'augmentation de la pression capillaire est équilibrée par l'augmentation de la pression ambiante au niveau alvéolaire. La remontée provoque une diminution de la pression alvéolaire sans modification de la pression capillaire, ce qui favorise le passage de liquide en direction de l'alvéole.*

3) Quels autres accidents pourraient être évoqués ? Pourquoi sont-ils peu probables dans le cas de David ? **(1 pt)**

- ***Surpression pulmonaire :** car gêne respiratoire et crachats rosés. Mais pas de notion de blocage respiratoire à la remontée, pas de signes neurologiques, pas d'emphysème sous cutané, début des signes à 10 mètres et non à la surface.*

• **Chokes** : obstruction massive des capillaires pulmonaires par des bulles (ADD pulmonaire) car signes respiratoires et fatigue extrême. Ils se produisent dans un contexte de plongée longue et profonde, et de problèmes de procédure de désaturation, ce qui n'est pas le cas ici. Les signes respiratoires sont rapidement suivis par des signes neurologiques.

4) David est mis sous O₂ normobare au masque et réchauffé. L'administration d'aspirine vous semble-t-elle indiquée dans cette situation ? **(0,5 pt)**

Pas d'indication, car pas de passage de bulles dans la circulation générale. (Remarque : dans la surpression pulmonaire, l'administration d'aspirine n'est pas recommandée, y compris en présence des signes neurologiques, car elle risque d'aggraver ce saignement au niveau alvéolaire)

5) En dehors de cet accident, quelles sont les principales modifications dues à l'âge qui peuvent avoir un retentissement sur la plongée des séniors ? **(1,5 pts)**

• **Circulation** :

- Débit et fréquence cardiaque maximum abaissés : diminution de la possibilité de soutenir un effort, intérêt de l'entraînement.
- Augmentation de la tension artérielle : facteur favorisant de l'OAP d'immersion.

• **Ventilation** :

- Diminution des fonctions respiratoires VO₂ max (ventilation/min, VEMS, capacité vitale. Adapter l'effort aux capacités cardio-vasculaires et respiratoires.
- Altération du filtre pulmonaire : augmentation du risque d'ADD.
- Tabagisme

• **Appareil locomoteur** :

- Amyotrophie (perte progressive des masses musculaires si le sujet est sédentaire), la force musculaire diminue. D'où l'intérêt de l'entraînement physique.
- Difficulté à porter des charges lourdes (bloc)
- Problèmes rhumatologiques, en particulier rachidien. S'équiper de façon adaptée : combinaison et capelage du bloc.

• **Nutrition** : augmentation de la surcharge pondérale, augmentation du risque d'ADD (co-responsabilité des pathologies fréquemment associées à l'obésité ?)

• **Ophthalmologie** : baisse de la vue, presbytie : difficultés à lire les instruments

• **ORL** : laxité tympanique, difficulté à équilibrer les oreilles

Anatomie, physiologie et Physiopathologie du plongeur.

Durée 1h30. Coefficient 4

Question n° 1 La ventilation subaquatique (6 points)

- Quels sont les mécanismes physiologiques qui régulent la ventilation ?
- Décrivez la mécanique ventilatoire, et représentez le pneumogramme d'une ventilation normale en surface, en indiquant les différents volumes pulmonaires ?
- Représentez les modifications du pneumogramme d'un plongeur en immersion. Rédigez un court commentaire explicatif.

Question n°2 : L'œdème aigu du poumon : O.A.P. (5 points)

L'O.A.P. était un accident connu pour survenir en apnée. Depuis quelques années, il est de plus en plus fréquemment diagnostiqué à l'occasion de plongées en scaphandre.

- Donnez la définition de l'O.A.P.
- Comment se manifeste un OAP. Justifiez les raisons pour lesquelles le secouriste peut le confondre avec une surpression pulmonaire.
- Décrivez les mécanismes physiologiques de cet accident.
 - en apnée
 - en scaphandre autonome
- Comment peut-on mieux préparer l'organisme à résister à cet accident ?
- Quels sont les facteurs favorisant l'OAP, justifiez brièvement votre réponse ?

Question n° 3 : L'épreuve d'apnée (6 points)

En apnée, le système ventilatoire est mis en « veille ». Dans l'épreuve d'apnée des examens du niveau 4 et du MF2, en surface, dès le retour de leur immersion, il est demandé aux candidats de donner leur nom ou numéro à haute et intelligible voix en direction de la sécurité surface.

Ils doivent rester disponibles auprès du jury pendant 30 secondes.

- Justifiez cette procédure ?
- Définissez les incidents justifiant cette dernière.
- Sur quels axes de travail pourriez vous préparer vos stagiaires pour améliorer leurs performances en apnée, plus particulièrement pour cette épreuve ?
- Quels conseils pratiques donneriez-vous à vos candidats pour éviter, ou minimiser la survenue de cet incident ?
- Durant la remontée du candidat vers la surface, sur quels comportements significatifs de l'apnéiste doit se porter l'attention du plongeur de sécurité en surface ?

Question N° 4 : Les vertiges en plongée scaphandre (3 points)

Comme le système ventilatoire, la sphère ORL est, elle aussi, soumise à des contraintes et des adaptations. Hors accidents de décompression, citez les différentes raisons qui, à l'occasion d'une plongée en bouteille, pourraient occasionner l'apparition de vertiges.

Anatomie, physiologie et Physio-pathologie du plongeur.
Durée 1h30. Coefficient 4

Eléments de correction

Question n°1 La ventilation subaquatique (6 points)

a) Mécanismes de régulation du rythme ventilatoire : fonctionnement de base

Le contrôle de l'amplitude et le rythme ventilatoire dépendent du centre réflexe respiratoire situé au niveau du **bulbe rachidien**.

Des nerfs moteurs partent de ce centre et innervent le diaphragme (nerf phrénique) et les muscles éleveurs des côtes.

Fréquence : au repos, à peu près toutes les 3 à 4 secondes soit 15 à 20 cycles ventilatoires par minute.

A l'inspiration, la distension des alvéoles pulmonaires excite les terminaisons nerveuses des nerfs spécifiques → influx nerveux vers bulbe rachidien → réponse de celui-ci → arrêt de l'influx nerveux provoquant le relâchement des muscles de l'inspiration d'où expiration passive.

L'inspiration provoque l'expiration et, inversement, l'expiration appelle l'inspiration.

Un second circuit de régulation existe.

Il recueille, décode et interprète des messages provenant de tout l'organisme.

Ces messages sensoriels parviennent :

1) soit par voie nerveuse → stimuli nerveux : récepteurs thermiques cutanés (visage, cou, poitrine, etc.) - action du froid principalement

2) soit par analyse des paramètres sanguins : (informations transmises par voie nerveuse au bulbe) :

-Chimiques : taux de **CO₂**, **pH sanguin**, (PpO₂),

-Physiques : pression sanguine et température centrale du corps humain

Le système nerveux réagit par réflexe sur la ventilation soit par des nerfs moteurs, soit éventuellement par la production d'une hormone : l'adrénaline.

b) Mécanique ventilatoire et pneumogramme

La mécanique ventilatoire en surface

La ventilation a pour fonction de renouveler l'air en contact avec la surface d'échange pulmonaire. Ce renouvellement est généré par les variations de volume cycliques de la cage thoracique.

Ces variations de volume sont sous la dépendance de 3 éléments :

Le diaphragme, le plus important. Le relâchement du diaphragme correspond à l'expiration calme.ribuent à leur élévation participant ainsi à l'augmentation du diamètre antéro postérieur de la cage thoracique et donc à l'augmentation de son volume.

Les muscles releveurs des côtes et les muscles abaisseurs des côtes.

Les poumons et la cage thoracique sont solidarisés par les 2 feuillets de la plèvre (feuillet viscéral et feuillet pariétal) Les variations de volume de la cage thoracique sont transmises aux poumons grâce à l'accolement créé par le vide pleural entre les 2 feuillets (pariétal et viscéral + liquide pleural inter-feuillet) qui les entourent.

L'augmentation de volume de la cage thoracique entraîne une dilatation des alvéoles par dépression, entraînant une aspiration et une circulation des molécules gazeuses intra pulmonaires, selon une distribution homogène vers les alvéoles actives.

L'écoulement des gaz dans les bronches est « laminaire », il est dû à la vitesse de déplacement de l'air, à la conformation des bronches et à leur diamètre.

Les différents volumes

VRI = 2.5 L (Volume de Réserve Inspiratoire)

VC = 0.5 L (Volume Courant)

VRE = 1.5 L (Volume de Réserve Expiratoire)

Ces 3 volumes correspondent à la capacité vitale (VRI + VC + VRE) soit ~ 4.5 L.

Se rajoutent :

VR = 1.5 L (Volume résiduel)

L'espace mort anatomique (EMA) ~ 0.2 L (augmenté avec l'utilisation du tuba ou du détendeur)

Commentaire du pneumogramme en surface : Caractéristiques :

Au repos : phénomène cyclique, réflexe, inspiration active 1/3 temps avec expiration passive 2/3 temps.

Fréquence au repos : 15 à 20 cycles/minute

Le plus souvent par voie nasale,

c) La mécanique ventilatoire en immersion

Même mécanique ventilatoire avec modifications telles que :

- Diminution des volumes pulmonaires

Le reflux sanguin dans le thorax et vaisseaux pulmonaires diminue les volumes pulmonaires

- Augmentation de la masse volumique

Prof augmente → masse volumique de l'air inspiré augmente ⇒ viscosité ++ → turbulence → écoulement perturbé → augmentation du travail ventilatoire.

- Résistance ventilatoire augmentée par utilisation du détendeur

Travail inspiratoire plus important si tête haute, et travail expiratoire plus important si tête basse.

L'utilisation d'un détendeur oblige à une expiration active.

Conséquences :

Ces trois modifications → augmentation du travail musculaire ventilatoire (expiration et inspiration active et volontaire) → risque de fatigue à l'effort → risque d'essoufflement

Commentaire du pneumogramme en immersion avec cycles ternaires (voire quaternaires)

Caractéristiques :

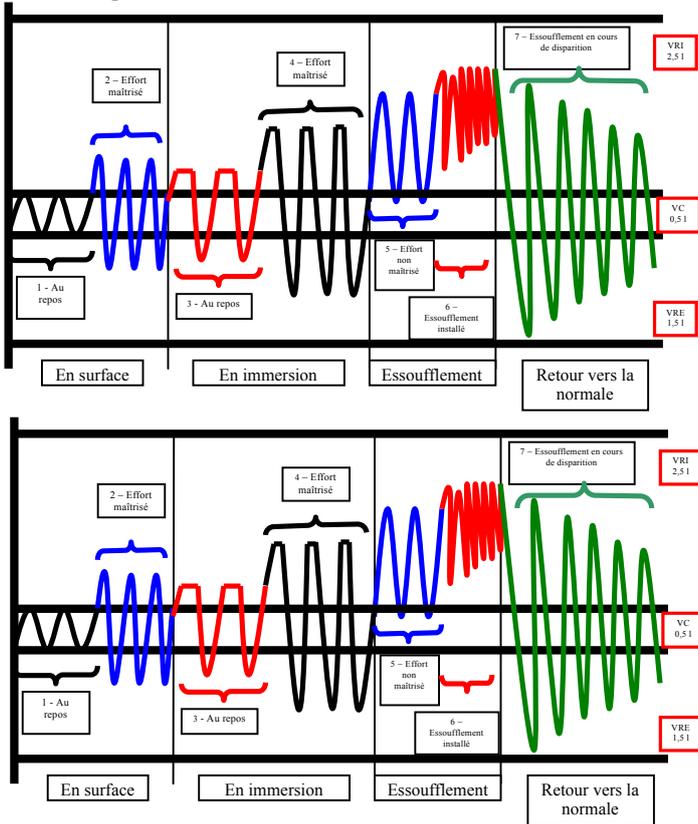
Inspiration et expiration **actives, volontaires**

Par la bouche

Rythme ternaire voire quaternaire (inspiration, expiration, arrêt ventilatoire de plus grande amplitude mobilisant partie ou totalité des VRI et VRE

Fréquence moindre

Pneumogrammes : en surface et en immersion



Un plongeur chevronné pratique une petite apnée expiratoire de contrôle qui lui permet de prévenir la survenue d'un essoufflement naissant

Question n°2 L'œdème aigu du poumon

(5 points)

- a) Un OAP est un accident cardio-respiratoire en immersion. Il correspond à une fuite du contenu des capillaires pulmonaires, (d'abord plasma puis GR) autour de ces capillaires (espace interstitiel) dans un premier temps, puis dans les alvéoles.
- b) La gêne respiratoire, éventuellement la spume et les douleurs thoraciques sont des symptômes communs aux deux accidents. Peu importe pour le secouriste puisque le traitement d'urgence est identique.
- c) A l'immersion, redistribution de la masse sanguine des membres vers le thorax (0.5 l à 1.0 l) en raison d'un retour veineux plus important occasionné :
- par la poussée d'Archimède : diminue fortement l'effet de la pesanteur.
 - par l'action de la pression hydrostatique.
 - par l'action du froid : vasoconstriction périphérique → tout cela contribue à un afflux sanguin des membres vers thorax avec le volume pulmonaire qui diminue + pression sanguine des veines pulmonaires qui augmentent.

En apnée :

Pendant la descente, la pression hydrostatique augmente, provoquant une diminution du volume pulmonaire (Loi de Boyle-Mariotte) jusqu'à la résistance thoracique.

Au-delà de cette profondeur, la pression thoracique devient négative par rapport à la pression ambiante. Le sang des gros vaisseaux sanguins + capillaires pulmonaires qui subit aussi cet effet est alors aspiré puis retenu dans la circulation pulmonaire jusqu'à rigidifier les poumons, les poumons sont turgescents, on parle de poumons « en érection ». (**blood shift**)

Si la pression ambiante augmente : → effet ventouse

- Le plus souvent, le vol pulmonaire est plus petit que le vol résiduel → aspiration (phénomène de transduction) du sang avoisinant dans les alvéoles pulmonaires (sans effraction) avec remplissage variable des sacs alvéolaires → **OAP**.

En scaphandre

En temps normal, on retrouve la redistribution du sang vers la circulation centrale, en particulier la circulation thoracique (comme vu précédemment) avec des conséquences multiples :

- engorgement de la circulation pulmonaire avec augmentation des pressions sanguines pulmonaires.
- Afflux sanguin ++ → augmentation de la charge de travail pour le cœur et du débit cardiaque.

En plongée le travail respiratoire est beaucoup plus important : musculature ventilatoire pas adaptée + masse volumique de l'air respiré augmente avec la pression → résistance plus forte et écoulement plus difficile dans les voies respiratoires.

Le matériel respiratoire augmente la résistance respiratoire et l'espace mort.

Le stress, le froid, les efforts (DTH par ex) peuvent majorer ces phénomènes,

Au final, on a une augmentation importante des pressions capillaires pulmonaires avec une altération de la barrière alvéolo-capillaire → passage dans alvéoles du plasma sanguin → **OAP**

Voir article Subaqua n°224 - Mai-Juin 2009

d) Amélioration des facteurs anatomo-morphologiques par le travail d'exercices spécifiques d'apnée.

Concerne les aptitudes morphologiques ou anatomiques innées ou acquises.

L'« inné » étant spécifique à chaque individu, en particulier, la capacité vitale et le volume de réserve qui peuvent varier du simple au double pour les athlètes « hors normes ».

L'acquis : ces volumes peuvent être améliorés par l'**entraînement**, qui avec l'amélioration des capacités cardio-respiratoires permet des exercices spécifiques

✕ De souplesse :

- assouplissement de la cage thoracique, du diaphragme et de la chaîne postérieure (cou-épaules) par des exercices spécifiques

✕ De musculature :

- La puissance de la musculature ventilatoire (diaphragme, muscles intercostaux, ceinture scapulaire et abdominale) par la pratique de nombreux sports

e) Les facteurs favorisant de l'OAP

- Age (50% des OAP chez les plus de 45ans)
- Hypertension artérielle
- Tabagisme
- Dysfonction cardiaque préexistante
- Faible condition physique, surpoids
- Effort physique (important et long)
- Facteurs extérieur :
 - eau froide
 - combinaison trop serrée
 - tout problème pouvant augmenter la pression intra-thoracique
- L'anxiété (stress → débutant, conditions de mer, problème au cours de la plongée)

Question n°3 L'apnée

(6 points)

- a) Cette procédure permet de tester dès le retour en surface l'état de conscience du candidat en prévention des incidents liés à cette épreuve.

b) Le SNC est très sensible aux variations de pression partielle en oxygène

Durant l'apnée, il y a diminution du taux d'oxygène mais du fait de la pression hydrostatique due à la profondeur, la PpO₂ reste suffisante.

*A la remontée, la pression hydrostatique diminue → diminution de la PpO₂ en dessous du seuil de tolérance du SNC → « mise en veille » du système nerveux central avec arrêt réflexe de la ventilation → **Syncope** = perte de connaissance sans arrêt cardiaque (présent dans la syncope)

*Une forme mineure de la souffrance cérébrale, appelée « **Samba** » = perte de contrôle moteur, stade ultime juste avant la perte de connaissance, peut se manifester en surface (Article C. DUBOC Subaqua N° 2009). Elle se caractérise par :

- une perturbation de la coordination des mouvements, tremblements incoercibles généralisés.
- perturbation de l'élocution avec impossibilité de répondre aux questionnements.

Une samba peut être ou non suivi d'une perte de connaissance.

Une perte de connaissance peut être ou non, précédée d'une Samba.

La perte de connaissance en soi n'est pas préjudiciable à l'intégrité physique du plongeur. C'est la reprise ventilatoire automatique avec les voies aériennes immergées qui entraîne la noyade par inhalation d'eau.

c) Amélioration des performances en apnée en travaillant :

- les facteurs anatomo-physiques (corpulence, état de forme, etc.)
- les facteurs physiologiques (accoutumance au CO₂, à l'acide lactique, au manque d'oxygène, etc.)
- les facteurs psychologiques (mental, capacité de relaxation, etc.) = ceci est très important.
- les facteurs techniques (l'aquacité, le palmage, la compensation, etc.)

d) Conseils avant apnée

- Pas d'hyperventilation avant apnée
- Echauffement musculaire en surface (nage) + apnée progressive (en binôme de même compétence)
- Pas de tuba
- Lestage réglé pour flottabilité positive à mi-profondeur
- Ne pas regarder la surface pendant la remontée (tête en hyper extension → compression des sinus carotidiens = mauvaise irrigation cérébrale) sauf à l'approche de la surface pour réalisation du 360°
- Ne pas accélérer à la remontée même si impression de « manque » d'air
- Ne pas lâcher de bulles d'air à la remontée (baisse brutale de la PpO₂ alvéolaire) → inutile et dangereux

e) Conseils pour la sécurité surface

- **Pendant la remontée**

Perte de connaissance : jamais au fond mais à la remontée ou en surface → vigilance +++

Dans les derniers mètres → agitation excessive, palmage puissant ou arrêt brutal de palmage avec lâcher de bulles → coule très vite.

Tout comportement « anormal » doit entraîner une assistance immédiate.

- **A la surface**

Incidents possibles même après reprise de la ventilation en surface.

En moyenne, il faut 5 secondes pour ré-oxygéner le cerveau à partir de l'oxygène alvéolaire → Vigilance durant ce délai après reprise de la ventilation.

Question n° 4 : Les vertiges

(3 points)

a) Vertiges transitoires

- Barotraumatisme avec perforation tympanique + eau froide
- Bouchon de cérumen unilatéral

b) Vertiges durables

- **Le coup de piston violent** sur fenêtre ovale ou sur fenêtre ronde (Valsalva trop forcé et/ou trop tardif) avec barotraumatisme d'oreille interne par répercussion sur endolymphe vestibulaire et semi circulaire.

c) **Le vertige alterno-barique**

Souvent bénin et transitoire → le plus souvent à la remontée (10 % des plongeurs)

Mécanisme : perméabilité dissymétrique des trompes d'Eustache → asynchronisme de l'équilibre des pressions entre les 2 oreilles moyennes → asymétrie des informations transmises aux organes de l'équilibre (vestibule) → vertiges bref et fugace avec désorientation

CAT : déglutir sans jamais faire de Valsalva

Anatomie, physiologie, physiopathologie (coefficient 4, 1h30)

1. Le stress en plongée :

- Proposez une définition ? Comment évolue-t-il ? (1 point)
Quelles sont les modifications physiologiques induites par le stress ? (2 points)
Quelles peuvent en être les conséquences et comment peut-on le prévenir ? (2 points)

2. La pratique de la plongée sous-marine en scaphandre entraîne un certain nombre de modifications physiologiques liés à l'immersion.

- Quels sont les effets de l'immersion sur le volume sanguin ? (2 points)
Quelles sont les causes de la déshydratation en plongée ? (2 points)
Exposez les différents mécanismes de cette déshydratation. (2 points)
Comment proposez-vous de prendre en compte ce paramètre dans la formation des moniteurs ? (1 point)

Etude d'un cas particulier :

En été, sur un bateau, deux plongeurs, après une exposition prolongée au soleil, se mettent à l'eau avant de s'équiper. L'un des deux doit immédiatement secourir son équipier inanimé. Expliquez le mécanisme de cet accident. (2 points)

3. Les plongeurs « loisirs » utilisent volontiers des mélanges suroxygénés.

- a) Quelles peuvent être les conséquences de la respiration d'oxygène à une pression partielle supérieure à 1,6 b ?
Décrivez le mécanisme physiologique et les phases de l'accident. (3 points)
- b) Un plongeur effectuant des immersions longues et répétées avec des mélanges suroxygénés s'expose à certains risques jusqu'alors peu pris en compte par les pratiquants de loisir : Explicitiez cette affirmation. (1 point)
- c) Listez les différentes utilisations de l'oxygène en plongée et précisez pour chacune d'elles les effets recherchés. (2 points)

(Anatomie, physiologie, physiopathologie (coefficient 4, 1h30)

Éléments de correction

1. Le stress en plongée :

- Le stress est une réponse physiologique (et psychologique) de l'organisme confronté à une agression du milieu, devenue trop intense pour pouvoir être supportée par l'organisme sans réaction de ce dernier.

Le syndrome d'adaptation de la réaction physiologique au stress comporte 3 phases :

Une phase d'alerte durant laquelle l'organisme mobilise ses ressources pour faire face à l'agression.

Une deuxième phase qui concerne une augmentation des défenses de l'organisme.

Et enfin une troisième phase d'épuisement. Cette phase est le signe de l'échec de l'organisme à s'adapter. **(1 point)**

- Le stress entraîne un certain nombre de réactions physiologiques :

Il y a adaptation lorsque que le syndrome d'adaptation ne dépasse pas la phase 3. En effet, pendant la phase d'alerte, l'hyper-vigilance stimule les possibilités intellectuelles et les capacités physiques et au cours de la phase de lutte, l'organisme développe des réponses adaptées pour maîtriser la situation de stress et réduire les effets néfastes afin d'aboutir à un nouvel équilibre.

L'adaptation dépend bien évidemment de la capacité de contrôle de la personne, mais aussi de la nature de l'événement, qui se caractérise par son intensité, son imprévisibilité et sa chronicité.

Au delà de cette phase d'adaptation, le stress se caractérise par une incapacité à réagir et peut aboutir à des complications dont les plus fréquentes sont des pathologies somatiques à caractère fonctionnel, des troubles anxieux ou encore des états dépressifs.

Deux grands systèmes sont mis en œuvre dans la réaction de stress :

- le système sympathique (neuroendocrine) est à l'origine de la réponse rapide au stress (quelques secondes) par l'intermédiaire de la noradrénaline

(neurotransmetteur) libérée par les terminaisons nerveuses dans le cœur et par l'adrénaline libérée par les glandes médullo-surrénales.

- un système endocrinien : la réponse comporte plusieurs étapes, le délai de réponse est plus long, il est de quelques minutes. Il se traduit par la libération massive de diverses hormones. Celles-ci provoquent entre autres une libération de glucose dans le sang, Ainsi, les cellules fortement stimulées disposent de la ressource en énergie indispensable à l'augmentation de leur activité. **(2 points)**

- Le stress peut avoir toutes sortes de conséquences :

Elle peut conduire à une très grande variété de dysfonctionnements, voire, dans des circonstances extrêmes, à la mort.

Par exemple :

Augmentation de la fréquence cardiaque, augmentation du rythme de la ventilation, état de choc, perte de connaissance, fièvre, altération de la conscience, modification comportementale...

La réaction de stress devient pathologique lorsque les possibilités de réponses adaptatives du sujet sont dépassées, face à des situations trop intenses ou répétées. Il y a épuisement des stratégies d'ajustement.

La connaissance des mécanismes permet de mieux réagir. Exemple. **(2 point)**

2. La pratique de la plongée sous-marine en scaphandre entraîne un certain nombre d'effets liés à l'immersion.

- Les effets de l'immersion en matière de masse sanguine : modification de la répartition du volume sanguin

Hors de l'eau, en position debout, l'abdomen et la masse sanguine sont attirés vers le bas par la pesanteur

Si on s'immerge partiellement, la pression hydrostatique (pression relative) est immédiatement transmise à la partie du corps qui se trouve dans l'eau. Pour qu'un nouvel équilibre des forces s'installe, **un plus grand volume sanguin va se retrouver là où les vaisseaux sont le plus extensibles : les capillaires des poumons.** Ceux-ci peuvent se dilater plus facilement que n'importe quels autres vaisseaux, sans déplacer d'autres tissus, car ils sont à proximité d'une masse gazeuse : l'air contenu dans les poumons. Le cœur étant lui aussi situé dans cette région, verra son volume augmenter.

Lorsqu'on est totalement immergé, 700 ml de sang supplémentaires se retrouvent ainsi répartis dans les poumons et le cœur.

L'afflux sanguin dû à l'immersion augmente donc la pression dans les veines, entraîne un bon remplissage du cœur et facilite son travail. Le résultat est une augmentation de la pression sanguine dans les artères.

La pression dans les artères est contrôlée en permanence. Comme celle-ci augmente trop, un mécanisme de régulation entre en jeu : le rythme cardiaque diminue et le diamètre des artères augmente. (2 pts)

- Les causes de la déshydratation (augmentation de la diurèse) :

1^{ère} cause de diurèse : augmentation du volume plasmatique (cf. ci-dessus)

2^{ème} cause : le froid

3^{ème} cause : Réhydratation des gaz secs

Le froid entraîne une vasoconstriction périphérique (mécanisme de défense de l'organisme qui préserve les organes vitaux - Cœur, poumons, cerveau). Cette vasoconstriction crée également une hyper-volémie, avec pour conséquence une augmentation de la pression et donc également une diurèse. (2 pts)

- Mécanisme de la déshydratation :

Les cellules de la paroi des vaisseaux vont "s'écarter" les unes des autres au point que l'espace interstitiel (espace entre les cellules) sera sensiblement plus grand qu'à l'habitude. L'eau du corps pourra alors rejoindre le sang plus facilement.

Ceci aura pour effet d'augmenter le volume du plasma sanguin (hyper-volémie). Quand le volume plasmatique augmente, la diurèse augmente également car il y a nécessité de maintenir une pression stable. Le débit urinaire qui est normalement de 1 mL / minute passe à 6 mL / minute en immersion. (2 pts)

- Il faut donc s'hydrater dès lors que l'on plonge avant et surtout après la plongée, pour compenser les pertes d'eau liées à l'immersion. Ce conseil est à diffuser vers les stagiaires pédagogiques. (1 pt)

Etude de cas : un choc thermo-différentiel (hydrocution) :

Si après une longue exposition au soleil on se jette à l'eau, la chute de température va provoquer une fermeture des vaisseaux périphériques (vasoconstriction). Le grand volume sanguin va donc refluer vers l'intérieur du corps : la pression sanguine va augmenter brutalement, générant une réaction tout aussi brutale du système parasympathique qui peut arrêter le cœur en quelques secondes. (2 pts)

3. Les plongeurs « loisir » utilisent de plus en plus de mélanges suroxygénés.

Facteurs limitants :

Oxygène, composant de l'air, indispensable à la vie mais toxique lorsqu'utilisé dans certaines conditions (Pp sup ou égale à 1,6 bar).

Effet Paul Bert (grande crise hyperoxique) :

En hyperbarie, il y a augmentation de la phase dissoute. En effet, l'Hémoglobine est quasiment saturée à la PpO₂ normale de 100 mm de Hg (air alvéolaire) et les neurones cérébraux sont très sensibles à l'augmentation de l'O₂ dissous.

Symptômes d'alerte : anxiété, appréhension, angoisse, hallucinations, nausée, vertiges acouphènes, ...

Crise hyperoxique : phase tonique, phase clonique ou convulsive, phase de perte de connaissance avec retour progressif de la conscience (retour à la normale avec fin ambiance hyperoxique) **(3 pts)**

Risques liés à la respiration prolongée de mélanges suroxygénés :

L'effet LORRAIN-SMITH est la toxicité pulmonaire de l'oxygène suite à de longues expositions à une pression partielle d'oxygène comprise entre 0.5 et 1 bar. Ce risque devient désormais potentiel dès lors que l'on s'expose longtemps à une respiration suroxygénée sous l'eau.

C'est une pneumonie toxique par inflammation alvéolaire. Les symptômes en sont : face rose, gêne respiratoire, toux, brûlures alvéolaires, œdème pulmonaire. **(1 pt)**

Usages :

- ✓ Utilisation « normale » de l'O₂ en plongée à l'air
- ✓ Plongée nitrox : augmentation de la part d'O₂ donc baisse pourcentage d'azote et désaturation moins contraignante
- ✓ Paliers O₂ : diminution du temps de paliers (2/3 des paliers habituels sauf si temps < à 5 minutes)
- ✓ Respiration de l'O₂ pendant l'intervalle (diminution de la majo)
- ✓ Premiers secours (ranimation) : dans cas de détresse ventilatoire, risque vital car arrêt de l'hématose. Effet recherché : réalimenter l'organisme de façon massive en O₂

(2 pts)



Monitorat fédéral 2^{ème} degré

Trébeurden Juillet 2011

**Anatomie, Physiologie et physiopathologie du plongeur.
Coefficient 4. Durée 1h30**

Question 1- Plongée enfants (8 points)

Votre club a décidé cette année d'ouvrir une section enfant et vous devez sensibiliser les moniteurs qui vont être chargés de la formation.

1. Dans un premier temps vous présentez les spécificités propres de l'enfant au regard de la pratique de plongée en quelques lignes en soulignant notamment pourquoi l'enfant n'est pas un adulte en réduction (2 points).
2. Exposer les différents aspects et particularités à prendre en compte lors de la plongée chez l'enfant (6 points).

Question 2 - L'oreille (6 points)

Dans la cadre d'une formation MF1, vous abordez le son et l'audition subaquatique avec vos stagiaires.

1. Le barotraumatisme de l'oreille interne - Expliquez son mécanisme. (2 points)
2. Vous aborderez les facteurs de perméabilité de la trompe d'Eustache et les raisons pour lesquelles nous ne sommes pas tous égaux devant l'équipression des oreilles. (2 points)
4. Différentes études de spécialistes reconnus expliquent que la manœuvre de Valsalva peut être particulièrement traumatisante. Vous présenterez la technique d'équilibration qui vous semble la moins brutale. (2 points)

Question 3 - L'oxygène (6 points).

1. Expliquez le cheminement de l'oxygène depuis l'alvéole jusqu'à son utilisation par une cellule musculaire. Définissez la puissance maximale aérobie. (2 points)

2. Justifiez pourquoi l'hyperventilation ne permet pas d'augmenter l'O₂ disponible pour les cellules et plus particulièrement les neurones cérébraux. (2 points)
3. Au cours d'un stage N4, un élève est pris de soubresauts alors qu'il remonte d'une apnée de 10 mètres. Il perd ensuite connaissance et ne doit son salut qu'aux moniteurs présents qui ont aussitôt réagi avec promptitude.

31/ A quel accident pensez-vous ? (0,5 point)

32/ Expliquez les causes de cet accident. (0,5 point)

33/ Le fait de perdre connaissance est-il systématique ? (0,5 point)

34/ Que peut-on mettre en place en terme d'organisation et de sécurité pour éviter ce type d'accident ? (0,5 point)



Monitorat fédéral 2^{ème} degré

Trébeurden Juillet 2011

Eléments de correction
Anatomie, Physiologie et physiopathologie du plongeur.
Coefficient 4. Durée 1h30

Question 1- Plongée enfants (6 points)

Votre club a décidé cette année d'ouvrir une section enfant et vous devez sensibiliser les moniteurs qui vont être chargés de la formation.

3. Dans un premier temps vous présentez les spécificités propres de l'enfant au regard de la pratique de plongée en quelques lignes en soulignant notamment pourquoi l'enfant n'est pas un adulte en réduction (2 points).

L'enfant présente une spécificité propre :

- L'âge pour débiter la plongée chez l'enfant dépend de nombreux facteurs physiologiques, psychologiques et individuels
- L'organisme de l'enfant subit une évolution constante afin de poursuivre sa maturation. Les modifications nombreuses concernent les fonctions hormonales lors de la puberté, la maturation de l'appareil respiratoire, la croissance staturo-pondérale et la perte du schéma corporel pendant la croissance (raison pour laquelle nos ados sont aussi maladroits).

Il n'y a pas de « contre-indication » physiologiques à faire réaliser des exercices musculaires à un enfant à partir de 8 ans, lorsqu'il est en bonne santé (obligation d'un certificat médical).

4. Exposer les différents aspects et particularités à prendre en compte lors de la plongée chez l'enfant (6 points).
- La thermorégulation : le froid est le principal facteur limitant la plongée chez l'enfant
 - En cas d'agression thermique, le bilan thermique de l'enfant devient rapidement défavorable
 - - Le rapport élevé entre la surface corporelle et le faible poids, ajouté à une masse adipeuse souvent faible provoquent rapidement des réponses montrant une mauvaise tolérance au froid (tremblements, bleuissement des extrémités) .

- L'adaptation du système respiratoire : la multiplication alvéolaire est rapide jusqu'à 4 ans puis ralentit vers l'âge de 8 ans.
- L'adaptation à l'effort se traduit par une augmentation importante de sa fréquence respiratoire
- - La respiration peut devenir rapidement superficielle et inefficace avec risque d'essoufflement
- - Risque de piégeage gazeux alvéolaire du fait de l'augmentation du volume de fermeture chez l'enfant en plongée notamment en petite profondeur (risque présent en piscine).
- L'adaptation cardiovasculaire :
- La fréquence cardiaque est plus rapide chez l'enfant
- - Le foramen ovale peut rester perméable après la naissance (à l'origine de passage de bulles dans la circulation artérielle en cas d'augmentation de la pression veineuse intra-thoracique)
- - Turbulences à l'abouchement de la VCI dans l'oreillette augmentant le risque de formation de bulles.
- L'adaptation ORL : Grande fréquence des affections ORL (otites, rhinopharyngites, angines...). L'otite barotraumatique est le principal facteur d'incident et d'échec pour la plongée enfant.

L'ouverture de la trompe d'eustache est moins bonne chez l'enfant.

- L'incompréhension des manœuvres d'équilibration tympanique est fréquente - Utilisation d'un masque adapté pour faciliter la manœuvre.
- L'appareil locomoteur : Le risque est surtout lié au port de charge lourde - Se servir de matériels adaptés. Les palmes doivent aussi être à la bonne taille.
- Aspect psychologique : Risque de panique chez l'enfant pouvant être à l'origine d'une surpression pulmonaire - Réaction imprévisible - Dépendance au champ visuel est très forte - Le niveau de compréhension des risques liés à l'accident est en général de 12 ans.

Question 2 - L'oreille (4 points)

Dans la cadre d'une formation MF1, vous abordez le son et l'audition subaquatique avec vos stagiaires.

1. Le barotraumatisme de l'oreille interne - Expliquez son mécanisme. (2 points)

Il survient à la descente et il est la conséquence d'une surpression brutale des liquides labyrinthiques susceptibles d'entraîner des lésions de l'oreille interne. Deux cas peuvent se produire. Le cas le plus fréquent est le barotraumatisme mixte transmis par l'oreille moyenne. L'hyperpression est transmise par la platine de l'étrier.

Dans certains cas le barotraumatisme est directement transmis à l'oreille interne sans atteinte du tympan et des osselets. On parle ici d'un barotraumatisme direct par coup de piston de l'étrier dans la fenêtre ovale. Il peut y avoir rupture des fenêtres ronde ou ovale.

2. Vous aborderez les facteurs de perméabilité de la trompe d'Eustache et les raisons pour lesquelles nous ne sommes pas tous égaux devant l'équipression des oreilles. (2 points)

- Canal étroit d'un diamètre de 1 à 3 mm.
- Forme particulière avec différents types. La forme est un élément important. Certains plongeurs auront toujours des difficultés voire une impossibilité à l'équilibrage.
- Etat de la muqueuse avec possibilité d'inflammation.
- Sécrétions diverses peuvent également rendre difficile l'équipression.

4. Différentes études de spécialistes reconnus expliquent que la manœuvre de Valsalva peut être particulièrement traumatisante. Vous présenterez la technique d'équilibration qui vous semble la moins brutale. (2 points)

BTV : manœuvre atraumatique nécessitant une conformation optimale de la trompe d'Eustache, par mise en jeu des muscles péri-staphylins pouvant être entraînés (gymnastique dite tubaire)

Question 3 - L'oxygène (6 points).

4. Expliquez le cheminement de l'oxygène depuis l'alvéole jusqu'à son utilisation par une cellule musculaire. Définissez la puissance maximale aérobie. (2 points)

L'O₂ passe de l'alvéole aux capillaires pulmonaires par diffusion simple des hautes pressions vers les basses pressions.

L' O₂ est apporté aux cellules grâce au sang. Une faible quantité est dissoute dans le plasma. Une quantité beaucoup plus importante est liée à l'hémoglobine des globules rouges.

L'O₂ passe du sang aux cellules musculaires par diffusion simple des hautes pressions vers les basses pressions

Au sein de chaque cellule musculaire existent de petites formations, les mitochondries. Il s'agit de véritables petites usines chimiques qui utilisent l'oxygène pour fonctionner. La capacité du muscle à consommer l'oxygène est liée au nombre et à l'activité des mitochondries présentes ; il s'agit du facteur limitant.

La puissance maximale aérobie (**PMA**) est la plus petite puissance à laquelle VO₂Max est atteint . C'est la puissance maximale qui peut être développée dans le domaine aérobie..

La quantité maximale d'oxygène qui peut être apportée à l'organisme dépend :

- de l'absorption de l'oxygène au niveau des poumons (rôle des alvéoles pulmonaires) ;
- de la capacité de transfert alvéolo capillaire
- de la capacité de transport du sang (rôle de l'hémoglobine) ;
- de la capacité des muscles à utiliser O₂ (rôle des mitochondries) ;
- du nombre de fibres oxydatives dans les muscles sollicités.

5. Justifiez pourquoi l'hyperventilation ne permet pas d'augmenter l'O₂ disponible pour les cellules et plus particulièrement les neurones cérébraux. (2 points)

L'hyperventilation tend à rapprocher les pressions partielles des gaz alvéolaires des PP atmosphériques. Bien entendu la teneur en O₂ augmente mais comme l'hémoglobine du sang artériel est déjà à saturation (97%), l'augmentation de l'O₂ sanguin n'apporte pas de plus value.

En fait, l'hyperventilation diminue les réserves de CO₂ entraînant un retard important dans le déclenchement du réflexe inspiratoire.

La PPO₂ passe au seuil de syncope anoxique avant que la PPCO₂ passe au-dessus du seuil de rupture de l'apnée.

6. Au cours d'un stage N4, un élève est pris de soubresauts alors qu'il remonte d'une apnée de 10 mètres. Il perd ensuite connaissance et ne doit son salut qu'aux moniteurs présents qui ont aussitôt réagi avec promptitude.

31/ A quel accident pensez-vous ? (0,5 point)

Une samba

32/ Expliquez les causes de cet accident. (0,5 point)

Dues à une hypoxie.

Baisse de la pa CO₂- Hypocapnie due à l'hyperventilation.

Puis au fond, hypercapnie - Augmentation de la pa CO₂ due à l'arrêt ventilatoire

Avec l'hyperventilation, les centres bulbaires ne sont pas informés et ne réagissent pas comme ils devraient le faire.

Déclenchement de l'envie de respirer à 60 mm/HG de $p_a\text{CO}_2$.

L'apnéiste résiste et risque la syncope anoxique.

La samba est un état intermédiaire où il y a perte de vigilance avec soubresauts

33/ Le fait de perdre connaissance est-il systématique ? (0,5 point)

Non.

On peut avoir une samba sans syncope derrière.

On peut avoir une samba et une syncope.

On peut avoir directement une syncope anoxique.

34/ Que peut-on mettre en place en terme d'organisation et de sécurité pour éviter ce type d'accident ? (0,5 point) revoir réponse

Pas d'hyperventilation

Périodes de récupération qui doit être supérieure au temps des apnées

Pas d'apnée seul

Pas de lâcher d'air important en apnée

Entraînement régulier et progressif

Relaxation

Le lestage doit permettre une flottabilité positive dans les derniers mètres

Ne pas aller au-delà de ses limites

Surveiller un apnéiste après son retour en surface au-delà de 30 secondes

**Epreuve d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie du plongeur.
Durée de l'épreuve 1 heure 30 - Coefficient 4**

L'organisme d'un plongeur en immersion s'adapte constamment au milieu et aux conditions de son évolution subaquatique... par exemple :

Question 1 (5 points)

Le cœur est un organe autonome qui fonctionne à une fréquence d'environ 120 battements par minutes imposée par le nœud sinusal, en l'absence de toute influence nerveuse.

- a) Comment ce rythme est-il régulé en surface et au repos ?
 - b) Comment ce rythme évolue-t-il en immersion ?
 - c) Qu'implique un effort ou un stress sur le rythme cardiaque ?
- Vous justifierez vos réponses ?

Question 2 (6 points)

Les poumons, sont également des éléments essentiels en plongée. Au repos, le rythme respiratoire du plongeur est de 10 à 15 cycles ventilatoires par minute. Il est régulé automatiquement.

- a) Dessinez un pneumo-gramme de repos en surface. Représentez la modification normale de cet enregistrement en immersion. Légendez vos dessins.
- b) - Quels sont les facteurs qui influencent cette modification du pneumo-gramme en plongée et comment ?
- c) Citez et expliquez les mécanismes physiologiques de l'essoufflement ?

Question 3 (4 points)

Le reflux du sang des extrémités vers le thorax ("blood shift") est le résultat de l'adaptation cardiovasculaire à l'immersion.

Quels en sont les conséquences ?

Question 4 (5 points)

L'espérance de vie de l'homme augmente, et des plongeurs âgés continuent de pratiquer leur activité.

Listez les modifications physiologiques liées à l'âge et leurs conséquences susceptibles de modifier l'adaptation de l'organisme en plongée ?

Quelles sont les précautions à envisager dans chacun des cas ?

Epreuve d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie du plongeur.
Durée de l'épreuve 1 heure 30 - Coefficient 4
Éléments de correction

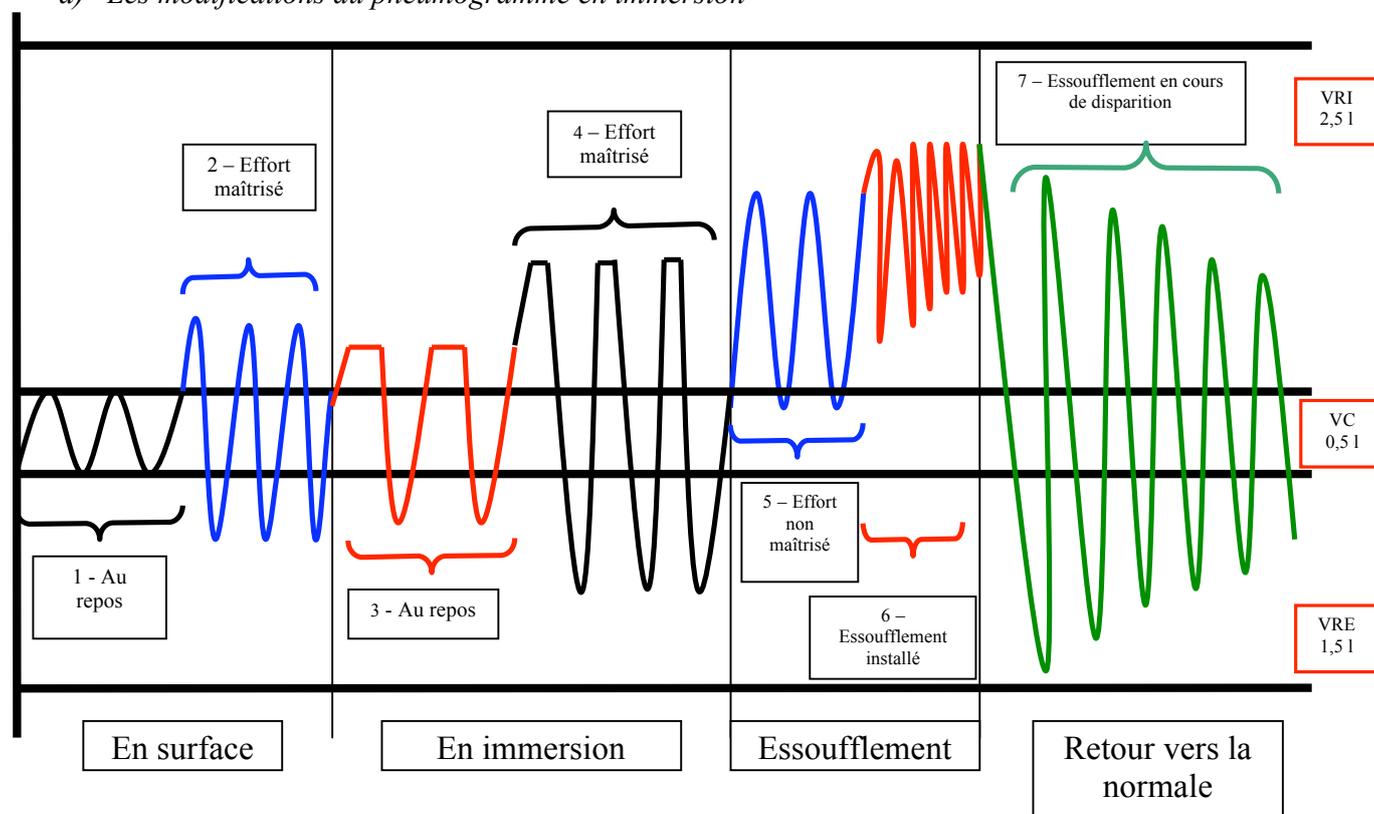
Question 1 (6 points)

Le nœud sinusal est placé sous l'influence de nerfs et d'hormones :

- le **nerf parasympathique** (ou nerf vague) a une action de ralentisseur. Son action est prépondérante au repos. Il fait chuter cette fréquence automatique de 120 à 70 battements/mn pour une personne non entraînée, voire 60 à 50 battements/mn pour une personne entraînée au repos.
– le **nerf sympathique** a une action d'accélérateur. Il augmente le rythme cardiaque en fonction de l'effort. Dans ce cas s'est le neurotransmetteur, la noradrénaline, qui augmente le rythme cardiaque. Même remarque
– La **glande médullo-surrénale** peut aussi libérer dans le sang de l'adrénaline qui est une hormone D'autres facteurs influent aussi sur la fréquence cardiaque.
- Bradycardie reflexe cad ralentissement du rythme cardiaque.
- Augmentation du rythme cardiaque.

Question 2 (6points)

a) *Les modifications du pneumogramme en immersion*



b) *Éléments qui influencent un pneumogramme et comment :*

b-1) - Un pneumogramme transcrit les mouvements de la cage thoracique. La fréquence respiratoire est régulée automatiquement, entre autres, par des chémorécepteurs sensibles aux variations de CO₂, d'O₂ et pH sanguin. C'est principalement l'augmentation de CO₂ dans le sang qui provoque l'accélération du rythme respiratoire (accessoirement si diminution de l'O₂ ou du pH). On constate aussi que le rythme respiratoire évolue par l'intermédiaire de thermorécepteurs

sensibles à la température interne (augmentation du rythme respiratoire si élévation de ta température) ainsi que par l'intermédiaire de tenso-récepteurs sensibles à l'étirement de la cage thoracique.

b-2) - Si l'on met de côté la respiration d'un mélange « pollué » (normalement air inspirée = seulement trace de CO₂), ou d'autres causes exogènes, l'augmentation de la quantité de CO₂ est due uniquement à l'augmentation de la production endogène. Le maintien de l'effort musculaire est permis par une respiration plus ample et plus rapide qu'au repos permettant une meilleure élimination du CO₂. L'amplitude et la fréquence modifient le pneumogramme normal au repos.

Il faut citer également les éléments suivants qui peuvent modifier notablement un pneumogramme :

- La peur, le stress qui provoque en général une hyperventilation,
- Un matériel mal réglé (dur à l'inspiration ou à l'expiration) ou bloc mal ouvert,
- Le froid qui provoque une respiration superficielle,
- La quantité d'air inspirée à grande profondeur qui augmente les temps inspiratoires et expiratoires.

c) *Altération du pneumogramme et mécanisme physiologique de l'essoufflement :*

c-1) - Le pneumogramme normal d'un plongeur en immersion se modifie lorsque l'essoufflement apparaît. En effet, lorsque la ventilation, déjà plutôt située dans le volume de réserve inspiratoire (VRI), n'est pas assez efficace pour combattre l'augmentation de CO₂, celle-ci augmente en fréquence et s'inscrit de plus en plus dans le VRI avec une forte diminution de la phase expiration. Cette régulation autonome (ou involontaire) devient totalement inefficace. Il faut une action volontaire pour forcer la phase expiration. Ce n'est qu'au prix de cet effort que le pneumogramme reprendra peu à peu un tracé normal.

c-2) - Contrairement à une idée reçue, la PPCO₂ n'augmente pas avec la profondeur et ce n'est donc pas la réelle cause de la naissance d'un essoufflement. Les muscles réalisant des efforts nécessitent plus d'O₂ qu'au repos et cette suractivité génère en retour une augmentation des « déchets », entre autres, le CO₂.

Si la ventilation n'est pas suffisamment efficace rapidement pour éliminer cette surproduction de CO₂, les Chémorécepteurs (voir b-1) -) déclenchent les mécanismes de régulation. Ils stimulent le centre bulbaire qui incite à son tour l'inspiration alors qu'il faudrait augmenter l'expiration. Ce système de régulation inefficace ne permet pas de freiner l'augmentation de CO₂ et amplifie la réaction inadaptée de la respiration qui devient de plus en plus superficielle.

Ce phénomène est déclenché par l'augmentation de la Pp de CO₂ alvéolaire qui a pour effet de diminuer le gradient d'élimination du CO₂, et par conséquent de provoquer l'hypercapnie déjà évoquée.

Lorsque ce processus est installé, il ne peut qu'empirer vers une hypercapnie massive (sensation d'étouffement).

Face à cette détresse respiratoire, le plongeur peut avoir des réactions de survie qui le font réagir de manières dangereuses : arrachage de détendeur, remontée très rapide vers la surface, agressivité violente.

Question 3 (4 points)

a) En plongée, la pression hydrostatique s'exerce sur tout l'organisme notamment au niveau des membres et de leurs extrémités.

La pression majore le retour veineux vers le thorax, à cela s'ajoute la vaso constriction périphérique liée au froid plus une augmentation du volume sanguin liée à un effet reflex (diurétique) consécutif à l'immersion.

L'ensemble de ces facteurs contribuent à une élévation du volume central responsable éventuel d'œdème en immersion.

Question 4 (4 points)

a) - La **tension artérielle s'élève** avec l'âge. L'entraînement physique régulier permet de la stabiliser. Il faut insister sur une activité physique régulière. Suivi médical régulier.

b) - **Réduction de la FC max** à l'effort. Eviter les plongées très sportives avec beaucoup de courant. Limiter les efforts dans l'eau mais aussi lors du retour sur le bateau (remontée d'échelle, port du bloc...).

c) - La **force musculaire décroît**. Un effort soutenu peut entraîner tendinites, claquages, déchirures. Il faut privilégier l'échauffement et adjoindre éventuellement des étirements.

d) - **Réduction de la résistance au froid** due aux modifications métaboliques. Utilisation de matériels adaptés (combinaison épaisse, semi étanche, étanche), éviter les eaux froides ou limiter la durée exposition au froid. Boissons chaudes ...

e) - **La vue se modifie (presbytie)**. Il devient peu aisé, voire impossible, de lire les indications des instruments, d'une table, ... Il faut un masque adapté à la vue ou choisir les instruments en fonction de la taille des chiffres, ou pour leur facilité de lecture...