

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Les ordinateurs de plongée (6 pts)

- Listez les principaux modèles de décompression utilisés par les ordinateurs actuels et expliquez succinctement leurs hypothèses (3 pts)
- Définissez les termes suivants : M-Value, Facteur de Gradient (Gradient Factors ou GF), compartiment, Sursaturation Critique (Sc) (3 pts)

QUESTION 2 : Palier de principe ou de sécurité (4 pts)

- Certains ordinateurs proposent systématiquement mais de manière non obligatoire d'effectuer un palier de principe / sécurité. Parfois ils incluent sa durée dans la durée du palier obligatoire, parfois ils le rajoutent après.
Expliquez dans quels cas ce palier peut être avantageux pour l'organisme en fin de plongée. (2 pts)
- Dans les autres cas, listez les situations et expliquez brièvement pourquoi la tenue du palier de principe ou de sécurité peut être source de problèmes. (2 pts)

QUESTION 3 : Problème de table de plongée fédérales (4 pts)

- Deux plongeurs PA40 descendent à 36m pendant 27 minutes. Ils sortent de l'eau à 10h. Ils décident de replonger à 26 m durant 32 min mais ils ne veulent pas faire plus de 12 min de palier. A partir de quelle heure pourront-ils replonger ? (2 pts)
- Un 3ème plongeur se joint à eux pour la plongée de l'après-midi. Il a lui aussi fait une première plongée mais son intervalle de surface est de 4h00. S'il respecte leurs paramètres (26 m et 32') il aura 25' de paliers. A quelle profondeur max a-t-il pu descendre à sa première plongée et combien de temps maximum a-t-il pu y rester sachant qu'il n'a pas eu de paliers. (2 pts)

QUESTION 4 : Accident (6 pts)

En charge de l'organisation d'un stage de formation de plongeur N4 guide de palanquée sur 2 semaines, vous devez prendre en considération de nombreux paramètres pour sécuriser au mieux vos plongées afin de réduire les risques d'accident de désaturation.

- Quels sont les facteurs favorisant ce type d'accident et quelles préventions pouvez-vous y associer ? (5 pts)
- Préconiseriez-vous d'effectuer ou pas des paliers profonds et pourquoi ? (1 pt)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : Les ordinateurs de plongée (6 pts)

- a) Listez les principaux modèles de décompression utilisés par les ordinateurs actuels et expliquez succinctement leurs hypothèses (3 pts)
- *Modèle de « BUHLMANN » (Type Haldanien)*
Hypothèses : Notion de M. VALUES (Workman) : idem Sc mais avec une expression mathématique différente qui prend en compte le compartiment et la profondeur, air alvéolaire comme référence du gaz respiré, adapté à l'altitude. (1,5 pts)
 - *Modèles VPM (Modèle à Perméabilité Variable) et RGBM (Modèle à faible Gradient de bulles)*
Hypothèses : le modèle RGBM (Wienke) tire ses sources des théories VPM (Yount) Existence de microbulles artérielles et veineuses non pathogènes dans l'organisme. Prise en compte de 2 paramètres :
 - ✓ *Une taille critique de bulle à ne pas atteindre (sinon augmentation très rapide et devient pathogène)*
 - ✓ *Un nombre maxi de microbulles exprimé sous la forme d'un volume de bulles acceptable (retour par expérience doppler) (1,5 pts)*
- b) Définissez les termes suivants : M-Value, Facteur de Gradient (Gradient Factors ou GF), compartiment, Sursaturation Critique (Sc) (3 pts)
- ***M-Value** : tension d'azote maximale qu'un compartiment peut supporter sans présenter de signes d'ADD, à une profondeur donnée. Une M-value correspond à une limite de surpression tolérée. Les M-Values varient en fonction de la profondeur (1 pt)*
 - ***Facteur de Gradient (Gradient Factors ou GF)** : paramètres de conservatisme pour le modèle de décompression de Bühlmann. Les GF au nombre de deux dans le modèle Bühlmann permettent de paramétrer la décompression de deux manières : le GF bas (exprimé en pourcentage), défini les paliers profonds (plus le pourcentage est faible plus les paliers sont profonds), le GF haut (toujours en pourcentage) défini la durée des derniers paliers proches de la surface (plus il est faible plus les paliers sont longs). Le paramétrage du GF bas permet aussi de prendre en compte la concentration d'hélium dans le mélange. Plus le pourcentage d'hélium est important et plus le GF bas doit être faible pour « imposer » des paliers profonds.*
 - ***Sursaturation Critique (Sc)** : valeur maximum du rapport entre la tension d'azote (TN₂) au sein d'un compartiment et la pression absolue (Pabs) à laquelle ce compartiment est exposé sans qu'il ne développe de signes d'ADD. $Sc = TN_2 / Pabs$ (1 pt)*

QUESTION 2 : Palier de principe ou de sécurité (4 pts)

- a) Certains ordinateurs proposent systématiquement mais de manière non obligatoire d'effectuer un palier de principe / sécurité. Parfois ils incluent sa durée dans la durée du palier obligatoire, parfois ils le rajoutent après.
Expliquez dans quels cas ce palier peut être avantageux pour l'organisme en fin de plongée. (2 pts)
Bien qu'aucune étude scientifique ou médicale n'ait encore démontré un aspect bénéfique, tous s'accordent à dire que le palier de 3mn à 3m ne peut pas présenter de danger en termes de désaturation.

- Permettrait d'améliorer la désaturation de l'organisme en laissant plus de temps (3mn) à l'organisme d'éliminer l'azote en excès. Ceci est utilisé principalement lors de plongée avec difficultés particulières :
 - ✓ Lutte contre le courant
 - ✓ Lutte contre le froid
 - ✓ Efforts
 - ✓ Etat de fatigue
 - ✓ Profils à risques (yoyos, profils inversés)
 - ✓ Problèmes survenus durant la plongée (ex : début d'essoufflement)

- b) Dans les autres cas, listez les situations et expliquer brièvement pourquoi la tenue du palier de principe ou de sécurité peut être source de problèmes. (2 pts)
 - ✓ Mauvaise stabilisation au palier, lutte contre le courant, houle, froid, dérive => pb de désaturation et perte de vue de la palanquée en surface par la sécu surface.
 - ✓ Mauvaise visibilité => risque qu'un ou plusieurs plongeurs perdent la palanquée
 - ✓ Si une procédure de rappel des plongeurs est déclenchée, le fait de faire les paliers de sécurité peut entraîner un retard dans la prise en charge d'un accidenté par les secours. (Dans ce cas il faut imposer de « zapper » les paliers de sécurité).

QUESTION 3 : Problème de table de plongée fédérales (4 pts)

- a) Deux plongeurs PA40 descendent à 36m pendant 27 minutes. Ils sortent de l'eau à 10h. Ils décident de replonger à 26 m durant 32 min mais ils ne veulent pas faire plus de 12 min de palier. A partir de quelle heure pourront-ils replonger ? (2 pts)
 - 12' max => Durée plongée max = 35' => majo max (35-32) = 3'
 - Tableau II : 28m et majo max 3' => Azote résiduel max 0.84
 - Tableau I : K (première plongée 36 m 27') et azote résiduel 0.84 => Intervalle surface = 7h00
 - Donc départ 2eme plongée à partir de 17h00 (2 pts)

- b) Un 3eme plongeur se joint à eux pour la plongée de l'après-midi. Il a lui aussi fait une première plongée mais son intervalle de surface est de 4h00. S'il respecte leurs paramètres (26 m et 32') il aura 25' de paliers. A quelle profondeur max a-t-il pu descendre à sa première plongée et combien de temps maximum a-t-il pu y rester sachant qu'il n'a pas eu de paliers. (2 pts)
 - 25' de paliers => majo comprise entre 41'-32'=9' et 45-32 =13'
 - Tableau II : azote résiduel supérieur à 0.89 et inférieur ou égal à 0.95
 - Tableau I : lettre I à N avec intervalle de 4h00
 - Lettre I mini et Pas de paliers => plongée à 15 m avec une durée de 75' (2 pts)

QUESTION 4 : Accident (6 pts)

En charge de l'organisation d'un stage de formation de plongeur N4 guide de palanquée sur 2 semaines, vous devez prendre en considération de nombreux paramètres pour sécuriser au mieux vos plongées afin de réduire les risques d'accident de désaturation.

a) Quels sont les facteurs favorisant ce type d'accident et quelles préventions pouvez-vous y associer ? (5 pts)

Facteurs favorisants : (2 pt)

- Succession importante de plongées sur les 2 semaines avec des plongées profondes, des exercices avec des remontées, des épreuves nécessitant des efforts physiques et d'autres des apnées
- Température de l'eau (froid)
- Age des plongeurs > 40 ans
- Etat de forme physique et psychique

Prévention : (3 pts)

- Préconiser un entraînement physique préalablement au stage
- 2 plongées par jour séparées par un intervalle de surface le plus grand possible.
- Pas de profils inversés
- Une seule profonde par jour
- Gestion des efforts (particulièrement après les plongées profondes)
 - ✓ Limitation des efforts dès la sortie de l'eau
 - ✓ Pas d'apnée après la plongée
 - ✓ Organisation des nages avant les plongées profondes ou sinon augmenter au max l'intervalle de surface entre les deux exercices.
- Suivre les préconisations de la CTN concernant le nombre de remontées par plongée (2 de 40m, 3 de 30m, 4 de 20 ...soit 80m en cumulé)
- Insister sur l'importance d'une bonne hydratation et se réhydrater après les plongées
- Prévoir un régime alimentaire adapté
- Combinaison adaptée aux conditions de température de l'eau
- Possibilité d'utiliser du Nitrox mais sans réduction des durées de palier « air »
- Prévoir une journée de repos et des moments de récupération que l'on pourra éventuellement dédiés à la théorie.

b) Préconiserez-vous d'effectuer ou pas des paliers profonds et pourquoi ? (1 pt)

Considérant que les plongées se font à l'air (éventuellement au nitrox) => préconisation de ne pas effectuer ou de désactiver les paliers profonds (deep stop):

- leur utilité a été fortement mise en cause en plongée à l'air, certaines études montrant même un accroissement du nombre des ADD, (Etude US-Navy, NEDU 2011 - Etude Marine nationale JE BLATTEAU, M HUGON, B GARDETTE, FM GALLAND -Medsubhyp 2005.)
- Les hypothèses avancées seraient qu'ils ralentiraient l'élimination de l'azote et favoriseraient la poursuite de la charge en azote de certains tissus.

Décompression
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (5pts)

Cet après-midi, vous accompagnez un de vos stagiaires pédagogiques sur une plongée de préparation au niveau 2.

- Vous avez effectué une plongée de 14min à 51.7 mètres ce matin. Votre intervalle de surface est de 3h20.
- Votre stagiaire pédagogique, quant à lui, a effectué une plongée à 26.2 mètres pendant 18min pour se préparer à l'épreuve de remontée d'un plongeur en difficulté. Son intervalle de surface est de 4h10.
- Les élèves en préparation niveau 2 n'ont pas plongé ce matin. Les paramètres prévus pour cet après-midi : 20 mètres pendant 30 minutes.
 - a) Quels seront les paliers imposés par les tables fédérales pour chacun des participants ?
 - b) Quels paliers allez-vous effectuer ?
 - c) Quels conseils donneriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour gérer ce type de plongée ?

QUESTION 2 : La déshydratation (6pts)

Nous savons que la déshydratation est un facteur favorisant l'accident de décompression. Grâce à vos connaissances en physiologie:

- a) Expliquer le phénomène de déshydratation en plongée.
- b) Expliquer le mécanisme de l'accident de décompression en fonction de ce phénomène.

QUESTION 3 : Saturation et désaturation :

Les stagiaires pédagogiques sont souvent effrayés par le fait de concevoir et réaliser une séance sur « les éléments de calculs de tables ».

- a) Vous préparez une intervention pour les rassurer et les remettre à niveau d'un point de vue apport théorique. Faites une simulation de saturation, de calcul de profondeur de palier et de compartiment directeur pour une simulation de plongée à 30m pendant 30min à l'air pour les compartiments de période 10min et 30min. ($SC_{10} = 2.38$, $SC_{30} = 1.82$, composition de l'air 20% d'oxygène et 80% d'azote).
- b) Pour leur démontrer l'intérêt du nitrox, faites la même démonstration avec un nitrox 40.

QUESTION 4 : Traitement de l'ADD (3pts)

Lors de la suspicion d'un accident de décompression, le protocole est de proposer de l'aspirine et de mettre la personne sous oxygène. Grâce à vos connaissances en physiologie, expliquer les effets de ces deux traitements sur l'organisme.

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (5pts)

Cet après-midi, vous accompagnez un de vos stagiaires pédagogiques sur une plongée de préparation au niveau 2.

- Vous avez effectué une plongée de 14min à 51.7 mètres ce matin. Votre intervalle de surface est de 3h20.
- Votre stagiaire pédagogique, quant à lui, a effectué une plongée à 26.2 mètres pendant 18min pour se préparer à l'épreuve de remontée d'un plongeur en difficulté. Son intervalle de surface est de 4h10.
- Les élèves en préparation niveau 2 n'ont pas plongé ce matin. Les paramètres prévus pour cet après-midi : 20 mètres pendant 30 minutes.

a) Quels seront les paliers imposés par les tables fédérales pour chacun des participants ?

Il faut avant tout calculer la majoration du E4 et du E2 en fonction de leur plongée du matin :

Pour le E4 : Paramètres : 14min à 51.7m

*Soit dans les tables : 52m } donc un palier de 3min à 6m et 10min à 3m
15min }*

*Intervalle : 3h20 donc 3h } 3h00 } Azote résiduel = 0.94 0.94 } 0.95 } Majoration : 17min
GPS : I I 20m 20m }*

Pour le Stagiaire pédagogique : 18min à 26.2m

*Soit dans les tables : 28m } donc un palier de 1min à 3m
20min }*

*Intervalle : 4h10 donc 4h } 4h00 } Azote résiduel = 0.87 0.87 } 0.89 } Majoration : 10min
GPS : F F 20m 20m }*

b) Quels paliers allez-vous effectuer ?

Pour le E4 :

20m pendant 30min + 17min de majoration = 47min à 20 soit 4min à 3m de palier

Pour le stagiaire Pédagogique :

20m pendant 30min + 10min de majoration = 40min à 20m donc pas de palier obligatoire

Les préparants niveaux 2 n'ayant pas plongé le matin, ils sont dans la courbe de sécurité, nous ferons donc les paliers les plus contraignants imposés à savoir 4min à 3m.

c) Quels conseils donneriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour gérer ce type de plongée ?

Pour appréhender ce type de plongée, le stagiaire pédagogique doit anticiper et prendre plusieurs choses en compte :

- *Se renseigner sur le fait que les plongeurs aient ou non plongé le matin.*
- *Faire un comparatif des moyens de décompression avant la mise à l'eau.*
- *Utiliser le mode simulation des ordinateurs afin de planifier la plongée en fonction des éléments de la plongée (ateliers verticaux ou non, température de l'eau, état de la mer, niveau de fatigue des plongeurs, moment de la plongée au sein d'un stage ou ponctuelle, 'état' de sensibilité des oreilles....).*
- *En cas d'absence de palier obligatoire, discuter sur la nécessité d'un palier à mi-profondeur.*

QUESTION 2 : La déshydratation (6pts)

Nous savons que la déshydratation est un facteur favorisant l'accident de décompression.
Grâce à vos connaissances en physiologie :

- a) Expliquer le phénomène de déshydratation en plongée.

Les 2/3 de l'organisme sont composés d'eau. Près de 70% de l'eau est contenu dans les cellules, 20% dans l'espace intercellulaire et un peu moins de 10% dans la circulation sanguine.

La déshydratation correspond à une baisse excessive d'eau contenue dans l'organisme.

Le milieu hyperbare implique l'exposition de notre organisme à des conditions favorisant la déshydratation. Voici les principales causes de déshydratation dans notre activité :

• **La sudation :**

La transpiration joue un rôle capital dans la thermorégulation de l'homme, lui permettant d'assurer l'homéothermie indispensable à ses métabolismes, malgré les variations du milieu extérieur. La transpiration est un des moyens pour l'organisme de lutter contre l'augmentation thermique. Ce phénomène peut se produire si le plongeur met sa combinaison et reste un moment en plein soleil équipé, ou dans le cas d'un effort important avant la plongée.

• **La diurèse d'immersion :**

C'est une réaction de l'organisme du fait de l'augmentation du volume sanguin central. Lorsque l'on est sous l'eau, à cause de l'absence de pesanteur, le sang des membres inférieurs monte sans résistance au cœur. Les cavités de l'organisme se compriment sous l'effet de la pression ambiante. La compression de la combinaison est un autre facteur favorisant.

Il est constaté un passage de 500 à 800ml de sang. Les pressions intravasculaires sont augmentées et stimulent les barorécepteurs artériels et des oreillettes. L'eau passe de la circulation sanguine vers la vessie via les reins.

• **La diurèse au froid :**

Pour diminuer les pertes caloriques et concentrer la chaleur sur les organes vitaux, l'organisme déclenche une vasoconstriction aux extrémités du corps créant un afflux vers le cœur. Ce phénomène provoque également une diurèse.

• **La sécheresse de l'air inspiré :**

L'air qui est dans nos blocs est sec (filtration au gonflage). Or l'air que nous expirons est humide, l'air est donc humidifié par notre organisme, c'est également une cause de déshydratation.

- Tous ces facteurs de déshydratation ont pour cause l'épaississement du sang et donc une augmentation de sa viscosité, ce qui augmente les risques d'ADD.

- b) Expliquer le mécanisme de l'accident de décompression en fonction de ce phénomène.

La viscosité du sang implique une moins bonne circulation sanguine et une mauvaise qualité des échanges gazeux au niveau du filtre pulmonaire. Il y a un risque d'accumulation de l'azote.

Cet effet va encore être accentué par les microbulles circulantes, dans la microcirculation.

QUESTION 3 : Saturation et désaturation :

Les stagiaires pédagogiques sont souvent effrayés par le fait de concevoir et réaliser une séance sur « les éléments de calculs de tables ».

- a) Vous préparez une intervention pour les rassurer et les remettre à niveau d'un point de vue apport théorique. Faites une simulation de saturation, de calcul de profondeur de palier et de compartiment directeur pour une simulation de plongée à 30m pendant 30min à l'air pour les compartiments de période 10min et 30min. ($Sc_{10} = 2.38$, $Sc_{30} = 1.82$, composition de l'air 20% d'oxygène et 80% d'azote).
- Calcul de la tension initiale : $T \text{ initiale} = 0.8b$; $T \text{ finale} = 80\% \times 4b = 3.2b$
 - Pour le compartiment 10min, nous avons 3 périodes, pour le 30min une période
 - TN2 finale 1^{ère} période $(3.2 - 0.8) / 2 + 0.8 = 2$
 - TN2 finale 2^{ème} période $(3.2 - 2) / 2 + 2 = 2.6b$
 - TN2 finale 3^{ème} période $(3.2 - 2.6) / 2 + 2.6 = 2.9b$
 - Calcul par le gradient :
 - Pour le C10 : 3 périodes donc % de saturation = 87.5%
 - TN2 finale = $0.8 + ((3.2-0.8) * 87.5\%) = 2.9b$
 - Pour le C30 : 1 période ; TN2 finale = $0.8 + ((3.2-0.8) * 50\%) = 2b$
 - TN2 finale dans le C10min = 2.9b
 - TN2 finale dans le C30min = 2b
 - Calcul de la profondeur du premier palier
 - $Pabs = TN2/SC$
 - Pour le C10 $Pabs = 2.9/2.38 = 1.21$ soit un palier à 2.18m
 - Pour le C30 $Pabs = 2/1.82 = 1.09$ soit un palier à 0.98m
 - C'est le compartiment C10 qui est le compartiment directeur.
- b) Pour leur démontrer l'intérêt du nitrox, faites la même démonstration avec un nitrox 40.
- Calcul de la tension initiale
 - $T \text{ initiale} = 0.8b$
 - $T \text{ finale} = 60\% \times 4b = 2.4b$
 - Pour le compartiment 10min, nous avons 3 périodes, pour le 30min une période
 - TN2 finale 1^{ère} période $(2.4 - 0.8) / 2 + 0.8 = 1.6b$
 - TN2 finale 2^{ème} période $(2.4 - 1.6) / 2 + 1.6 = 2b$
 - TN2 finale 3^{ème} période $(2.4 - 2) / 2 + 2 = 2.2b$
 - Calcul par le gradient :
 - Pour le C10 : 3 périodes donc % de saturation = 87.5%
 - TN2 finale = $0.8 + ((2.4-0.8) * 87.5\%) = 2.2b$
 - Pour le C30 : 1 période
 - TN2 finale = $0.8 + ((2.4-0.8) * 50\%) = 1.6b$
 - TN2 finale dans le compartiment 10min = 2.2b
 - TN2 finale dans le compartiment 30min = 1.6b
 - Calcul de la profondeur du premier palier
 - $Pabs = TN2/SC$

- Pour le C10 Pabs = $2.2/2.38 = 0.92$ soit un palier à -0.75m donc pas de palier
- Pour le C30 Pabs = $1.6/1.82 = 0.88$ soit un palier à -1.21m donc pas de palier

QUESTION 4 : Traitement de l'ADD (3pts)

Lors de la suspicion d'un accident de décompression, le protocole est de proposer de l'aspirine et de mettre la personne sous oxygène. Grâce à vos connaissances en physiologie, expliquer les effets de ces deux traitements sur l'organisme

- Le rôle de l'aspirine :
L'aspirine fluidifie le sang et peut permettre de diminuer la formation d'agrégat plaquettaire. Le côté curatif de l'aspirine n'a jamais été prouvé. Certains médecins ne sont pas en phase avec cette habitude française car s'il y a des lésions, cela pourrait augmenter les risques d'hémorragie.
- Le rôle de l'oxygénothérapie. L'administration d'oxygène pur :
 - permet une meilleure élimination de l'azote au niveau du filtre pulmonaire, le gradient étant plus important.
 - apporte de l'oxygène aux tissus en hypoxie (en aval des bulles) par des vaisseaux sanguins collatéraux, et par diffusion intercellulaire (circulation lymphatique - lors d'une recompression sous O₂, dès 18m le système lymphatique suffit à l'oxygénation des cellules- source Marine Nationale). Ceci retarde la mort cellulaire et les séquelles définitives.
 - diminue le volume des bulles.
 - Facilite la ventilation

Décompression
Durée 1h30 Coefficient 4

Pour tous les problèmes, nous retiendrons les paramètres suivants : Pression atmosphérique de 1000 hpa au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80% de N₂ et 20% d'O₂

Sujet 1 : Problèmes de plongée (7 pts)

1. Après une première plongée de 20min à 26m, un GP redescend avec un deuxième plongeur 12min après sa sortie de l'eau pour une deuxième plongée sur 25m.

- Quelle sera la durée maximum de cette deuxième plongée si le GP ne veut pas faire plus de 10min de paliers? (1pt)
- Quels seraient les paliers s'il faisait la même plongée que la première ? (1pt)

2. Au cours de cette deuxième plongée à 25m, suite à une mauvaise manipulation du gilet par le plongeur qu'il accompagne, ils effectuent une remontée rapide après 15min d'immersion et se retrouvent en surface en 1min. Le GP redescend avec son plongeur à mi-profondeur 2min après leur arrivée en surface.

- Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs. (1pt)
- A part le respect de la procédure édictée par les tables, quelles précautions prendriez-vous avant d'effectuer la descente à mi profondeur (0,5pt).
- Que faites-vous en cas de réimmersion impossible ? (0,5pt)

3. A 10h00, une palanquée descend à 40 m pendant 24 minutes et remonte normalement à son premier palier. Cette même palanquée veut replonger le plus rapidement possible à 20m pendant 30 minutes en effectuant un maximum de 10 minutes de paliers.

- Donnez l'heure d'immersion de la deuxième plongée ? (1pt)

Ils décident finalement d'effectuer cette deuxième plongée à 13h49 mais au nitrox pour ne pas faire de paliers.

- Donner le mélange nitrox avec le minimum d'O₂ que devra utiliser la palanquée. (1pt)
- Quels seraient les paliers à effectuer s'ils plongeaient avec un mélange 30/70 ? (1pt)

Sujet 2 : ADD (5pts)

(basé sur une histoire vraie) Nous sommes en plein mois d'août, dans le sud de la France. Vous êtes de retour d'une plongée de 20' à 45m. A bord du bateau, 9 plongeurs. Tout s'est bien déroulé mais vous êtes contrarié car à votre sortie de l'eau, vous constatez que seul Eric a remonté presque tous les blocs à bord du semi-rigide, malgré votre consigne de vous attendre et de se répartir les efforts. Après 15' de navigation, le bateau arrive à la plage et à peine débarqué Eric est pris de vertiges. Il plaisante en disant qu'il n'a pas le pied marin mais sa compagne s'inquiète et vient vous chercher de l'eau car elle pense qu'il est victime d'une insolation. Il est obligé de s'asseoir et en le regardant dans les yeux, vous observez une oscillation horizontale de son œil droit. Vous décidez de le mettre sous O₂, de lui faire boire de l'aspirine et de déclencher les secours.

Ce sont les pompiers qui arrivent les premiers sur place. Vous leur décrivez la situation et la prise en charge déjà mise en œuvre. Moins d'1 heure plus tard, Eric est évacué par hélicoptère au centre hyperbare.

Vous avez décidé de mettre en place le protocole de prise en charge d'un ADD

- En vous basant sur le déroulement de la sortie et les signes que vous avez observés, décrivez le type d'accident soupçonné, en précisant les signes vous permettant d'établir un diagnostic différentiel ? (2pts)
- Vous préciserez l'intérêt de l'oxygène, de l'aspirine et de l'eau pour un plongeur victime d'un ADD avant sa prise en charge par les services médicalisés. (1 pt)
- Dans ce type d'accident, quelles précautions prendriez-vous si le plongeur se plaignait de nausées voire de vomissements ? (1pt)
- quel facteur favorisant pourrait être impliqué dans cet accident ? Dans quelles mesures les circonstances de survenue pourraient le révéler ? (1pt)

Sujet 3 : Les modèles de désaturation (8 points)

- Définissez les différents éléments de calculs pris en compte dans le modèle haldanien ? (3 pts)
- En quoi diffèrent le modèle Bühlmann d'une part et les modèles dits à bulles (type RGBM ou VPM) d'autre part du modèle haldanien ? (3 pts)
- Dans quelle mesure les modèles actuels retranscrivent-ils les paramètres physiologiques ? (2 pts)

REFERENTIEL DE CORRECTION

Pour tous les problèmes, nous retiendrons les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1000 hpa au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80% de N₂ et 20% d'O₂

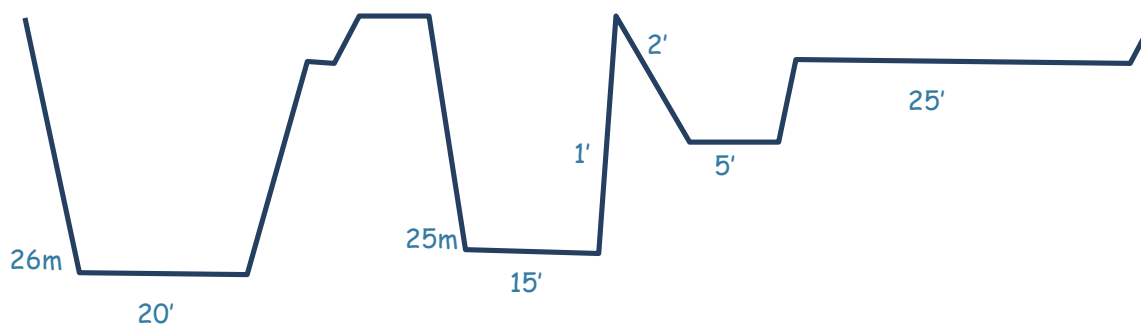
Sujet 1 : Problèmes de plongée (7 pts)

1. Après une première plongée de 20min à 26m, un GP redescend avec un deuxième plongeur 12min après sa sortie de l'eau pour une deuxième plongée sur 25m.

- a) Quelle sera la durée maximum de cette deuxième plongée si le GP ne veut pas faire plus de 10min de paliers? (1pt)
- 1ere plongée : 20' à 26m, 1' de paliers à 3m.
 - 2eme plongée : consécutive (I<15'). 25m (mais prendre 26m) 10' de plongée max pour 6' de palier à 3m
- b) Quels seraient les paliers s'il faisait la même plongée que la première ? (1pt)
- 2eme plongée : consécutive (I<15'). 40' 26m. 19' de palier à 3m

2. Au cours de cette deuxième plongée à 25m, suite à une mauvaise manipulation du gilet par le plongeur qu'il accompagne, ils effectuent une remontée rapide après 15min d'immersion et se retrouvent en surface en 1min. Le GP redescend avec son plongeur à mi-profondeur 2min après leur arrivée en surface.

- a) Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs. (1pt)



- Remontée rapide, 3' max pour regagner la mi-profondeur (13m) pendant 5'
- Durée de plongée : 20+15+1 +2+5=43' paliers : 25' à 3m pour les deux plongeurs

- b) A part le respect de la procédure édictée par les tables, quelles précautions prendriez-vous avant d'effectuer la descente à mi profondeur (0,5pt).
- (Avoir déterminé la raison de la remontée rapide (exercice non maîtrisé, panique, essoufflement, matériel),
 - S'assurer qu'aucun symptôme n'apparaît en surface avant l'immersion.
 - S'assurer que l'individu est en bonne condition psychique et physique pour redescendre.
 - S'être assuré que le stock d'air est suffisant pour effectuer la procédure de décompression.
 - Respecter la règle d'accompagnement aux paliers (au moins deux plongeurs suivant texte et prérogatives des plongeurs)
- c) Que faites-vous en cas de réimmersion impossible ? (0,5pt)

Procédure d'évacuation à engager pour la palanquée, réhydrater, allonger ou mettre au repos, rassurer pour limiter le stress, protéger du chaud ou du froid si nécessaire...

3. A 10h00, une palanquée descend à 40 m pendant 24 minutes et remonte normalement à son premier palier. Cette même palanquée veut replonger le plus rapidement possible à 20m pendant 30 minutes en effectuant un maximum de 10 minutes de paliers.

- a) Donnez l'heure d'immersion de la deuxième plongée ? (1pt)
- Remontée normale sur première plongée, ne pas inclure temps remontée dans temps de plongée.
 - Durée : 40m pendant 24 minutes, soit 2 minutes à 6 mètres et 19 minutes à 3 mètres. GPS : J
 - DTR : 25mn+24min de plongée=> HS 10h49
 - Paliers de 10 minutes à 3 mètres max, soit 55 min à 20 mètres. Le plongeur veut faire 30 minutes, soit 25 minutes de majoration maximum possible. 22 min pour 20 mètres donne un azote résiduel de 0.99.
 - 0.99 (lire 1,02) pour GPS J donne 2h d'intervalle, soit une entrée dans l'eau à 12h49 pour la seconde plongée.

Ils décident finalement d'effectuer cette deuxième plongée à 13h49 mais au nitrox pour ne pas faire de paliers.

- b) donner le mélange nitrox avec le minimum d'O₂ que devra utiliser la palanquée. (1pt)

- $I = 3h, GPS = J \rightarrow tN_2 = 0.96$
- $tN_2 = 0.96, 20m \rightarrow majo = 22'$
- $22' \text{ de majo} + 30' \text{ de plongée} \rightarrow 52' \text{ sans palier} \rightarrow \text{profondeur} = 15m$
- Calcul du % de N₂ tel que la profondeur équivalente soit de 15m
- $ppN_2(15m) = 0.8 \times 2.5 = ppN_2(20m) = \% \times 3$
- soit $\% = 0.67$, donc 67% de N₂ et 33% d'O₂
- Nitrox 33/67

- c) quels seraient les paliers à effectuer s'ils plongeaient avec un mélange 30/70 ? (1pt)

- $I = 3h, GPS = J \rightarrow tN_2 = 0.96$
- $tN_2 = 0.96, 20m \rightarrow majo = 22'$
- Profondeur équivalente
- $ppN_2(20m) 0.7 \times 3 = ppN_2(Xm) = 0.8 \times X \rightarrow X = 2.62 \text{ bars soit } 16, 2 \text{ m}$
- Plongée = 22' + 30' à 17m → 1' à 3m

Sujet 2 : ADD (5pts)

(basé sur une histoire vraie) Nous sommes en plein mois d'août, dans le sud de la France. Vous êtes de retour d'une plongée de 20' à 45m. A bord du bateau, 9 plongeurs. Tout s'est bien déroulé mais vous êtes contrarié car à votre sortie de l'eau, vous constatez que seul Eric a remonté presque tous les blocs à bord du semi-rigide, malgré votre consigne de vous attendre et de se répartir les efforts. Après 15' de navigation, le bateau arrive à la plage et à peine débarqué Eric est pris de vertiges. Il plaisante en disant qu'il n'a pas le pied marin mais sa compagne s'inquiète et vient vous chercher de l'eau car elle pense qu'il est victime d'une insolation. Il est obligé de s'asseoir et en le regardant dans les yeux, vous observez une oscillation horizontale de son œil droit. Vous décidez de le mettre sous O₂, de lui faire boire de l'aspirine et de déclencher les secours. Ce sont les pompiers qui arrivent les premiers sur place. Vous leur décrivez la situation et la prise en charge déjà mise en œuvre. Moins d'1 heure plus tard, Eric est évacué par hélicoptère au centre hyperbare.

Vous avez décidé de mettre en place le protocole de prise en charge d'un ADD

- a) En vous basant sur le déroulement de la sortie et les signes que vous avez observés, décrivez le type d'accident soupçonné, en précisant les signes vous permettant d'établir un diagnostic différentiel ? (2pts)
- *Même si les nausées et vomissements ne semblent pas présents, l'association du mouvement anormal de l'œil (nystagmus), horizontal et/ ou rotatoire à des vertiges et une perte d'équilibre signe principalement une atteinte vestibulaire (canaux semi-circulaires).*
 - *Des acouphènes ou une baisse de l'audition peuvent aussi être associés.*
 - *Ces signes caractéristiques permettent d'écarter un banal « mal de mer » ou l'insolation, chez lesquels ils sont absents.*
 - *Les autres signes d'accompagnement sont la pâleur, les sueurs, et la bradycardie. En cas d'insolation ou de mal de mer, nous aurons plutôt une augmentation du rythme cardiaque et l'association possible à un mal de tête.*
 - *Dans le doute, et parce que l'examen clinique exhaustif ne doit retarder ni la mise en route du traitement ni l'évacuation du patient, je déclenche la procédure de traitement de l'accidenté et j'appelle les secours car l'atteinte de l'oreille interne comme un ADD cérébral sont des urgences médicales.*
- b) Vous préciserez l'intérêt de l'oxygène, de l'aspirine et de l'eau pour un plongeur victime d'un ADD avant sa prise en charge par les services médicalisés. (1 pt)
- *O₂ haut débit (15l/min) afin de lutter contre l'hypoxie tissulaire et pour augmenter le gradient N₂ (au niveau alvéolo-capillaire et également entre la bulle et son environnement) afin d'accélérer la désaturation tissulaire*
 - *Aspirine : lutter contre l'agrégation plaquettaire*
 - *Faire boire : réhydrater le plongeur, lutter contre hémococoncentration et hyperviscosité*
- c) Dans ce type d'accident, quelles précautions prendriez-vous si le plongeur se plaignait de nausées voire de vomissements ? (1pt)
- Si nausées ou vomissements, mettre en PLS et ne pas faire boire.*
- d) Quel facteur favorisant pourrait être impliqué dans cet accident ? Dans quelles mesures les circonstances de survenue pourraient le révéler ? (1pt)
- *Malgré le respect des procédures de décompression, des comportements et situations pendant et après l'immersion peuvent déclencher un ADD. La présence d'un shunt cardiaque et/ou pulmonaire peut expliquer cela. Un tiers de la population serait porteur d'une communication intra-auriculaire (shunt), particularité anatomique résiduelle du stade fœtal. Dans la vie courante, la présence de ce Foramen Ovale Perméable (FOP) ne porte pas à préjudice. En hyperbarie et en présence de bulles veineuses circulantes, certains comportements peuvent faire passer ces bulles de l'oreillette D dans l'oreillette G et la grande circulation.*
 - *Dans notre cas, de retour sur le bateau > effort lors de la remontée des blocs avec blocage de la ventilation et hyperpression thoracique > augmentation de la pression dans OD > ouverture de la communication inter auriculaire (FOP) > passage des bulles veineuses du cœur droit au cœur gauche → circulation artérielle > aorte > carotides > SNC et oreille interne.*

- *Le passage de bulles veineuses dans le cœur gauche peut s'expliquer aussi par un shunt pulmonaire > blocage de la ventilation > filtre pulmonaire court-circuité > bulles veineuses non éliminées par poumons > retour dans cœur gauche > etc.*

Sujet 3 : Les modèles de désaturation (8 points)

- a) Définissez les différents éléments de calculs pris en compte dans le modèle haldanien ? (3 pts)
- *Le modèle haldanien repose sur la notion de la dissolution des gaz dans un liquide (loi de Henry). C'est un modèle par perfusion c'est à dire qu'il suppose que la diffusion du gaz dans un tissu est instantanée.*
 - *La force du modèle de Haldane vient de la modélisation du corps humain en régions anatomiques fictives, appelés compartiments, différenciés en fonction de leur vitesse de perfusion c'est à dire leur vitesse d'absorption du gaz (la période)*
 - *Il ajoute à ces postulats les hypothèses suivantes:*
 - *La charge et la décharge en azote se font à la même vitesse*
 - *Toute la quantité d'azote est dissoute*
 - *Il n'y a pas de diffusion entre les différents tissus une fois le N₂ absorbé.*
 - *Une décompression contrôlée se fait sans l'apparition de bulles. Autrement dit, c'est la présence de bulles qui détermine l'accident. Il cherche donc à déterminer le seuil d'apparition des premières bulles.*
 - *A ces hypothèses s'ajoutent notamment, suite à ses expérimentations,*
 - *que la vitesse de remontée devra être de 10m/minutes,*
 - *qu'un tissu pouvait supporter une TN₂ deux fois plus grande que la pression ambiante sans que n'apparaissent de bulles dans ce tissu, c'est à dire que le seuil de sursaturation critique égale à 2 est le même pour tous les compartiments et que les compartiments sont considérés en parallèle sans interaction entre eux.*
 - *Dans l'hypothèse de Haldane plus le gradient est important plus la charge ou la décharge se fait rapidement. On cherche donc à se rapprocher du SC sans le dépasser.*
 - *Bien que très simplifié au regard des phénomènes physiologiques, il est remarquablement satisfaisant pour des plongées simples, mais n'évite pas les accidents pour les plongées profondes ou les plongées successives. Il n'est pas non plus adapté aux décompressions lors de plongées multigaz.*
- b) En quoi diffèrent le modèle Bühlmann d'une part et les modèles dits à bulles (type RGBM ou VPM) d'autre part du modèle haldanien ? (3 pts)
- *Depuis, d'autres modèles de décompression ont été élaborés, soit en améliorant le modèle haldanien, soit en recherchant des approches nouvelles afin de mieux prendre en compte les phénomènes physiologiques et mieux répondre à la sécurité des différents profils de plongée.*
 - *Le modèle Bühlmann est dérivé du modèle haldanien, dans la mesure où tous les calculs sont basés sur l'azote dissous (phase liquide, loi de Henry), mais au lieu d'utiliser la composition de l'air inspiré, il prend en compte la composition de l'air alvéolaire pour calculer la tension d'azote fixée dans les compartiments.*
 - *Augmentation du nombre de compartiments avec des périodes plus longues.*
 - *Pour chaque compartiment ont été déterminés des couples seuils de sursaturation critique/ pression ambiante (M-values).*
 - *Le modèle Bühlmann repose donc sur un échantillonnage de 16 compartiments à chacun desquels a été attribuée des couples de M-values (qui représente la capacité maximale de dissolution) et une période (représentative de la vitesse de perfusion).*

- Les modèles dits à bulles diffèrent du modèle haldanien. Le principe de ces algorithmes est les calculs se font sur le nombre et la croissance des bulles (phase gazeuse), avec des équations spécifiques de transfert de N₂ entre liquide et bulles.
 - Ils stipulent que tout plongeur commence sa plongée avec un certain nombre de noyaux gazeux présents physiologiquement, dont le nombre et la taille sont déterminés au départ.
 - Au cours de son immersion, le plongeur va subir les effets des variations de pression et les micro-noyaux vont évoluer (grossir ou rétrécir) en fonction des valeurs de tension des gaz dissous et de la pression ambiante (effet Boyle/Mariotte + diffusion gazeuse). Ils servent d'amorce à la formation de bulles plus importantes lors de la décompression. On assure leur réduction avec une remontée lente et des paliers plus profonds.
- c) Dans quelle mesure les modèles actuels retranscrivent-ils les paramètres physiologiques ? (2 pts)
- Les modèles plus récents tentent de prendre en compte des facteurs physiologiques en adaptant la décompression en fonction :
 - de la température (modèles adaptatifs),
 - de la consommation (modèle avec sonde mesurant la pression de la bouteille),
 - du rythme cardiaque (modèles avec mesure du rythme),
 - de la forme physique (durcissement, voire allègements pour certains modèles),
 - des gaz respirés : pour les plongées aux mélanges, évolution du modèle Bühlmann en modifiant la droite des M-values (facteurs de gradient)

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (3 points)

Deux plongeurs niveau 3 ont un intervalle de surface de 4h15 après une plongée à 57m pendant 18 minutes au fond.

- A l'aide des tables MN90 présentes sur le navire, estimez la durée maximum d'une plongée à 25m que vous leur proposez d'effectuer, pour qu'ils ne fassent pas plus de 5 minutes de palier.
- Que représente la majoration ?

QUESTION 2°: Gestion de la décompression : (6 points)

- Listez les différents éléments pris en compte par les ordinateurs de plongée pouvant donner une décompression différente au sein d'une même palanquée pour une même plongée.
- Dans le cadre de l'organisation d'une plongée profonde (au-delà de 50m), quelles sont les consignes que vous donnerez aux plongeurs concernant la gestion de la décompression ?

QUESTION 3 : Un accident de plongée (7 points)

Une palanquée de deux plongeurs s'immerge rapidement sur un fond de 52m en carrière, après une nage de surface pour rejoindre la bouée qui signale la profondeur. Tous deux respectent la procédure de décompression donnée par leur ordinateur. Après une courte nage de retour en surface, ils sortent de l'eau par la rampe d'accès. Ils rejoignent à pieds leur voiture, située sur le parking à 100m de la sortie de l'eau. Ils se déséquipent et, après 10 minutes, l'un des deux plongeurs se plaint d'une douleur dans le bas du dos ainsi que de fourmillements dans les jambes.

- que suspectez-vous ?
- Alors que les procédures de désaturation ont été respectées, quelles sont d'après vous les origines possibles de cet accident ?
- En tant que directeur de plongée et référent technique, quelles actions pourriez-vous mettre en place au sein de votre club pour sensibiliser les membres sur la spécificité de la plongée profonde en carrière et gérer au mieux les éventuels accidents ?
- Quels conseils pourriez-vous donner aux plongeurs et cadres de votre club pour éviter ces accidents sur ce type de site ?

QUESTION 4 : Modélisation de l'organisme (4 pts)

Pour prendre en compte les problèmes de calcul de la désaturation, les scientifiques ont modélisé mathématiquement le fonctionnement de l'organisme vis à vis du comportement des gaz.

- Selon vous, pour quelles raisons a-t-on modélisé mathématiquement l'organisme du plongeur ?
- Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent
- Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (3 points)

Deux plongeurs niveau 3 ont un intervalle de surface de 4h15 après une plongée à 57m pendant 18 minutes au fond. (2 pts)

- a) A l'aide des tables MN90 présentes sur le navire, estimez la durée maximum d'une plongée à 25m que vous leur proposez d'effectuer, pour qu'ils ne fassent pas plus de 5 minutes de palier. (2 pts)

*GPS : K, majoration à 25m pour 0,92 de ppn2 résiduelle après 4h15 (soit 4h dans les tables) = 11 minutes
Pour maximum 5 minutes de palier, pour une plongée à 25m, le temps de plongée sera de 24 minutes.*

- b) Que représente la majoration ? (1 pt)

La majoration est le temps qu'il aurait fallu rester à la profondeur à laquelle on va aller, à la deuxième plongée, pour être saturé de la même façon qu'au moment de commencer cette 2^e plongée (c'est à dire après l'intervalle de surface). Ce temps représente le taux de saturation de la PPN2 du plongeur juste avant la deuxième plongée.

QUESTION 2°: Gestion de la décompression : (6 points)

- a) Listez les différents éléments pris en compte par les ordinateurs de plongée pouvant donner une décompression différente au sein d'une même palanquée pour une même plongée. (3pts)

- Le modèle d'ordinateur :
 - o le modèle de décompression utilisé par l'ordinateur
 - o la prise en compte de palier profond ou non
 - o la vitesse de remontée utilisée par l'ordinateur (évolutive ou non)
- le paramétrage préalable de l'utilisateur et son activité en plongée:
 - o durcissement
 - o paramétrage des gradients factors, haut et bas
 - o palier de principe activé ou non
 - o fréquence cardiaque (si présence d'un capteur)
 - o consommation en air
 - o l'activité plongée de l'utilisateur (plongée successive, plongées yoyo, séjour plongée, etc...)
- les conditions environnementales
 - o température de l'eau
 - o l'altitude

- b) Dans le cadre de l'organisation d'une plongée profonde (au-delà de 50m), quelles sont les consignes que vous donnerez aux plongeurs concernant la gestion de la décompression ? (3pts)

Il faudra sensibiliser les plongeurs sur la nécessité, encore plus importante par rapport à une plongée à plus faible profondeur, d'échanger préalablement à la plongée, sur la décompression :

- quels types d'ordinateurs sont utilisés par les plongeurs ?
- ont-ils été paramétrés par l'utilisateur (durcissement, gradients factors...) ?
- le palier de principe est-il activé, comme le lit-on sur l'écran, est-ce que l'utilisateur sait faire ?
- la différence, sur l'ordinateur, entre un palier de principe et les paliers obligatoires ?

- comment communique-t-on sur la décompression (au fond et lors de la remontée) ?
- comment est pris en compte le « no dec time », comment communique-t-on au fond, et à quel moment, sur ce point ?

De plus, le DP insistera sur les bonnes pratiques, liées à ce type de plongée :

- s'imposer le contrôle de l'ordinateur (« no dec time », paliers...) et de la consommation au moment de l'arrivée au fond (juste après la descente)
- contrôler, plus fréquemment qu'à de plus faibles profondeurs, son « no dec time » et ses paliers. Les plongeurs peuvent s'imposer une fréquence de communication sur ce point qui permettra aussi d'évaluer le degré de narcose de chacun (il est intéressant de lier la fréquence de lecture de l'ordinateur à celle de la consommation dans un même réflexe. Cela facilite la gestion de la plongée et la communication notamment vis à vis de la narcose).
- Adapter la vitesse de remontée de la palanquée en fonction des ordinateurs des plongeurs
- Assurer, en toutes circonstances (descente, fond, remontée, paliers) la cohésion de la palanquée pour une décompression homogène.
- Faciliter la bonne tenue des paliers (repères visuels, parachute, pendeurs...)
- S'imposer une « réserve » à 70 ou 80 b selon le cas, pour avoir assez d'air pour réaliser l'ensemble des paliers.

QUESTION 3 : Un accident de plongée (7 points)

Une palanquée de deux plongeurs s'immerge rapidement sur un fond de 52m en carrière, après une nage de surface pour rejoindre la bouée qui signale la profondeur. Tous deux respectent la procédure de décompression donnée par leur ordinateur. Après une courte nage de retour en surface, ils sortent de l'eau par la rampe d'accès. Ils rejoignent à pieds leur voiture, située sur le parking à 100m de la sortie de l'eau. Ils se déséquipent et, après 10 minutes, l'un des deux plongeurs se plaint d'une douleur dans le bas du dos ainsi que de fourmillements dans les jambes.

a) que suspectez-vous ? (1 pt)

Il s'agit sans doute d'un ADD médullaire

b) Alors que les procédures de désaturation ont été respectées, quelles sont d'après vous les origines possibles de cet accident ? (2 pts)

Selon l'enquête nationale sur les accidents de plongée sportive en scaphandre autonome, soutenue par la FFESSM et menée par le docteur Bruno Grandjean, environ la moitié des ADD survient alors que les procédures de désaturation ont été respectées. Il y a donc une forte influence des facteurs favorisants. Sur le cas concret proposé, on peut penser à :

- effort après plongée, nage en surface, portage et remontée sur un plan incliné (rampe d'accès)
- déséquipement difficile avec effort (enlever la combinaison, cagoule, ...)
- froid

On peut également ajouter comme causes possibles (car fréquentes) :

- méforme physique, hygiène de vie, problèmes psychologiques, stress...
- âge

- c) En tant que directeur de plongée et référent technique, quelles actions pourriez-vous mettre en place au sein de votre club pour sensibiliser les membres sur la spécificité de la plongée profonde en carrière et gérer au mieux les éventuels accidents? (2pts)

L'information est un élément important de la prévention, plusieurs actions peuvent être menées au sein des clubs pour sensibiliser les membres :

- mettre en place des soirées conviviales d'information sur les facteurs favorisant de l'accident de décompression et la spécificité de la plongée en eau froide et sombre favorisant le stress et carrières
- éditer une liste de préconisations et de « bonnes pratiques » à distribuer
- mettre en place des simulations de prise en charge d'accident avec mise à jour des gestes du secouriste plongeur
- proposer des tables rondes avec retour d'expériences

- d) Quels conseils pourriez-vous donner aux plongeurs et cadres de votre club pour éviter ces accidents sur ce type de site ? (2pts)

Au niveau du site de plongée :

- Aménager le site pour limiter au maximum les efforts avant et après la plongée (mise à l'eau, sortie, portage...)

Au niveau des plongeurs :

- Prévoir une réadaptation à la profondeur en début de saison
- Adapter son matériel au froid et à la faible luminosité
- Eviter les efforts, notamment au retour de la plongée (nage, portage...)
- Favoriser l'expiration lors des efforts d'après plongée (déséquipement, rangement du matériel dans les voitures...)

Au niveau des cadres :

- S'assurer que les plongeurs ont l'expérience et les aptitudes nécessaires avant d'envisager ce genre de plongée
- Prévoir des mises à jour au moins annuelles des compétences d'assistance et de prise en charge des accidents

QUESTION 4 : Modélisation de l'organisme (4 pts)

Pour prendre en compte les problèmes de calcul de la désaturation, les scientifiques ont modélisé mathématiquement le fonctionnement de l'organisme vis à vis du comportement des gaz.

- a) Selon vous, pour quelles raisons a-t-on modélisé mathématiquement l'organisme du plongeur ? (2 pt)
- L'organisme est beaucoup trop complexe. Il est composé de plusieurs éléments anatomiques, chimiques et leurs interactions ne sont pas toujours prévisibles vis à vis de la plongée. Cette complexité nécessite d'utiliser un modèle mathématique pour être étudiée.
- Les mathématiques permettent de modéliser, c'est-à-dire de représenter un aspect du monde réel sous forme mathématique. Dans le cas de la saturation et désaturation, cette modélisation permet de représenter la façon dont l'organisme réagit face aux gaz et à la pression. Elle simplifie la complexité des tissus qui composent notre organisme. Ainsi « simplifié », on peut appliquer au modèle diverses opérations mathématiques qui permettront de prévoir, de façon la plus juste possible, le comportement des éléments du monde réel (pour nous l'organisme du plongeur).

- b) Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent (1 pts)
- Entité fictive du corps humain, ayant un comportement homogène vis-à-vis de la charge et de la décharge d'azote.
 - Défini par sa période (T) et son Seuil de sursaturation Critique (S_c) dans un modèle Haldanien
- c) Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique (1 pt)
- Un tissu biologique est un ensemble de cellules ayant une fonction commune. Les tissus ont une réalité anatomique et sont de nature différente : osseux, musculaire, nerveux, etc...
 - Les compartiments sont une représentation mathématique du comportement de tissus caractérisés par une même période et un même S_c , ce qui facilite les calculs dans le modèle de Haldane. Par exemple : le compartiment 60 n'est pas un muscle mais une grande partie des muscles ont une période proche de 60 (Cf. Fructus)

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (3 points)

Deux plongeurs niveau 3 ont un intervalle de surface de 4h15 après une plongée à 57m pendant 18 minutes au fond.

- A l'aide des tables MN90 présentes sur le navire, estimez la durée maximum d'une plongée à 25m que vous leur proposez d'effectuer, pour qu'ils ne fassent pas plus de 5 minutes de palier.
- Que représente la majoration ?

QUESTION 2°: Gestion de la décompression : (6 points)

- Listez les différents éléments pris en compte par les ordinateurs de plongée pouvant donner une décompression différente au sein d'une même palanquée pour une même plongée.
- Dans le cadre de l'organisation d'une plongée profonde (au-delà de 50m), quelles sont les consignes que vous donnerez aux plongeurs concernant la gestion de la décompression ?

QUESTION 3 : Un accident de plongée (7 points)

Une palanquée de deux plongeurs s'immerge rapidement sur un fond de 52m en carrière, après une nage de surface pour rejoindre la bouée qui signale la profondeur. Tous deux respectent la procédure de décompression donnée par leur ordinateur. Après une courte nage de retour en surface, ils sortent de l'eau par la rampe d'accès. Ils rejoignent à pieds leur voiture, située sur le parking à 100m de la sortie de l'eau. Ils se déséquipent et, après 10 minutes, l'un des deux plongeurs se plaint d'une douleur dans le bas du dos ainsi que de fourmillements dans les jambes.

- que suspectez-vous ?
- Alors que les procédures de désaturation ont été respectées, quelles sont d'après vous les origines possibles de cet accident ?
- En tant que directeur de plongée et référent technique, quelles actions pourriez-vous mettre en place au sein de votre club pour sensibiliser les membres sur la spécificité de la plongée profonde en carrière et gérer au mieux les éventuels accidents ?
- Quels conseils pourriez-vous donner aux plongeurs et cadres de votre club pour éviter ces accidents sur ce type de site ?

QUESTION 4 : Modélisation de l'organisme (4 pts)

Pour prendre en compte les problèmes de calcul de la désaturation, les scientifiques ont modélisé mathématiquement le fonctionnement de l'organisme vis à vis du comportement des gaz.

- Selon vous, pour quelles raisons a-t-on modélisé mathématiquement l'organisme du plongeur ?
- Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent
- Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : Utilisation des tables fédérales (3 points)

Deux plongeurs niveau 3 ont un intervalle de surface de 4h15 après une plongée à 57m pendant 18 minutes au fond. (2 pts)

- a) A l'aide des tables MN90 présentes sur le navire, estimez la durée maximum d'une plongée à 25m que vous leur proposez d'effectuer, pour qu'ils ne fassent pas plus de 5 minutes de palier. (2 pts)

*GPS : K, majoration à 25m pour 0,92 de ppn2 résiduelle après 4h15 (soit 4h dans les tables) = 11 minutes
Pour maximum 5 minutes de palier, pour une plongée à 25m, le temps de plongée sera de 24 minutes.*

- b) Que représente la majoration ? (1 pt)

La majoration est le temps qu'il aurait fallu rester à la profondeur à laquelle on va aller, à la deuxième plongée, pour être saturé de la même façon qu'au moment de commencer cette 2^e plongée (c'est à dire après l'intervalle de surface). Ce temps représente le taux de saturation de la PPN2 du plongeur juste avant la deuxième plongée.

QUESTION 2°: Gestion de la décompression : (6 points)

- a) Listez les différents éléments pris en compte par les ordinateurs de plongée pouvant donner une décompression différente au sein d'une même palanquée pour une même plongée. (3pts)

- Le modèle d'ordinateur :
 - o le modèle de décompression utilisé par l'ordinateur
 - o la prise en compte de palier profond ou non
 - o la vitesse de remontée utilisée par l'ordinateur (évolutive ou non)
- le paramétrage préalable de l'utilisateur et son activité en plongée:
 - o durcissement
 - o paramétrage des gradients factors, haut et bas
 - o palier de principe activé ou non
 - o fréquence cardiaque (si présence d'un capteur)
 - o consommation en air
 - o l'activité plongée de l'utilisateur (plongée successive, plongées yoyo, séjour plongée, etc...)
- les conditions environnementales
 - o température de l'eau
 - o l'altitude

- b) Dans le cadre de l'organisation d'une plongée profonde (au-delà de 50m), quelles sont les consignes que vous donnerez aux plongeurs concernant la gestion de la décompression ? (3pts)

Il faudra sensibiliser les plongeurs sur la nécessité, encore plus importante par rapport à une plongée à plus faible profondeur, d'échanger préalablement à la plongée, sur la décompression :

- quels types d'ordinateurs sont utilisés par les plongeurs ?
- ont-ils été paramétrés par l'utilisateur (durcissement, gradients factors...) ?
- le palier de principe est-il activé, comme le lit-on sur l'écran, est-ce que l'utilisateur sait faire ?
- la différence, sur l'ordinateur, entre un palier de principe et les paliers obligatoires ?

- comment communique-t-on sur la décompression (au fond et lors de la remontée) ?
- comment est pris en compte le « no dec time », comment communique-t-on au fond, et à quel moment, sur ce point ?

De plus, le DP insistera sur les bonnes pratiques, liées à ce type de plongée :

- s'imposer le contrôle de l'ordinateur (« no dec time », paliers...) et de la consommation au moment de l'arrivée au fond (juste après la descente)
- contrôler, plus fréquemment qu'à de plus faibles profondeurs, son « no dec time » et ses paliers. Les plongeurs peuvent s'imposer une fréquence de communication sur ce point qui permettra aussi d'évaluer le degré de narcose de chacun (il est intéressant de lier la fréquence de lecture de l'ordinateur à celle de la consommation dans un même réflexe. Cela facilite la gestion de la plongée et la communication notamment vis à vis de la narcose).
- Adapter la vitesse de remontée de la palanquée en fonction des ordinateurs des plongeurs
- Assurer, en toutes circonstances (descente, fond, remontée, paliers) la cohésion de la palanquée pour une décompression homogène.
- Faciliter la bonne tenue des paliers (repères visuels, parachute, pendeurs...)
- S'imposer une « réserve » à 70 ou 80 b selon le cas, pour avoir assez d'air pour réaliser l'ensemble des paliers.

QUESTION 3 : Un accident de plongée (7 points)

Une palanquée de deux plongeurs s'immerge rapidement sur un fond de 52m en carrière, après une nage de surface pour rejoindre la bouée qui signale la profondeur. Tous deux respectent la procédure de décompression donnée par leur ordinateur. Après une courte nage de retour en surface, ils sortent de l'eau par la rampe d'accès. Ils rejoignent à pieds leur voiture, située sur le parking à 100m de la sortie de l'eau. Ils se déséquipent et, après 10 minutes, l'un des deux plongeurs se plaint d'une douleur dans le bas du dos ainsi que de fourmillements dans les jambes.

a) que suspectez-vous ? (1 pt)

Il s'agit sans doute d'un ADD médullaire

b) Alors que les procédures de désaturation ont été respectées, quelles sont d'après vous les origines possibles de cet accident ? (2 pts)

Selon l'enquête nationale sur les accidents de plongée sportive en scaphandre autonome, soutenue par la FFESSM et menée par le docteur Bruno Grandjean, environ la moitié des ADD survient alors que les procédures de désaturation ont été respectées. Il y a donc une forte influence des facteurs favorisants. Sur le cas concret proposé, on peut penser à :

- effort après plongée, nage en surface, portage et remontée sur un plan incliné (rampe d'accès)
- déséquiper difficile avec effort (enlever la combinaison, cagoule, ...)
- froid

On peut également ajouter comme causes possibles (car fréquentes) :

- méforme physique, hygiène de vie, problèmes psychologiques, stress...
- âge

- c) En tant que directeur de plongée et référent technique, quelles actions pourriez-vous mettre en place au sein de votre club pour sensibiliser les membres sur la spécificité de la plongée profonde en carrière et gérer au mieux les éventuels accidents? (2pts)

L'information est un élément important de la prévention, plusieurs actions peuvent être menées au sein des clubs pour sensibiliser les membres :

- mettre en place des soirées conviviales d'information sur les facteurs favorisant de l'accident de décompression et la spécificité de la plongée en eau froide et sombre favorisant le stress et carrières
- éditer une liste de préconisations et de « bonnes pratiques » à distribuer
- mettre en place des simulations de prise en charge d'accident avec mise à jour des gestes du secouriste plongeur
- proposer des tables rondes avec retour d'expériences

- d) Quels conseils pourriez-vous donner aux plongeurs et cadres de votre club pour éviter ces accidents sur ce type de site ? (2pts)

Au niveau du site de plongée :

- Aménager le site pour limiter au maximum les efforts avant et après la plongée (mise à l'eau, sortie, portage...)

Au niveau des plongeurs :

- Prévoir une réadaptation à la profondeur en début de saison
- Adapter son matériel au froid et à la faible luminosité
- Eviter les efforts, notamment au retour de la plongée (nage, portage...)
- Favoriser l'expiration lors des efforts d'après plongée (déséquipement, rangement du matériel dans les voitures...)

Au niveau des cadres :

- S'assurer que les plongeurs ont l'expérience et les aptitudes nécessaires avant d'envisager ce genre de plongée
- Prévoir des mises à jour au moins annuelles des compétences d'assistance et de prise en charge des accidents

QUESTION 4 : Modélisation de l'organisme (4 pts)

Pour prendre en compte les problèmes de calcul de la désaturation, les scientifiques ont modélisé mathématiquement le fonctionnement de l'organisme vis à vis du comportement des gaz.

- a) Selon vous, pour quelles raisons a-t-on modélisé mathématiquement l'organisme du plongeur ? (2 pt)
- L'organisme est beaucoup trop complexe. Il est composé de plusieurs éléments anatomiques, chimiques et leurs interactions ne sont pas toujours prévisibles vis à vis de la plongée. Cette complexité nécessite d'utiliser un modèle mathématique pour être étudiée.
- Les mathématiques permettent de modéliser, c'est-à-dire de représenter un aspect du monde réel sous forme mathématique. Dans le cas de la saturation et désaturation, cette modélisation permet de représenter la façon dont l'organisme réagit face aux gaz et à la pression. Elle simplifie la complexité des tissus qui composent notre organisme. Ainsi « simplifié », on peut appliquer au modèle diverses opérations mathématiques qui permettront de prévoir, de façon la plus juste possible, le comportement des éléments du monde réel (pour nous l'organisme du plongeur).

- b) Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent (1 pts)
- Entité fictive du corps humain, ayant un comportement homogène vis-à-vis de la charge et de la décharge d'azote.
 - Défini par sa période (T) et son Seuil de sursaturation Critique (Sc) dans un modèle Haldanien
- c) Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique (1 pt)
- Un tissu biologique est un ensemble de cellules ayant une fonction commune. Les tissus ont une réalité anatomique et sont de nature différente : osseux, musculaire, nerveux, etc...
 - Les compartiments sont une représentation mathématique du comportement de tissus caractérisés par une même période et un même Sc , ce qui facilite les calculs dans le modèle de Haldane. Par exemple : le compartiment 60 n'est pas un muscle mais une grande partie des muscles ont une période proche de 60 (Cf. Fructus)

Décompression

Durée 1h 30 Coefficient 4

QUESTION 1. ADD et déshydratation (5 points)

- En quoi la déshydratation favorise-t-elle l'ADD ? (2 points)
- Comment souhaitez-vous que vos stagiaires pédagogiques sensibilisent leurs plongeurs sur ce risque? (2 points)
- Pourquoi est-il préférable de boire de l'eau que du thé ou du café ? (1 point)

QUESTION 2 - Modèles de décompression (6 points)

- Dans le modèle de Haldane, que représente S_c , le coefficient de sursaturation critique ? (2 points)
- Comment ce coefficient évolue-t-il dans les modèles à M-values ? (type Bühlmann) ? (1 point)
- Le modèle à facteurs de gradient ZH-L16-GF permet une évolution supplémentaire des M-values. A quoi correspond cette évolution ? (1 point)
- A quelle type de plongée ce dernier modèle est-il plus adapté ? (1 point)
- Quel réglage conseillerez-vous à un plongeur loisir qui utilise un ordinateur à facteurs de gradient réglables ? (1 point)

QUESTION 3 - ADD de l'oreille interne (3 points)

Expliquez le mécanisme qui conduit à un ADD de l'oreille interne. Reliez les symptômes aux atteintes physiologiques (3 points).

QUESTION 4 - Ordinateurs (2 points)

Quelle différence y a-t-il en termes de vitesse de remontée et de profondeur de palier entre un modèle Uwatec (Bühlmann) et un modèle Suunto (RGBM). En quoi cela peut-il affecter la cohésion de la palanquée ?

QUESTION 5 - Tables MN90 (4 points)

2 plongeurs partent à 9 heures pour une plongée à 50 mètres pendant 15 minutes.

- Paliers, heure de sortie, GPS (0,5 pt)
- Quelle est la valeur de l'azote résiduel à la sortie de la plongée (0,5 pt)?
- Comparez les taux d'azote pour des intervalles de 15 et 45 minutes, un des plongeurs respirant de l'air, l'autre de l'O₂ (1 pt).
- Quelle sera la valeur de la majoration pour une plongée à 20 mètres si le plongeur ayant respiré de l'O₂ replonge immédiatement après les 45 minutes (1 pt)?
- Quelle durée maximale durera sa plongée s'il ne souhaite pas dépasser 4 minutes de palier (1 pt)?

Décompression Référentiel de correction

QUESTION 1. ADD et déshydratation (5 points)

a) En quoi la déshydratation favorise-t-elle l'ADD ? (2 points)

La déshydratation entraîne des modifications dans la circulation : une partie de l'eau étant éliminée par l'augmentation de la diurèse, le sang est épaissi et son débit est diminué.

La désaturation est donc modifiée :

- ✓ *moins bonne élimination de l'azote dissous durant la plongée par le filtre pulmonaire, entraînant des passages de bulles dans le système artériel.*
- ✓ *moins bonne circulation des petites bulles dans les capillaires lors de la remontée, entraînant des bulles dans le système veineux*

b) Comment souhaitez-vous que vos stagiaires pédagogiques sensibilisent leurs plongeurs sur ce risque? (2 points)

Principalement sur la prévention, qui est très simple

Eviter la déshydratation avant la plongée → boire

→ limiter la transpiration (soleil, combinaison)

Limiter la déshydratation pendant la plongée → lutter contre le froid

Réhydrater après la plongée → boire beaucoup d'eau (alcool interdit)

c) Pourquoi est-il préférable de boire de l'eau que du thé ou du café ? (1 point)

Le thé et le café sont des diurétiques, ils vont augmenter la dialyse et le plongeur ne sera pas réhydraté.

QUESTION 2 - Modèles de décompression (6 points)

f) Dans le modèle de Haldane, que représente Sc , le coefficient de sursaturation critique ? (2 points)

Il correspond à une valeur $TN_2/P_{Absolue}$ fixe par compartiment. Il définit le seuil de sursaturation au-delà duquel les bulles deviennent pathogènes.

g) Comment ce coefficient évolue-t-il dans les modèles à M-values ? (type Bühlmann) ? (1 point)

Il n'y a plus une seule valeur de Sc , mais des couples de valeurs $TN_2/Pression$ absolue pour un même compartiment (8 couples pour les ZHL8 et 16 pour les ZHL16). Les valeurs évoluent avec un conservatisme supérieur, et permettent des vitesses de remontées variables. Plus rapide à grande profondeur et plus lentes à l'approche de la surface.

h) Le modèle à facteurs de gradient ZH-L16-GF permet une évolution supplémentaire des M-values. A quoi correspond cette évolution ? (1 point)

Les facteurs de gradient rajoutent encore un conservatisme. On choisit les limites de saturation autorisées au fond (GF low) et en surface (GF high) en % des valeurs des M-values.

i) A quelle type de plongée ce dernier modèle est-il plus adapté ? (1 point)

Le GF low va définir la profondeur du 1^{er} palier et le GF high va allonger les paliers proches de la surface. Ce modèle est plus adapté aux plongées profondes, ainsi qu'aux décompressions impliquant deux gaz inertes (N₂ et He) cas du Trimix.

- j) Quel réglage conseilleriez-vous à un plongeur loisir qui utilise un ordinateur à facteurs de gradient réglables ? (1 point)

Facteurs de gradient proche des M-values d'origine (80/80 à 100/100)

QUESTION 3 - ADD de l'oreille interne (3 points)

Expliquez le mécanisme qui conduit à un ADD de l'oreille interne. Reliez les symptômes aux atteintes physiologiques (3 points).

Passage de bulles dans le système artériel (shunt, FOP, yoyo), progression des bulles d'azote vers le haut. → Obstruction aéro-embolique d'une branche de l'artère vestibulaire (vascularisation terminale) → atteinte de l'oreille interne, préférentiellement côté gauche (anatomie) avec atteinte de l'équilibre (vertiges, nausées, vomissements, troubles visuels, station debout impossible)

Dégazage intra-labyrinthique dans la périlymphe ou l'endolymphe (liquides courts) : mêmes symptômes
Atteintes cochléaires (acouphènes, hypoacousie) rares et plus tardives

QUESTION 4 - Ordinateurs (2 points)

Quelle différence y a-t-il en termes de vitesse de remontée et de profondeur de palier entre un modèle Uwatec (Bühlmann) et un modèle Suunto (RGBM). En quoi cela peut-il affecter la cohésion de la palanquée ?

Uwatec : remontée à vitesse variable et palier à profondeur définie (3, 6,...)

Suunto : remontée à vitesse fixe et palier défini par une profondeur plancher et une profondeur plafond

Conséquences : il faut que les membres de la palanquée se plient aux règles préétablies, sinon, la cohésion ne sera pas respectée.

QUESTION 5 - Tables MN90 (4 points)

2 plongeurs partent à 9 heures pour une plongée à 50 mètres pendant 15 minutes.

- a) Paliers, heure de sortie, GPS (0,5 pt)

2' à 6m, 9' à 3m, DTR de 15', groupe H

HS= 15+15= 9h30

- b) Quelle est la valeur de l'azote résiduel à la sortie de la plongée (0,5 pt)?

Lecture dans le tableau III : groupe H → azote résiduel = 1,16

- c) Comparez les taux d'azote pour des intervalles de 15 et 45 minutes, un des plongeurs respirant de l'air, l'autre de l'O₂ (1 pt).

	<i>TN2 Après 15'</i>	<i>TN2 Après 45'</i>
<i>Respiration air</i>	<i>1,13</i>	<i>1,08</i>
<i>Respiration O2</i>	<i>1'11</i>	<i>1,02</i>

- d) Quelle sera la valeur de la majoration pour une plongée à 20 mètres si le plongeur ayant respiré de l'O₂ replonge immédiatement après les 45 minutes (1 pt)?

TN2 = 1,02 → groupe E,

On prend TN2 = 1,03 dans la table → majoration à 20m = 27 minutes

- e) Quelle durée maximale durera sa plongée s'il ne souhaite pas dépasser 4 minutes de palier (1 pt)?

Temps pour 4' de palier = 50'

Temps réel de plongée = 50-27 = 23 minutes

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

Sujet 1 Utilisation tables MN90 (3 points)

Deux plongeurs s'immergent à 09h00 pour effectuer une plongée à l'air à 46m pendant 18 minutes.

a) **Quels sont les paliers, le GPS et l'heure de sortie ? (0.5 point)**

Ils veulent effectuer une deuxième plongée, 02h15 après leur arrivée à la surface, à 23m pendant 30 minutes.

b) **Quels sont les paliers et l'heure de sortie ? (1 point)**

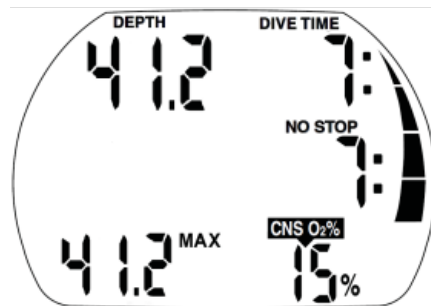
Pour effectuer cette seconde plongée, ils ont eu recours à un calcul de majoration.

c) **Donnez la définition de la majoration ? (0.5 point)**

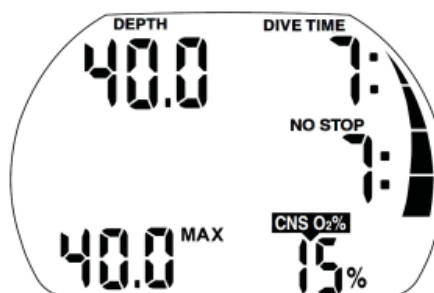
d) **Quel compartiment sert à son calcul et pourquoi ? (1 point)**

Sujet 2 Utilisation des ordinateurs (3 points)

Vous êtes guide de palanquée en mer avec 2 PE40. Les deux ont le même ordinateur (Scubapro Aladin Sport). Arrivé à 40 mètres à votre ordinateur (Scubapro Galileo avec les paramètres adéquats), l'un des plongeurs surpris, vous montre son ordinateur qui indique :

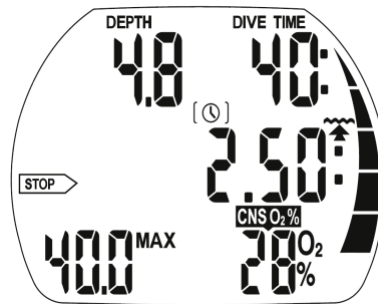


Vous allez consulter celui du deuxième qui indique à la même profondeur :



- a) Pourquoi les deux ordinateurs n'affichent-ils pas la même profondeur alors qu'ils sont au même niveau ? Que faites-vous ? (1.5 points)

Vous décidez de mettre fin à la plongée au signe « j'ai froid » d'un plongeur. Une fois les paliers terminés, l'un des plongeurs vous montre son ordinateur :



- b) Que signifie l'indication 2.50 au milieu de l'écran ? Que faites-vous ? (1.5 points)

Sujet 3 : Les modèles de décompression (7 points)

Votre stagiaire pédagogique souhaite préparer le cours sur la décompression qu'il présentera aux stagiaires GP lors de sa prochaine intervention. Vous approfondissez avec lui certains des points à développer.

- a) Le modèle de Haldane étant à l'origine de la plupart des modèles de décompression actuels, vous lui rappelez les principales hypothèses ayant servi à son élaboration. (4 points)
D'autres modèles que celui de Haldane sont désormais utilisés.
- b) Citez 3 autres modèles en indiquant pour chacun sa caractéristique principale le différenciant d'Haldane. (3 points)

Sujet 4 : les accidents de décompression (7 points)

Votre stagiaire pédagogique est en charge de la formation théorique des plongeurs préparant le N3. Son prochain cours porte sur les accidents de décompression et vous l'aidez à préparer ce cours. S'agissant de N3, son cours doit être principalement orienté sur la prévention et la conduite à tenir.

- a) Présentez de manière synthétique les différents types d'ADD, la localisation des bulles qui les déclenchent et les manifestations qu'ils engendrent sur un plongeur qui en est victime. (3 points)
- b) Face à un ADD, quelles mesures et quels traitements doivent être mis en œuvre par un plongeur secouriste ? Quels sont les effets de chacun de ces traitements ? (3 points)
- c) Le Nitrox permet-il de prévenir un ADD ? Justifiez votre réponse. (1 point)

Décompression REFERENTIEL DE CORRECTION

Sujet 1 Utilisation tables MN90 (3 points)

Deux plongeurs s'immergent à 09h00 pour effectuer une plongée à l'air à 46m pendant 18 minutes.

- a) **Quels sont les paliers, le GPS et l'heure de sortie ? (0.5 point)**
- *Paliers à l'air: 4 min à 6 m et 19 min à 3 m*
 - *GPS : J*
 - *Heure de sortie : 9h00+18min + 4min+ 19min + 4min = 9h45*

Ils veulent effectuer une deuxième plongée, 02h15 après leur arrivée à la surface, à 23m pendant 30 minutes.

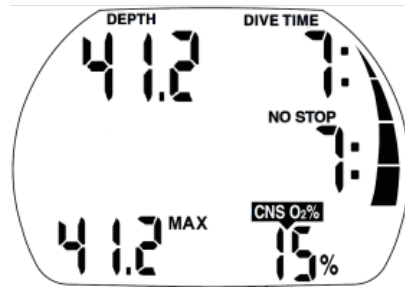
- b) **Quels sont les paliers et l'heure de sortie ? (1 point)**
- *Après 2h15 d'intervalle, pour J, azote résiduel = 1.02*
 - *A 23m (on retient 25), pour 1.02 (on prend 1,03), majoration = 21 min*
 - *A 23m (on prend 25m), pour 30min de plongée et 21 min de majoration (prendre 55mn), palier = 27 min à 3m*
 - *Heure de sortie : 9h45+ 2h15+ 30min + 27min + 2 min = 12h59*

Pour effectuer cette seconde plongée, ils ont eu recours à un calcul de majoration.

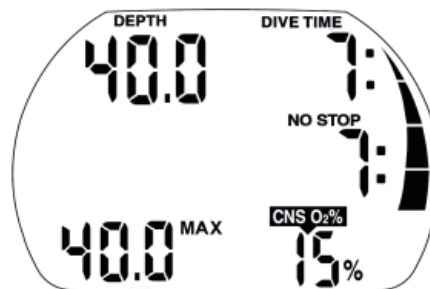
- c) **Donnez la définition de la majoration ? (0.5 point)**
- *C'est le temps qu'il faudrait passer à la profondeur de la seconde plongée pour que le compartiment 120 minutes dissolve une quantité d'azote égale à celle présente dans ce compartiment au départ de cette seconde plongée.*
- d) **Quel compartiment sert à son calcul et pourquoi ? (1 point)**
- *Le compartiment 120 minutes sert de base au calcul de la majoration car 15 minutes après chaque plongée, ce compartiment reste le seul directeur.*

Sujet 2 Utilisation des ordinateurs (3 points)

Vous êtes guide de palanquée en mer avec 2 PE40. Les deux ont le même ordinateur (Scubapro Aladin Sport). Arrivé à 40 mètres à votre ordinateur (Scubapro Galileo avec les paramétrages adéquats), l'un des plongeurs surpris, vous montre son ordinateur qui indique :



Vous allez consulter celui du deuxième qui indique à la même profondeur :



a) Pourquoi les deux ordinateurs n'affichent-ils pas la même profondeur alors qu'ils sont au même niveau ? Que faites-vous ? (1.5 points)

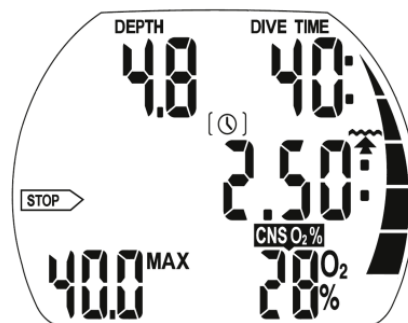
➤ *L'ordinateur est probablement paramétré en « eau douce ». Il réalise ses calculs, à partir, entre autres, de la pression ambiante mesurée et non de la profondeur. En effet, l'écart de masse volumique de la mer et celle de l'eau douce est de l'ordre de 0,025 à 0,03 kg/dm³ et entraîne une différence de pression à 40 m de $4 \times 0,025 = 0,1$ bar à $4 \times 0,03 = 0,12$ bar, soit 1 à 1,2 m. Il est donc important de paramétrer eau douce ou mer (éventuellement la densité) pour avoir une lecture exacte de la profondeur.*

Ou alors, le capteur piézoélectrique est défectueux.

➤ *Je fais remonter la palanquée à la profondeur de 40 m indiquée par l'ordinateur réglé en eau douce et nous continuons la plongée.*

Sortis de l'eau, nous vérifions le réglage de l'ordinateur. S'il est réglé sur eau de mer, je lui conseille d'envoyer son ordinateur en révision.

Vous décidez de mettre fin à la plongée au signe « j'ai froid » d'un plongeur. Une fois les paliers terminés, l'un des plongeurs vous montre son ordinateur :



b) Que signifie l'indication 2.50 au milieu de l'écran ? Que faites-vous ? (1.5 points)

- Il signifie que le palier de sécurité (safety stop) paramétré par le plongeur est en cours de décompte.
- En raison du froid ressenti au fond par l'un des plongeurs et, du fait que les paliers ont été effectués, j'indique à la palanquée de remonter à la surface.
A la sortie de l'eau, je conseille à mes plongeurs de s'hydrater abondamment, de se couvrir chaudement si la température ambiante est basse et de se protéger du vent éventuel. Je les surveille également durant le trajet du retour puis jusqu'à leur départ du club afin de m'assurer qu'aucun ADD ne se déclenche.

Sujet 3 : Les modèles de décompression (7 points)

Votre stagiaire pédagogique souhaite préparer le cours sur la décompression qu'il présentera aux stagiaires GP lors de sa prochaine intervention. Vous approfondissez avec lui certains des points à développer.

a) Le modèle de Haldane étant à l'origine de la plupart des modèles de décompression actuels, vous lui rappelez les principales hypothèses ayant servi à son élaboration. (4 points)

- Basé sur la perfusion, les hypothèses principales sont les suivantes :
 - ✓ L'organisme est découpé en compartiments, indépendants les uns des autres, correspondant à des tissus ayant le même comportement en ce qui concerne leur charge et leur décharge en azote (période et SC).
 - ✓ Les compartiments échangent de l'azote avec le sang et le sang échange avec les alvéoles.
 - ✓ L'équilibre PpO₂ / TN₂ est instantané au niveau alvéolaire.
 - ✓ L'équilibre TN₂ / PpO₂ est instantané au niveau tissulaire.
 - ✓ La charge et la décharge de l'azote au sein d'un même compartiment se déroulent de façon exponentielle et symétrique.
 - ✓ Chaque compartiment absorbe et élimine l'azote suivant la même formule : $TN_2 = T_i + (T_f - T_i) \times \text{coefficient}$.
 - ✓ Dans une décompression normale, tout l'azote est transporté sous forme dissoute et il n'y a pas de formation de bulles tant que TN₂/Pabs ambiante est inférieure ou égale à SC (SC constant défini pour chaque compartiment).
 - ✓ Les valeurs des coefficients de sursaturation critique sont déterminées empiriquement et en général, le rapport 2/1 est applicable dans toutes les situations de décompression, pour tous les tissus de l'organisme.

D'autres modèles que celui de Haldane sont désormais utilisés.

b) Citez 3 autres modèles en indiquant pour chacun sa caractéristique principale le différenciant d'Haldane. (3 points)

Remarque pour les correcteurs : 5 modèles sont décrits dans le corrigé afin d'être le plus exhaustif possible. D'autres modèles peuvent être proposés par les candidats. Les candidats ne doivent décrire que 3 modèles pour obtenir la note maximale.

- *Modèle de Workman : M-Value (modèle néo haldanien) :*
 - ✓ *Généralisation du modèle de Haldane incluant l'hélium.*
 - ✓ *Plutôt que d'associer à chaque compartiment un seul coefficient de sursaturation critique comme dans le modèle haldanien d'origine, WORKMAN attribua à chaque profondeur de palier son propre seuil, appelé **M-value**.*
 - ✓ *Une M-value ou valeur maximum est pour une profondeur donnée et un compartiment donné, la tension maximale admissible d'azote à cette profondeur.*

- *Modèle de Bühlmann :*
 - ✓ *Il prend en compte la composition de l'air alvéolaire, et non de l'air ambiant, comme référence de gaz respiré.*
 - ✓ *Il propose différentes tables en fonction de l'altitude.*
 - ✓ *Il calcule et publie 2 jeux de M-Value (avec un jeu de coefficient pour l'hélium)*
 - ✓ *Chaque compartiment est muni de 2 coefficients a et b déterminés expérimentalement, le seuil est défini par la pression absolue minimum admissible à la remontée.*

- *Modèle de Spencer :*
 - ✓ *Existence de bulles « silencieuses ».*
 - ✓ *A partir de données expérimentales sur les plongeurs humains, on déduisit une courbe limite de décompression entre 6 et 60 m. définie par l'équation :*
$$t \text{ max} = (465 / P)^2$$
avec t max : durée maximale en minute au fond sans faire de palier, P : profondeur en pied.

- *Modèle VPM :*
 - ✓ *Préexistence de noyaux gazeux (microbulles de diamètre très faible = 1 micron) dans les tissus avant même le début de la plongée.*
 - ✓ *Prise en compte d'autres gaz dissous notamment le CO₂.*
 - ✓ *Adapté à la plongée profonde et multi-gaz.*
 - ✓ *L'aptitude des noyaux gazeux à grossir ou à se contracter dépend de leur taille et de la sursaturation.*

- *Modèle RGBM :*
 - ✓ *C'est un modèle mixte, tenant compte des apports d'autres modèles. Il combine les notions de diffusion, de perfusion et de taille critique des bulles circulant dans le sang.*
 - ✓ *Le but du modèle RGBM est de limiter la croissance des bulles initiées par les noyaux gazeux, en maintenant leur taille à un niveau suffisamment faible pour qu'elles puissent être éliminées par le filtre pulmonaire sans provoquer d'ADD.*
 - ✓ *Il prend en compte chaque gaz séparément dans le calcul de la désaturation par intégration des M-Values et leurs SC.*
 - ✓ *Les avantages annoncés par le concepteur du modèle RGBM sont de réduire le risque d'ADD neurologique. Pour cela, le modèle induit des paliers profonds et courts qui sont censés réduire la quantité de microbulles circulantes. Cependant la pertinence des paliers profonds est de plus en plus remise en cause, surtout à l'air.*

Sujet 4 : les accidents de décompression (7 points)

Votre stagiaire pédagogique est en charge de la formation théorique des plongeurs préparant le N3. Son prochain cours porte sur les accidents de décompression et vous l'aidez à préparer ce cours. S'agissant de N3, son cours doit être principalement orienté sur la prévention et la conduite à tenir.

- a) **Présentez de manière synthétique les différents types d'ADD, la localisation des bulles qui les déclenchent et les manifestations qu'ils engendrent sur un plongeur qui en est victime.**

(3 points)

On distingue les accidents bénins (type I) et les accidents graves (type II)

Type I : cutanés, bends

Type II : vestibulaires, cérébraux, médullaires

<i>Type d'accident</i>	<i>Localisation des bulles</i>	<i>Manifestations chez le plongeur</i>
<i>Cutané : puces et moutons</i>	<i>Couche adipeuse du derme, capillaires sous-cutanés</i>	<i>Puces : démangeaisons au niveau du tronc et des membres supérieurs. Moutons : boursoufflure ou emphysème cutané surtout au niveau ombilical et lombaire.</i>
<i>Ostéo-arthromusculaire : bends</i>	<i>Tendons des articulations les plus sollicitées en plongée</i>	<i>Douleurs progressives devenant intolérables, non calmées par des antalgiques.</i>
<i>Vestibulaire ou labyrinthique</i>	<i>Oreille interne, artère cochléo-vestibulaire, liquide labyrinthique</i>	<i>Vertige rotatoire persistant, nausée, vomissement, perte d'audition, acouphènes, station debout impossible, nystagmus.</i>
<i>Cérébral</i>	<i>Les tissus cérébraux</i>	<i>Étourdissement, perte de connaissance, coma, confusion, désorientation, amnésie, troubles de l'élocution, du comportement. Monoplégie, hémip légie, paraplégie ou tétraplégie. Signes neurologiques pouvant être accompagnés d'une détresse respiratoire ou d'un arrêt cardio-respiratoire.</i>
<i>Médullaire</i>	<i>Moelle épinière, réseau veineux lombaire</i>	<i>Douleurs sternales ou lombaires en « coup de poignard », rétention urinaire, fourmillements, ankyloses, faiblesse musculaire, troubles de la sensibilité. Evolution vers une parésie, monoplégie, paraplégie ou tétraplégie.</i>
<i>Respiratoire</i>	<i>Les artères pulmonaires (embolies)</i>	<i>Dyspnée, gêne respiratoire, oppression thoracique, respiration rapide et superficielle, douleur sternale, toux, crachats saumonés, cyanose. Evolution possible vers un arrêt cardiorespiratoire.</i>

Les signes cliniques apparaissent avec plus ou moins de rapidité et ne se manifestent évidemment pas systématiquement.

b) Face à un ADD, quels traitements doivent être mis en œuvre par un plongeur secouriste ?
Quels sont les effets de chacun de ces traitements ? (3 points)

- *Le cas échéant, faire remonter les autres palanquées encore en immersion.*
- *Alerter les secours par VHF si la plongée a lieu en mer et préciser le lieu d'accostage.*
- *Secourir : Recommandations de la CNMP (cf. fiche CAT en cas d'accident) :*
 - ✓ *déséquiper la victime, la mettre au repos, alerter les secours,*
 - ✓ *encourager la victime à boire 1 litre d'eau plate en fractionnant les prises,*
 - ✓ *administrer de l'oxygène avec un débit de 15L/min jusqu'à l'arrivée des secours, via un masque facial à haute concentration si la victime est consciente ou par insufflation en cas d'inconscience,*
 - ✓ *lui proposer 500 mg d'aspirine maximum à prendre en une fois si elle n'est pas allergique,*
 - ✓ *Ce traitement (oxygène, eau, aspirine) est à administrer dans les plus brefs délais.*

Les effets :

- *Oxygénothérapie*

L'inhalation d'oxygène à 15 L/min permet de compenser, après diffusion, le déficit en oxygène des cellules en aval des bouchons vasculaires. L'oxygène à 100% permet d'augmenter le gradient azote tant au niveau alvéolo-capillaire qu'entre la bulle et son environnement ce qui permet d'accélérer la désaturation tissulaire.
- *Aspirine*

L'ingestion de 500 mg d'aspirine a un effet antiagrégant plaquettaire, empêchant la formation de bouchons organiques et favorisant ainsi un meilleur écoulement sanguin dans les veines.
- *Eau*

En buvant un litre d'eau plate par petites prises régulières, on augmente la volémie pour prévenir :

 - ✓ *L'épaississement du sang dû à la diurèse d'immersion (et de froid) et à l'œdème,*
 - ✓ *La réduction du diamètre des vaisseaux sanguins dû à la perte d'eau, afin de favoriser la circulation des bulles circulantes et d'éviter leur immobilisation,*
 - ✓ *Un mauvais remplissage de la pompe cardiaque et donc un ralentissement sanguin.*

c) Le Nitrox permet-il de prévenir un ADD ? Justifiez votre réponse. (1 point)

- *Non, mais les profondeurs d'évolution étant en général moins importantes, le risque d'ADD est réduit. De même, avec un Nitrox, les quantités d'azote dissout dans les différents tissus sont moindres, ce qui réduit le risque accidentel à la remontée.*
- *Lors d'une décompression effectuée au Nitrox le gradient d'azote étant plus grand, l'élimination d'azote sera aussi plus grande et la décompression plus courte.*

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

Question 1: Modèles de décompression et ordinateur (6 pts)

- Listez les principaux modèles de décompression de base intégrés dans les ordinateurs de plongée du marché actuel (1 pt)
- Pour chacun de ces modèles, expliquez, en une ou deux phrases, les différences notables entre ces modèles (3 pts)
- Quels sont les paramètres pris en compte par un ordinateur dans le calcul de la décompression ? (2 pts)

Question 2: problème de tables MN90 (4 pts)

Trois plongeurs se sont immergés le matin, chacun avec une palanquée différente. Ils replongent ensemble l'après-midi. Au moment de se mettre à l'eau :

- Le premier a plongé à 54 m pendant 15 min. Il est sorti depuis 4 heures.
- Le second a plongé à 49 m pendant 15 min et est sorti depuis 3h30.
- Le troisième a plongé à 42 m pendant 15 min. Il est sorti depuis 2h30.

Ils plongent à 23 m pendant 25 min. Quels seront les paliers ?

Question 3: réalisation des paliers (6 pts)

La réalisation d'un palier, et le comportement à adopter au cours de cette action, sont des enseignements souvent peu abordés dans la formation du plongeur. Ce sont pourtant des éléments de sécurité essentiels qui passent par l'apprentissage et la maîtrise de savoir, de savoir-faire et savoir-être spécifiques.

- Quels sont les problèmes encourus par un plongeur ne maîtrisant pas sa technique juste avant et pendant le déroulement d'un palier ? (2 pts)
- Citez les connaissances, techniques individuelles, et comportements en palanquée que doit maîtriser et adopter un plongeur pour réaliser ses paliers en toute sécurité. (2 pts)
- Comment l'environnement et/ou l'organisation de la plongée peuvent-ils influencer la technique de maintien d'un palier ? (2 pts)

Question 4: Un accident de décompression peut être dit « immérité » (4 pts)

- Quelle définition donneriez-vous au terme « ADD immérité » ? (1 pt)
- Quelles peuvent en être les raisons ? (1 pt)
- Donnez la procédure de premier secours à mettre en œuvre en cas d'ADD. Puis spécifiez plus particulièrement les informations que vous recherchiez dans le cas d'un ADD « immérité » (2 pts)

REFERENTIEL DE CORRECTION

Question 1: Modèles de décompression et ordinateur (6 pts)

- a) Listez les principaux modèles de décompression de base intégrés dans les ordinateurs de plongée du marché actuel (1 pt)
- *Modèle Type « BUHLMANN » (avec ou sans GF)*
 - *RGBM*
 - *Prévoir un bonus si le modèle VPM est mentionné.*
- b) Pour chacun de ces modèles, expliquez, en une ou deux phrases, les différences notables entre ces modèles (3 pts)
- *Le modèle de Bühlmann est un modèle à compartiment qui prend en compte une valeur de tension d'azote dans le compartiment. pour déclencher ou non un palier (notion de M-Value)*
 - *Le modèle RGBM est un dérivé du Bühlmann amélioré de particularités du VPM, qui prend en compte la quantité de bulles présentes (gradient) et leur évolution (à cause notamment de la vitesse de remontée)*
 - *Si mentionné plus haut (bonus): Le modèle VPM prend en compte la présence de bulles dans l'organisme et calcule leur taille, leur volume. pour indiquer ou non un palier.*
- c) Quels sont les paramètres pris en compte par un ordinateur dans le calcul de la décompression ? (2 pts)
- *Tous les ordinateurs : mesurent la pression (atmosphérique, ambiante), les variations de pressions (vitesse de remontée), et le temps d'exposition en version instantanée, la température, le mélange gazeux programmé et, pour certains modèles, la ventilation et les fonctions cardiaques du plongeur.*
 - *Ordinateur conçu sur le modèle Bühlmann : prend en compte une quantité de gaz dissout (Tension azote maximale, appelée M-Value) et indique des paliers en fonction de ces valeurs. Le modèle qui intègre les GF permet une définition par le plongeur des marges de sécurité qu'il s'autorise en fonction du profil de plongée et des gaz respirés (remontée plus ou moins rapide, paliers profonds...).*
 - *Ordinateur conçu sur le modèle VPM : calcul la taille des bulles présentes en permanence dans le corps et déclenche les paliers en fonction.*
 - *Le modèle RGBM conditionne la remontée de telle manière que les bulles ne dépassent pas une certaine taille critique.*

Question 2: problème de tables MN90 (4 pts)

Trois plongeurs se sont immergés le matin, chacun avec une palanquée différente. Ils replongent ensemble l'après-midi. Au moment de se mettre à l'eau :

- Le premier a plongé à 54 m pendant 15 min. Il est sorti depuis 4 heures.
- Le second a plongé à 49 m pendant 15 min et est sorti depuis 3h30.
- Le troisième a plongé à 42 m pendant 15 min. Il est sorti depuis 2h30.

Ils plongent à 23 m pendant 25 min. Quels seront les paliers ?

- *Le plongeur 1 est sorti avec un GPS=I (prendre 55m,15mn)*
- *Le plongeur 2 est sorti avec un GPS=H (prendre 50m,15mn)*

- *Le plongeur 3 est sorti avec un GPS=G (42m,15mn)*
- *Calcul de la majoration:*
 - *Plongeur 1: Int= 4 h => 0,90*
 - *Plongeur 2: Int= 3h30 => 0,91*
 - *Plongeur 3: Int= 2h30 => 0,93 (le plus pénalisant)*
- *Le tableau II donne (prendre 0,95) : Profondeur 25m => 13 mn de majoration*
- *Durée de la plongée fictive: 25mn+13mn = 38mn*
- *La table à l'air donne (prendre 25m, 40mn): 10 mn à 3m, GPS=J*

Question 3: réalisation des paliers (6 pts)

La réalisation d'un palier, et le comportement à adopter au cours de cette action, sont des enseignements souvent peu abordés dans la formation du plongeur. Ce sont pourtant des éléments de sécurité essentiels qui passent par l'apprentissage et la maîtrise de savoir, de savoir-faire et savoir-être spécifiques.

- a) Quels sont les problèmes encourus par un plongeur ne maîtrisant pas sa technique juste avant et pendant le déroulement d'un palier ? (2 pts)
- *Ne pas avoir géré correctement son stock d'air avant le début de la remontée => panne d'air au palier.*
 - *Ne pas maîtriser l'usage du parachute*
 - *Se retrouver à moindre profondeur, remontée à la surface, interruption du palier : risque d'ADD*
 - *Descendre à plus grande profondeur : poursuivre sa saturation ou rallonger son temps de palier.*
 - *Faire le Yoyo pendant les paliers => Désaturation incomplète*
- b) Citez les connaissances, techniques individuelles, et comportements en palanquée que doit maîtriser et adopter un plongeur pour réaliser ses paliers en toute sécurité. (2 pts)
- *Connaissance de son lestage*
 - *Savoir gérer correctement son stock d'air, notamment lors des plongées profondes (ex: réserve à 70/80 b voire plus).*
 - *Maîtrise du poumon ballast*
 - *Maîtrise de l'immersion en pleine eau (stabilisation)*
 - *Maîtrise d'une ventilation sur expiration (cad dans la partie basse du soufflet pulmonaire)*
 - *Maîtrise de la mise en place du parachute (plongeurs autonome et encadrant)*
 - *Vigilance vis a vis des autres plongeurs de la palanquée.*
 - *Rester rassemblés autour du parachute*
- c) Comment l'environnement et/ou l'organisation de la plongée peuvent-ils influencer la technique de maintien d'un palier ? (2 pts)
- *Lancé précoce et profond du parachute (bateau manœuvrant ou bateau éloigné - cas d'un fort courant...)*
 - *Augmenter sensiblement la profondeur en cas de houle, pour une meilleure stabilité.*
 - *Garder une position confortable, éviter les positionnements type « parachutiste »*
 - *Eviter les mouvements à contre courant, ne pas faire d'effort*
 - *Conserver une ventilation lente régulière, avec expiration afin d'éliminer un max de gaz (N2 et CO2) et de maintenir la profondeur*
 - *Prendre régulièrement des repères (binômes et profondeur aux instruments)*

Question 4: Un accident de décompression peut être dit « immérité » (4 pts)

- a) Quelle définition donneriez-vous au terme « ADD immérité » ? (1 pt)
Accident qui survient malgré le respect de la procédure de décompression choisie et planifiée et sans facteurs favorisants apparents.
- b) Quelles peuvent en être les raisons ? (1 pt)
- *Causes liées à des facteurs favorisants : fatigue physique/psychique du plongeur, mauvaise hydratation, âge, obésité,*
 - *Technique du plongeur : mauvaise ventilation, effort durant la plongée, froid, surpression thoracique*
 - *Particularité anatomique : Foramen Ovale Perméable*
- c) Donnez la procédure de premier secours à mettre en œuvre en cas d'ADD. Puis spécifiez plus particulièrement les informations que vous rechercheriez dans le cas d'un ADD « immérité » (2 pts)
- *Respect du plan d'organisation des secours (Code du sport)*
 - *Plus spécifiquement :*
 - *Faire un bilan type premier secours muni d'une fiche d'évacuation*
 - *Bilan de conscience*
 - *Bilan circonstancié : déroulement de la plongée (recherche « d'anomalies », notamment lors de la phase de désaturation)*
 - *Bilan des symptômes, vérification de la sensibilité de l'extrémité des membres*
 - *Alerter les secours : CROSS en mer, centre 15 en lac*
 - *Placer sous oxygène 15l/min, faire boire abondamment, administrer aspirine si conseillé par le médecin de la régulation et accepté par la victime.*
 - *Relever les informations de la plongée : profondeur maximale, durée, paliers,*
 - *Surveiller le reste de la palanquée*
 - *Dans le cas d'un ADD "immérité" il faudrait questionner de manière approfondie le plongeur en cause et sa palanquée, pour tenter d'identifier les causes susceptibles d'avoir entraîné l'accident. C'est à dire mettre en évidence l'existence de facteurs favorisants.*

Décompression.
Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Connaissances sur la décompression (6 pts)

Dans les modèles haldaniens, le critère limite de remontée peut prendre plusieurs formes comme le coefficient de sursaturation critique et la M-value.

1. Définissez ces deux paramètres. En quoi diffèrent-ils ? (2 pts)
2. Le graphique fournit en annexe 1, représente la pression du gaz inerte dans un compartiment (TN_2) en fonction de la pression absolue (PAbs), dans le cas d'un modèle haldanien. (3 pts)
 - a) La « droite d'équilibre des pressions partielles » : quelle est sa signification ?
 - b) Sur le graphique de l'annexe 1 :
 - Identifiez les zones suivantes : « sans palier », « désaturation anarchique » et « avec palier ».
 - Tracez directement sur le graphe et décrivez les grandes étapes de l'évolution de la TN_2 d'un compartiment en fonction de la PAbs. Dans votre exemple, le compartiment décrit aura au moins un palier à réaliser.
3. Les « facteurs de gradient » (Gradient Factors ou GF) sont utilisés sur certains ordinateurs . Expliquez leur principe (1 pt).
(Vous pouvez vous appuyer sur le document fournit en annexe 2 : « *décompression avec facteurs de gradient* »).

QUESTION 2 : Utilisation des tables MN90 (4 pts)

Dans le cadre d'une formation GP-N4, vous effectuez une plongée à 38 mètres dont l'objectif est de travailler l'épreuve n°5 : intervention sur un plongeur en difficulté à 40 m. Après 6 minutes de plongée, au cours de la phase d'assistance, une vitesse excessive que vous ne pouvez vous-même maîtriser, vous amène proche de la surface, vous interrompez l'exercice au bout d'une 1 mn.

1. Quelle est la procédure à suivre (durée et profondeur des paliers éventuels) ? (2 pt)
2. La mise en oeuvre de cette procédure de rattrapage doit répondre à des conditions minimum. Lesquelles ? (2 pt)

QUESTION 3 : Accidents de décompression (6 pts)

La nécessité de bien s'hydrater est largement prise en compte et enseignée dès les premiers niveaux de plongée.

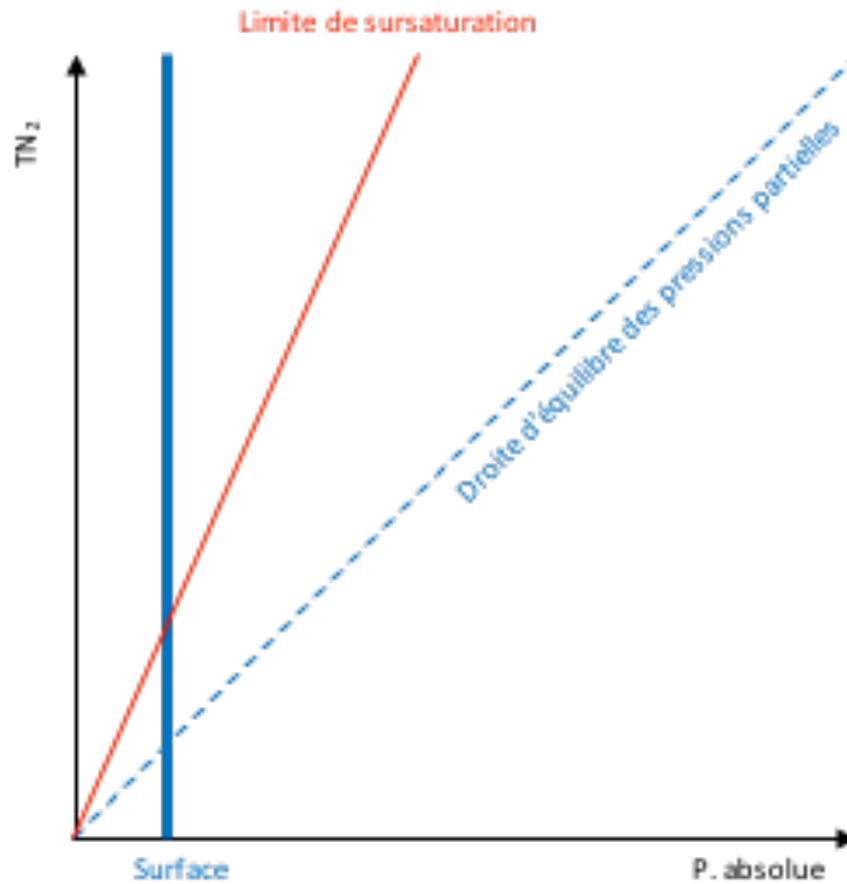
1. En quoi le plongeur est-il concerné par le risque de déshydratation ? (2 pts)
2. Expliquez pourquoi la déshydratation est un facteur favorisant de l'ADD (2 pts)
3. Lors de la prise en charge d'un accident de désaturation, la conduite à tenir impose de placer la victime sous oxygène pur. Quels sont les effets recherchés de l'oxygène dans cette situation ? (2 pts)

QUESTION 4 : Utilisation des ordinateurs (4 pts)

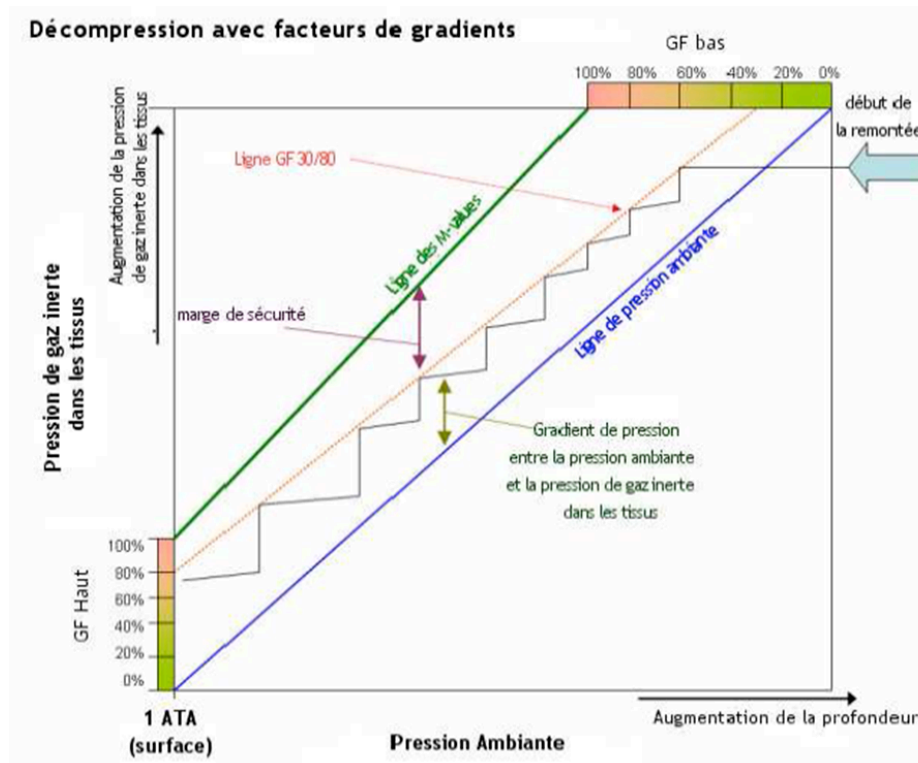
Les ordinateurs disponibles sur le marché possèdent des caractéristiques communes et souvent des paramètres personnalisables.

1. Citez les principales caractéristiques communes que vous connaissez, en matière d'affichage et de réglage. (1 pt)
2. Les modèles disponibles peuvent proposer un certain nombre de fonctions personnalisables. Citez celles que vous connaissez et décrivez-les brièvement. (2 pts)
3. Lors de votre formation au MF2, le directeur de stage demande que l'option « paliers profonds » soit désactivée sur les ordinateurs concernés et de ne pas les réaliser si la désactivation n'est pas possible. Comment justifiez-vous cette consigne ? (1 pt)

ANNEXE 1 : Graphique représentant la pression du gaz inerte dans un compartiment (TN₂) en fonction de la pression absolue (Pabs), dans le cas d'un modèle haldanien.



ANNEXE 2 :



Référentiel de correction

QUESTION 1 : Connaissances sur la décompression (6 pts)

Dans les modèles haldaniens, le critère limite de remontée peut prendre plusieurs formes comme le coefficient de sursaturation critique et la M-value.

1. Définissez ces deux paramètres. En quoi diffèrent-ils ? (2 pts)

Coefficient de sursaturation critique : valeur maximum du rapport entre la tension d'azote (TN_2) au sein d'un compartiment et la pression ambiante ($P_{abs.}$), sans que ce compartiment ne présente de signes d'A.D.D. ($Sc = TN_2/P_{abs.}$).

M-value : tension d'azote maximale qu'un compartiment peut supporter sans présenter de signes d'ADD, à une profondeur donnée. Une M-value correspond à une limite de surpression tolérée.

La principale différence entre ces deux critères est que les M-Values varient en fonction de la profondeur, alors que le coefficient de sursaturation critique n'est fonction que de la période du compartiment et permettent donc des vitesses de remontées variables.

2. Le graphique fournit en annexe 1, représente la pression du gaz inerte dans un compartiment (TN_2) en fonction de la pression absolue (P_{Abs}), dans le cas d'un modèle haldanien. (3 pts)

- a) La « droite d'équilibre des pressions partielles » : quelle est sa signification ?

Elle représente l'ensemble des points dont la charge des compartiments en gaz inerte est égale à la pression ambiante (saturation). Lorsque la valeur du compartiment en charge de gaz passe au-dessus de cette droite, il se crée un gradient de surpression. (1 pt)

- b) Sur le graphique de l'annexe 1 :

- Identifiez les zones suivantes : « sans palier », « désaturation anarchique » et « avec palier ».

(Cf. schéma). (0,5 pt)

- Tracez directement sur le graphe et décrivez les grandes étapes de l'évolution de la TN_2 d'un compartiment en fonction de la P_{Abs} . Dans votre exemple, le compartiment décrit aura au moins un palier à réaliser.

On attend une description brève des 3 grandes phases en corrélation avec la représentation graphique proposée (1,5 pts) :

- *La descente : augmentation de la $P_{abs.}$ et le compartiment se charge en gaz inerte ;*
- *Le séjour au fond : la $P_{abs.}$ n'augmente plus et la saturation se poursuit ;*
- *La remontée : diminution de la $P_{abs.}$ - le compartiment commence à se décharger. La diminution de la profondeur le fait passer dans la zone « avec palier ». La remontée peut se poursuivre jusqu'à l'intersection avec la droite limite de sursaturation.*
- *Le palier : la $P_{abs.}$ reste stable, seule la TN_2 diminue. Lorsque celle-ci descend au-dessous du point d'intersection limite de sursaturation-surface, le compartiment peut être ramené à la surface.*

3. Les « facteurs de gradient » (Gradient Factors -GF) sont utilisés sur certains ordinateurs . Expliquez leur principe (1 pt).

(Vous pouvez vous appuyer sur le document fournit en annexe 2 : « décompression avec facteurs de gradient »).

Alors que l'approche classique propose de contrôler la désaturation avec l'atteinte d'une valeur limite S_c ou M-value (représentée par la droite « limite de sursaturation »), le concept des facteurs de gradient propose de moduler cette limite en la faisant évoluer dans la « zone de sursaturation autorisée ».

Le but recherché est de limiter la génération de larges gradients de surpression dans un profil de désaturation, car ils sont susceptibles de produire plus de bulles et donc d'augmenter le risque d'ADD.

Pour cela, on définit un pourcentage de la valeur maximale pour un compartiment et une profondeur donnés (M-value) : c'est le facteur de gradient (GF) qui s'exprime en %.

En définissant un GF bas (pour la zone la plus profonde) et un GF haut (pour la zone la plus proche de la surface), on peut déplacer la limite représentée par la ligne des M-values et modifier sa pente de façon à limiter l'amplitude des gradients de surpression.

QUESTION 2 : Utilisation des tables MN90 (4 pts)

Dans le cadre d'une formation GP-N4, vous effectuez une plongée à 38 mètres, dont l'objectif est de travailler l'épreuve n°5 : intervention sur un plongeur en difficulté à 40 m. Après 6 minutes de plongée, au cours de la phase d'assistance, une vitesse excessive que vous ne pouvez vous-même maîtriser, vous amène proche de la surface, vous interrompez l'exercice au bout d'une 1 mn.

1. Quelle est la procédure à suivre (durée et profondeur des paliers éventuels) ? (2 pt)

Il s'agit d'une remontée rapide au cours d'une plongée simple.

Procédure à suivre si la réimmersion est possible en moins de 3 minutes :

- 1) Redescente à la moitié de la profondeur maximale atteinte au cours de cette plongée (19 m.) ;*
- 2) Effectuer un palier de 5 minutes à cette profondeur ;*
- 3) Les paramètres d'entrée dans la table sont alors :*
 - Profondeur : la profondeur maximale atteinte (38 m.)*
 - Durée : du début de la plongée initiale à la fin du palier de 5 minutes à mi-profondeur*
 - (6+1+3+5 = 15 minutes) : pour 38 m / 15 mn la table donne 4 mn de palier à 3 m.*

2. La mise en oeuvre de cette procédure de rattrapage doit répondre à des conditions minimum. Lesquelles ? (2 pt)

- Absence de symptômes d'ADD ;*
- Etat physique et psychologique compatible avec une ré-immersion ;*
- S'assurer d'une autonomie en gaz suffisante ;*
- La ré-immersion doit se faire accompagné par un plongeur capable de porter assistance.*

QUESTION 3 : Accidents de décompression (6 pts)

La nécessité de bien s'hydrater est largement prise en compte et enseignée dès les premiers niveaux de plongée.

1. En quoi le plongeur est-il concerné par le risque de déshydratation ? (2 pts)

Plusieurs phénomènes concourent à favoriser la déshydratation en plongée :

La diurèse d'immersion : l'immersion nous expose à une pression hydrostatique qui s'applique sur toute la surface du corps. Il se produit alors un transfert de liquide vers le thorax. Pour compenser cet afflux de sang au niveau du cœur, l'organisme va chercher à diminuer la masse sanguine en perdant de l'eau : augmentation de la diurèse (1 point)

La diurèse de lutte contre le froid : à partir du moment où nous pratiquons dans des conditions qui ne nous garantissent pas la neutralité thermique (33°C), l'organisme réagit au froid notamment par une vasoconstriction périphérique. Le mécanisme est différent de celui de la diurèse d'immersion, mais les effets se cumulent (0,5 point)

La ventilation : du fait des différentes filtrations réalisées lors du processus de gonflage, l'air contenu dans nos bouteilles est particulièrement sec. A chaque expiration nous perdons de l'eau qui vient compenser l'absence d'humidité des gaz inspirés (0,5 point)

2. Expliquez pourquoi la déshydratation est un facteur favorisant de l'ADD (2 pts)

La déshydratation augmente la viscosité sanguine, ce qui affecte la mobilité des bulles circulantes et le phénomène de perfusion, et diminue la performance des échanges au niveau du filtre pulmonaire. A la sortie de l'eau, les effets de la pression sur le corps disparaissant, l'hypovolémie résultante provoque une baisse de la pression artérielle, une augmentation de la fréquence cardiaque, ce qui altère la perfusion et donc le mécanisme de décharge en gaz inerte.

3. Lors de la prise en charge d'un accident de désaturation, la conduite à tenir impose de placer la victime sous oxygène pur. Quels sont les effets recherchés de l'oxygène dans cette situation ? (2 pts)

Dans cette situation l'inhalation d'oxygène pur est essentielle et permet :

- *La dénitrogénéation des tissus : en diffusant dans l'organisme, l'oxygène pur contribue à maintenir un gradient favorable à la décharge en azote, à la fois sous forme dissout et bullaire ;*
- *La ré oxygénation des zones ischémisées : après diffusion, le déficit en oxygène des cellules situées en aval des bouchons vasculaires peut-être ainsi compensé.*
- *Une référence à la "fenêtre d'oxygène" est un plus à prendre en compte pour la notation dans la mesure où elle est commentée et pas seulement émise sans que l'on soit sûr que le phénomène soit compris.*

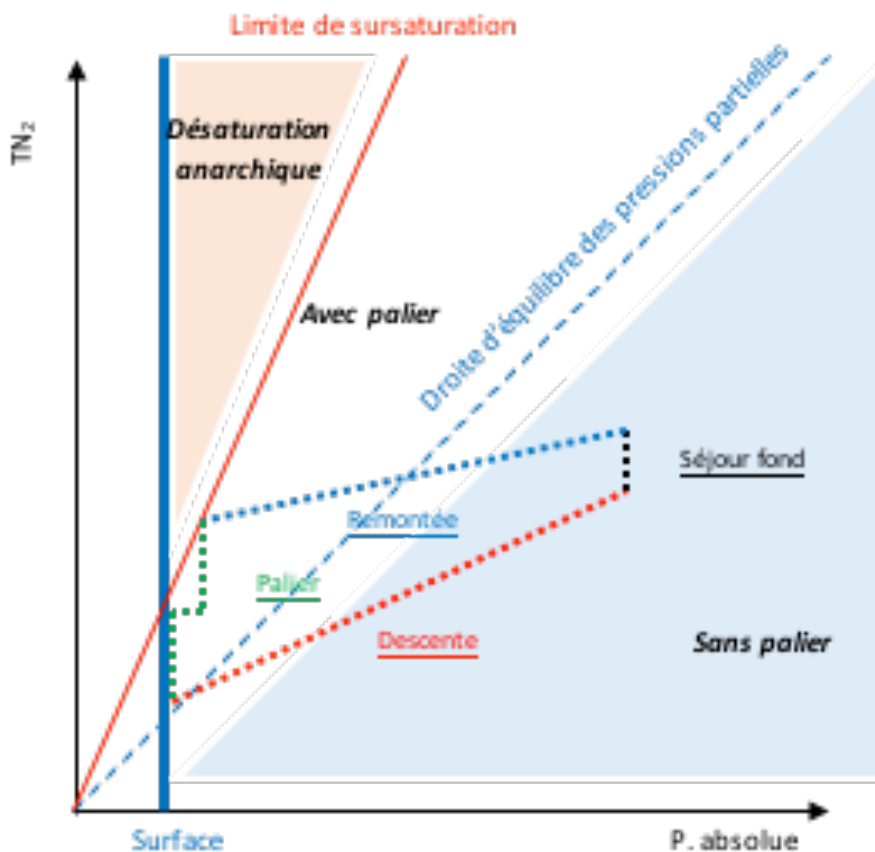
QUESTION 4 : Utilisation des ordinateurs (4 pts)

Les ordinateurs disponibles sur le marché possèdent des caractéristiques communes et souvent des paramètres personnalisables.

1. Citez les principales caractéristiques communes que vous connaissez, en matière d'affichage et de réglage. (1 pt)

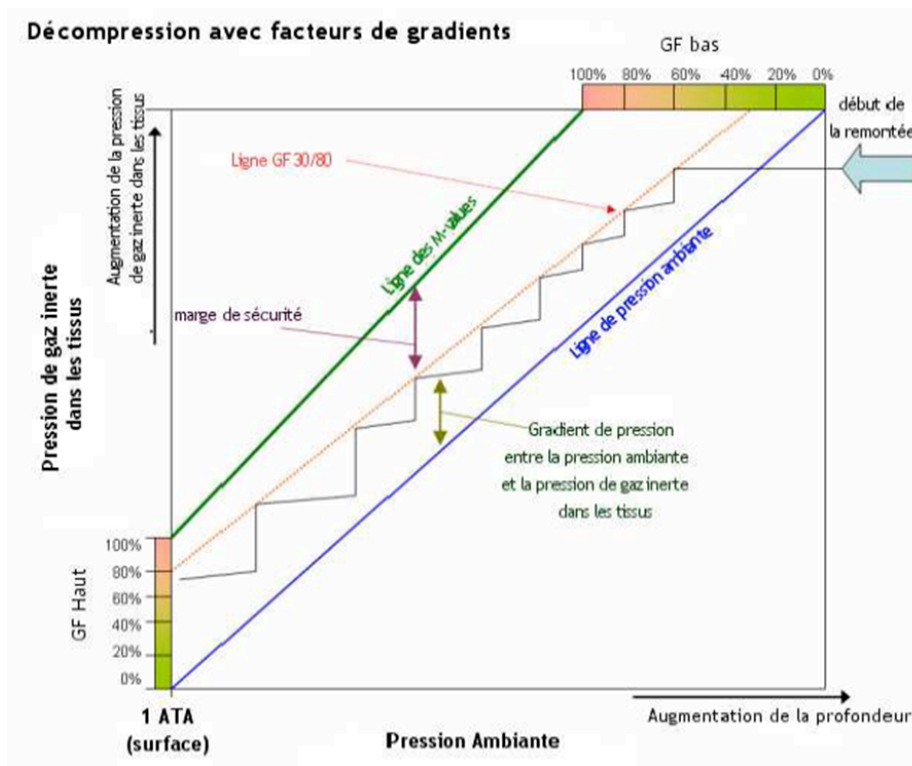
- Affichage : profondeur, durée de plongée, vitesse de remontée, durée de plongée sans palier
 - Réglage : air/nitrox
 - Mode planification des plongées.
2. Les modèles disponibles peuvent proposer un certain nombre de fonctions personnalisables. Citez celles que vous connaissez et décrivez-les brièvement. (2 pts)
- Paliers de sécurité : il s'agit de paliers non-obligatoires qui, selon les modèles peuvent être activés/désactivés, ajustés en durée/profondeur ;
 - Paliers profonds : assez brefs (1 à 2 minutes) réalisés au-delà des zones habituelles de paliers, généralement facultatifs, désactivables sur certains modèles ;
 - Conservatisme : plusieurs niveaux de durcissement peuvent être proposés ; l'impact sur la durée des paliers est sensible. Ce réglage est présenté par les constructeurs comme un moyen « d'accroître la sécurité » de la désaturation ;
 - Vitesse de remontée : réglable sur certains modèles, généralement par tranche de profondeur.
3. Lors de votre formation au MF2, le directeur de stage demande que l'option « paliers profonds » soit désactivée sur les ordinateurs concernés et de ne pas les réaliser si la désactivation n'est pas possible. Comment justifiez-vous cette consigne ? (1 pt)
- *La réalisation de paliers profonds pour les plongées à l'air dans la zone des 50-60 mètres a fait l'objet de deux études, l'une par la Marine nationale Française en 2004, l'autre par l'US Navy en 2011. Ces deux études ont conclu à la dangerosité de cette pratique. Le principe de précaution impose de suivre ces conclusions dans l'attente d'autres approfondissements scientifiques.*

ANNEXE 1 : Graphique représentant la pression du gaz inerte dans un compartiment (TN₂) en fonction de la pression absolue (Pabs), dans le cas d'un modèle haldanien.



ANNEXE 2 :

Décompression avec facteurs de gradients



Décompression
Durée 1h30 Coefficient 4

- 1) L'un de vos stagiaires pédagogiques vous interpelle au sujet des « trois minutes de principe/sécurité » affichées par la plupart des ordinateurs actuels.
- Expliquez, en quelques lignes, sur quel principe est basé ce « palier de sécurité » ? (1 pt)
 - Exposez quels en sont les avantages, mais aussi les possibles inconvénients. (3 pts)
- 2) Ce même stagiaire, décidément curieux, vous demande de lui expliquer :
- Comment sont calculées les majorations des plongées successives ? En utilisant vos connaissances en éléments de calcul de tables, vous prenez deux exemples :
 - Calcul de la tension d'azote après 2h, 4h, 6h quand $GPS = I$ (2 pts)
 - Calcul de la majoration à 12m quand la tension d'azote = 1.28 bar (2 pts)
 - Pourquoi la règle des plongées successives ne peut-elle s'appliquer qu'à partir de 15mn d'intervalle à la surface ? (1 pt)
(Tables fédérales MN90 fournies)
- 3) Le quatrième jour d'une croisière plongée en eau tropicale, un plongeur remonte sur le bateau lors de la 3^e plongée de la journée. Ses paramètres sont 20m, 60mn, plongée sans incident et sans palier obligatoire. Il a terminé sa plongée dans 8m d'eau, sur le platier. Il se plaint de vertiges et de nausées, alors que la mer est calme.
- Quel accident suspectez-vous ? (1 pt)
 - A l'aide de vos connaissances anatomiques et physiologiques, expliquez-en le mécanisme. (3 pts)
 - Quels sont les facteurs favorisant de ce type d'accident, notamment lors de croisières en eau tropicale ? (3 pts)
- 4) Procédure de décompression : utilisation des tables fédérales (4 pts)
- Deux plongeurs s'immergent pour une première plongée à 42 m de 16 min. Ils replongent 8 min après la sortie de l'eau pour accrocher le parachute à l'ancre restée à 23 m. Cela leur prend 5 min. Mais lors du gonflage, ils s'y prennent mal et le parachute les entraîne en surface en 1 min. Conduite à tenir ? Paliers ? Temps total de la 2^e plongée ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

1) L'un de vos stagiaires pédagogiques vous interpelle au sujet des « trois minutes de principe/sécurité » affichées par la plupart des ordinateurs actuels.

a) Expliquez, en quelques lignes, sur quel principe est basé ce « palier de sécurité » ? (1 pt)

Les 3mn à 3m existaient avant les ordinateurs, généralement mises en place lorsque la plongée avait présenté une difficulté particulière, soit ajoutées aux paliers existants, soit effectuées après une plongée dite dans la courbe de sécurité.

Depuis quelques années, elles se sont généralisées sur la majorité des moyens de calculs de décompression et dans la pratique des plongeurs, tout en étant une procédure facultative.

Le principe est d'éloigner la tension d'azote du compartiment directeur de son seuil de sursaturation critique ($ScTN_2$).

b) Exposez quels en sont les avantages, mais aussi les possibles inconvénients. (3 pts)

L'avantage est d'améliorer la désaturation de l'organisme, en s'éloignant du Sc. Bien qu'aucune étude scientifique ou médicale n'ai encore démontré un aspect bénéfique, tous s'accordent à dire que les 3mn à 3m ne peuvent pas présenter de danger en termes de désaturation.

Cependant, la tenue de ces 3mn à 3m peut présenter des inconvénients dans certaines situations : stock d'air insuffisant, mauvaise stabilisation au palier, courant important, houle importante, froid persistant, risque de perte de palanquée en fonction de la visibilité, etc...

2) Ce même stagiaire, décidément curieux, vous demande de lui expliquer :

a. Comment sont calculées les majorations des plongées successives ? En utilisant vos connaissances en éléments de calcul de tables, vous prenez deux exemples :

Les variations du GPS à la surface et les calculs de majoration sont faites pour le seul compartiment de période 120mn

- Calcul de la tension d'azote après 2h, 4h, 6h quand GPS = I (2 pts)

Avec un GPS = I, le tableau III indique une tension d'azote de 1.20 bar

*Dans la formule $TN_2 = T_0 + (T_f - T_0) * X$, on a $T_0 = 1.2$ b et $T_f = 0.8$ b*

Après 2h, soit une période, $X = 0.5$, donc $TN_2 = 1.00$ b

Après 4h, soit 2 périodes, $X = 0.75$, donc $TN_2 = 0.9$ b

Après 6h, soit 3 périodes, $X = 0.875$, donc $TN_2 = 0.85$ b

Ce sont bien les valeurs indiquées dans le tableau I.

L'intérêt est ici de montrer la chute non linéaire de l'azote résiduel en fonction du GPS.

- Calcul de la majoration à 12m quand la tension d'azote = 1.28 bar (2 pts)

On cherche cette fois, au bout de combien de temps, sur une plongée isolée, l'organisme aurait assimilé une certaine tension d'azote.

*Avec $T_{N_2} = 1.28$ b $T_0 = 0.8$ b $T_f = 2.2 * 0.8 = 1.76$ b*

*$1.28 = 0.8 + (1.76 - 0.8) * X$*

donc $X = (1.28 - 0.8) / (1.76 - 0.8) = 0.5$

Si $X = 0.5$, on a une période, soit 120mn. La majoration est donc de 120mn

On peut observer que le tableau II donne 124 mn pour $T_{N_2} = 1.29$ b

- b. Pourquoi la règle des plongées successives ne peut-elle s'appliquer qu'à partir de 15mn d'intervalle à la surface ? (1 pt) (tables fédérales MN90 fournies)

Les calculs ont démontré qu'entre 0 et 15 minutes d'intervalle, d'autres compartiments que celui de période 120mn pouvaient être directeurs. Des tables les prenant en compte auraient été trop complexes et volumineuses. D'où la règle des « consécutives ». En revanche, à partir de 15mn, seul le compartiment de période 120mn est toujours directeur.

- 3) Le quatrième jour d'une croisière plongée en eau tropicale, un plongeur remonte sur le bateau lors de la 3^e plongée de la journée. Ses paramètres sont 20m, 60mn, plongée sans incident et sans palier obligatoire. Il a terminé sa plongée dans 8m d'eau, sur le platier. Il se plaint de vertiges et de nausées alors que la mer est calme.

- a. Quel accident suspectez-vous ? (1 pt)

Vertiges et nausées = troubles de l'équilibre. On peut suspecter un ADD de l'oreille interne.

- b. A l'aide de vos connaissances anatomiques et physiologiques, expliquez-en le mécanisme. (3 pts)

L'ADD de l'oreille interne peut avoir deux causes : des bulles tissulaires, produites dans les liquides de l'oreille interne, ou des bulles vasculaires, dans les artères terminales de l'oreille (ischémie d'aval). (1 pt)

Pour les premières, ce sont en général des bulles stationnaires qui se forment dans les liquides labyrinthiques qui sont des tissus de périodes très courtes. Les bulles peuvent comprimer ou dilacerer les structures neuro-sensorielles de l'oreille interne. Les organes du vestibule (utricule, saccule), et les canaux semi-circulaires, sont particulièrement touchés (1 pt)

Pour les secondes, elles apparaissent lors de l'existence de shunt (pulmonaire ou cardiaque) et de passage de bulles veineuses dans la circulation artérielle. La taille des vaisseaux carotidiens, le débit élevé vers le cerveau et la proximité par rapport au cœur facilitent la « montée » de ces bulles, via la crosse aortique, vers les artères terminales de l'oreille. Ces artères sont dites « terminales » car sans suppléance circulatoires fonctionnellement valables. Ceci se situe au niveau de l'une des branches de l'artère vestibulaire. (1 pt)

- c. Quels sont les facteurs favorisants de ce type d'accident, notamment lors de croisières en eau tropicale ? (3 pts)

Il y a plusieurs facteurs favorisants qui se superposent : multiplication du nombre de plongées supérieures à 2/jours ; enchainement des jours de plongée sans journée de désaturation complète ; profils des plongées :

chaleur et clarté de l'eau = sentiment de facilité, de confort ; tentation de prolonger les fins de plongée dans une faible profondeur (pour « finir le bloc ») avec multiplication des manœuvres de Valsalva (peuvent être à l'origine de l'ouverture d'un shunt cardiaque); séance de snorkeling (apnée) après les plongées; déshydratation accentuée par la chaleur et l'éventuelle consommation d'alcool; fatigue accumulée, éventuelles diarrhées ...

4) Procédure de décompression : utilisation des tables fédérales (4 pts)

Deux plongeurs s'immergent pour une première plongée à 42 m de 16 min. Ils replongent 8 min après la sortie de l'eau pour accrocher le parachute à l'ancre restée à 23 m. Cela leur prend 5 min. Mais lors du gonflage, ils s'y prennent mal et le parachute les entraîne en surface en 1 min.

Conduite à tenir ? Paliers ? Temps total de la 2^e plongée ?

Il s'agit d'une plongée consécutive avec remontée rapide.

Conduite à tenir :

En l'absence de symptômes d'accident, ils doivent redescendre dans les 3 minutes à mi-profondeur (21m) et y rester 5 mn. (1 pt)

Paliers : on rentre dans la table avec Prof max = 42m Temps = 16 + 5 + 1 + 3 + 5 = 30 minutes

Paliers : 30mn à 42m donnent 6mn à 6m et 31mn à 3m. (2 pts)

Temps total de la 2^e plongée : 5 + 1 + 3 + 5 + 6 + 31 + 3 (DTR) = 54 mn (1 pt)

Décompression.
Durée 1h30 Coefficient 4

Hypothèse de la composition de l'air : 80%N₂-20%O₂/ Patm=1000 hpa / densité eau=1

QUESTION 1 - Utilisation des tables ... suivez l'Azote ! (3 points)

- A) Vous sortez à 10 h 00 d'une plongée. Votre groupe est « L ». A 14H00 vous replongez à 20 m.
Vos réponses doivent être illustrées de schéma.
- Combien de temps pouvez-vous y rester si vous ne souhaitez pas faire de palier ? (0,5 point)
 - Quelle est la tension d'azote du tissu directeur après la 2^{ème} plongée ? (0,5 point)
- B) Lors d'un voyage « plongée » type croisière en eau chaude, vous programmez 2 plongées dans la journée :
- L'une le matin à 30 m pendant 35 min,
 - L'autre l'après midi à 20 m pendant 50 min après un intervalle surface de 3h02min

Pour votre confort, vous choisissez de faire 1 plongée sur 2 au Nitrox. En début de journée, le club d'accueil vous met à disposition 2 blocs préparés. L'un avec de l'air, l'autre avec un mélange Nitrox 40/60.

Prenez-vous le mélange Nitrox le matin ou l'après-midi ? Justifiez en faisant les calculs des 2 solutions de décompressions en utilisant les tables fédérales Mn90. (2 points)

QUESTION 2 - Différents modèles de désaturation (9 points)

- a) Afin d'expliquer les modèles de désaturation les plus courants, vous expliquerez pour les modèles Haldanien (1908), Bühlmann 1980, VPM (1986), RGBM (1991) (6 points) :
- Le nombre de compartiments
 - Le principe (loi) de charge/décharge du modèle
 - Les critères de détection de l'ADD
- b) Citer un à plusieurs exemples d'ordinateurs vendus dans le commerce correspondant aux (ou inspirés des) modèles précédents (1 point)
- c) Comment certains ordinateurs tentent de prendre en compte des paramètres physiologiques dans leur calcul de désaturation? (1 point)
- d) Sur un stage préparation au GP de 12 jours que vous organisez, quels moyens de désaturation proposez-vous à vos encadrants ? (1 point)

QUESTION 3 - L'accident (8 points)

Un moniteur MF1 expérimenté sur des formations N1 et N2, encadre pour la première fois un stage de 2 plongeurs N2 préparant le N3. Lors d'un cycle d'apprentissage sur l'assistance à 40 m, il impose la désaturation à ses stagiaires sur la base de son ordinateur 1^{ère} génération. Il effectue 3 jours de suite :

- Deux remontées depuis 40 m jusqu'à 10 m pour travailler l'assistance suivie d'une redescente à 40 m pour 5 min d'exploration. En fin de plongée, la désaturation proposée par l'ordinateur du MF1 et réalisée par les plongeurs correspond à un palier de 1 min à 3 m, ils ressortent des plongées du matin vers 11h30.
- Ils se réimmergent vers 14h00 pour réaliser 2 remontées de 20 m à la surface pour travailler sur du renforcement des techniques spécifiques « panne d'air et perte de connaissance ». Le moniteur et les deux plongeurs suivent là encore les 2 min à 3 m lues sur son ordinateur 1^{ère} génération pour la désaturation de la palanquée.

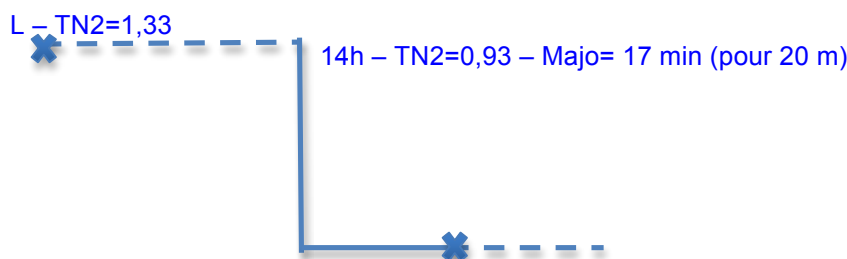
Au palier, un des préparant N3 s'amuse en réalisant des expirations brusques pour faire des cercles de bulles. Au 3^{ème} jour, ce plongeur en formation a des vertiges et ressent des nausées après être remonté sur le bateau par l'échelle avec son bloc de plongée.

- a) Quel accident suspectez-vous ? Exposez son mécanisme et les facteurs aggravants dans le cas concret évoqué. Vous pouvez vous aider de schémas si vous le souhaitez (5 points)
- b) Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la désaturation en stage N3 ? (3 points).

Référentiel de correction

QUESTION 1 - Utilisation des tables ... suivez l'Azote ! (3 points)

- A) Vous sortez à 10 h 00 d'une plongée. Votre groupe est « L ». A 14H00 vous replongez à 20 m.
 Vos réponses doivent être illustrées de schéma.
- Combien de temps pouvez-vous y rester si vous ne souhaitez pas faire de palier ? (0,5 point)
 - Quelle est la tension d'azote du tissu directeur après la 2^{ème} plongée ? (0,5 point)



Temps max plongée sans palier 23 min (+ 17 min majo)

TN2 en fin de 2^{ème} plongée = 1,16 (correspond au GPS H de 20 m/40 min)

- B) Lors d'un voyage « plongée » type croisière en eau chaude, vous programmez 2 plongées dans la journée :
- L'une le matin à 30m pendant 35min,
 - L'autre l'après midi à 20m pendant 50min après un intervalle surface de 3h02

Pour votre confort, vous choisissez de faire 1 plongée sur 2 au Nitrox. En début de journée, le club d'accueil vous met à disposition 2 blocs préparés. L'un avec de l'air, l'autre avec un mélange Nitrox 40/60. Prenez-vous le mélange Nitrox le matin ou l'après-midi ? Justifiez en faisant les calculs des 2 solutions de décompressions en utilisant les tables fédérales MN90. (2 points)

Cas 1 : AIR puis NITROX

30m-35min ...GPS J=1,24..... chute à 0,96 après 3h à l'air

20m-50min au Nitrox 40-60 équivaut à 12,5m soit 15m-50min à l'air... soit une MAJO de 30min (TN2=0,99-15m)... on regarde donc 15m/80min soit 2min à 3m pour un GPS de J (TN2=1,24)

Cas 2 : NITROX puis AIR

30m-35min au Nitrox 40-60 équivaut à 20m-35min à l'air ...GPS G=1,11..... chute à 0,91 après 3h à l'air

20m-50min à l'air... soit une MAJO de 13min (TN2=0,92-20m)... on regarde donc 20m/63min soit 16min à 3m pour un GPS de K (TN2=1,29)

L'Azote résiduel est plus faible dans le 1^{er} cas. Le Nitrox en 2^{ème} permet d'augmenter le gradient lorsque la courbe de désaturation s'aplatit à l'air.

QUESTION 2 - Différents modèles de désaturation (9 points)

- a) Afin d'expliquer les modèles de désaturation les plus courants, vous expliquerez pour les modèles Haldanien (1908), Bullman 1980, VPM (1986), RGBM (1991) (6 points) :
1. Le nombre de compartiments
 2. Le principe (loi) de charge/décharge du modèle
 3. Les critères de détection de l'ADD

Remarque : le nombre exact de compartiment n'est pas très important dans la notation. La cohérence d'augmenter le nombre entre Haldane et Bühlmann puis baisser entre VPM et RGBM est plus important).

Modèle Haldanien de 1908 : Hypothèses :

- 1- Notion de compartiments anatomiques (5 périodes: 5min, 10min, 20min, 40min, 75min)
- 2- Charge et décharge exponentielle basée sur la loi de Henry dans une phase liquide (dissolution)
- 3- Notion de Sc (2,2 pour les 5 compartiments) comme critères d'apparition des accidents. Basé sur l'observation des chèvres. (Les MN90 (12 compartiments) basées sur l'observation des accidents)

Modèle Bühlmann de 1980 : Hypothèses :

- 1- Notion de compartiments anatomiques (16 compartiments) augmentant par rapport à Haldane pour être plus précis et tenir compte de l'azote dans les plongées à répétition (T plus importante).
- 2- Charge et décharge exponentielle basée sur la loi de Henry dans une phase liquide (dissolution)
- 3- Notion de M. VALUES ... idem Sc mais ~~variant avec la profondeur~~ avec une expression mathématique différente qui prend en compte le compartiment et la profondeur (permet de corriger l'air alvéolaire) et calé sur des statistiques accidents ET avec la possibilité d'augmenter/durcir le modèle par choix du plongeur)

Modèle VPM de 1986: Hypothèses :

- 1- Notion de compartiments anatomiques (16 compartiments)
- 2- a) Charge et décharge exponentielle basée sur la loi de Henry dans une phase liquide (dissolution)
b) Equations spécifiques d'échange de N_2 entre les microbulles et la phase dissoute : modèle à croissance de bulles.
- 3- Le seuil ne se détermine pas à partir de Sc/TN_2 max. Il s'agit de 2 paramètres :
a) Un ~~volume critique de~~ taille critique de bulle à ne pas atteindre (sinon augmentation très rapide et devient pathogène)
b) Un nombre maxi de microbulles exprimé sous la forme d'un volume de bulles acceptable (retour par expérience doppler)

Modèle RGBM de 1991: Hypothèses :

- 1- Notion de compartiments anatomiques (11 compartiments) : réduit pour diminuer l'effet pénalisant du VPM
- 2- a) Charge et décharge exponentielle basée sur la loi de Henry dans une phase liquide (dissolution)
b) Equations spécifiques d'échange de N_2 entre les microbulles et la phase dissoute : modèle à croissance de bulles.
- 3- Le seuil ne se détermine pas à partir de Sc/TN_2 max. Il s'agit de 2 paramètres :
a) Un volume critique de taille de bulle à ne pas atteindre (sinon augmentation très rapide et devient pathogène)
b) Un nombre maxi de microbulles (retour par expérience doppler)

- b) Citer un à plusieurs exemples d'ordinateurs vendus dans le commerce correspondant aux (ou inspirés des) modèles précédents (1 point)

Les exemples ci dessous sont des exemples

Haldane : inspiration pour MN90

Bühlmann : Uwaterc/scubapro Galileo, table Bühlmann

VPM : Eon

RGBM : Suunto, Mares

- c) Comment certains ordinateurs tentent de prendre en compte des paramètres physiologiques dans leur calcul de désaturation ? (1 point)

=> Adaptation de certains modèles par « durcissement » des paramètres si les ordinateurs sont équipés de capteurs :

- Sondes pressions pour l'analyse de la consommation (effort, l'essoufflement)*
- Capteur de température pour l'incidence sur la dissolution de l'azote*
- Cardiofréquencemètre pour l'augmentation de la perfusion (rythme cardiaque)*

=> Prise en compte des attentes des plongeurs selon leur physiologie: durcissement du protocole de façon manuel par le plongeur selon plusieurs niveaux selon les marques.

- d) Sur un stage préparation au GP de 12 jours que vous organisez, quels moyens de désaturation proposez-vous à vos encadrants (1 point)

Il n'y a pas de réponses uniques. Les réponses doivent

- être sécuritaires pour les plongeurs et moniteurs*
- être choisies en fonction de l'enchaînement des plongées.*

Les notions de durcissement en cas de problème doivent être évoquées.

Les notions d'homogénéisation doivent être évoquées.

QUESTION 3 - L'accident (8 points)

Un moniteur MF1 expérimenté sur des formations N1 et N2, encadre pour la première fois un stage de 2 plongeurs N2 préparant le N3. Lors d'un cycle d'apprentissage sur l'assistance à 40 m, il impose la désaturation à ses stagiaires sur la base de son ordinateur 1^{ère} génération. Il effectue 3 jours de suite :

- Deux remontées depuis 40 m jusqu'à 10 m pour travailler l'assistance suivie d'une redescente à 40 m pour 5 min d'exploration. En fin de plongée, la désaturation proposée par l'ordinateur du MF1 et réalisée par les plongeurs correspond à un palier de 1 min à 3 m, ils ressortent des plongées du matin vers 11h30.*
- Ils se réimmergent vers 14h00 pour réaliser 2 remontées de 20 m à la surface pour travailler sur du renforcement des techniques spécifiques « panne d'air et perte de connaissance ». Le moniteur et les deux plongeurs suivent là encore les 2 min à 3 m lues sur son ordinateur 1^{ère} génération pour la désaturation de la palanquée.*

Au palier, un des préparant N3 s'amuse en réalisant des expirations brusques pour faire des cercles de bulles. Au 3^{ème} jour, ce plongeur en formation a des vertiges et ressent des nausées après être remonté sur le bateau par l'échelle avec son bloc de plongée.

- a) Quel accident suspectez-vous ? Exposez son mécanisme et les facteurs aggravants dans le cas concret évoqué. Vous pouvez vous aider de schémas si vous le souhaitez ? (5 points)

Le candidat doit faire preuve de capacité de synthèse et d'illustration de connaissances acquises dans les niveaux précédents.

Ils doivent développer le mécanisme de l'ADD de l'oreille interne. Le schéma doit faire apparaître la localisation possible des bulles pathogènes.

L'oreille interne est dotée d'une vascularisation artérielle terminale, moins efficace en échange gazeux et donc plus sensible à l'ADD.

Dans l'exemple, les facteurs favorisants sont :

- Durée de plongée et nombre de remontées (3) de la plongée à 40m*
- Plongée avec des remontées et donc apparition de microbulles*
- Choix de l'intervalle de surface*
- Choix de faire des plongées yoyo sur la 2^{ème} plongée de la journée*
- Hyperpression pulmonaire au palier*
- Effort à l'échelle : pression/dépression des muscles et tension artérielle : création de noyaux gazeux*

- b) Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la désaturation en stage N3 ? (3 points).

Le jury sera attentif à l'approche transversale : choix du moyen de décompression/prévention ADD/ planification et organisation.

1- Insister sur l'organisation d'une journée ou d'un stage. Exemple de timing

- Nage*
- 1 profonde le matin avec yoyo selon préconisation CTN (2 de 40m, 3 de 30m, 4 de 20 m...80m en cumulé)*
- Augmenter la durée de l'intervalle entre 2 plongées (4h minimum). Possibilité d'animer de la théorie sur cet intervalle*
- 2^{ème} plongée de profondeur inférieure, sans effort, sans remontée*

2- Insister sur la partie prévention des ADD par les moniteurs et pour les plongeurs (hyperpressions...etc) : briefing des moniteurs et observations des moniteurs sous l'eau

3- mise à jour des connaissances des moniteurs sur les moyens de désaturation.

Décompression.

QUESTION 1 : accidents de plongée (6 points)

Lors d'un week-end de préparation à l'examen de guide de palanquée, des plongées à 40 mètres sont organisées tous les matins. Luc, 50 ans, très fatigué avant d'arriver, stressé à l'idée de ne pas de ne pas réussir les exercices ... Il n'a rien mangé ni bu au petit-déjeuner et il a très mal dormi. Il ne dit rien ni à l'encadrement, ni à ses camarades.

Dimanche matin, après une plongée technique à 40 mètres, il a beaucoup de mal à remonter à l'échelle du bateau (sensation de jambes molles), puis sur le pont en aidant à déplacer des blocs bouteilles, il se plaint d'une violente douleur lombaire.

- Quel accident suspectez-vous ? (1 pt)
- Quelles sont les hypothèses physiopathologiques à l'origine de ce type d'accident ? (2 pts)
- Pour Luc, quels ont été tous les facteurs favorisants, avant, pendant et après la plongée ? (3 pts)

QUESTION 2 : modélisation de l'organisme (4 points)

Compte tenu de l'extrême complexité de l'organisme, le calcul de la désaturation impose qu'on utilise une modélisation mathématique.

- Justifiez cette affirmation (1 pt)
- Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent (2 pts)
- Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique (1 pt)

QUESTION 3 : procédures de désaturation (6 points)

- Comment justifiez-vous auprès de votre stagiaire pédagogique l'utilité de l'enseignement des tables fédérales dans un cursus de formation de plongeurs FFESSM alors que la plus part d'entre eux n'utilisent plus qu'un ordinateur ? (2 pts)
- Quels sont les principaux paramètres pris en charge par les ordinateurs « nouvelle génération » ? (2 pts)
- Quel est l'impact de la prise en compte de ces paramètres sur les procédures de désaturation ? (2 pts)

QUESTION 4 : l'accident « immérité » en plongée (4 points)

- Que signifie pour vous l'expression « accident immérité » ? (1 pt)
- (Vous donnerez une définition et les causes de survenue les plus fréquemment observées)
- Que peut-on faire pour limiter leur survenue ? (3 pts)

Référentiel de correction

QUESTION 1 : accidents de plongée (6 pts)

Lors d'un week-end de préparation à l'examen de guide de palanquée, des plongées à 40 mètres sont organisées tous les matins. Luc, 50 ans, très fatigué avant d'arriver au stage, stressé à l'idée de ne pas de ne pas réussir les exercices. Il n'a rien mangé ni bu au petit-déjeuner et il a très mal dormi. Il ne dit rien ni à l'encadrement, ni à ses camarades.

Dimanche matin, après une plongée technique à 40 mètres, il a beaucoup de mal à remonter à l'échelle du bateau (sensation de jambes molles), puis sur le pont en aidant à déplacer des blocs bouteilles, il se plaint d'une violente douleur lombaire.

a) Quel accident suspectez-vous ? (1 pt)

Accident de désaturation de type II, neurologique avec atteinte médullaire

b) Quelles sont les hypothèses physiopathologiques à l'origine de ce type d'accident ? (2 pts)

- Présence de bulles d'azote dans la micro circulation (capillaires) : ralentissement*
- Manchons gazeux : blocage, anoxie*
- Blocage du retour veineux (en particulier des veine épidurales), stase et sursaturation des veines de la moelle épinière*
- Nécrose médullaire avec œdème, hémorragie... (Ischémie et anoxie)*

d) Pour Luc, quels ont été tous les facteurs favorisants, avant, pendant et après la plongée ? (3 points)

AVANT :

- Déshydratation*
- Fatigue générale, manque de sommeil*
- Stress physique/psychique*
- Etat physique et psychique inadapté à un stage de N4 très soutenu*
- Âge > 40 ans*
- Etat d'hypoglycémie*

PENDANT :

- Eau froide, stress*
- Efforts physiques, manque d'entraînement*
- Répétition de 2 plongées saturantes*
- Profils de remontées avec vitesse trop rapide ?*

APRES :

- Efforts*
- Déshydratation*
- Froid*

QUESTION 2 : modélisation de l'organisme (4 pts)

Compte tenu de l'extrême complexité de l'organisme, le calcul de la désaturation impose qu'on utilise une modélisation mathématique.

a) Justifiez cette affirmation (1 pt)

L'organisme est beaucoup trop complexe et présente trop de différences individuelles dont certaines ne sont pas prévisibles pour être l'objet d'un calcul de type mathématique. Nécessité d'utiliser un modèle.

b) Définissez la notion de compartiment et donnez les paramètres qui le caractérisent (2 points)

- Entité fictive du corps humain ayant un comportement homogène vis-à-vis de la charge et de la décharge d'azote.*
- Défini par sa période (T) et son Seuil de sursaturation Critique (Sc)*

c) Quelles différences faites-vous entre un compartiment et un tissu biologique (1 point)

- Un tissu biologique est un ensemble de cellules ayant une fonction commune
Les tissus ont une réalité anatomique et sont de nature différente : osseux, musculaire, nerveux, etc...*
- Les compartiments sont un ensemble de tissus caractérisés par une même période et un même Sc, ce qui facilite les calculs dans le modèle de Haldane. Par exemple : le compartiment 60 n'est pas un muscle mais une grande partie des muscles ont une période proche de 60 (Fructus)*

QUESTION 3 : procédures de désaturation (6 points)

a) Comment justifiez-vous auprès de votre stagiaire pédagogique l'utilité de l'enseignement des tables fédérales dans un cursus de formation de plongeurs FFESSM alors que la plus part d'entre eux n'utilisent plus qu'un ordinateur ? (2 points)

A détailler par le candidat :

- Obligation des tables sur le lieu de plongée de par le code du sport*
- Règles de base communes*
- Outil d'enseignement FFESSM*
- Plan B en cas de souci avec l'ordinateur*
- Protocole de prise en charge des plongées « anormales ou exceptionnelles »*
- Bon outil pédagogique sur le terrain en terme de planification*
- Aide au choix et à l'achat de l'ordinateur*

b) Quels sont les principaux paramètres pris en charge par les ordinateurs « nouvelle génération » ? (2 points)

A détailler par le candidat (aucune description d'une marque ou d'un modèle particulier d'ordinateur n'est exigée)

- *Altitude*
- *Froid*
- *Bulles circulantes*
- *Vitesse de remontée*
- *Profils*
- *Paliers profonds*
- *Fréquence cardiaque*
- *Consommation*

c) Quel est l'impact de la prise en compte de ces paramètres sur les procédures de désaturation? (2 points)

(A détailler par le candidat) Nécessité d'établir des règles de cohésion au sein de la palanquée :

- *plus pénalisant,*
- *paramètres pris en compte*
- *réglages personnels*

QUESTION 4 : l'accident « immérité » en plongée (4 points)

a) Que signifie pour vous l'expression « accident immérité » ? (1 point)

(Vous donnerez une définition et les causes de survenue les plus fréquemment observées)

D'un point de vue sémantique, l'accident immérité est celui que l'on n'a pas mérité (si tant est qu'un accident puisse l'être). On appelle accident immérité un accident qui survient alors que le profil de plongée ne présente pas, de manière apparente, d'irrégularité technique. C'est à dire que la procédure de décompression a été parfaitement respectée (temps de plongée, vitesse de remontée, paliers). Seulement, s'il y a accident, il y a forcément une cause de l'accident. C'est donc à ce niveau qu'il faut aller chercher des réponses. Il n'y a donc pas d'accident immérité !

b) Que peut-on faire pour limiter leur survenue ? (3 points)

- *Les facteurs favorisants : on a souvent tendance à négliger ces facteurs, pourtant clés, dans l'apparition d'un accident. Ces fameux facteurs qu'on liste depuis le niveau 2, qu'ils soient endogènes (fatigue, stress, mauvaise condition physique,...) ou exogènes (froid, courant, mauvaise visibilité,...) sont souvent négligés au profit du seul respect de la procédure de décompression. Une des raisons de cette négligence est que l'on a souvent tendance à sous-estimer ces facteurs (ou à se surestimer). Il faut donc essayer d'être objectif sur son état physique et mental et très vigilant face à son environnement ! Et ne pas oublier que des excès qui « passaient » à 25 ans*

(remonter l'ancre après une plongée à 40m par exemple) peuvent être à l'origine d'un accident au delà de 40 ans... (1 pt)

- Le FOP : c'est une anomalie anatomique présente chez 25 à 30% des adultes, et donc potentiellement des plongeurs. Il ne suffit pas à lui seul à expliquer tous les accidents survenus malgré une procédure de décompression techniquement irréprochable (sinon 30% des plongeurs auraient un ADD), c'est ce qu'on appelle un facteur favorisant. En effet la plupart du temps la perméabilité du Foramen Ovale est négative au repos et positive à l'effort, d'autant plus que l'effort est associé à un blocage de la respiration. Par ailleurs le FOP laisse passer des bulles circulantes.. celles justement qu'on essaye de limiter grâce aux procédures de décompression. On re-tombe donc ici sur le rappel des règles fondamentales.. pas d'effort après la plongée, pas d'hyperpression thoracique à la remontée et en surface, un respect des procédures de décompression et l'adaptation des profils de plongée à l'état physique et mental du plongeur. (1 pt)*
- Les shunts pulmonaires : certaines zones pulmonaires peuvent être perfusées mais non ventilées. Le sang passe à travers les capillaires pulmonaires sans qu'il y ait d'échanges gazeux au niveau alvéolaire. Lors de la désaturation, en présence d'un apport de microbulles supérieure à la capacité d'élimination du filtre pulmonaire et/ou d'un facteur favorisant : (Valsalva à la remontée, gonflage de gilet à la bouche en surface, retrait d'une combinaison sans fermeture, un effort, une apnée, etc), les bulles ne seront pas éliminées et passeront directement de la petite vers la grande circulation.*
- Les shunts pulmonaires pourraient être responsables d'accidents de type cérébraux ou cochléo-vestibulaires. Ils sont présents chez 10 à 11 % des plongeurs, mais comme dans le FOP, leur présence favorise mais n'implique pas forcément la survenue d'un ADD. (1 pt)*

Décompression.

Durée 1h30 Coefficient 4

Enseignement des tables (14 pts)

Question 1 Enseignement des tables (4 pts)

Quels conseils donneriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour justifier de l'enseignement détaillé des tables fédérales et de leur utilisation à de futurs plongeurs autonomes (N2, N3 ou PA) alors que c'est un moyen de décompression qui n'est que très peu utilisé par les plongeurs formés aujourd'hui.

Question 2. Choix des moyens de décompression (4 pts)

Quelles pistes de réflexion proposeriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour définir le ou les moyens de décompression pouvant être utilisé par des élèves en préparation N3, PA 40 ou PA 60 qui font des plongées techniques nécessitant des remontées le matin et des explorations en autonomie l'après-midi ?

Question 3 La courbe de plongée sans palier (6 pts)

Quelles différences voyez-vous entre la courbe de plongée sans palier des tables et celle de l'ordinateur ? Utilisez le concept de plongée multi-niveaux pour illustrer votre propos. Quels points de vigilance souligneriez-vous avec votre stagiaire pédagogique ?

Utilisation des procédures de décompression (6 pts)

Question 4 (2 pts)

Vous et votre binôme, plongez avec deux ordinateurs RGBM. En vacances en Egypte vous avez fait hier 3 plongées : matin (30m, 45' dont 3' de palier de sécurité), après-midi (après un intervalle de 3h, 18m, 45' sans palier) et nuit (après un intervalle de 4h, 12m, 30' sans palier, sortie de l'eau 21h). Ce matin, votre ordinateur ne démarre pas... la plongée prévue à 10h00 est une plongée carrée sur une épave à 38m, qu'il ne faut surtout pas rater. Quelle plongée faites vous et quel moyen de décompression utilisez-vous ? Quelles recommandations pour le restant de votre séjour ?

Question 5 (2 pts)

Votre stagiaire doit faire travailler des remontées à 2 PN2 dans une fosse de 20m. Quels sont les paramètres de la plongée que vous recommandez à votre stagiaire.

Question 6 (2 pts)

2 plongeurs PA 40 s'immergent à 9h sur un tombant allant jusqu'à 50m. Ils atteignent 36m puis décident de remonter doucement le long du tombant. Au bout de 12' de plongée l'un des plongeurs fait une remontée rapide jusqu'à la surface. Les deux plongeurs ont un ordinateur indiquant un palier profond à 25m, les tables fédérales, issues des MN90 qu'ils ont toujours en sécu dans la poche leur conseillent de s'immerger à mi profondeur, c'est à dire à 18m. Dans quelles conditions et quelle procédure appliquent-ils ?

Référentiel de correction

Enseignement des tables (14 pts)

Question 1 Enseignement des tables (4 pts)

Quels conseils donneriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour justifier de l'enseignement détaillé des tables fédérales et de leur utilisation à de futurs plongeurs autonomes (N2, N3 ou PA) alors que c'est un moyen de décompression qui n'est que très peu utilisé par les plongeurs formés aujourd'hui.

- *L'enseignement des tables est un outil pédagogique très efficace pour enseigner la saturation et la désaturation. Grâce aux différents profils, différentes situations de plongée et au tableau de majoration qui permet d'illustrer de manière très concrète les mécanismes de la décompression. Cela permet également d'expliquer le fonctionnement de l'ordinateur même si les algorithmes utilisés sont assez éloignés de celui utilisé pour les tables. (2 pts)*
- *Les tables permettent d'avoir un moyen de secours pour maîtriser une décompression dans des situations qui ne sont pas gérées par l'ordinateur (les remontées rapides par exemple). (1 pts)*
- *Les tables permettent d'effectuer une programmation aisée de la plongée en surface alors que tous les ordinateurs ne le permettent pas. (1 pt)*

Question 2. Choix des moyens de décompression (4 pts)

Quelles pistes de réflexion proposeriez-vous à votre stagiaire pédagogique pour définir le ou les moyens de décompression pouvant être utilisés par des élèves en préparation N3, PA 40 ou PA 60 qui font des plongées techniques nécessitant des remontées le matin et des explorations en autonomie l'après-midi ?

- *Les plongées techniques nécessitant des remontées répétées ou rapides ne peuvent généralement pas être gérées correctement avec un ordinateur. Seules les tables ont aujourd'hui un protocole permettant de gérer la décompression en cas de remontée rapide. (2 pts)*
- *On ne peut pas faire cohabiter deux moyens de calculer la décompression tant que la désaturation n'est pas terminée. La décompression des plongées de l'après-midi doit donc être gérée par des tables, et cela même si les plongeurs ont le même ordinateur entre les deux immersions. (2 pts)*

Question 3 La courbe de plongée sans palier (6 pts)

Quelles différences voyez-vous entre la courbe de plongées sans palier des tables et celle de l'ordinateur ? Utilisez le concept de plongée multi-niveaux pour illustrer votre propos. Quels points de vigilance souligneriez-vous avec votre stagiaire pédagogique ?

- *La courbe de plongées sans palier des tables représente une plongée carrée : c'est le temps maximal durant lequel on peut rester à la profondeur maximale atteinte sans effectuer de paliers. Il y a donc une marge importante due au fait qu'on ne plonge presque jamais (exception faite des plongées de type épave) pendant le temps total de la plongée à la profondeur maximale d'immersion. (1 pt)*
- *La courbe de plongées sans palier de l'ordinateur est une plongée à la limite du "no deco time" à chaque profondeur atteinte, ce qui a pour conséquence un état de saturation maximale pour un*

profil de plongée donné. C'est donc une situation à risque majorée, dans la mesure où on réduit les marges de sécurité habituelles. (1 pt)

- La plongée multi-niveaux existe dans les tables MT92 ou PADI : elle permet d'ajuster une décompression au plus juste et éviter les paliers très longs dus à une plongée carrée.

Elles ont été développées en plongée professionnelle par des organismes de formation de plongeurs professionnels tels que l'INPP, ou de loisirs (PADI) afin d'offrir aux plongeurs la possibilité de planifier des plongées plus longues sans pour autant faire de palier. (2 pts)

- Il est possible d'effectuer une plongée multi-niveaux à l'aide des tables (MT92, tables PADI ou autres organismes) ou bien à l'aide de l'ordinateur (on reste à une profondeur donnée jusqu'à ce que le « no dec time » soit à zéro, on remonte à la profondeur suivante et on fait la même chose). La plongée multi-niveaux à la table présente un peu plus de marge de sécurité qu'à l'ordinateur (il s'agit d'une succession de petites plongées carrées) mais cette pratique reste relativement risquée puisqu'elle amène le plongeur à s'approcher de la limite haute de saturation pour un profil donné. (2 pts)

Utilisation des procédures de décompression (6 pts)

Question 4 (2 pts)

Vous et votre binôme, plongez avec deux ordinateurs RGBM. En vacances en Egypte vous avez fait hier 3 plongées : matin (30m, 45' dont 3' de palier de sécurité), après-midi (après un intervalle de 3h, 18m, 45' sans palier) et nuit (après un intervalle de 4h, 12m, 30' sans palier, sortie de l'eau 21h). Ce matin, votre ordinateur ne démarre pas... la plongée prévue à 10h00 est une plongée carrée sur une épave à 38m, qu'il ne faut surtout pas rater. Quelle plongée faites vous et quel moyen de décompression utilisez-vous ? Quelles recommandations pour le restant de votre séjour ?

- La plongée a lieu après 9h du matin, soit plus de 12h après la sortie de l'eau. Nous sommes donc dans le cas d'une plongée simple qui peut être faite à l'aide des tables, si chacun des membres de la palanquée a un moyen de mesurer la profondeur et le temps d'immersion. Par contre pour les jours suivants les plongeurs seront limités à 2 plongées par jour. (0,5 pt)

- Les tables fédérales ne sont validées que pour un maximum de 2 plongées / 24h

Le milieu médical hyperbare conseille de respecter un jour sans plongée par semaine.

Cette règle peut être appliquée aux ordinateurs.

Au-delà on rentre dans une utilisation des moyens de décompression empirique et qui comporte des risques. (1 pt)

- L'utilisation de Nitrox peut être intéressante sur des séjours plongée « intensifs », surtout pour des plongeurs qui ne pratiquent pas de manière continue tout au long de l'année. (0,5 pt)

Question 5 (2 pts)

Votre stagiaire doit faire travailler des remontées à 2 PN2 dans une fosse de 20m. Quels sont les paramètres de la plongée que vous recommandez à votre stagiaire.

- L'organisation et l'encadrement de plongées techniques en fosse répondent aux mêmes exigences qu'en mer, les risques liés aux remontées rapides sont similaires. Les seuls facteurs limitant le risque en fosse sont les très bonnes conditions environnementales (visibilité et température de l'eau). (0,5 pt)

- La CTN a fait des recommandations concernant le nombre max de cycles de remontées au cours d'une séance, soit :

- 4 cycles maximum dans la zone des 20 mètres*
- 3 cycles maximum dans la zone des 20 à 30 mètres*
- 2 cycles maximum au delà de 30 mètres*

On appelle cycle une immersion jusqu'à la profondeur de travail suivie d'une remontée jusqu'à la zone de surface (espace proche), ce qui exclue les remontées partielles (départ fond, remontée jusqu'à mi profondeur ainsi que les procédures de sécurité.).

Pour les encadrants, 3 cycles maximum au-delà de 30 mètres et jusqu'à 40 mètres si plongée au nitrox. (1 pt)

- Le stagiaire peut donc effectuer 2 remontées avec chacun de ses élèves si la fosse est de 20m. Il faudra, en cas de remontée rapide, effectuer un palier à mi profondeur et gérer la décompression à l'aide des tables fédérales, issues des MN90. Il est quand même préférable d'arrêter une remontée rapide ou qui va l'être plutôt que de faire la procédure ad hoc ! (0,5 pt)

Question 6 (2 pts)

2 plongeurs PA 40 s'immergent à 9h sur un tombant allant jusqu'à 50m. Ils atteignent 36m puis décident de remonter doucement le long du tombant. Au bout de 12' de plongée l'un des plongeurs fait une remontée rapide jusqu'à la surface. Les deux plongeurs ont un ordinateur indiquant un palier profond à 25m, les tables fédérales, fédérales issues des MN90, qu'ils ont toujours en sécu dans la poche du gilet leur conseillent de s'immerger à mi profondeur, c'est à dire à 18m. Dans quelles conditions et quelle procédure appliquent-ils ?

- Les tables sont le seul protocole validé pour la gestion des remontées rapide, les plongeurs devront donc se ré immerger dans un délai de 3', en l'absence d'un signe d'accident, avec une condition physique et psychologique permettant la ré immersion et avec une autonomie en air suffisante puis utiliser leurs tables pour la gestion de leur décompression avec un palier à mi profondeur. (1 pt)

- La moitié de la profondeur maximale atteinte est une profondeur minimale pour le palier mi profondeur. L'immersion à une profondeur supérieure va donc dans le sens de la sécurité. Il n'y a donc pas de contraindication à redescendre 25m. Toutefois il faut faire attention à la consommation qui sera supérieure et il ne faut pas mélanger les procédures de décompression, il faut donc s'en tenir aux tables. (1 pt)

Décompression.
Durée 1h30 Coefficient 4

Question N°1 (9 pts) : Pierre, peu sportif et fatigué par plusieurs mois de travail intensif pendant l'année s'octroie 6 jours de stage au mois d'avril dans le sud de la France, pour finaliser son niveau 3 qu'il préparait en fosse de plongée. Le stage comporte de nombreux exercices de remontée d'un plongeur en difficulté. Lors du 4^{ème} jour, après avoir respecté sa procédure de décompression, il remonte très fatigué. Il a des vertiges et des troubles de l'équilibre qui rendent la station debout et la marche impossibles.

- A quel type d'accident pensez-vous ?
- Quels en sont les facteurs favorisants dans cet énoncé ? Vous expliquerez succinctement leurs mécanismes dans la survenue de cet accident.
- Quelles mesures de prévention aurait il été souhaitable de prendre ?

Question N°2 (11 pts) : Afin de mieux préparer leurs cours sur la décompression, vos stagiaires vous posent des questions auxquelles vous répondez le plus clairement possible :

- Y a-t-il une durée maximum pour une plongée Nitrox dans le mode d'emploi des tables de plongée FFESSM ? Si oui, quelle est cette durée.
- Lors des plongées successives, plus la deuxième plongée est profonde, moins la majoration est importante. Pourquoi ?
- Définir ce qu'est une M-Value.
- Que signifie « NO DEC TIME » sur un ordinateur de plongée ?
- A quelle profondeur peut-on s'immerger en mer pendant une durée illimitée en respirant de l'air sans faire de palier (on considère que l'air est composé de 80% de N₂ et de 20% d'O₂ et que $SC_{120'} = 1,54$) ?
- Quelles étaient les principales hypothèses du modèle de Haldane ?
- En cas de plongée profonde (60 m), quels éléments prenez-vous en compte pour déclencher la remontée ?
- Quels sont les quatre effets mécaniques produits par les bulles non pathogènes et pathogènes lors de la désaturation ?

Référentiel de correction

Question N°1 (9 pts) : Pierre, peu sportif et fatigué par plusieurs mois de travail intensif pendant l'année s'octroie 6 jours de stage au mois d'avril dans le sud de la France, pour finaliser son niveau 3 qu'il préparait en fosse de plongée. Le stage comporte de nombreux exercices de remontée d'un plongeur en difficulté. Lors du 4^{ème} jour, après avoir respecté sa procédure de décompression, il remonte très fatigué. Il a des vertiges et des troubles de l'équilibre qui rendent la station debout et la marche impossibles.

a) A quel type d'accident pensez-vous ? **(1 pt)**

Accident de désaturation de l'oreille interne : vertiges et trouble de l'équilibre.

b) Quels en sont les facteurs favorisants dans cet énoncé ? Vous expliquerez succinctement leurs mécanismes dans la survenue de cet accident. **(4 pts)**

- *La sédentarité : augmente les shunts pulmonaires, diminue les performances du métabolisme et l'élimination des toxines (en particulier l' N_2) (1 pt)*
- *La fatigue (travail intensif) : rôle peu clair. (0,5 pt)*
- *Les plongées successives et saturantes, les remontées rapides et les yoyos (exercices de type IPD dans la zone des 40m) empêchent une élimination totale de l'azote. Les compartiments longs gardent une certaine tension d'azote qui s'ajoute à celle émise par les plongées successives. On arrive donc plus rapidement à un dépassement du seuil de sursaturation critique. (1 pt)*
- *Le froid (au mois d'avril on peut supposer que l'eau est entre 12°C et 16°C), par plusieurs mécanismes : (1,5 pts)*
 - *Vasoconstriction périphérique : l'azote se dissout moins dans la peau, donc en plus grande partie dans les autres tissus*
 - *La production accrue de CO_2 par les frissons → amorces de noyaux gazeux*
 - *La déshydratation : la diurèse d'immersion est potentialisée par le froid (vasoconstriction périphérique → augmentation du bloodshift)*

c) Quelles mesures de prévention aurait-il été souhaitable de prendre ? **(4 pts)**

Les moyens de prévention auraient été dans ce cas :

- *Se préparer physiquement et se reposer avant le stage*
- *Limiter les profils de plongées anormales*
- *Diminuer le temps des plongées saturantes*
- *Avoir une demi-journée de repos durant le stage*
- *Augmenter la valeur de conservatisme de son ordinateur*
- *Plonger au Nitrox*
- *Pour lutter contre le froid, de se couvrir avant et après la plongée.*
- *S'hydrater et s'alimenter correctement*

Question N°2 (11 pts) : Afin de mieux préparer leurs cours sur la décompression, vos stagiaires vous posent des questions auxquelles vous répondez le plus clairement possible :

- a) Y a-t-il une durée maximum pour une plongée Nitrox dans le mode d'emploi des tables de plongée FFESSM ? Si oui, quelle est cette durée ? **(0,5 pt)**

Oui : 2 heures (effet Lorrain Smith)

- b) Lors des plongées successives, plus la deuxième plongée est profonde, moins la majoration est importante. Pourquoi ? **(1 pt)**

La majoration est le temps qu'il faudrait passer à la profondeur de la 2^{ème} plongée pour avoir la même quantité d'azote dissous que celle que l'on a en début d'immersion. Cette quantité sera atteinte plus rapidement quand la profondeur est plus importante -> donc la majoration sera moins importante.

- c) Définir ce qu'est une M Value. **(2 pts)**

Le M signifie maximum pour une pression ambiante donnée. C'est la tension maximale qu'un compartiment (tissu) hypothétique peut supporter sans présenter de symptômes de la maladie de désaturation à une profondeur donnée. Les M Values représentent la limite de l'écart toléré entre la tension du gaz inerte et la pression ambiante, et ce pour chaque compartiment. Elles varient selon la profondeur, contrairement aux Sc des tables fédérales qui sont fixes.

- d) Que signifie « NO DEC TIME » sur un ordinateur de plongée ? **(0,5 pt)**

C'est le temps restant sans palier à la profondeur à laquelle on se trouve.

- e) A quelle profondeur peut-on s'immerger en mer pendant une durée illimitée en respirant de l'air sans faire de palier ? (on considère que l'air est composé de 80% de N₂ et de 20% d'O₂ et que SC_{120'} = 1,54). **(1 pt)**

On prend comme référence le compartiment le plus long à atteindre la saturation totale, c'est-à-dire le compartiment 120 minutes (Sc = 1,54). On recherche la profondeur à laquelle cette saturation est atteinte en plongée à l'air :

PPN₂ = Pabs x %(N₂ dans l'air respiré) → Pabs = 1.54 / 0,8 = 1,925 soit 9,25 m

- f) Quelles étaient les principales hypothèses du modèle de Haldane ? **(2.5 pt)**

- *Equilibre PpO₂ /TN₂ instantané au niveau alvéolaire (diffusion) et équilibre TN₂/PpO₂ instantané au niveau tissulaire (diffusion). (0,5 pt)*
- *L'organisme est découpé en compartiments indépendants (pas de transfert entre eux) ayant une même période et un même Sc. Les compartiments échangent de l'azote uniquement avec le sang (modèle par perfusion). (0,5 pt)*
- *La charge et la décharge en azote sont symétriques dans chaque compartiment suivant une fonction exponentielle. (0,5 pt)*

- *L'apparition des bulles pathogènes intervient lorsque le rapport entre la tension de N2 et la pression ambiante est supérieure à 2. (0,5 pt)*
 - *La vitesse de remontée jusqu'au 1er palier n'a pas d'influence sur la décharge en N2 des compartiments. (0,5 pt)*
- g) En cas de plongée profonde (60 m), quels éléments prenez-vous en compte pour déclencher la remontée ? **(1,5 pt)**
- Le premier des critères suivant apparaissant au sein de la palanquée déclenchera la remontée :*
- *fixer un temps maximum au fond : celui qui permet de faire le moins de paliers possibles en fonction de la DTR envisagée*
 - *fixer un temps maximum de DTR en fonction de la plongée envisagée*
 - *fixer une pression minimum dans la bouteille*
 - *apparition du premier palier à 6 m*
 - *évidemment, incident au sein de la palanquée : narcose, essoufflement*
- h) Quels sont les quatre effets mécaniques produits par les bulles non pathogènes et pathogènes lors de la désaturation ? **(2 pts)**
- *Abrasion : usure des parois vasculaires due au passage des bulles dans les vaisseaux (0,5 pt)*
 - *Dilacération : déchirement créé par une bulle ou un tissu (0,5 pt)*
 - *Compression : la dilatation de la bulle comprime un tissu ou des vaisseaux (0,5 pt)*
 - *Oblitération : blocage des vaisseaux (0,5 pt)*

Décompression.
Durée 1h30 Coefficient 4

Question 1 Les facteurs de risque des accidents de désaturation (7 pts)

Pour chacun des facteurs de risques suivants, indiquez brièvement leur implication dans le mécanisme des accidents de désaturation :

- a) Les plongées successives répétées
- b) L'essoufflement
- c) La déshydratation
- d) Le froid en plongée
- e) L'effort pendant ou après la plongée
- f) Monter en altitude ou prendre l'avion précocement après une plongée

Question 2. Les modèles de désaturation (7 pts)

- a) Définissez la notion de seuil de sursaturation critique (S_c) dans les tables fédérales
- b) Donnez une définition des M-Values. En quoi diffèrent-elles des S_c de Haldane ?
- c) Décrivez brièvement le modèle RGBM utilisé par certains ordinateurs.
- d) Quelles améliorations Bühlmann a-t-il apportées aux modèles de type Haldanien ?

Question 3 L'utilisation des ordinateurs de plongée (6 pts)

A) Vous partez pour une croisière en Egypte d'une durée de 15 jours. Des plongeurs de chez PADI effectuent 4 plongées par jour. Vous interpellez leur dive master à ce sujet. Il vous répond que cela ne pose aucun problème, car les plongées sont toutes effectuées dans la courbe de sécurité, tous les clients sont équipés d'ordinateurs et ceux-ci n'affichent jamais de palier.

- a) Qu'en pensez vous ? Argumentez votre réponse en vous appuyant sur vos connaissances en matières de décompression
- b) Alain et Hervé, clients PADI, ont entendu votre conversation, et sont un peu inquiets quant aux risques de survenue d'un accident de désaturation. Quels conseils leur donnez-vous concernant leur planning de plongée ?

B) Vous êtes délégué par votre CTR pour participer à un examen de guide de palanquée. Tous les candidats et encadrants sont équipés d'ordinateurs de plongée. Lors de la réunion préparatoire du jury, les organisateurs proposent de mettre en place un pendeur pour permettre aux palanquées ayant dépassé la vitesse de remontée maximale d'effectuer un palier de 5 minutes à mi-profondeur.

Qu'en pensez-vous ? Argumentez votre réponse en vous appuyant sur vos connaissances en matière de décompression

C) Lors de la présentation des épreuves du MF2, le directeur de votre stage a demandé aux candidats équipés d'ordinateurs permettant d'effectuer des paliers profonds de désactiver cette fonction. Expliquez-en les raisons en vous appuyant sur vos connaissances en matière de décompression

Référentiel de correction

Nb les références évoquées dans les corrections le sont à titre documentaire. Il n'est évidemment pas demandé aux candidats de les citer.

Question 1 Les facteurs de risque des accidents de désaturation (7 pts)

Pour chacun des facteurs de risques suivants, indiquez brièvement leur implication dans le mécanisme des accidents de désaturation :

a) Les plongées successives répétées (1 pt) :

- *L'étude DAN Europe (Safe dive) a montré que lors des plongées successives rapprochées la quantité de bulles détectables à l'issue de la plongée était près de deux fois supérieures que lors d'une plongée simple. A limiter en respectant un intervalle de 3 à 4 heures entre chaque plongée.*
(BONNIN J.-P. et coll., La plongée sous-marine sportive, Masson, 1999)
- *Empêchent l'élimination totale de l'azote, en particulier au niveau des compartiments lents : l'ordinateur affiche des désaturations supérieures à 24h.*
- *Cette tension résiduelle s'ajoute à l'azote dissout pendant la plongée suivante et on arrive plus rapidement à la sursaturation critique de certains compartiments.*

b) L'essoufflement (1 pt) :

- *Provoque une augmentation de la perfusion tissulaire de l'azote.*
- *Augmente la quantité de CO₂ produit par l'organisme, ce qui :*
 - *favorise l'apparition de noyaux gazeux (affinité N₂/CO₂)*
 - *perturbe l'élimination de l'azote au niveau pulmonaire : la ventilation superficielle aux dépends de l'expiration est moins efficace.*

c) La déshydratation (1 pt) :

- *Diminue la fluidité du sang → écoulement plus difficile → diminution de l'élimination de l'azote au niveau du filtre pulmonaire.*
- *Augmente l'effet Sludge, en cas d'accident.*
- *Après la plongée : L'hypovolémie provoque une baisse de la pression artérielle, une augmentation de la fréquence cardiaque ce qui altère la perfusion et donc le dégazage.*
(Physiologie & médecine de la plongée Broussolle-Méliet-Coulange).

d) Le froid en plongée (1,5 pt)

- *Augmentation de la production de CO₂ (idem essoufflement)*
- *L'augmentation du rythme ventilatoire et cardiaque pour produire de la chaleur → augmentation de la surface de contact (+ d'alvéoles en fonctionnement) → augmentation de la vitesse de la dissolution N₂*
- *Provoque une vasoconstriction au niveau de la peau (2ème tissu par ordre d'importance) → surcharge des autres compartiments qui absorbent une partie de l'azote qui lui serait normalement destinée*

e) L'effort pendant ou après la plongée (1,5 pt)

Pendant la plongée

- L'augmentation du rythme ventilatoire et cardiaque pour évacuer le CO₂ en excès → augmentation de la surface de contact (+ d'alvéoles en fonctionnement) → augmentation de la vitesse de la dissolution N₂, de la perfusion tissulaire et de la quantité d'azote dissous.
- Provoque une augmentation du CO₂ dissous → augmentation du nombre de noyaux gazeux.
- Ces noyaux gazeux vont absorber de l'azote ce qui augmente la quantité de bulles circulantes.

Après la plongée

- Les microbulles formées à la remontée peuvent être détectées au Doppler : limiter l'activation métabolique et la production de CO₂ par l'effort
(Sport-Santé-Sécurité Fructus-Sciarli)

f) Monter en altitude ou prendre l'avion précocement après une plongée (1 pt) :

- En altitude la PpN₂ est plus basse, donc le gradient augmente.
- Les tissus atteignent plus vite leur seuil de sursaturation critique
- Altitude : attendre 6 à 12 H
- Avion : attendre 12 à 24 H

Question 2. Les modèles de désaturation (7 pts)

a) Définissez la notion de seuil de sursaturation critique (Sc) dans les tables fédérales (2 pts)

- $Sc = TN_2 / Pabs$
- Représente la valeur maximum du rapport entre la tension d'azote (TN₂) au sein d'un compartiment et la pression absolue (Pabs) à laquelle ce compartiment est exposé sans qu'il ne développe de signes d'ADD.
- Dans le modèle de Haldane et les tables MN90, Sc est fixe pour chaque compartiment.

b) Donnez une définition des M-Values. En quoi diffèrent-elles des Sc de Haldane ? (2 pts)

- Tension maximale d'azote qu'un compartiment peut supporter sans présenter de signes d'ADD à une profondeur donnée.
- Contrairement au Sc qui sont fixes, les M Values varient en fonction de la profondeur pour un même compartiment.

c) Décrivez brièvement le modèle RGBM utilisé par certains ordinateurs. (2 pts)

- C'est un modèle tenant compte des notions de perfusion, de diffusion, et de taille critique des bulles formées dans le système sanguin. Le but est de minimiser le développement et l'accroissement des bulles issues de noyaux gazeux.
- L'organisme produit en permanence des noyaux gazeux de très petite taille, composés de CO₂ et de N₂.
- Ils peuvent servir d'amorces à la constitution de bulles en se « nourrissant d'azote » lorsque les tissus sont sursaturés pendant la plongée.
- A la remontée, la pression ambiante baisse, l'azote s'échappe des bulles par diffusion et leur taille diminue jusqu'à leur disparition.

• *Le but du modèle RGBM est de limiter la croissance des bulles initiées par les noyaux gazeux, en maintenant leur taille à un niveau suffisamment faible pour qu'elles puissent être éliminées par le filtre pulmonaire sans provoquer d'ADD.*

d) Quelles améliorations Bühlmann a-t-il apportées aux modèles de type Haldanien ? (1 pt)

- *Modèle adapté à la plongée en altitude :*
- *Prend l'air alvéolaire comme référence de gaz respiré*
- *Seuils variables comme critère de remontée, chaque compartiment est muni de 2 coefficients a et b déterminés expérimentalement, le seuil est défini par la pression absolue minimum admissible à la remontée.*

Question 3 Utilisation des ordinateurs de plongée (6 pts)

A) Vous partez pour une croisière en Egypte d'une durée de 15 jours. Des plongeurs de chez PADI effectuent 4 plongées par jour. Vous interpellez leur dive master à ce sujet. Il vous répond que cela ne pose aucun problème, car les plongées sont toutes effectuées dans la courbe de sécurité, tous les clients sont équipés d'ordinateurs et ceux-ci n'affichent jamais de palier.

a) Qu'en pensez vous ? Argumentez votre réponse en vous appuyant sur vos connaissances en matière de décompression (1,5 pt)

- *Les ordinateurs de plongée sont basés sur des algorithmes prenant en compte 2 plongées par jour. Au-delà, ils continuent à effectuer les calculs mais leur fiabilité est contestable*
- *Dans ce type de planning de plongée, la désaturation ne revient jamais à zéro, il existe une accumulation progressive d'azote dans les tissus*

b) Alain et Hervé, clients PADI ont entendu votre conversation, et sont un peu inquiets quant aux risques de survenue d'un accident de désaturation. Quels conseils leur donnez-vous concernant leur planning de plongée ? (1,5 pt)

- *N'effectuer que deux plongées par jour séparées d'un intervalle de surface au moins supérieur à 3 heures.*
- *Passer 24 heures sans plonger au milieu du séjour afin d'éliminer l'azote accumulé*
- *Si plus de deux plongées par jour sont tout de même réalisées:*
 - *Utiliser du Nitrox*
 - *Durcir le conservatisme des ordinateurs - réduire la profondeur - le temps de plongée*

B) Vous êtes délégué par votre CTR pour participer à un examen de guide de palanquée. Tous les candidats et encadrants sont équipés d'ordinateurs de plongée. Lors de la réunion préparatoire du jury, les organisateurs proposent de mettre en place un pendeur pour permettre aux palanquées ayant dépassé la vitesse de remontée maximale d'effectuer un palier de 5 minutes à mi-profondeur. Qu'en pensez-vous ? Argumentez votre réponse en vous appuyant sur vos connaissances en matière de décompression (1,5 pt)

- *La remontée rapide est une situation dangereuse qu'il faut éviter. Cette situation n'a pas été prévue par les concepteurs de la MN90 et ne figure pas dans son mode d'emploi. Les dispositions de secours sont décrites dans l'Instruction pour la Plongée Autonome, doc. IPA 4.4 Marine nationale et adoptées par décision CTN FFESSM (Utilisation des tables fédérales (CTN Info n°29), F. Imbert et J.-L. Blanchard, Subaqua n°162, Janv. Fév. 1999.*
- *Les ordinateurs intègrent généralement des alarmes en cas de remontée rapide et majorent la désaturation par la création de paliers ou l'augmentation de durées des paliers...*
- *Les dispositions MN90-FFESSM (redescente en moins de 3 minutes, paliers de 5 minutes à mi-profondeur) ainsi que les majorations de désaturation proposées par les ordinateurs ne sont pas prévues par les modèles de désaturation et n'ont fait l'objet d'aucune validation scientifique : le plongeur n'est pas à l'abri d'un ADD.*
- *Il faut respecter les indications et procédures conseillées par son propre moyen de décompression.*

C) Lors de la présentation des épreuves du MF2, le directeur de votre stage a demandé aux candidats équipés d'ordinateurs permettant d'effectuer des paliers profonds de désactiver cette fonction. Expliquez-en les raisons en vous appuyant sur vos connaissances en matière de décompression **(1,5 pt)**

- *La pratique des paliers profonds a été proposée pour réduire le nombre de microbulles circulantes à la remontée.*
- *Cependant, leur utilité a été fortement mise en cause en plongée à l'air (ce qui est le cas au MF2..), certaines études montrant même un accroissement du nombre des ADD, (Etude US-Navy, NEDU 2011 - Etude Marine nationale JE BLATTEAU, M HUGON, B GARDETTE, FM GALLAND - Medsubhyp 2005.*
- *Les hypothèses avancées seraient qu'ils ralentiraient l'élimination de l'azote et favoriseraient la poursuite de la charge en azote de certains tissus.*
- *(En revanche, les paliers profonds ont une utilité reconnue en ce qui concerne les plongées au Trimix, car ils favorisent l'élimination de l'Hélium. = réponse non demandée aux candidats)*

Décompression

1. Modèle de désaturation, éléments de calculs et définition (10pts)

De nombreuses procédures de désaturation sont basées sur le modèle de Haldane. En conséquence, dans ses cours théoriques, un moniteur est quasiment contraint d'exposer les principes de ce modèle afin que les plongeurs puissent comprendre et appréhender les limites de ce modèle.

Quels conseils donneriez-vous à un stagiaire pédagogique pour aborder ce thème sur les points suivants :

- **Eviter la confusion fréquemment faite entre un tissu et un compartiment. (2 pts)**
 - Définissez précisément ces deux termes.
 - Précisez l'importance de l'utilisation du vocabulaire adéquat dans un cours de plongée.
- **La majoration. (2 pts)**
 - Définissez cette notion.
 - Justifiez pour quelle raison utilise-t-on le compartiment C120 avec un Sc de 1.54 pour la calculer.
- **Profondeur supérieure ou inférieure pour déterminer la majoration. (2 pts)**

Les militaires utilisent la table MN90 comme moyen de décompression mais leur protocole prévoit que lorsque la profondeur de la seconde plongée n'est pas indiquée, ils doivent prendre la profondeur immédiatement inférieure contrairement au protocole fédéral.

 - A partir de vos connaissances, justifiez le choix fédéral en prenant un exemple.
- **Calculs de la TN₂ dans le compartiment 120 (4 pts)**
 - Calculez la valeur de TN₂
Première plongée 2H00 à 40 m ; Intervalle surface de 2H00 ; Seconde plongée : 2h à 30 m.
 - Représentez graphiquement son évolution pour deux plongées successives, au niveau de la mer et à l'air.
 - Représentez sur ce schéma la majoration en azote.

2. Le protocole des tables fédérales (MN90) (6 points)

En cas de remontée rapide la procédure tables préconise une redescente à mi-profondeur, en moins de trois minutes.

- **A partir de vos connaissances, comment pouvez justifier cette procédure auprès d'un de vos stagiaires pédagogiques ? (2 pts)**
- **Quelles sont les conditions pour appliquer cette procédure d'urgence ? (2 pts)**
- **Quelles en sont les limites ? (2 pts)**

3. Problème de plongée (4 pts)

Deux plongeurs N3 (Paul et Philippe) se retrouvent dans une SCA l'après-midi pour faire une plongée.

Paul à la sortie de sa plongée du matin à un GPS J, car en bon vieux militaire de la royale, il utilise toujours les tables fédérales (MN90). Philippe n'a pas plongé et il utilise un ordinateur RGBM paramétré avec un palier profond (une minute à $\frac{1}{2}$ profondeur) et une vitesse de remontée constante à 10m/mn.

Le responsable du centre, leur propose de voir du gros requin à la vallée blanche. Arrivé sur zone Paul à un intervalle surface de 4h10 et le directeur de plongée fixe comme paramètres de plongée : Prof 30 m, durée 35 mn ou 70 bars de pression résiduelle. Les deux compères respectent scrupuleusement les paramètres annoncés.

- **Indiquez la procédure de décompression que ces deux plongeurs appliqueront.**
- **Quelles sera la durée des paliers réalisée ?**

Référentiel de correction

1. Modèle de désaturation, éléments de calculs et définition (10pts)

Quels conseils donneriez-vous à un stagiaire pédagogique pour aborder ce thème sur les points suivants :

➤ **Eviter la confusion fréquemment faite entre un tissu et un compartiment. (2 pts)**

- Définissez précisément ces deux termes

Tissus :

Tissus anatomiques : tissus réel de nature tel que osseux, musculaire, nerveux, etc.

Compartiment

Ensemble de tissus physiologiques de même nature ou de nature différents se comportant de la même façon en termes de période et de Sc

- Précisez l'importance de l'utilisation du vocabulaire adéquat dans un cours de plongée.

Modélisation du corps humain.

Echantillonnage des tissus de l'organisme et regroupement en compartiments différents.

Un compartiment ne correspond pas directement à un tissu anatomique.

Les compartiments sont caractérisés par une même période et par une contrainte admissible maximale (Sc)

Tables fédérales = 12 compartiments

➤ **La majoration. (2 pts)**

- Définissez cette notion

C'est le temps qu'il aurait fallu passer à la profondeur de la 2^{nde} plongée pour avoir la même quantité d'azote dissout que l'on a au début de cette seconde plongée.

- Justifiez pour quelle raison utilise-t-on le compartiment C120 pour la calculer

Le compartiment 120 minutes est le plus long à se saturer et se désaturer.

C'est le compartiment qui a la valeur la plus faible de CSC (1.54) et sera la dernière à être atteinte vu la période.

➤ **Profondeur supérieure ou inférieure pour déterminer la majoration. (2 pts)**

- A partir de vos connaissances, justifiez le choix fédéral en prenant un exemple.

La procédure marine MN90 impose aux militaires de prendre la profondeur immédiatement inférieure pour des raisons d'habitude opérationnelle et de procédure sécuritaire qui restent identiques aux tables GERS 65 précédemment utilisées.

Exemple :

k - 3H30 surface - 23 m - Durée de plongée 30 mn

23m non renseigné (22 et 25 m)

Marine : 22 m → Maj : 15 mn

FFESSM : 25 m → Maj : 13 mn

Paliers : Identique dans les deux cas 16 mn/3m à 25m*

** Eventuellement, si le temps de plongée diffère (31 mn), la durée de palier sera supérieure avec le protocole Marine.*

Avec l'expérience, le fait de prendre des valeurs immédiatement supérieures pour chaque terme non renseigné dans la table et à chaque étape, entraînait une majoration exagérée et pas forcément adaptée à la plongée militaire d'autant qu'une plongée successive se planifie à l'avance.

Aussi, en 1992 la fédération pour simplifier les procédures à enseigner a décidé de modifier ce protocole pour les tables fédérales.

➤ **Calculs de la TN₂ dans le compartiment 120 (4 pts)**

- Calculez la valeur de TN₂

Première plongée 2H00 à 40 m ; Intervalle surface de 2H00 ; Seconde plongée : 2h à 30 m.

TN₂ après 2H00 à 40 m.

Nombre période 1 → 50 % → 0,5

Pf = 40m ⇒ P_{Abs} = 5b P_{pN₂} = 4b

*0,8 + (4-0,8)*0,5 = 2,4b*

TN₂ après 2H00 en surface.

Nombre période 1 → 50 % → 0,5

Surface ⇒ P_{Atm} = 1b P_{pN₂} = 0,8b

*2,4 + (0,8-2,4)*0,5 = 1,6b*

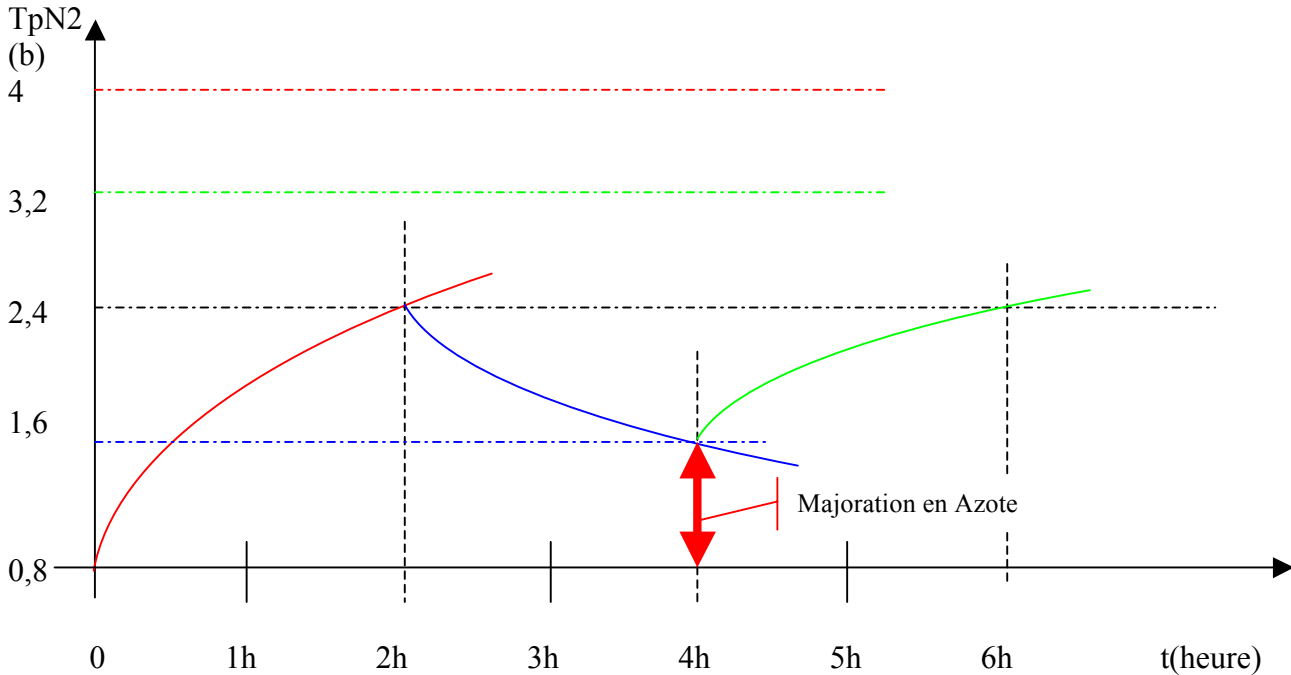
TN₂ après 2H00 à 30 m.

Nombre période 1 → 50 % → 0,5

Pf = 30m ⇒ P_{Abs} = 4b P_{pN₂} = 3,2b

$$1,6 + (3,2-1,6)*0,5 = 2,4b$$

- Représentez graphiquement son évolution pour deux plongées successives, au niveau de la mer et à l'air.
- Représentez sur ce schéma la majoration en azote.



2. Le protocole des tables fédérales (MN90) (6 points)

En cas de remontée rapide la procédure tables préconise une redescente à mi-profondeur, en moins de trois minutes.

- **A partir de vos connaissances, comment pouvez justifier cette procédure auprès d'un de vos stagiaires pédagogiques ? (2 pts)**

Lors d'une remontée rapide, il y a un risque de dépassement du seuil de sursaturation critique (Sc) d'un ou plusieurs compartiments mathématiques et donc risque de dégazage anarchique de certains tissus physiologiques chez le plongeur.

La $\frac{1}{2}$ profondeur :

Pour limiter ces risques, les tables fédérales issues des MN90 sont basées sur la théorie « Haldanienne » tant que le rapport de la TN_2 / P_{abs} est inférieure à 2, il n'y aurait pas de risque d'accident.

Application de cette théorie aux tables fédérales (MN90) pour le compartiment qui possède le plus petit Sc (1,54) soit le C120. Donc, il faut redescendre à une profondeur telle que la pression absolue soit suffisamment importante pour que :

$$TN_2 / P_{abs} \leq Sc$$

On considérera que :

TN_2	/	P_{abs}	$\leq Sc$
$P_{abs} \text{ de la plongée} \times 0,8$	/	$P_{abs} \text{ minimum}$	$= 1,54$
$P_{abs} \text{ de la plongée} \times 0,8$	/	1,54	$= P_{abs} \text{ minimum}$
$P_{abs} \text{ de la plongée}$	\times	0,519	$= P_{abs} \text{ minimum}$

Donc il faut redescendre à une profondeur où la pression absolue sera au moins égale à 0,52 fois la pression maximale subie au cours de la plongée ; c'est à dire par simplification du calcul une $\frac{1}{2}$ fois la profondeur.

Les 3 minutes en surface :

Chez un adulte au repos, le débit cardiaque ventriculaire est de 70 ml par battement pour une fréquence cardiaque de 75 battements par minute, ce qui fait un débit cardiaque de $70 \times 75 = 5\,250$ ml/min, soit 5,25 l/min. Ce volume correspond approximativement au volume sanguin total, d'où un globule donné qui quitte le cœur parcourra tout le système sanguin et reviendra au cœur en une minute.

Donc à partir de cette théorie, si au bout de 3 cycles complet le plongeur ne présente toujours pas de symptômes il peut se réimmerger.

➤ **Quelles sont les conditions pour appliquer cette procédure d'urgence ? (2 pts)**

Cette procédure ne pose aucune difficulté lors de plongée d'enseignement (moniteur/élèves) et en utilisant comme procédures de décompression les tables. En dehors de ce contexte précis, cette procédure de rattrapage est à utiliser sous certaines conditions :

- *Absence de signes cliniques ou de symptômes laissant présumer un accident*
- *Absence de stress chez la personne*
- *Autonomie en gaz suffisante pour permettre la totalité de la décompression*
- *Accompagnement de la personne par un plongeur d'assistance ou d'accompagnement*

➤ **Quelles en sont les limites ? (2 pts)**

Limite procédurale :

Cette procédure ne s'applique que pour une décompression aux tables fédérales (MN90), donc à proscrire à l'ordinateur.

Limite due au modèle :

Présence de micro-bulles circulantes → décharge (désaturation) plus lente (⇒ modèle sigmoïde, modèle à décharge linéaire)

Équilibre alvéolaire ralenti en cas d'engorgement du filtre pulmonaire

Équilibre tissulaire non instantané dans les tissus lents (cartilages articulaires)

Taux de perfusion variable à l'effort (augmentation de la température et de la perfusion)

Composition du gaz alvéolaire différente de celle du gaz respiré (H₂O et CO₂ indépendants de la pression)

Limite physique :

Après réimmersion les micro-bulles migrent dans le sang artériel mais restent sous forme gazeuse. Ces micro-bulles transporteront plus d'N₂ qu'à l'état dissout, donc un risque d'aggravation potentiel de l'accident.

NB : La procédure militaire (MN90) interdit toute nouvelle plongée pendant les 24 heures qui suivent.

3. Problème de plongée (4 pts)

Deux plongeurs N3 (Paul et Philippe) se retrouvent dans une SCA l'après-midi pour faire une plongée.

Paul à la sortie de sa plongée du matin à un GPS J, car en bon vieux militaire de la royale, il utilise toujours les tables fédérales (MN90). Philippe n'a pas plongé et il utilise un ordinateur RGBM paramétré avec un palier profond (une minute à $\frac{1}{2}$ profondeur) et une vitesse de remontée constante à 12m/mn.

Le responsable du centre, leur propose de voir du gros requin à la vallée blanche. Arrivé sur zone Paul à un intervalle surface de 4h10 et le directeur de plongée fixe comme paramètres de plongée : Prof 30 m, durée 35 mn ou 70 bars de pression résiduelle. Les deux compères respectent scrupuleusement les paramètres annoncés.

- **Indiquez la procédure de décompression que ces deux plongeurs appliqueront.**

Paul remontera à la même vitesse que Philippe (12 m/mn) avec son palier à $\frac{1}{2}$ profondeur donc Paul appliquera la procédure de remontée lente pour déterminer les paliers.

Philippe quant à lui effectuera les paliers de Paul car en successive avec une remontée lente c'est lui qui en aura le plus et donc sera le plus sécurisant.

- **Quelle sera la durée des paliers réalisée.**

Paul :

- *Majoraton : $J \rightarrow 4h10 (4h00) = 0.91 \rightarrow 30 \text{ m} = 9 \text{ mn}$*
- *Durée totale de la plongée : $35 + 9 + 2 (30-6/12) + 1 (\frac{1}{2} \text{ prof}) = 47 \text{ mn}$*
- *Paliers : $3 \text{ mn}/6 \text{ m}$ et $36 \text{ mn}/3 \text{ m}$*

Décompression

Durée 1h30 Coefficient 4

1. Connaissances des procédures de décompression (8 pts)

Complétez ce tableau en comparant les paramètres indiqués pour les tables fédérales et les ordinateurs

<i>Tables fédérales</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Ordinateurs « en général »</i>
	<i>Courbe de plongées sans palier</i>	
	<i>Début de plongée</i>	
	<i>Durée de plongée</i>	
	<i>Vitesse de remontée</i>	
	<i>Durée de la remontée</i>	
	<i>Paliers</i>	
	<i>Fin de plongée</i>	
	<i>Intervalle surface</i>	
	<i>Température de l'eau</i>	
	<i>Fatigue/Stress/Effort</i>	
	<i>Palier profond</i>	
	<i>Plongée en altitude</i>	
	<i>Plongée aux mélanges</i>	
	<i>Remontée rapide</i>	
	<i>Paliers à l'O₂</i>	
	<i>Inhalation d'oxygène en surface</i>	

2. Harmonisation de procédures de décompression (2 pts)

Vous êtes directeur de plongée, vous constituez une palanquée avec deux plongeurs niveaux 3 qui utilisent un moyen de décompression différent. L'un utilise la table fédérale et l'autre un ordinateur (RGBM - vitesse de remontée : 10 m/m - palier profond activé).

- Quelle (s) consigne (s) donnez-vous sur la procédure de décompression à adopter ?

3. Facteurs anatomiques favorisant les ADD. (6 pts)

- Citez-les.
- Expliquez leur mécanisme et décrivez en les conséquences physiopathologiques chez le plongeur

4. Accident de Décompression et déshydratation en plongée (4 pts)

Après avoir rapidement cité les phénomènes de déshydratation en plongée, vous expliquerez pour quelle (s) raison (s) elle est considéré comme un facteur favorisant de l'ADD ?

Vous expliquerez pour quelle (s) raison (s) elle est considérée comme un facteur favorisant de l'ADD ?

Référentiel de correction

1. Connaissances des procédures de décompression (8 pts)

Complétez le tableau ci-dessous en comparant les paramètres ci-dessous pour les tables fédérales et les ordinateurs
La correction : 0,5 point attribué par paramètre totalement traité

<i>Tables fédérales</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Ordinateur « général »</i>
<i>Définie précisément</i>	<i>Courbe de plongées sans palier</i>	<i>Variable en fonction de l'algorithme de l'ordinateur</i>
<i>Dès l'immersion (canard)</i>	<i>Début de plongée</i>	<i>Automatique dès - 1 à - 2m ou avec déclenchement manuel</i>
<i>De l'immersion jusqu'au début de la remontée à la vitesse préconisée (15 à 17 m/mn)</i>	<i>Durée de plongée</i>	<i>Jusqu'à l'émergence (Durée totale de la plongée)</i>
<i>15 à 17 m/min</i>	<i>Vitesse de remontée</i>	<i>Vitesse constante (10 à 12 m/mn) ou vitesse variable selon la profondeur.</i>
<i>Indiquée par un tableau (n° 4)</i>	<i>Durée de la remontée</i>	<i>Sous forme de DTR (paliers compris)</i>
<i>Indiqués par tranche de 3 m</i>	<i>Paliers</i>	<i>Profondeur plafond ou tranche de 3 m DTpaliers ou Durée par profondeur</i>
<i>Arrivée en surface</i>	<i>Fin de plongée</i>	<i>Automatique émergence dès - 1 à - 2m</i>
<i>A déterminer</i>	<i>Intervalle surface</i>	<i>Déterminé automatiquement après 5 mn d'émergence</i>
<i>Non prévue</i>	<i>Température de l'eau</i>	<i>Intégrée dans certains algorithmes d'ordinateur</i>
<i>Non prévus</i>	<i>Fatigue/Stress/Effort</i>	<i>Intégrée dans certains algorithmes d'ordinateur</i>
<i>Non prévu</i>	<i>Palier profond</i>	<i>Intégré dans certains algorithmes d'ordinateur (RGBM)</i>
<i>Extrapolation par le calcul pour déterminer la profondeur équivalente</i>	<i>Plongée en altitude</i>	<i>Calcul automatique (Ordinateur paramétré automatiquement ou non)</i>
<i>Extrapolation par le calcul pour déterminer la profondeur équivalente</i>	<i>Plongée aux mélanges</i>	<i>Calculs automatiques (Ordinateurs paramétrés en fonction du mélange)</i>
<i>1^{er} palier de 5mn à mi profondeur à additionner au temps de plongée</i>	<i>Remontée rapide</i>	<i>Protocole non prévu Suivant modèle arrêt du calcul de décompression avec alarme sonore ou indication de paliers</i>
<i>Réduction du temps de palier d' 1/3 sous condition de 5 min d'inhalation O₂ minimum</i>	<i>Paliers à l'O₂</i>	<i>Prévus uniquement sur certains ordinateurs NITROX</i>
<i>Prévue - Tableau n° 3</i>	<i>Inhalation d'oxygène en surface</i>	<i>Non prévu</i>

2. Harmonisation de procédures de décompression (2 pts)

Vous êtes directeur de plongée, vous constituez une palanquée avec deux plongeurs niveaux 3 qui utilisent un moyen de décompression différent. L'un utilise la table fédérale et l'autre un ordinateur (RGBM - vitesse de remontée : 10 m/m - palier profond activé).

- Quelle (s) consigne (s) donnez-vous sur la procédure de décompression à adopter ?

La réponse doit comporter obligatoirement, à minima, ces deux paramètres (vitesse et paliers) sinon 0 à la question.

- *Conserver tout le temps la cohésion de la palanquée*
- *Vitesse de remontée : la plus lente (ordinateur 10 m/mn)*
 ➔ *Le plongeur, utilisant la table fédérale, calculera sa décompression en appliquant le protocole « remontée lente » pour déterminer ses paliers.*
- *Paliers : Prise en compte du modèle de décompression le plus sécurisant*
 ➔ *Celui qui donne le plus de paliers (temps et profondeur)*

3. Facteurs anatomiques favorisant les ADD. (6 pts)

Citez-les.

- a) Le FOP
- b) Les shunts pulmonaires

Expliquez leur mécanisme et décrivez en les conséquences physiopathologiques chez le plongeur

a) Le FOP

Le Foramen Ovale Perméable est une anomalie anatomique qui résulte de la vie embryonnaire. 25 à 30% de la population présente une perméabilité de la paroi inter auriculaires.

A l'état normal, la pression à l'intérieur de l'oreillette gauche est supérieure à celle de l'oreillette droite ; la membrane obturant le foramen ovale est fermée même s'il n'est pas étanche.

Si la quantité de microbulles circulantes est importante, il y aura agglomération des bulles au niveau veineux, ce qui entraîne un ralentissement circulatoire et une augmentation de la pression interne de l'oreillette droite, jusqu'à être sensiblement égale à celle de l'oreillette gauche.

Cela peut suffire pour que la membrane ne soit plus étanche et laisse passer les microbulles dans le cœur gauche.

Elles suivent le trajet Oreillette D → Oreillette G → Ventricule G → Aorte → Crosse aortique et peuvent entraîner un accident de décompression neurologique central (tétraplégie, monoplégie) ou de l'oreille interne (labyrinthique ou cochléaire).

Cependant, la présence d'un FOP chez un plongeur n'entraîne pas forcément un ADD. On retrouve souvent un facteur favorisant son ouverture : Valsalva à la remontée, gonflage de gilet en surface, effort, apnée, etc.

b) Les shunts pulmonaires

Certaines zones pulmonaires peuvent être perfusées mais non ventilées. Le sang passe à travers les capillaires pulmonaires sans qu'il y ait d'échanges gazeux au niveau alvéolaire. Lors de la désaturation, les bulles ne seront pas éliminées et passeront directement de la petite vers la grande circulation.

Ces shunts existent notamment :

- chez le fumeur : le tabagisme augmente la sécrétion de mucus au niveau des bronchioles terminales, ce qui obstrue partiellement les alvéoles.
- Chez l'asthmatique : lors de la crise d'asthme, les bronchioles terminales se spasmant, empêchant le passage de l'air ambiant vers l'alvéole.
- Lors de l'OAP d'immersion : certaines alvéoles sont « noyées » par le liquide qui a traversé la membrane alvéolo-capillaire.
- Dans certaines maladies pulmonaires chroniques (mais qui contre indiquent la plongée.)

Lors de la recherche des causes d'un ADD avec injection de soluté et en l'absence d'un FOP (trans-œsophagien), il a été constaté, en trans-crânien, un shunt pulmonaire à la suite d'un Valsalva. L'hypothèse serait que lors de l'hyperpression thoracique il y a un blocage des échanges gazeux, agglomération des microbulles dans les capillaires alvéolaires et lors du relâchement de l'hyperpression cela entraîne un forçage du lit bulleux alvéolaire avec migration des microbulles dans les capillaires des veines pulmonaires.

Veines pulmonaires → Oreillette G → Ventricule G → Aorte → Crosse aortique ; risque d'accident de décompression neurologique central (tétraplégie, monoplégie) ou de l'oreille interne (labyrinthique ou cochléaire).

Ce phénomène pourrait se réaliser en plongée soit en présence d'un apport de microbulles supérieure à la capacité d'élimination du filtre pulmonaire soit et/ou d'un facteur favorisant le forçage. (Un Valsalva à la remontée, un gonflage de gilet à la bouche en surface, un retrait d'une combinaison sans fermeture, un effort, une apnée, etc).

Les shunts pulmonaires pourraient être responsables d'accidents de type cérébraux ou cochléo-vestibulaires.

Ils sont présents chez 10 à 11 % des plongeurs, mais comme dans le FOP, leur présence favorise mais n'implique pas forcément la survenue d'un ADD.

4. Accident de décompression et déshydratation en plongée (4 pts)

Après avoir rapidement cité les phénomènes de déshydratation en plongée, vous expliquerez pour quelle (s) raison (s) il est considéré comme un facteur favorisant de l'ADD ?

La déshydratation en plongée est principalement consécutive à la diurèse d'immersion, à la diurèse due au froid et à un dessèchement des VAS par une ventilation buccale d'un air sec et froid.

- Vous expliquerez pour quelle (s) raison (s) elle est considérée comme un facteur favorisant de l'ADD ?

La déshydratation résulte d'une élimination du volume plasmatique sanguin par la diurèse. Elle entraîne :

- Une diminution de la fluidité du sang, qui rend son écoulement plus difficile
- Une diminution des performances des échanges gazeux du filtre pulmonaire.

Décompression. Durée 1h30 Coefficient 4

1. Etude de cas (8 pts)

A l'issu d'une séance d'entraînement à l'assistance gilet de 40 m lors d'un stage final préparatoire au niveau 3 organisé sous le soleil méditerranéen, un de vos moniteurs (homme de 45 ans, plongeurs depuis 19 ans, plus de 900 plongée, reconnu comme ne présentant pas de contre-indication à la pratique de la plongée par un médecin habilité) perd l'équilibre et n'arrive plus à se maintenir sur ses jambes quelques minutes après être remonté sur l'embarcation pneumatique.

L'équipe médicale du centre hospitalier diagnostique la présence d'un Foramen Ovale Perméable chez ce moniteur.

- Quels sont les moyens de détection de ce shunt cardiaque ? (1 pt)
- Qu'est-ce que le Foramen Ovale ? (1 pt)
- Expliquer comment la présence de ce shunt joue un rôle favorisant dans l'ADD ? (2 pt)
- Listez les facteurs favorisant l'ouverture du Foramen Ovale et exposez les mécanismes mis en cause dans cette ouverture ? (3 pts)
- Le dépistage systématique du FOP n'est pas pratiqué dans le cadre de la visite de non contre-indication préalable à la pratique de la plongée loisir. Quels conseils donnez-vous à vos futurs encadrants pour qu'ils tiennent compte de cette donnée dans leur démarche d'enseignement ? (1 pt)

2. Utilisation du Nitrox. (6 pts)

Un centre de plongée décide de se doter de matériel Nitrox

- En vous basant sur vos connaissances de la désaturation, expliquez les avantages de ce type de plongée, (2 pts)
- Quelles sont les limites de ce type de mélange ? (2 pts)
- Quelles précautions prenez-vous lors des plongées au Nitrox ? (1 pt)
- Un ADD au Nitrox est-il possible ? Quelles mesures préventives en déduisez-vous pour votre enseignement ? (1 pt)

3. Remontée rapide et redescente à mi profondeur. (6 points)

- Pourquoi la procédure de la Table MN90 impose-t-elle de redescendre à mi-profondeur pendant 5 mn moins de trois minutes après une remontée rapide ? (4 points)
- Quelles sont les limites de cette procédure. (2 points)

REFERENTIEL DE CORRECTION DECOMPRESSION

1. Etude de cas (8 pts)

A l'issu d'une séance d'entraînement à l'assistance gilet de 40 m lors d'un stage final préparatoire au niveau 3 organisé sous le soleil méditerranéen, un de vos moniteurs (homme de 45 ans, plongeurs depuis 19 ans, plus de 900 plongée, reconnu comme ne présentant pas de contre-indication à la pratique de la plongée par un médecin habilité) perd l'équilibre et n'arrive plus à se maintenir sur ses jambes quelques minutes après être remonté sur l'embarcation pneumatique.

L'équipe médicale du centre hospitalier diagnostique la présence d'un Foramen Ovale Perméable chez ce moniteur.

a) Quels sont les moyens de détection de ce shunt cardiaque ? (1 pt)

Les techniques échographiques de dépistages :

- *l'échographie cardiaque trans-œsophagienne*
- *l'échographie Doppler trans-crânienne au niveau de la tempe qui détecte le passage de bulles (sans pour autant identifier l'origine du shunt cardiaque ou pulmonaire).*

b) Qu'est-ce que le Foramen Ovale ? (1 pt)

Le Foramen Ovale, ou trou de Botal, est une particularité anatomique située sur la cloison inter auriculaire. C'est un clapet entre l'oreillette droite et l'oreillette gauche. Le flux sanguin passe à travers le foramen ovale lors de la vie intra utérine, et il se referme après la naissance.

c) Expliquer comment la présence de ce shunt joue un rôle favorisant dans l'ADD ? (2 pt)

La différence de pression entre oreillette gauche et oreillette droite est faible. Dans les conditions physiologiques, les pressions de l'oreillette gauche sont supérieures à celles de l'oreillette droite (donc pas de flux). Toute augmentation de pression intra thoracique risque d'entraîner une ouverture de ce foramen chez certaines personnes : toux, manoeuvre de Valsalva, ou effort musculaire avec blocage respiratoire.

Les bulles veineuses passent alors au niveau de la circulation artérielle → ADD au niveau cérébral.

d) Listez les facteurs favorisant l'ouverture du Foramen Ovale et exposez les mécanismes mis en cause dans cette ouverture ? (3 pts)

- *Dans notre exemple : effort lors de la sortie de l'eau (remontée sur le pneumatique),*
- *Autre causes possibles : effort dans l'eau, gonflage gilet à la bouche, effort hors de l'eau (nage en surface, remontée du mouillage, etc... toute actions ayant pour conséquence une augmentation de la pression intra thoracique.*
- *A cela, s'ajoute le fait que l'immersion favorise le retour veineux et augmente donc, de ce fait, la pression intra auriculaire droite.*
- *Le dépistage systématique du FOP n'est pas pratiqué dans le cadre de la visite de non contre-indication préalable à la pratique de la plongée loisir. Quels conseils donnez-vous à vos futurs encadrants pour qu'ils tiennent compte de cette donnée dans leur démarche d'enseignement ? (2 pts)*
- *On sait que le FOP est présent chez environ 30% de la population. Par ailleurs, il existe une corrélation entre la survenue d'un accident de type II et la présence d'un shunt droite-gauche, estimée à 1 cas pour 7500 plongées (d'après bilan annuel CNMP).*

e) Le dépistage systématique du FOP n'est pas pratiqué dans le cadre de la visite de non contre-indication préalable à la pratique de la plongée loisir. Quels conseils donnez-vous à vos futurs encadrants pour qu'ils tiennent compte de cette donnée dans leur démarche d'enseignement ? (1 pt)

- *S'il y avait détection préventive, il y aurait donc un grand nombre personnes contre indiquées qui n'auraient peut être jamais eu d'accident. Il est donc préférable d'enseigner les moyens d'éviter l'ouverture du FOP, même s'il est présent*

2. Utilisation du Nitrox. (6 pts)

Un centre de plongée décide de se doter de matériel Nitrox

a) En vous basant sur vos connaissances de la désaturation, expliquez les avantages de ce type de plongée, (2 pts)

Moins de saturation en azote donc :

- *Pendant la plongée :*
 - *Temps sans palier augmenté*
 - *Désaturation plus rapide : temps de paliers diminué*
 - *Risque de narcose diminué*
- *Après la plongée:*
 - *Moins de risque d'ADD*
 - *Moins d'intervalle de surface pour une même majoration*
 - *Moins de délais avant un voyage en avion*
- *Pour les moniteurs faisant des formations :*
 - *En eau peu profonde, diminution des temps de palier, diminution de la charge cumulée en N2, diminution de la fatigue.*
 - *Moins de risque d'ADD (à condition d'utiliser des tables à l'air)*
- *Pour tous les plongeurs : intérêt d'effectuer des déco au Nitrox après les plongées profondes*

b) Quelles sont les limites de ce type de mélange ? (2 pts)

- *Equipement spécial*
- *Coût plus élevé*
- *Contrôle rigoureux du mélange*
- *Limites de profondeur : $PpO_2 < 1,6$ ou $1,4$ bar*
- *Respect impératif de la profondeur limite en fonction du mélange utilisé*
- *Utilisation de l'O₂ pur au palier à 3 et 6 mètres uniquement*

c) Quelles précautions prenez-vous lors des plongées au Nitrox ? (1 pt)

- *Utilisation de matériel adapté*
- *Rigueur dans le choix et l'analyse du mélange utilisé*
- *Respect des profondeurs planchers (ne pas prendre de risque en mettant les plongeurs sur un site inadapté).*
- *Attention à l'effet toxique cumulatif de l'oxygène*

d) Un ADD au Nitrox est-il possible ? Quelles mesures préventives en déduisez-vous pour votre enseignement ? (1 pt)

- *Oui, même s'il est plus rare car les profondeurs atteintes sont souvent moins importantes*
- *Une décompression effectuée au Nitrox ne garanti pas que l'on ne fera pas d'ADD et n'autorise pas de prise de risque supplémentaires par rapport aux plongées à l'air*
- *Utilisation d'ordinateurs avec décompression à l'air, ce qui n'optimise pas la durée de la désaturation, mais la rend plus sûre que si elle était effectuée à l'air, et permet des plongées multi-niveaux.*

3. Remontée rapide et redescente à mi profondeur. (6 points)

a) Pourquoi la procédure de la Table MN90 impose-t-elle de redescendre à mi-profondeur pendant 5 mn moins de trois minutes après une remontée rapide ? (4 points)

- *Dans le modèle Haldanien avec 12 compartiments utilisé par la table MN90 (le plus long, de 120 mn, ayant le Sc le plus faible de 1.54), la relation entre TN2 et PAbs ($TN2/Pabs < Sc$) définit pour les compartiments le seuil théorique d'apparition de bulles (« dégazage anarchique »).*
- *Lors d'une remontée rapide il y a risque de dépassement du seuil critique de saturation de certains compartiments et donc risque de dégazage réel dans certains tissus.*
- *Pour limiter ces risques il faut redescendre en un temps inférieur à 3 mn à une profondeur telle que la pression absolue soit suffisamment élevée pour que $Pabs > TN2/Sc$ avec le Sc le plus faible soit 1,54 pour les tables de la MN90.*
- *Si l'on considère (pire des cas) que le tissu long (120') est complètement saturé à la pression correspondant à la profondeur maximale atteinte : $TN2 = Pabs\ max \times 0.8$. On a alors : $Pabs\ max\ de\ la\ plongée \times 0,8 / Pabs\ minimum = 1,54$ et $Pabs\ de\ la\ plongée \times 0,519 = Pabs\ minimum$. Donc il faut redescendre à une profondeur où la pression absolue soit au moins égale à 0,52 fois la pression maximale subie au cours de la plongée, c'est à dire par commodité d'usage à une 1/2 fois la profondeur maximale.*
- *Le temps passé (5 mn) à mi profondeur est justifié pour permettre l'élimination par la circulation et la ventilation des bulles existantes issues de la remontée rapide (devenues plus petites du fait de la pression ambiante)*

b) Quelles sont les limites de cette procédure. (2 points)

- *Cette procédure basée sur un calcul théorique prend plusieurs hypothèses au niveau physiologique :*
 1. *Que le temps en surface inférieur à 3 mn soit suffisamment court pour ne pas permettre le dégazage et l'apparition en nombre important et pathogènes de bulles dans la circulation.*
 2. *Que le temps passé à mi profondeur (5 mn) soit suffisant pour permettre l'élimination par la circulation et la ventilation des bulles existantes issues de la remontée rapide*
 3. *Que le modèle Haldanien s'applique*
- *Or les études récentes montrent qu'il y a apparition de bulles (à partir de noyaux gazeux de CO2) tout au long de la plongée, favorisée par certains paramètres : effort, hyperventilation, vitesse de remontée rapide, pression ambiante. Cette procédure est issue d'hypothèses basée sur des modèles Haldaniens. Elle permet de répondre pratiquement à un problème de décompression en plongée. Mais il existe ailleurs d'autres modèles et procédures.*
- *Par ailleurs il est interdit de réimmerger un plongeur :*



Monitorat fédéral 2^{eme} degré Niolon Septembre 2014

- *présentant des signes d'ADD*
- *Si l'autonomie en air n'est pas suffisante pour assurer la totalité de la décompression.*
- *sans le faire accompagner d'une personne capable de l'assister en cas de besoin*

Décompression. Durée 1h30 Coefficient 4

QUESTION 1 : Utilisation pratique des tables fédérales (7 points)

Problème N°1 (2 pts)

1^{ère} plongée à une profondeur de 52 m pour une durée de 25 mn.

2^{ème} plongée à 15 h à une profondeur de 42 m pour une durée de 17 mn.

- Quel est l'intervalle de surface minimum pour que la seconde plongée entraîne au maximum 25 minutes de paliers ?
- Donnez la profondeur des paliers éventuels, leur durée et l'heure de sortie de la 2^{ème} plongée.

Problème N°2 (3 pts)

1^{ère} plongée à une profondeur de 50 m pour une durée de 25 mn. Heure d'immersion = 10h00

- Donnez la profondeur et la durée des paliers éventuels, l'heure de sortie et le GPS

En surface, respiration à l'air pendant 2h, suivie de 1 h de respiration d'O₂ avant une seconde immersion. 2^{ème} plongée à une profondeur de 30 m avec une remontée rapide et l'arrivée au palier de mi-profondeur à 14h30.

- Donnez la profondeur des paliers éventuels, leur durée et l'heure de sortie de la 2^{ème} plongée.
- Quels auraient été les paramètres de cette 2^{ème} plongée si les plongeurs avaient respiré d'abord 1 h d'O₂, puis 2 h d'air ambiant pendant l'intervalle de surface ?
- Quelle conclusion en tirez-vous ? Justifiez votre réponse.

Problème N°3 (2 pts)

1^{ère} plongée avec un mélange 30% d'O₂ et 70% de N₂. La profondeur atteinte est de 40 m et la durée de la plongée est de 25 mn.

- Donnez la durée des paliers éventuels et leur profondeur ainsi que le GPS.

2^{ème} plongée 2 h plus tard avec un mélange de 40% d'O₂ et 60% de N₂ à la profondeur maximale admissible pour ce mélange. (On considère la PpO₂ à ne pas dépasser = 1,6 b)

- Quelle sera la durée maximale de cette plongée pour qu'elle soit sans palier ?

QUESTION 2 : Accidents de plongée (6 points)

Malgré le respect strict des procédures de plongée, certaines personnes sont victimes d'accidents de désaturation.

- a) D'après les études, quels sont les principaux éléments physiologiques susceptibles d'être à l'origine de tels accidents ?
- b) Définissez les facteurs favorisant la production des bulles et leur migration en y associant les préventions correspondantes.

QUESTION 3 : Microbulles et ordinateurs (7 points)

Différents concepts modélisent le corps humain en compartiments afin de définir des procédures de décompression.

- a) Définissez ce qu'est un « compartiment »
- b) Comment les microbulles se forment-elles ?
- c) Décrivez les principaux modèles de décompression et leurs hypothèses.

PROPOSITION DE CORRECTION

QUESTION 1 : Utilisation pratique des tables fédérales (7 points)

Problème N°1 (2 pts)

1^{ère} plongée à une profondeur de 52 m pour une durée de 25 mn.

2^{ème} plongée à 15 h à une profondeur de 42 m pour une durée de 17 mn.

a) Quel est l'intervalle de surface minimum pour que la seconde plongée entraîne au maximum 25 minutes de paliers ? (1 pt)

- 1^{ère} plongée : $GPS = L$
- Détermination de la durée fictive de la plongée :
 - Paliers de 25 mn (3 mn à 6 m + 22 mn à 3 m) pour une profondeur de 42 m
→ durée fictive de la plongée 25 mn
 - Détermination de la majoration pour cette plongée 25 mn - 17 mn = 8 mn
 - Détermination du taux résiduel de N_2 : Tableau II
 - Profondeur 42 m et majoration de 8 mn → $TN_2 = 0,95$
 - Détermination de l'intervalle : Tableau I
 - $GPS = L$ et $TN_2 = 0,93$ (pour $TN_2 = 0,95$) → intervalle = 4h00

b) Donnez la profondeur des paliers éventuels, leur durée et l'heure de sortie de la 2^{ème} plongée. (1 pt)

- Paliers → 3 mn à 6 m + 22 mn à 3 m, $GPS = K$, durée de la remontée = 4 mn
- Heure de sortie = 15h00 + 0h17 + 0h04 + 0h03 + 0h22 = 15h46mn

Problème N°2 (3 pts)

1^{ère} plongée à une profondeur de 50 m pour une durée de 25 mn. Heure d'immersion = 10h00

a) Donnez la profondeur et la durée des paliers éventuels, l'heure de sortie et le GPS (0,5 pt)

- Paliers : 1 mn à 9 mn ; 8 mn à 6 m et 32 mn à 3 m, $GPS = L$
- Durée de la remontée → 4 mn, donc heure de sortie 10h00 + 25 mn + 5 mn + 41 mn = 11h11

En surface, respiration à l'air pendant 2h, suivie de 1 h de respiration d' O_2 avant une seconde immersion. 2^{ème} plongée à une profondeur de 30 m avec une remontée rapide et l'arrivée au palier de mi-profondeur à 14h30.

b) Donnez la profondeur des paliers éventuels, leur durée et l'heure de sortie de la 2^{ème} plongée. (1 pt)

- Détermination de l'heure d'immersion = 11h11 + 3h00 = 14h11
- Remontée rapide → 5 mn à 15 m,
- Détermination de la durée réelle de la 2^{ème} plongée = 19 mn + 5 mn = 24 mn
- GPS L (1,33) → 2h00 à l'air → GPS F (1,07) tableau I → 1h00 à l'O₂ → TN₂ = 0,90 tableau III
- Détermination de la majoration à 30 m : tableau II : TN₂ à 0,92 et profondeur à 30 m → majoration = 9 mn
- Détermination de la durée fictive de la plongée : 24 mn + 9 mn = 33 mn
- Détermination des paliers : 17 mn à 3 m
- Détermination de l'heure de sortie : 14h11 + 19 mn + 5 mn + 17 mn + 2 mn = 14h54

c) Quels auraient été les paramètres de cette 2^{ème} plongée si les plongeurs avaient respiré d'abord 1 h d'O₂, puis 2 h d'air ambiant pendant l'intervalle de surface ? (1 pt)

- GPS L (1,33) & 1h00 à l'O₂ donne : 1,12 (H=1,16) tableau III → 2h00 à l'air → TN₂ = 0,98
- Détermination de la majoration à 30 m : tableau II : TN₂ à 0,99 et profondeur à 30 m ; majoration = 14 mn
- Détermination de la durée fictive de la plongée : 24 mn + 14 mn = 38 mn
- Détermination des paliers : 24 mn à 3 m
- Détermination de l'heure de sortie : 14h11 + 19 mn + 5 mn + 24 mn + 2 mn = 15h01

d) Quelle conclusion en tirez-vous ? Justifiez votre réponse. (0,5 pt)

Il est préférable d'inhaler l'O₂ juste avant le départ de la 2^{ème} plongée. En effet l'utilisation de l'O₂ juste après la 1^{ère} plongée ne diminue pas significativement le gradient de saturation (partie « descendante rapide » de la courbe de désaturation)

Problème N°3 (2 pts)

1^{ère} plongée avec un mélange 30% d'O₂ et 70% de N₂. La profondeur atteinte est de 40 m et la durée de la plongée est de 25 mn.

a) Donnez la durée des paliers éventuels et leur profondeur ainsi que le GPS. (0,5 pt)

- Pabs à 40 m → 5 b, PpO₂ à 40 m → 1 b (< 1,6 b)
- Détermination de la Pabs équivalente : (5 × 70%) / 80% = 4,375 b
- Détermination de la profondeur équivalente : 33,75 m → soit 35 m.
- Détermination des paliers → 11 mn à 3 m
- Détermination du GPS : I

2^{ème} plongée 2 h plus tard avec un mélange de 40% d'O₂ et 60% de N₂ à la profondeur maximale admissible pour ce mélange. (On considère la PpO₂ à ne pas dépasser = 1,6 b)

b) Quelle sera la durée maximale de cette plongée pour qu'elle soit sans palier ? (1,5 pt)

- Détermination de la Pabs max autorisée : $(1,6 \times 100) / 40 = 4 \text{ b} \rightarrow 30 \text{ m}$
- Détermination de la Pabs équivalente : $(4 \times 60\%) / 80\% = 3 \text{ b}$
- Détermination de la profondeur équivalente : 20 m
- Détermination de la majoration :
- Tableau I $\rightarrow TN_2 = 1$
- Tableau II \rightarrow majoration = 27 mn (avec $TN_2 = 1,03$)
- Détermination de la plongée effective. (0,5 pt)
- 20 m sans palier $\rightarrow 40 \text{ mn} \rightarrow 40 \text{ mn} - 27 \text{ mn}$ (majoration) = 13 mn de plongée effective

QUESTION 2 : Accidents de plongée (6 points)

Malgré le respect strict des procédures de plongée, certaines personnes sont victimes d'accidents de désaturation.

a) D'après les études, quels sont les principaux éléments physiologiques susceptibles d'être à l'origine de tels accidents ? (2 pts)

- Présence d'un Foramen Ovale Perméable ou de shunt pulmonaire
- Dans le cas du FOP, l'augmentation de la pression dans le cœur droit va favoriser le passage de bulles de la petite circulation vers la grande circulation.

b) Définissez les facteurs favorisant la production des bulles et leur migration en y associant les préventions correspondantes. (4 pts)

Analyse des facteurs favorisant la production des bulles et leur migration	Conseils pour leur prévention.
	- Effectuer les plongées dans la courbe de sécurité - Respecter la profondeur des paliers
Plongée dite YOYO	Éviter les plongées YOYO et suivre les recommandations de la CTN : - de 20 m : 4 remontées maximum - de 20 à 30 m : 3 remontées maximum - de 40 m : 2 remontées maximum
Plongée ayant un profil inversé	Éviter les profils inversés
Plongées successives rapprochées	Éviter les plongées successives rapprochées, en particulier les consécutives
Plongée profonde	- Éviter les plongées profondes à l'air (zone de 40 à 60 m) - Privilégier les paliers à l'O ₂
Plongée avec effort	- Éviter les efforts en plongée - Privilégier les plongées au Nitrox
Effort après la plongée	Éviter les efforts après la plongée, pas de

	<i>gonflage gilet à la bouche</i>
<i>Plongée en situation stressante</i>	<i>Une bonne préparation de la plongée et une quiétude d'esprit éviteront le stress</i>
<i>Blocage ventilatoire lors de la remontée</i>	<i>- Remonter lentement en ventilant normalement lors de la remontée et au palier. - Pas de Valsalva à la remontée</i>
<i>Apnée après la plongée</i>	<i>Ne pas faire d'apnée après la plongée</i>
<i>Existence d'un Foramen Ovale Perméable »</i>	<i>Il n'existe pas de prévention pour les « F.O.P. » seul un examen médical approfondi permettra de le détecter à posteriori</i>
<i>Avion après la plongée</i>	<i>Suivre les recommandations de son outil de décompression. éviter de plonger le jour du départ avant de prendre l'avion</i>
<i>Séjour de plongée prolongé (à partir de 2 semaines)</i>	<i>Prévoir 1 jour sans plongée au milieu du séjour</i>

QUESTION 3 : Microbulles et ordinateurs (7 points)

Différents concepts modélisent le corps humain en compartiments afin de définir des procédures de décompression.

- a) Définissez ce qu'est un « compartiment » (0,5 pt)
Les compartiments sont un découpage mathématique du corps humain caractérisés par un même coefficient de sursaturation critique et une même période, et censés simuler le comportement de tissus du corps humain vis-à-vis de la saturation et désaturation en N₂.
- b) Comment les microbulles se forment-elles ? (2,5 pts)
- *Par sursaturation : la tension du gaz dissout dans un liquide est supérieure à la pression ambiante régnant au-dessus de ce liquide (0,5 pt)*
 - *Par tribonucléation : formation de bulles par frottement, c'est le mécanisme d'adhésion visqueuse résultant d'un noyau gazeux avec un tissu en mouvement. (frottement des surfaces articulaires, muscles entre eux, etc.) (1 pt)*
 - *Par cavitation : apparition de bulles produites par l'écoulement d'un liquide autour d'un obstacle, (visible au centre des tourbillons) ; (l'hélice du bateau qui tourne dans l'eau produit des bulles) dans l'organisme ce phénomène se rencontre à plusieurs niveaux (bifurcation de grosses artères, accélération du sang à la sortie du ventricule gauche dans la crosse aortique. (1 pt)*
- c) Décrivez les principaux modèles de décompression et leurs hypothèses. (4 pts)
- *Modèle de Haldane : (1 pt)*
 - *Basé sur la perfusion, les hypothèses principales sont les suivantes :*
 - *Les compartiments échangent de l'azote avec le sang et lui seul*

- Un découpage du corps humain en compartiment purement mathématique
- Il y a équilibre instantané au niveau tissu / sang
- Il y a équilibre instantané au niveau alvéolaire et capillaire
- Il suppose la symétrie de la charge et de la décharge suivant une loi exponentielle.
- Les valeurs des sursaturations critiques sont déterminées empiriquement
- Pour Haldane dans une décompression normale, il n'y a pas de bulles tant que TN_2/P_{abs} ambiante est inférieure ou égale à SC (SC constant étant défini pour chaque compartiment)

- *Modèle de Spencer : (1 pt)*
 - Existence de bulles « silencieuses » :
 - A partir de données expérimentales sur les plongeurs humains, on déduit une courbe limite de décompression entre 6 et 60 m. définie par l'équation : $t_{max} = (465 / P)^2$; et $t_{max} = (500 / P)^2$ pour Hempleman. t_{max} : durée maximale en minute au fond sans faire de palier, P : profondeur en pied.
 - Certains ordinateurs de plongée intègrent les tables de Spencer plus sévères dans leur algorithme.

- *Modèle de Workman (modèle néo haldanien) : (0,5 pt)*
 - le SC est fonction de la profondeur
 - les M-Values sont la pression partielle maximale tolérable de l'azote et de l'hélium pour chaque compartiment et pour chaque profondeur.

- *Modèle de Bühlmann :(1 pt)*
 - Adapté à l'altitude :
 - Il a pris l'air alvéolaire comme référence de gaz respiré
 - Seuils variables comme critère de remontée, chaque compartiment est muni de 2 coefficients a et b déterminés expérimentalement, le seuil est défini par la pression absolue minimum admissible à la remontée. Ce qui nous donne $P_{admissible} = (PN_2 - a).b$.
 - A partir de ses travaux de nombreux ordinateurs de plongée utilisent l'algorithme ZH-L8 ADT
 - M.Values, pression maximale qu'un compartiment hypothétique peut supporter sans présenter de symptôme de la maladie de décompression à une profondeur donnée. Contrairement au SC qui sont fixes, les M Values varient en fonction de la profondeur pour un même compartiment.
 - Les ordinateurs de type Bühlmann indiquent prendre en compte les microbulles

- *Le modèle de Wienke :(0,5 pt)*
 - Principe de la réduction du gradient des bulles (R.G.B.M.) Modèle à faible gradient de bulles :
 - C'est un modèle tenant compte de la notion de perfusion, de diffusion, et de notion de taille critique des bulles formées dans le système sanguin. Le but est de minimiser le développement et l'accroissement des bulles issues de noyaux gazeux.
 - L'essentiel des tables R.G.B.M est de maintenir l'état de sursaturation du plongeur à une profondeur où les phases de développement et d'écrasement de la bulle sont contrôlées.

Décompression. Durée 1h30 Coefficient 4

Question 1 (6 pts)

A) Vous sortez d'une plongée avec un Groupe de Plongée Successive = L.

Vous désirez replonger à 21 mètres pendant 25 minutes sans faire plus de 10 minutes de palier.

Quel sera l'intervalle de surface minimum à respecter ? (2 pts)

B) Départ plongée à 7h45. Profondeur prévue 52 mètres pendant 15 minutes. Après 2h45 d'intervalle surface, vous souhaitez replonger 35 minutes mais sans dépasser 16 minutes de palier à 3 mètres. A quelle profondeur pouvez-vous effectuer votre deuxième plongée et quelle sera votre heure de sortie ? (2 pts)

C) Deux plongeurs s'immergent à 8h24 à une profondeur de 50 m. L'heure de sortie de la plongée est 9h50. Définissez la durée de la plongée ainsi que les paliers effectués et le GPS de sortie (2 pts)

Question 2 (6 pts)

Vos élèves ont des difficultés à effectuer un cours sur la saturation / désaturation.

- Mettez en place les définitions nécessaires pour comprendre les concepts de saturation et de désaturation. (2 pts)
- En vous basant sur une plongée de 30 minutes à 40 m de profondeur, faites leur la démonstration jusqu'à l'explication du calcul du premier palier et du compartiment directeur.
(On donne : $SC_{10'} = 2,38$; $SC_{30'} = 1,82$ et on considère que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂) (3 pts)
- Après la plongée quelle sera la tension d'azote dans ces 2 compartiments au bout de deux heures passées en surface ? (1 pt)

Question 3 (1 pt)

Dans le cadre des tables fédérales lors des plongées successives, quel est le compartiment considéré comme directeur

Question 4 (4 pts)

Connaissez-vous d'autres modèles que celui décrit par Haldane ?

Si oui lesquels ?

Parmi ceux-ci, décrivez en deux succinctement en insistant sur le différentiel par rapport à celui de Haldane

Question 5 (3 pts)

Dans votre enseignement à des plongeurs autonomes dans l'espace lointain, quelle stratégie recommandez-vous à vos élèves pour résoudre la problématique de la cohésion de la palanquée en cas d'utilisation de différents ordinateurs de plongée.

Proposition de réponses

Question 1 (6 pts)

A) Vous sortez d'une plongée avec un Groupe de Plongée Successive = L.
Vous désirez replonger à 21 mètres pendant 25 minutes sans faire plus de 10 minutes de palier.
Quel sera l'intervalle de surface minimum à respecter ? (2 pts)

*20 minutes de majoration maximale possible, (45 min à 22 m donne 7 min de palier à 3m)
GPS = 0,99 = L.
L → 0,99 au bout de 3 h, donc intervalle de surface minimum = 3h00*

B) Départ plongée à 7h45. Profondeur prévue 52 mètres pendant 15 minutes. Après 2h45 d'intervalle surface, vous souhaitez replonger 35 minutes mais sans dépasser 16 minutes de palier à 3 mètres. A quelle profondeur pouvez-vous effectuer votre deuxième plongée et quelle sera votre heure de sortie ? (2 pts)

*Paliers : 3 minutes à 6 m et 10 minutes à 3 m et 5 minutes de remontée. Heure de sortie 1 : 8H18, GPS : I
Après 2h45 (on prend 2h30) d'IS et GPS I le Tr N₂ est de 0,97
Dans le tableau II on prend 0,99
On veut faire au maximum 16' de paliers à 3m ce qui correspond à une profondeur de 22 m pour une durée de 55 minutes.
Il y a bien une majoration de 20'
Heure de départ 2 : 11H03 (8h18 + 2h45)
Profondeur possible : 22 m
Heure de sortie 2 : 11H56 (11h03 + 35 min +18 min)*

C) Deux plongeurs s'immergent à 8h24 à une profondeur de 50 m. L'heure de sortie de la plongée est 9h50.
Définissez la durée de la plongée ainsi que les paliers effectués et le GPS de sortie (2 pts)

*Durée + Paliers + Remontée = 86 minutes
A 50 m cela correspond à une durée de 26 minutes et 60 minutes de DTR soit 2 min à 9 m,
14 min à 6 m, 39 min à 3 m et 5 min de remontée, GPS : M*

Question 2 (6 pts)

Vos élèves ont des difficultés à effectuer un cours sur la saturation/désaturation.

- a) Mettez en place les définitions nécessaires pour comprendre les concepts de saturation et de désaturation. (2 pts)
- **Tension initiale (Ti)** : pression partielle d'azote dissous avant la plongée
 - **Tension finale (Tf)** : pression partielle d'azote maximum dissous pendant la plongée
 - **Gradient ou écart** : Différence entre la Tf et la Ti
 - **Période** : durée nécessaire pour arriver à la moitié du gradient
 - **Coefficient Sursaturation critique** : rapport maximal admissible entre la tension d'azote et la pression ambiante pour un compartiment donné.
 - **Compartiment** : tissu fictif représentant un regroupement de tissus de l'organisme ayant le même comportement en termes de saturation et de désaturation

- b) En vous basant sur une plongée de 30 minutes à 40 m de profondeur, faites leur la démonstration jusqu'à l'explication du calcul du premier palier et du compartiment directeur.
(On donne : $SC_{10'}$ = 2,38, $SC_{30'}$ = 1,82 et on considère que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂) (2 pts)

On calcule d'abord la saturation globale de l'organisme en fonction de la profondeur de la plongée :

- $T_i = 0,8$ bar
- $T_f = 5 \times 0,8 = 4$ bars
- Gradient = $4 - 0,8 = 3,2$ bars
- 1^{ère} période $(4 - 0,8)/2 + 0,8 = 2,4$ ce qui correspond à 50%
- 2^{ème} période $(4 - 2,4)/2 + 2,4 = 3,2$ ce qui correspond à 75%
- 3^{ème} période $(4 - 3,2)/2 + 3,2 = 3,6$ ce qui correspond à 87,5%

On introduit ensuite la formule d'Haldane pour calculer la saturation des compartiments en fonction de la profondeur et de la durée de la plongée :

- $TN_2 = T_i + (T_f - T_i) \times (1 - 0,5^{-T/T})$
- $(1 - 0,5^{-T/T})$ correspond au pourcentage vu ci-dessus
- Pour le compartiment 10', la durée de la plongée correspond à 3 périodes
- $TN_{2_{10'}} = 0,8 + (4 - 0,8) (87,5\%)$
 $TN_{2_{10'}} = 3,6$
- Pour le compartiment 30' : 1 période
- $TN_{2_{30'}} = 0,8 + (4 - 0,8) (50\%)$
 $TN_{2_{30'}} = 2,4$

Puis on détermine le compartiment directeur en calculant la profondeur plafond permettant de ne pas dépasser leurs Sc respectifs :

- $Sc = TN_2 / P_{Abs}$ d'où $P_{Abs} = TN_2 / Sc$
- Pour le C10', $P_{Abs} = 3,6 / 2,38 = 1,51$ b soit 5,10 m
- Pour le C30' $P_{Abs} = 2,4 / 1,82 = 1,32$ b soit 3,20 m

Le compartiment directeur est le compartiment qui impose le palier le plus profond, ici le C10'

- c) Après la plongée quelle sera la tension d'azote dans ces 2 compartiments au bout de deux heures passées en surface ? (2 pts)

Pour calculer la désaturation en surface on inverse T_f et T_i . Au bout de deux heures en surface :

$$TN_{2_{10'}} = 4 + (0,8 - 4)(1 - 0,5^{1/2})$$

$$TN_{2_{10'}} = 0,80$$

$$TN_{2_{30'}} = 4 + (0,8 - 4)(1 - 0,5^{1/4})$$

$$TN_{2_{30'}} = 1$$

Question 3 (1 pt)

Dans le cadre des tables fédérales lors des plongées successives, quel est le compartiment considéré comme directeur?

C'est le compartiment 120 minutes qui est considéré comme directeur lors des plongées successives, et c'est la quantité d'azote contenu dans ce compartiment après la plongée va permettre de déterminer la majoration.

Question 4 (4 pts)

Connaissez-vous d'autres modèles que celui décrit par Haldane ?

Si oui lesquels ?

Parmi ceux-ci, décrivez en deux **succinctement** en insistant sur le différentiel par rapport à celui de Haldane

Buhlmann; M value ou Workman, Hempleman; Spencer, Weinke ou RGBM (Reduced Gradient Bubble Model), VPM (Variable Permeability Model), modèles probabilistes, etc...

Buhlmann : Introduction des coef a et en fonction de la profondeur du palier (/ Coefficient de saturation critique constant)

Hempleman (Modèle à diffusion)

Spencer : prise en compte des bulles circulantes

Weinke ou RGBM: Prise en compte de l'influence de l'agrégation de bulles.

VPM : Varying permeability model.

Le VPM présume qu'il existe dans l'eau et dans les tissus des vides microscopiques, des cavités, des noyaux qui contiennent du gaz avant même qu'on commence la plongée. Les noyaux qui dépassent une taille 'critique' spécifique, qui est fonction de la profondeur maximale atteinte en plongé (pression d'exposition), vont grossir lors de la décompression. Le VPM vise à minimiser le volume total de ces bulles qui vont grossir en conservant une large pression externe et une faible pression partielle des gaz inertes inspirés durant la décompression. : Paliers Profonds

Modèles probabilistes : Basé sur des données statistiques

Question 5 (3 pts)

Dans votre enseignement à des plongeurs autonomes dans l'espace lointain, quelle stratégie recommandez-vous à vos élèves pour résoudre la problématique de la cohésion de la palanquée en cas d'utilisation de différents ordinateurs de plongée.

- *Planifier la plongée : prise en compte des réactions de chaque ordinateurs, estimation de l'autonomie*
- *Clarifier la procédure suivante :*
 - *Profondeur et durée des paliers de l'ordinateur le plus pénalisant*
 - *Vitesse de remontée la plus lente*

Décompression. (Coefficient 4. Durée 1h30)

1° (8 pts)) Lorsque la pression ambiante augmente, les tissus de notre organisme se chargent en azote.

- Quels sont les deux principes physiques permettant d'expliquer comment se produit le transfert de l'azote dans l'organisme ?
- Reconstituez le trajet de l'azote depuis l'alvéole jusqu'à sa fixation dans les tissus.
- En vous appuyant sur vos connaissances en physiologie, expliquez pourquoi notre organisme ne réagit pas de façon homogène à la charge d'azote.
- En vous appuyant sur vos connaissances sur la théorie de Haldane, expliquez simplement comment la réponse de l'organisme a été mathématiquement modélisée (les formules mathématiques ne sont pas attendues)
- Comparez alors la réponse d'un tissu réel au cours d'une plongée avec celui d'un compartiment.
- Listez les variables susceptibles de placer le plongeur réel dans des conditions qui ne sont plus conformes à la modélisation.

2° (5 pts)) Les tables de Bühlmann et MN90 sont basées sur un modèle haldanien. Pourtant les deux modes de calcul de la tension dans les compartiments diffèrent quelque peu. Les MN90 calculent la tension dans un compartiment en utilisant la pression partielle d'azote dans l'air ambiant, alors que Bühlmann se réfère à la Pression partielle dans l'air alvéolaire.

Nous allons étudier la différence entre ces deux approches.

Le tableau suivant vous donne la composition de l'air alvéolaire.

Composition de l'air alvéolaire à la pression atmosphérique de 1000 hPa et à 37°				
Composants de l'air alvéolaire	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ O (vapeur)
Exprimés en pourcentages	13,1 %	5,3 %	75,4 %	6,2 %
Pressions partielles				
En hectopascals.	131,4	52,5	754,3	62
En mm de Hg	100	40	573	47

- On sait que les pressions partielles de CO₂ et de H₂O dans l'air alvéolaire ne dépendent pas de la pression absolue, que ce soit au niveau de la mer, en altitude ou en profondeur : Donnez les explications physiologiques de ces deux faits admis.
- Calculez la pression partielle d'azote dans l'air alvéolaire pendant une plongée en mer à la profondeur de 40m. Pour cela, on admettra que le rapport O₂/N₂ est constant quelque soit la profondeur.
- Calculez la tension d'azote dans un compartiment de période 10 min pour une immersion de 20 min en utilisant tout d'abord la méthode classique de la MN90 (Air : 20% O₂, 80% N₂), puis en utilisant la pression partielle dans l'air alvéolaire.

d) Comparez les résultats obtenus par les deux méthodes. Ces approches différentes aboutissent-elles obligatoirement à des résultats différents en termes de processus de décompression ?

3° (7 pts)) Aujourd'hui l'utilisation des calculateurs d'aide à la décompression (« ordinateurs ») est banalisée. Il devient donc indispensable d'apprendre à nos plongeurs quelles sont les situations que l'ordinateur ne gère pas avec une fiabilité suffisante, tant par défaut que par excès, bien que le plus souvent il continue d'afficher un résultat.

Proposez trois de ces situations et indiquez à chaque fois une méthode tenant compte des limites des possibilités de l'ordinateur.

Référentiel de correction du sujet relatif à la Décompression

Durée 1h30 - Coefficient 4

1°-

- a) Ce sont les principes physiques de la diffusion et de la dissolution. C'est le passage d'une molécule d'un milieu où elle est la plus abondante vers un autre où elle est moins abondante. Pour les gaz : du milieu de + forte Pp vers la + faible. Le transport de l'azote étant assuré par le mécanisme de dissolution d'un gaz dans un liquide. (1 point)
- b) Air inspiré => alvéole => sang hématisé (rouge) => veines pulmonaires => cœur gauche => artères de la grande circulation => Capillaires => Cellules Tissus (1 point)
- c) *Le jury veillera que la réponse apportée par le candidat porte bien sur des aspects de la physiologie et non sur des aspects de physique :*
Paramètres à prendre en compte (2 points)
- ✓ Densité de la vascularisation en fonction de la nature des tissus
 - ✓ Efforts, stress ou froid : augmentation de l'activité cardiaque, modification du diamètre des vaisseaux sanguins.
 - ✓ Vascularisation à débit différent selon que le tissu est ou non sollicité. Ex : un muscle qui travaille reçoit jusqu'à 1000 fois + de sang que s'il est au repos.
 - ✓ Nature du tissu : la solubilité n'est pas la même.
 - ✓ Proximité de la cellule considérée par rapport au capillaire.
- d) Les points essentiels de la réponse attendue portent sur le compartimentage de l'organisme en zones homogènes vis-à-vis de la réponse à la charge et la décharge en azote. Haldane suppose qu'un nombre limité de compartiments est suffisant pour avoir une approche suffisamment fine du comportement de l'organisme. Il suppose que la charge et la décharge sont symétrique et obéissent à la même loi, il suppose également l'instantanéité des échanges gazeux alvéolaires et tissulaires (1 point)
- e) Un compartiment présente un comportement vis-à-vis de l'azote parfaitement constant dans le temps, et il est parfaitement homogène. On ne prend donc en compte que le gradient de pression partielle à laquelle il est soumis et la durée de l'exposition pour évaluer la quantité d'azote fixée (la tension)
Un tissu a un comportement non constant. Il n'y a donc pas d'équivalence à rechercher entre tissu et compartiment.
On notera qu'il est impératif que le candidat fasse parfaitement la différence entre un tissu et un compartiment. (1 point)
- f) Efforts, Stress, Froid, Pathologies, plongées multi niveaux... (2 points)

2°-

- a) L'eau : L'air alvéolaire est saturé en vapeur d'eau, à la température de 37°. La Pp est donc constante quelle que soit la température.
Le CO₂ : Le dioxyde de carbone présent dans l'alvéole provient presque uniquement du métabolisme, c'est-à-dire du fonctionnement énergétique du corps. (la quantité de CO₂ dans l'air atmosphérique est négligeable : 0,035%). Cette quantité produite ne dépend pas de la pression ambiante.
En immersion, dans l'alvéole, la quantité d'O₂ et de N₂ augmente en fonction de la pression ambiante, si bien que le CO₂ se dilue dans une quantité plus grande. Donc son % diminue.
Le candidat devra donc être précis pour faire la différence entre quantité, % et Pp (2 points)
- b) Pabs à 40m = 5 bars (5000 hPa)
La somme des pressions partielles de CO₂ (53 hPa) et de H₂O (62) sont constantes :
 $P_{pCO_2} + P_{pH_2O} = 53 + 62 = 115 \text{ hPa}$
Pourcentage d'azote dans le reste (N₂ + O₂) = $75,4 / (75,4 + 13,1) = 0,85 (= 85 \%)$
 $P_{pN_2} = (5000 - 115) \times 85 \% = 4152 \text{ hPa}$ qui peut être arrondi à 4,15 b (1 point)
- c) Méthode classique MN 90.
 $T_{N_2} = 0,8 + (4 - 0,8) \times 75 \% = 3,2 \text{ b}$
Méthode Bühlmann
 $T_{N_2} = 754 + (4152 - 754) \times 75 \% = 3302,5 \text{ hPa}$. Arrondi à 3,3 b. (1 point)
- d) On constate que les deux résultats sont finalement assez peu différents, et de toute façon, le résultat en termes de décompression dépendra de l'utilisation de cette valeur théorique de la tension dans une entité qui n'a rien de physiologique. (1 point)

3°- Pour obtenir le maximum des points, on attend du candidat qu'il fasse ressortir dans cette question son expérience personnelle sur la gestion d'une plongée en utilisant un ordinateur, (7 points)

Décompression Durée : 1h30 coefficient 4

Sujet 1 - Ordinateur de plongée et microbulles.

Certains ordinateurs de plongée récents, font apparaître comme étant une avancée technologique, la prise en compte, dans leur algorithme de décompression, de l'existence des microbulles dans l'organisme.

1/ Pour déterminer ce que signifie le terme microbulle dans le champ d'application de la décompression en plongée, expliquez comment celles-ci sont formées et comment elles interagissent dans les phénomènes de décompression des gaz. *(2 points)*

2/ Vous expliquerez comment les ordinateurs de plongée peuvent prendre en considération ce phénomène dans les procédures de calcul de décompression. *(2 points)*

Sujet 2 - Prise en charge des accidents de décompression.

Les accidents de décompression restent les plus fréquents des accidents de plongée, et peuvent survenir en dehors de toute faute technique. Ils sont la conséquence de l'apparition dans l'organisme de bulles gazeuses pathogènes qui, selon leur localisation, induisent des réactions biologiques. Les signes cliniques des ADD demeurent, pour le plongeur et son entourage, les seuls moyens de détecter l'accident de décompression et de débiter une prise en charge adaptée de l'accidenté.

1/ Présentez de manière générale, l'action des bulles pathogènes et la réaction de l'organisme. *(2 points)*

2/ La description utilisée pour l'identification et le traitement des ADD établit une séparation entre les accidents bénins (type I) et les accidents graves (type II). Ces derniers sont statistiquement les plus fréquents en plongée loisir.

En vous limitant aux accidents les plus graves (type II), présentez les différentes familles d'ADD en précisant la localisation des bulles pathogènes, et en établissant l'inventaire des manifestations identifiables par les plongeurs. *(4 points)*

3/ Le constat d'une prise en charge des accidentés victimes d'un ADD, trop tardive, ou inadéquate, a été établi à plusieurs reprises (CNMP, CROSS, ...). Ce constat doit faire s'interroger les cadres fédéraux qui sont des relais essentiels dans la diffusion de l'information aux plongeurs et aux moniteurs.

Vous rappellerez les préconisations de la CNMP en matière de traitement des victimes d'ADD et vous déterminerez les raisons qui peuvent expliquer les retards dans la prise en charge des accidentés. *(2 points)*

Sujet 3 - Problèmes de plongée.

Problème A

Vous effectuez une première plongée de 17 minutes à 44 mètres. La sortie de l'eau s'effectue à 11h.

1/ A quelle heure vous êtes-vous immergé ? Quels sont les paliers et le GPS en sortie ? (1 point)

2/ Vous vous immergez à nouveau à 12h40 pour une plongée à 26 mètres. Votre intention est de limiter vos paliers à 20 minutes. Quelle est la durée maximale de la plongée ? Quels sont vos paliers ? (1 point)

Problème B

1/ Au cours d'une sortie épaves, deux plongeurs planifient une exploration sur une épave profonde avec respiration d'oxygène pur au palier. Ils séjournent sur l'épave pendant 14 minutes à une profondeur maximale de 56 mètres. Etablissez la procédure de décompression optimale en précisant comment se font les paliers et donnez le GPS. (1 point)

2/ Une seconde plongée est prévue l'après-midi après un intervalle surface de 2h00 dont 30 minutes de respiration d'oxygène pur, utilisé de la manière la plus efficace. Le haut de l'épave est situé à une profondeur de 23 mètres et elle est posée sur le fond qui se trouve à 47 mètres. Les plongeurs veulent rester sur l'épave au moins 15 minutes mais ne souhaitent pas que la durée des paliers dépasse 15 minutes. Ils prévoient d'effectuer leurs paliers à nouveau à l'oxygène. A quelle profondeur maximale pourront-ils descendre ? Précisez la durée de la plongée et les paliers. (2 points)

Problème C

Une carrière située en altitude à une Pression atmosphérique de 0.91 b, et d'une profondeur de 43 mètres, équipée pour la plongée, dispose d'une plateforme à 30 mètres et d'un plateau naturel à 22 mètres. Afin de prendre en compte l'altitude dans la décompression sans s'imposer de fastidieux calculs, les plongeurs avaient pris l'habitude de prolonger leur palier de 3 minutes ou de réaliser un palier de 3 minutes à 3 mètres lorsque la procédure de décompression par tables n'en prévoyait aucun.

1/ En vous basant sur une plongée carrée d'une durée moyenne de 25 minutes, pour chacune des profondeurs citées (43m, 30 m et 22 m), évaluez cette règle de sécurité empirique. Vous préciserez les profondeurs auxquelles les paliers devraient se faire. (2 points)

2/ Les plongeurs qui utilisent aujourd'hui des ordinateurs de plongée de dernières générations doivent-ils majorer les paliers que leur instrument leur impose ? Vous argumenterez votre réponse. (1 point)

Décompression - Référentiel de correction sept 2013

Sujet 1 - Ordinateur de plongée et microbulles (4 points)

1/ Microbulles et désaturation des gaz. (2 points)

La théorie des microbulles explique l'existence de microbulles artérielles et veineuses non pathogènes dès les premiers instants de la remontée (de la décompression). L'apparition des microbulles est certainement liée aux phénomènes de cavitation au niveau des valves cardiaques et veineuses, et par frottement dans les vaisseaux sanguins. Les microbulles ont, en conditions ordinaires, une capacité de survie de quelques centimètres. En plongée, la tension des gaz dissous dans le sang (N_2 , CO_2) favorise l'allongement de la durée de vie des microbulles qui peuvent ainsi atteindre des tissus où le dégazage concourt à l'augmentation de leur volume. Leur taille laisse supposer qu'elles passent le filtre pulmonaire et qu'elles peuvent effectuer plusieurs cycles d'amplification. Les microbulles sont par essence instables, pouvant se résorber ou, à l'inverse, croître jusqu'à devenir des bulles artérielles.

2/ Ordinateurs de plongée et procédures de calcul de décompression. (2 points)

Les modèles dynamiques à croissance de bulles (VPM, RGBM) ont intégré les algorithmes des ordinateurs les plus récents par la préconisation de paliers « profonds » et de vitesses de remontées lentes.

La recommandation de paliers plus profonds que ceux traditionnellement indiqués par les ordinateurs s'appuyant sur des modèles de type Haldane/Bühlmann est sensée permettre l'élimination des microbulles avant qu'elles n'aient pu grossir. Certains ordinateurs proposent des paliers proches de la mi-profondeur.

Les vitesses de remontée sont souvent plus lentes au départ que dans les modèles traditionnels, elles sont sensées favoriser la résorption spontanée des microbulles qui ont une durée de vie initialement faible. Vers la surface, certains ordinateurs à vitesses de remontée variables diminuent encore la vitesse de progression.

Sujet 2 - Prise en charge des accidents de décompression (8 points)

1/ Action des bulles pathogènes et effets sur l'organisme. (2 points)

L'action des bulles pathogènes est initialement une action mécanique qui se manifeste par :

- une compression des parois vasculaires et des tissus extravasculaires
- une abrasion de l'endothélium des vaisseaux
- une dilacération des tissus
- une obturation partielle ou totale des vaisseaux.

La réaction initiale de l'organisme est une réaction inflammatoire locale.

La bulle est considérée comme un corps étranger et stimule une réaction biologique de défense au niveau de l'interface bulle/liquide. Un agrégat plaquettaire se forme auquel s'ajoutent des protéines plasmatiques et des globules blancs. L'ensemble constitue une gangue autour de la bulle qui rend son élimination plus difficile. La coagulation du sang est activée ainsi qu'une concentration des globules rouges et une agrégation des hématies (hémocoagulation).

L'ensemble des phénomènes diminue la fluidité du sang. L'augmentation de la viscosité du flux sanguin s'ajoute à l'effet mécanique d'obstruction de la bulle dans l'anoxie des tissus en aval.

2/ Identification des ADD graves (type II). (4 points)

Les signes cliniques apparaissent avec plus ou moins de rapidité et ne se manifestent évidemment pas systématiquement.

Accident neurologique médullaire :

- localisation des bulles pathogènes : moelle épinière, réseau veineux lombaire
- manifestations pour le plongeur :
 - fourmillements, ankyloses, faiblesse musculaire, troubles de la sensibilité,
 - douleur lombaire en « coup de poignard »,

évolution vers une parésie, monoplégie, paraplégie ou tétraplégie.

Accident cérébral :

- localisation : embolie gazeuse dans les tissus cérébraux
- manifestations pour le plongeur :
étourdissement, perte de connaissance, coma,
confusion, désorientation, amnésie, trouble de l'élocution, troubles du comportement,
monoplégie, hémiparésie, paraplégie ou tétraplégie
signes neurologiques pouvant être accompagnés d'une détresse respiratoire ou d'un arrêt
cardiorespiratoire.

Accident vestibulaire ou labyrinthique :

- localisation : oreille interne, artère cochléo-vestibulaire, liquide labyrinthique
- manifestations pour le plongeur :
vertige rotatoire persistant, nausée, vomissements
perte d'audition, bourdonnements

Accident respiratoire :

- localisation : dégazage massif dans les poumons
- manifestations pour le plongeur :
dyspnée, gêne respiratoire, oppression thoracique, respiration rapide et superficielle, douleur
sternale, toux,
crachats saumonés, cyanose,
évolution possible vers l'arrêt cardiorespiratoire.

3/ Prise en charge de l'accidenté. (2 points)

Recommandations de la CNMP (cf. fiche CAT en cas d'accident) :

- déséquiper la victime, la mettre au repos, alerter les secours,
- lui administrer de l'oxygène au débit de 15l/min jusqu'à l'arrivée des secours médicalisés par
inflateur si la victime est consciente ou insufflateur en cas d'inconscience,
- l'encourager à boire 1 litre d'eau plate en fractionnant les prises,
- lui proposer 500mg d'aspirine maximum à prendre en une fois.

Les raisons qui expliquent les délais de prise en charge des accidentés sont liées :

- au plongeur : méconnaissance des signes cliniques, sous-estimation des symptômes, déni de l'accident
- à l'encadrant : mauvaise analyse de la situation, hésitation à alerter des secours et à administrer
l'oxygène, déni de l'accident.

Sujet 3 - Problèmes de plongée (8 points)

Problème A

1/ Première plongée (1 point si les 3 réponses sont correctes)

DTR = 22 minutes

heure d'immersion : 10h38-17 minutes de plongé soit 10h21 paliers : 3 min à 6 m et 15 min
à 3 m GPS : I

2/ Seconde plongée (1 point si les 3 réponses sont correctes)

intervalle : 1h40

1,04 obtenu, dans le second tableau pas de 1,04 nous prendrons 1,07 soit une majoration de 22 min pour 28 m
soit une durée de plongée de 18 min pour 40 min de total de plongée

12h40 + 18 min (plongée) + 22 min (DTR) = 13h20

Problème B

1/ Première plongée (1 point si les 4 réponses sont correctes) 14 min à 56 m soit 15 min à 58m dans les
tables

paliers à l'air

1 min à 9 m

4 min à 6 m

16 min à 3 m

procédure optimale **1 min à 9 m à l'air** **4 min à 6 m à l'O2** **11 min à 3m à l'O2**

GPS : J

réduction de la durée d'1/3

2/ Seconde plongée (2 points : 1 point pour les paramètres de la plongée, 1 point pour la durée et les paliers)

intervalle 1h30 à l'air $TN2 = 1,06$ puis 0h30 à l'O2 $TN2 = 0,98$

recherche des paramètres de la plongée par lecture itérative de la table : **30 min à 35 m**

paliers à l'air 1 min à 6m et 20 min à 3 m paliers à l'O2 : **1 min à 6 m et 14 min à 3 m**

durée des paliers à l'O2 : 15 min

majoration 12 min

durée de plongée : **18 min**

une autre plongée entre dans les critères définis mais est moins profonde : 35 min à 32 m

Problème C

1/ Comparaison plongées mer et plongées carrière

(2 points : 1,5 point pour les 3 résultats chiffrés et 0,5 point pour le commentaire)

$P_{atm} : 0,91 \text{ bar}$ profondeur des paliers $6 \times 0,91 = 5,5 \text{ m}$ $3 \times 0,91 = 2,7 \text{ m}$

plongée 1	mer	43 m	3 min à 6 m et 22 min à 3 m
	carrière	$43 / 0,91 = 47,2 \text{ m}$	7 min à 5,5 m et 30 min à 2,7 m
	règle insuffisante à 2,7 m		
plongée 2	mer	30 m	4 min à 3 m
	carrière	$30 / 0,91 = 32,9 \text{ m}$	11 min à 2,7 m
plongée 3	mer	22 m	1 min à 3 m
	carrière	$22 / 0,91 = 24,1 \text{ m}$	1 min à 2,7 m

à partir de ces exemples (non significatifs des différentes situations de plongée) **la règle utilisée se révèle inapplicable en pratique à la prise en compte de l'altitude.**

2/ Les procédures de décompression ne doivent pas être modifiées ou adaptées par les utilisateurs. Ce principe est d'autant plus valable pour les ordinateurs de plongée de dernières générations qui intègrent un réglage visant la prise en compte de l'altitude. (1 point)

Epreuve de décompression. Durée 1h 30 Coefficient 4

Question 1 : Connaissances des procédures de décompression (6 pts)

Parmi les paramètres suivants, choisissez-en douze et pour chacun d'eux, effectuez la comparaison entre :

- les tables fédérales
- l'ordinateur de votre choix (indiquez en le modèle)

Courbe de sécurité - fin de plongée - début de plongée - durée de plongée - paliers - durée des paliers - vitesse de remontée - remontée rapide - intervalle de plongée - paliers à l'oxygène - intervalle de surface à l'oxygène - température de l'eau - organisation de palanquée - fatigue/stress/effort

Question 2 : plongées « yoyos » et gestion de la décompression à l'ordinateur (2 pts)

Expliquez physiologiquement pourquoi on déconseille (ou on proscriit ?), les plongées « yoyo » lorsqu'on gère sa décompression à l'ordinateur ?

Question 3 : l'accident de désaturation (6 pts)

Lors d'un accident de désaturation, la ou les bulles, produisent 4 effets d'ordre mécanique. Après les avoir cités et « décrits », vous indiquerez pour chaque accident de désaturation « connu » (issu de ces effets mécaniques), les symptômes correspondants.

Question 4 : Calcul de tables (6 pts)

1^{ère} sous-question (1 pt) :

- 1) Un moniteur s'immerge à 9h00 avec une palanquée à 35 mètres. Ils descendent en fait à 40 mètres au cours de plusieurs exercices puis ils amorcent leur remontée à 9h25 et remontent en pratiquant des échanges d'embouts jusqu'à la surface où ils arrivent à 9h27. A 9h30, ils ont rejoint leur 1^{er} palier. Paliers ? heure de sortie ?

- 2) La palanquée se ré-immmerge à 14h00, descend à 26 mètres puis amorce sa remontée à 14h30. Paliers ?

2^{ème} sous-question (2 pts) :

- 1) Deux cinéastes font un reportage pour une grande émission de télévision. Ils s'immergent à 9h00, descendent à 49m, amorcent leur remontée à 9h05, ils arrivent à 18 m à 9h10 et y restent 10 minutes. Paliers, heure de sortie, groupe de plongée successive ?
- 2) L'après-midi, pour finaliser leur reportage, ils doivent replonger à 21 m pendant 25mn, sans faire de palier. Ils disposent d'une bouteille de 100 % d'oxygène, leur assurant à chacun une inhalation surface pendant 1h05. Quel sera l'intervalle surface minimal pour pouvoir se réimmerger au plus tôt, quels sont les paliers ?

3^{ème} sous-question (3 pts) :

Une palanquée sort de sa première plongée avec un GPS de H. Cette palanquée veut replonger, le plus tôt possible, à 36 m pendant 20 mn, sans dépasser 15 mn de palier.

Elle vous demande de confectionner un mélange Nitrox compatible avec une PpO_2 de 1,4 bar.

1. Quelle est la composition du mélange ?
2. Quelle est la profondeur équivalente permettant d'utiliser la table fédérale ?
3. Quel est l'intervalle minimal pour cette nouvelle immersion ?
4. Dans quels cas, confectionne-t-on un mélange avec une PpO_2 max inférieure à 1,6 bar ?

Epreuve de décompression Eléments de correction

Question 1 : Connaissances des procédures de décompression (6 pts)

Parmi les paramètres suivants, choisissez-en douze et pour chacun d'eux, effectuez la comparaison entre :

- les tables fédérales
- l'ordinateur de votre choix (indiquez en le modèle)

Courbe de sécurité - fin de plongée - début de plongée - durée de plongée - durée des paliers - vitesse de remontée - remontée rapide - intervalle de plongée - paliers à l'oxygène - intervalle de surface à l'oxygène - température de l'eau - organisation de palanquée - fatigue/stress/effort

La correction : 0,5 point attribué par paramètre traité

Paramètres	Tables fédérales	Ordinateur « général »	Observations
Courbe de sécurité	<i>Définie précisément</i>	<i>Différente en fonction des ordinateurs</i>	Fonction de l'ordinateur choisi
Début de plongée	<i>Dès l'immersion</i>	<i>Seuil d'immersion de - 1 à - 2m (mise en pression)</i>	
Fin de plongée	<i>Arrivée en surface</i>	<i>Seuil d'émersion de - 1 à - 2m</i>	
Durée de plongée	<i>De l'immersion au début de la remontée à la vitesse préconisée</i>	<i>Durée de la plongée + durée totale de remontée</i>	
Vitesse de remontée	<i>15 à 17m/min</i>	<i>Plus lente que les tables. Variable selon la profondeur</i>	
Température de l'eau	<i>Non prévue</i>	<i>Intégrée dans certains modèles de décompression</i>	
Fatigue/Stress/Effort	<i>Non prévus</i>	<i>Intégrés dans certains modèles de décompression</i>	
Organisation palanquées	<i>RAS si respect des procédures</i>	<i>Difficultés si mélange de procédures de décompression différentes au sein d'une même palanquée</i>	
Plongée aux mélanges	<i>Calcul de la profondeur équivalente</i>	<i>Ordinateurs prévus pour le mélange et planifiés pour.</i>	
Remontée rapide	<i>1^{er} palier de 5min à mi profondeur à additionner au temps de plongée</i>	<i>Arrêt du calcul de décompression avec alarme sonore ou indication de paliers</i>	

Paliers à l'O ₂	Réduction du temps de palier d' 1/3 sous condition de 5 min d'inhalation O ₂ minimum	Prévus uniquement sur certains ordinateurs NITROX	
Intervalle de surface à l'oxygène	Baisse de la majoration en successive	Pas prévu	

Question 2 : plongées « yoyos » et gestion de la décompression à l'ordinateur (2 pts)

Expliquez physiologiquement pourquoi on déconseille (ou on proscriit ?), les plongées « yoyo » lorsqu'on gère sa décompression à l'ordinateur ?

Lors d'une plongée « yoyo », l'ordinateur considère l'azote des microbulles circulantes comme éliminé. Si le plongeur redescend avant qu'elles n'aient atteint le filtre pulmonaire, ces bulles se dissolvent dans le sang et les autres tissus sans que l'ordinateur ne les prenne en compte. A la seconde remontée, il indiquera donc des paliers correspondant à une quantité d'azote inférieure à celle réellement dissoute. Plus il y aura de « yoyos », plus les indications de l'ordinateur seront erronées et donc potentiellement dangereuses.

Question 3 : l'accident de désaturation (6 pts)

Lors d'un accident de désaturation, la ou les bulles, produisent 4 effets d'ordre mécanique. Après les avoir cités et « décrits », vous indiquerez pour chaque accident de désaturation « connu » (issu de ces effets mécaniques), les symptômes correspondant.

Lors d'un accident de désaturation, les bulles produites par l'organisme produisent des effets mécaniques (ils ne sont pas « forcément cumulés»). Ces effets sont les suivants :

- la compression : la dilatation de la bulle peut entraîner la compression d'un tissu, vaisseau, « filet » nerveux (0.5 pt)
- l'oblitération : ce « blocage » des vaisseaux entraînera une ischémie partielle voire totale avec risque d'anoxie et d'acidose (la pathologie est fonction des zones touchées) (0.5 pt)
- la dilacération : déchirement créé par une bulle sur un tissu (0.5 pt)
- l'abrasion mécanique des parois vasculaires résulte du passage des bulles dans les vaisseaux (0.5 pt)

TYPE I (0,5 pt par accident)	
Accidents	Symptômes
Le malaise général	Asthénie intense, angoisse, céphalées (peuvent durer plusieurs heures)

Les accidents cutanés	Eruptions cutanées douloureuses, boursoufflures (urticaire). Prurit. Piqûres. (Puces. Apparaissent dans l'heure) Moutons.
Les accidents lymphatiques	Œdème douloureux
Ostéo-arthro-musculaires ou Ostéo-myo-articulaires	Douleur articulaire ou juxta-articulaire, sans notion de traumatisme, augmente avec le temps. Très douloureux et rarement possible à calmer. Sensation d'arrachement. (de 15 minutes à plusieurs heures)
TYPE II (0,5 pt par accident)	
Accidents	Symptômes
Les accidents médullaires	Douleurs lombaires violentes « coup de poignard », simples paresthésies, picotements et fourmillements, ankylose, faiblesse musculaire, paraplégie, dysurie (difficulté à uriner), tétraplégie (Paralysie ou paresthésie selon un axe de symétrie horizontal)
Les accidents encéphaliques	Accidents massifs (bilatéraux), coma, quadriplégie, troubles végétatifs majeurs Accidents partiels, perte de connaissance, contractures, hémiplégie, monoplégie (dès les premières minutes) Paralysie ou paresthésie selon un axe de symétrie vertical
Les accidents labyrinthiques	Syndrome vertigineux rotatoire, nausée, vomissements, nystagmus horizontal, baisse de l'audition.
Les accidents respiratoires	Dyspnée, (= gêne respiratoire), oppression thoracique et douleurs rétro-sternales, cyanose, tachycardie.

Question 4 : Calcul de tables (6 pts)

1^{ère} sous-question (1 pt) :

- 3) Un moniteur s'immerge à 9h00 avec une palanquée à 35 mètres. Ils descendent en fait à 40 mètres au cours de plusieurs exercices puis ils amorcent leur remontée à 9h25 et remontent en pratiquant des échanges d'embouts jusqu'à la surface où ils arrivent à 9h27. A 9h30, ils ont rejoint leur 1^{er} palier. Paliers ? heure de sortie ?
- 4) La palanquée se ré-immerge à 14h00, descend à 26 mètres puis amorce sa remontée à 14h30. Paliers ?

1. La remontée de 40 mètres en 2 minutes au lieu de 3 minutes est trop rapide. Ils doivent redescendre à mi profondeur soit à 20 m. Ce 1^{er} palier est de 5 minutes à 20m soit jusqu'à 9h35.

Paliers à effectuer :

- Temps de plongée : $25 + 2 + 3 + 5 = 35$ minutes
- Paliers : 8 minutes à 6 m et 35 minutes à 3 m
- Heure de sortie : 10h20

2. GPS L - azote résiduel 0,96 - majoration 15 minutes
 - Temps de plongée : 45 minutes à 26 m
 - Paliers : 25 minutes à 3 m

2^{ème} sous-question (2 pts) :

- 3) Deux cinéastes font un reportage pour une grande émission de télévision. Ils s'immergent à 9h00, descendent à 49m, amorcent leur remontée à 9h05, ils arrivent à 18 m à 9h10 et y restent 10 minutes. Paliers, heure de sortie, groupe de plongée successive ? **(0.5 pt)**
- 4) L'après-midi, pour finaliser leur reportage, ils doivent replonger à 21 m pendant 25mn, sans faire de palier. Ils disposent d'une bouteille de 100 % d'oxygène, leur assurant à chacun une inhalation surface pendant 1h05. Quel sera l'intervalle surface pour pouvoir se réimmerger au plus tôt ? **(1.5 pts)**

1. Profondeur 50 m,
 Temps de plongée : $10 + 10 = 20$ minutes
 Paliers : 4 minutes à 6 m et 22 minutes à 3 m
 GPS : J
 Heure de sortie : 09h48
2. Profondeur 22m
 Temps de plongée fictif : 35 mn sans palier
 Majoration maximale : $35 - 25 = 10$ mn
 Tableau 2 : Maj 9 mn = 0,89 (0,86)
 Tableau 3 Oxy : 1h00 d'oxy pour 0.86 = 1,02 azote résiduel
 Tableau 1 : GPS J pour 1,02 = 2h00
 Donc l'intervalle surface sera de : 2h00 Air + 1h00 Oxy = 3h00.

3^{ème} sous-question (3 pts) :

Une palanquée sort de sa première plongée avec un GPS de H. Cette palanquée veut replonger le plus tôt possible à 36 m pendant 20 mn, sans dépasser 15 mn de palier.

Elle vous demande de confectionner un mélange Nitrox compatible avec une PpO_2 de 1,4 bar.

5. Quelle est la composition du mélange ?
6. Quelle est la profondeur équivalente permettant d'utiliser la table fédérale ?
7. Quel est l'intervalle minimal pour cette nouvelle immersion ?
8. Dans quels cas, confectionne-t-on un mélange avec une PpO_2 max inférieure à 1,6 bar ?

1. Mélange 30/70
 $PpO_2 \text{ maxi} \times 100 = Pabs \times \% O_2$
 Soit $\%O_2 = 1,4 \times 100 / 4.6 = 0,3$

2. Profondeur équivalente : 30,25 m \Rightarrow 32 m
 $4.6 b \times 0,7 = Pe \times 0,8$
 $Pe = 4.6 \times 0,7 / 0,8 = 4.025 b$

3. Intervalle minimum : 2h30

Profondeur 32 m moins de 15 minutes de paliers = 30 mn de durée de plongée

Maj max : 30 mn - 20 mn = 10 mn

Tableau 2 : 32 m Maj 10 min = 0,95

Tableau 1 : H - 0,95 = 2h30

4. Conditions suivantes : plongée difficile : palmage forcé, courant, froid, fatigue, manque de visibilité, altitude, etc.

Décompression : Durée 1h30, Coefficient 4

QUESTION 1 Problèmes de plongée à faire en 30 minutes (8 pts)

Pour tous les problèmes, vous utiliserez les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1000 hpa au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80% de N₂ et 20% d'O₂

N° 1 (1 pt)

Alain s'immerge à 10h00 sur une profondeur de 30 mètres pour une plongée d'une heure. Il veut sortir de l'eau au plus tard à 11h15.

- Quel nitrox devra-t-il utiliser ?

N° 2 (2 pts)

Pascal s'immerge à 10h et descend à 25m. A quelle heure au plus tard amorce-t-il la remontée pour un palier de 10mn maximum. Il se ré immerge à 14h30 et descend à 20m. A quelle heure amorce-t-il la remontée pour éviter tout palier ?

N°3 (2 pts)

Une palanquée effectue une plongée de 30 minutes à 38 mètres. De retour sur le bateau ils décident de planifier une seconde plongée à 20 mètres, 3 heures plus tard. Chaque plongeur dispose d'une réserve d'oxygène lui permettant une inhalation en surface de 2h maximum par plongeur.

- Décrivez la procédure qui permettra d'optimiser la seconde plongée.
- Quel sera le temps maximum de la seconde plongée permettant de ne pas faire de paliers.

N° 4 (3 pts)

Jacques s'immerge le matin à 9 heures à 21m pendant 45 minutes. L'intervalle en surface est de 2 h 20. Il replonge ensuite à 13 mètres pendant 1h10.

- Heure de sortie de la seconde plongée ?
- Combien de temps devra-t-il attendre avant de prendre l'avion (pressurisé à 0.8 bar) ?
- L'inhalation d' O₂ pourrait permettre de réduire ce temps d'attente de combien de minutes ?
- Quelle est la règle de sécurité ? Que lui conseillez-vous ?
- Précisez le mécanisme de l'accident qu'il risque en justifiant votre réponse.
- Donnez lui une marche à suivre possible pour pouvoir néanmoins prendre son vol de retour quatre heures après sa sortie de l'eau sans aucun risque (Sc 120 min = 1,54).



**Monitorat fédéral 2^{ème} degré
NIOLON MAI 2013**

Décompression : Durée 1h30, Coefficient 4 (suite)

QUESTION 2 A faire en 1 heure

(12 points)

Lors de la 2^{ème} semaine d'un stage de niveaux 4, des plongées profondes sont organisées tous les matins malgré des conditions difficiles (houle, tramontane et eau à 14°C). Christine, 50 ans, très fatiguée par le rythme du stage, stresse suite au manque de visibilité à 40 mètres et à son mal de mer récurrent.

Jeudi matin, après une plongée à 40 mètres intensive avec beaucoup d'interprétations de situations problématiques à réaliser, elle a beaucoup de mal à remonter à l'échelle du bateau (sensation de jambes molles) et se plaint sur le pont d'une violente douleur lombaire.

- a) Mettez en rapport les symptômes observés avec leur explication physiologique. (2 pts)
- b) Quels sont tous les facteurs favorisants, avant, pendant et après la plongée ? (1 pt)
- c) Quelle est la conduite à tenir immédiatement ? (1 pt)
- d) Quels sont les effets de l'O₂ : normobare sur le bateau, puis hyperbare au caisson ? (2 pts)
- e) Quelles sont les hypothèses physiopathologiques à l'origine de ce type d'accidents ? (3 pts)
- f) Les premiers ordinateurs mis sur le marché étaient de simples calculateurs utilisant le modèle de Haldane. Les appareils de dernière génération ont intégré dans leur algorithme des nouveaux paramètres : Quels sont-ils, et quels sont leurs impacts sur les procédures de décompressions préconisées par ces ordinateurs de nouvelle génération. (3 pts)

Monitorat fédéral 2^{ème} degré

Proposition de réponses sur la Décompression.

(Pression atmosphérique de 1000 hpa au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80% de N₂ et 20% d'O₂).

QUESTION 1 (8 points)

N° 1 (1 point)

Alain s'immerge à 10h00 sur une profondeur de 30 mètres pour une plongée d'une heure. Il veut sortir de l'eau au plus tard à 11h15.

- Quel nitrox devra-t-il utiliser ?
- Quelle sera la profondeur équivalente utilisée pour le calcul ?

La profondeur réelle = 30 mètres → Pabs = 4 b

Heure de surface : 11h15, avec 1 h de plongée → DTR = 15'

Dans les tables MN 90 : 1h de plongée avec 15 minutes de remontée → Prof : 20 mètres

C'est donc la profondeur équivalente 20 mètres → % N₂ = PPN₂ / Pabs x 100

% N₂ = (3 x 0,8) / 4 x 100 = 60%

Alain a donc utilisé un nitrox N₂ = 60% / O₂ = 40%

N° 2 (2 points)

Pascal s'immerge à 10h et descend à 25m. A quelle heure amorce-t-il la remontée pour un palier de 10mn maximum. Il se ré immerge à 14h30 et descende à 20m. A quelle heure amorce-t-il la remontée pour éviter tout palier ?

Pascal amorce sa remontée à 10h + 40 = 10h40

Sortie à 10h40 + 12 = 10h52, G.P.S = J

Intervalle = 3h38, J → N₂ résiduel = 0,93 → Majoration = 17mn

Durée : 40 - 17 = 23mn. Pascal amorce la 2^{ème} remontée à 14h30 + 23 = 14h53.

N°3 (2 points)

Une palanquée effectue une plongée de 30 minutes à 38 mètres. De retour sur le bateau ils décident de planifier une seconde plongée à 20 mètres, 3 heures plus tard. Chaque plongeur dispose d'une réserve d'oxygène lui permettant une inhalation en surface de 2h maximum par plongeur.

- Décrivez la procédure qui permettra d'optimiser la seconde plongée.
- Quel sera le temps maximum de la seconde plongée sachant que ces plongeurs ne désirent plus faire de paliers ?

Planification : 1h à l'air ; 2h à l'oxygène et la 2^{ème} plongée

30 minutes à 38 mètres → GPS = K, 1h à l'air → N₂ résiduel = 1,15

2h à l'oxygène (prendre 1,16 dans le tableau) → N₂ résiduel = 0,82

Profondeur 20m et N₂ Résiduel = 0,82 → majoration de 2 minutes.

Soit un temps maximum de 38 minutes de plongée à 20 mètres.

N° 4 (3 points)

Jacques s'immerge le matin à 9 heures à 21m pendant 45 minutes. L'intervalle en surface est de 2 h 20. Il replonge ensuite à 13 mètres pendant 1h10.

- Heure de sortie de la seconde plongée ?
- Sachant qu'il désire prendre l'avion (pressurisé à 0.8 bar), combien de temps devra-t-il attendre avant de le prendre ?
- Quelle est la règle de sécurité ? Que lui conseillez-vous ?
- Précisez le mécanisme de l'accident qu'il risque en justifiant votre réponse
- Donnez lui une marche à suivre possible pour pouvoir néanmoins prendre son vol de retour quatre heures après sa sortie de l'eau sans aucun risque (Sc 120 min = 1,54)

1^{ère} plongée :

Départ 9 h00, Prof. 21m (soit 22 m table)

Temps de plongée : 45 mn, Temps de remontée : 1mn 12 s

Palier : 7 mn à 3 m, Temps de 3 m à la surface : 30 s

Heure de sortie : 9h00 +45 mn + 1mn 12 s + 7 mn + 30 s = 9 h 53 mn 42 s soit 9 h54, G.P.S: I

2^{ème} plongée :

Départ 9 h54 + 2h 20 mn = 12h 14 mn

Majoration : 37 mn, Prof : 13m (soit 15 m table).

Temps de plongée fictif : 1h10 + 37 mn = 1h 47 mn (soit 1h50 table)

Temps de plongée : 1h10 mn, Temps de remontée : 40 s

Palier : 15 mn à 3 m, Temps de 3 m à la surface : 30 s

Heure de sortie : 12h 14 mn + 1h10mn + 40s + 15mn + 30 s =13h 40 mn 10s

Majoration : 37 mn, GPS: M

Peut-il prendre l'avion ?

Tableau III → N₂ résiduel =1.38 → $1.38/0.8 = 1.725$ → Réponse NON

Tableau I → temps pour descendre le Sc de 1,38 à → $1,54 \times 0.8 = 1,23$ → 1 heure (soit 1,21 table)

Gain de temps avec O₂ = 15 minutes

Règle de sécurité : 12 heures.

Conseil : Attendre + de 12 heures minimum afin de ne prendre aucun risque. Rapport t/p = 1

Risque important d'accident de décompression.

Mécanisme : Diminution de la pression atmosphérique et augmentation du rapport tension /pression atmosphérique.

Autre solution : Respiration O₂ pendant 3 h15 heures afin de descendre à 0.79.

QUESTION 2 (12 points)

- a) Mettre en rapport les symptômes observés avec leur explication physiologique. (2 points)

Symptômes : Atteinte médullaire (douleur lombaire, paraplégie flasque)

Physiopathologie :

- ⇒ Les bulles d'azote sont dans la micro circulation (capillaires).
- ⇒ Les bulles circulantes abondantes bloquent partiellement le filtre pulmonaire avec augmentation de pression intra pulmonaire.

- ⇒ Elles bloquent le retour veineux (en particulier la veine épi / périurale), stase et sursaturation de la moelle épinière
- ⇒ Nécrose médullaire avec œdème, hémorragie... (Ischémie et anoxie)

b) Quels sont tous les facteurs favorisants à rechercher avant, pendant et après la plongée ? (1 point)

AVANT :

- Déshydratation +++
- Fatigue, manque de sommeil, traitement médical
- Stress physique ou psychique
- Mauvais état physique et psychique
- Âge
- Obésité, sédentarité (
- Tabac, Alcool
- Plongées précédentes, profils inversés

PENDANT :

- Non respect des procédures
- Eau froide, stress
- Efforts physiques, manque d'entraînement
- Profils de plongée atypiques (variation de profondeurs répétées lors de la plongée, « yoyos »...)
- Répétition des plongées
- Ordinateur ou tables ?...
- Valsalva, gonflage à la bouche, toux, apnée

APRES :

- Efforts
- Compression thorax, toux
- Apnée
- Altitude supérieure

c) Quelle est la conduite à tenir sur le bateau ? (1 point)

- Oxygénothérapie normobare 15 l/mn, en continu, maximum 6 heures.
- Appel des secours pour suivre les démarches médicalisées et l'évacuation vers un centre médicalisé hyperbare
- Gestion de la palanquée vérification des paramètres et des procédures de décompression
- Rappel des plongeurs des autres palanquées
- Puisque la personne est consciente, REHYDRATATION (1,5 l à 2 litres) par fractionnement en petite quantité
- Anti-agrégants sauf contre-indication (500 mg d'Acide Acétylsalicylique maximum).
- Bilan et surveillance des fonctions vitales et des d'autres signes ADD pouvant apparaître

d) Quels sont les rôles de l'oxygène hyperbare prescrite au caisson ? (2 points)

L'oxygène hyperbare a pour but :

- De par la pression :

Réduire le volume des bulles et des manchons gazeux pour favoriser la vascularisation d'aval et ainsi limiter l'hypoxie secondaire au blocage vasculaire engendré par ces bulles

- De par l'oxygène :

Accélérer la désaturation

Rétablir la pression partielle d'oxygène en aval de la bulle

Augmenter la déformabilité des globules rouges (transporteur d'oxygène) et donc augmenter sa diffusion dans la microcirculation

e) Quelles sont les hypothèses physiopathologiques émises à l'origine de ce type d'accidents ? (3 points)

La décompression engendre la formation de bulles dans notre organisme la loi de dissolution et de diffusion des gaz (loi d'Henri, modèles par diffusion haldanien et par perfusion). L'azote ainsi cumulé, ne peut être éliminé que par les voies pulmonaires.

Cette désaturation se traduit par la formation de noyaux gazeux qui grossissent (loi de Boyle et Mariotte) pour former des micro bulles (par cavitation ou autres ...)

Ces bulles circulantes gagnent les veines caves, atteignent le cœur droit puis le filtre pulmonaire où elles sont normalement éliminées. : Formations de bulles silencieuses ; ces bulles peuvent devenir pathogènes selon plusieurs mécanismes.

Dans le cas des ADD médullaires : plusieurs hypothèses peuvent être discutées.

L'obstruction artérielle : théorie controversée : par une embolisation gazeuse de l'une des artères radiculaires de la moelle (en particulier de l'artère d'Adamkiewicz).

L'obstruction veineuse mécanique avec thromboses des plexus veineux épидuraux (théorie veineuse d'Hallenbeck) avec formations in situ de manchons gazeux favorisés par un retour veineux et lymphatiques engorgé.

La compression mécanique par des bulles extravasculaires : ainsi les bulles formées dans les tissus avoisinant les artérioles pourraient comprimer ces dernières (le Water - Fall » Concept).

f) Au vue des avancées de compréhension des phénomènes physiologiques de la saturation et désaturation en plongée, expliquer l'impact sur les paramètres successivement intégrés dans les ordinateurs de plongée ? (3 points)

Certains ordinateurs (« 3^{ème} génération ») avec gestion d'air permettent d'évaluer une consommation d'air excessive (froid, essoufflement) et d'en tenir compte dans la phase de décompression, pour réduire la durée des plongées sans palier ou accroître les paliers (durée, profondeur).

Certains ordinateurs (« 4^{ème} génération ») tentent d'appréhender certains facteurs favorisant : Ils proposent des modèles de calculs adaptatifs pour corriger la désaturation et réduire le temps de plongée sans palier :

- Froid (mais température de l'eau et non du corps !).
- Profil de plongée (« yoyo ») = Hypothèse du volume critique des bulles (HENNESY & HEMPLEMAN 1977).
- Effort en liaison avec la fréquence cardiaque (cardio fréquencemètre étanche à mettre sous la combinaison).
- Vitesse de remontée fixe ou variable en fonction de la profondeur.

Ils proposent également des réglages personnalisés afin d'indiquer, avant l'immersion, le niveau de sécurisation souhaité en fonction de sa forme du moment, des conditions de plongée et de l'âge (réglage manuel de durcissement du protocole).

Certains ont des procédures de secours en cas de remontée rapide ou d'interruption de palier.

Certains, comme les « suunto », intègrent le modèle mathématique « RGBM » (Reduced Gradient Bubble Model de B. R. Wiencke (1991) qui reprend les hypothèses du VPM (Variable Permeability Model) et développe un algorithme complexe plus exigeant pour les successives rapprochées et profondes et préconisant des paliers profonds, une vitesse de remontée LENTE et une décompression plus courte.

Les dernières générations d'ordinateurs intègrent les mélanges « multi-gaz » (air, nitrox, trimix). Ils calculent donc la décompression en fonction du gaz utilisé paramétré dans l'ordinateur avant l'immersion.

Décompression : Durée 1 h 30 Coefficient 4

Pour tous les problèmes, vous utiliserez les paramètres suivants :

(P atm mer = 1 bar ; densité de l'eau = 1 ; air : 80% N₂ / 20% O₂)

Question 1 : Problèmes de plongée (10 pts) - Chaque problème faux ou non fait : -1,5 point.

Résolution des problèmes de plongée en 45 minutes.

- I. Deux plongeurs descendent à 25m. Après 10 minutes de plongée, suite à une mauvaise manipulation de son gilet, un des plongeurs effectue une remontée rapide et l'équipe se retrouve en surface. Ils rejoignent leur premier palier en utilisant le temps maximum préconisé par la table MN90.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs.**
- II. A 8 heures, deux plongeurs descendent à 29m pendant 25 min. Ils remontent en 5 min à leur premier palier. Ces mêmes plongeurs effectuent une deuxième plongée à 11h00, sur un fond de 24m pendant 12 minutes. Ils effectuent alors une remontée rapide et se retrouvent en surface en 1 minute. Ils se réimmergent et arrivent à leur mi-profondeur 2 minutes après leur arrivée en surface.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs.**
- III. A 9h00, une palanquée descend à 35 m pendant 30 minutes et remonte normalement à son premier palier. Cette même palanquée veut replonger le plus rapidement possible à 25m pendant 30 minutes en effectuant un maximum de 10 minutes de paliers.
✓ **Heure d'immersion de la deuxième plongée ?**
- IV. Vous utilisez un Nitrox 30 % O₂ pour une plongée à 30 m pendant 40 minutes.
✓ **Donner la profondeur équivalente et les paliers**
- V. Un groupe de plongeurs descend à 8h00 à 36 m pendant 20 minutes et remonte à son premier palier. Ce groupe de plongeurs redescend à 8h45 à 16 m pendant 2 minutes. Un des plongeurs effectue alors une remontée rapide à la suite d'une panne d'air. Les autres plongeurs le rejoignent en surface. Après un changement de bloc, l'ensemble du groupe se réimmerge et arrive à sa mi-profondeur dans le temps imparti par la table.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces plongeurs.**
- VI. Deux plongeurs s'immergent à 9h00 à 40 mètres pendant 20 minutes. Ils remontent normalement et effectuent leurs paliers. A la sortie de l'eau, ces plongeurs se mettent sous O₂ pur pendant 1 heure, puis replongent à 20mètres.
✓ **Combien de temps ces plongeurs peuvent-ils rester à cette profondeur sans faire de palier ?**
- VII. Une palanquée s'immerge à 9h00 dans un lac à une pression atmosphérique de 0.8 bar et plonge à une profondeur de 32 m pendant 20 min.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs.**
- VIII. Deux plongeurs niveau III s'immergent à 9h00 pour effectuer une plongée à 40m pendant 30 minutes. Ces plongeurs partent avec des blocs de décompression d'O₂ pur.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs.**
- IX. Deux plongeurs niveau III s'immergent à 9h00 pour effectuer une plongée à 40m pendant 30 minutes. Ces plongeurs partent avec des blocs de décompression d'O₂ pur. Au bout de 10 minutes à 3 mètres, un des plongeurs tombe en panne d'O₂ et repasse à l'air.
✓ **Donnez la procédure de décompression de ces deux plongeurs.**
- X. Une palanquée s'immerge à 9h00 pour effectuer une plongée à 50 mètres pendant 20 minutes. Deux heures après la sortie de l'eau la même palanquée souhaite replonger au Nitrox à 30 mètres pendant 20 minutes avec un maximum de 5 minutes de paliers.
✓ **Donner le mélange Nitrox avec le minimum d'O₂ que devra utiliser la palanquée.**

Question 2 : Comparatif des procédures de décompression (5 pts)

Pour les paramètres suivants, effectuez sous forme de tableau la comparaison entre tables fédérales et ordinateurs de plongée :

- courbe de sécurité,
- début de plongée,
- fin de plongée,
- durée de plongée,
- vitesse de remontée,
- durée des paliers,
- remontée rapide,
- intervalles de plongée,
- paliers à l'oxygène,
- température de l'eau,
- fatigue, stress, efforts,
- organisation de la plongée (avec ordinateurs différents).

Listez les conseils d'utilisation à donner aux plongeurs qui s'initient à l'utilisation d'un ordinateur.

Question 3 : Eléments de calculs de tables (5 pts)

1°- Trois compartiments sont étudiés au cours d'une plongée de 30 minutes à 30 mètres.

a - Quelles sera la tension d'azote dans les compartiments : 10 min, 15 min, 30 min ?

b - sachant que S_c : 10 min = 2,38 ; 15min = 2,2 ; 30min = 1,82, lequel sera le compartiment directeur et quelle sera la profondeur?

2°- Lorsqu'on consulte un ancien ouvrage traitant de la théorie de la plongée (ex "la plongée de Guy Poulet et Robert Barincou"), on constate que le terme de compartiment n'est pas utilisé dans le chapitre sur les éléments de calculs de table : ils ont utilisé uniquement celui de tissu.

Expliquez les raisons de ce changement de dénomination.

Éléments de Correction Polynésie

Question 1 : Problèmes de plongée (10 pts) La note minimale est bien évidemment 0

- I.** Remontée rapide, 3 minutes pour regagner la mi profondeur (12.5m) pendant 5 minutes, puis remonter au premier palier. 25 mètres pendant 18 minutes, pas de palier sur la table, mais 2 minutes obligatoires après procédure remontée rapide.
- II.** Remontée lente sur première plongée, inclure temps remontée dans temps de plongée
29 mètres pendant 30 minutes soit 9 minutes à 3 mètres. Intervalle surface : 2h20, on prendra donc 2h et non 2h30 dans les calculs. Azote résiduel après 2h : 1.00 Majoration : 1.03 pour 25m, soit 21 minutes
Remontée rapide sur seconde plongée, procédure 3 minutes pour regagner la mi-profondeur (12m), puis remonter au premier palier.
Temps à prendre en compte pour calculs paliers : 12 min+ 3 min + 5 min+ 21 min, soit 41 min
25 mètres pendant 41 min, palier de 16 minutes à 3 mètres.
- III.** Remontée normale sur première plongée, ne pas inclure temps remontée dans temps de plongée.
35m pendant 30 minutes, soit 1 minute à 6 mètres et 20 minutes à 3 mètres. GPS : J
10 minutes à 3 mètres max, soit 40 min à 25 mètres. Le plongeur veut faire 30 minutes, soit 10 minutes de majoration maximum possible. 8 min pour 25 mètres donne un azote résiduel de 0.89.
0.89 pour GPS J → 4h30 d'intervalle, soit une entrée dans l'eau à 14h24 pour la seconde plongée.
- IV.** $P_p = P_{Abs} \times \% \text{ mélange}$ soit, $P_{Abs} = 5,3b = 43m$, le mélange Nx30 est utilisable à 30m.
 $Prof \text{ Equiv.} = (P+10) \times \%N_2 / 80 - 10 = (30+10) \times 70 / 80 - 10 = 25 \text{ mètres}$
On prendra donc 25 mètres 40 minutes sur les tables fédérales, soit 10 minutes de paliers à 3 mètres.
- V.** Remontée normale sur première plongée, ne pas inclure temps remontée dans temps de plongée.
36m pendant 20 minutes, soit 8 minutes à 3 mètres. Intervalle surface 14 minutes.
La seconde plongée est donc une consécutive. 16 mètres pendant 2 minutes puis remontée rapide.
On comptera dans le temps de la seconde plongée : 20 + 2 + 3 + 5, soit 30 minutes à 36 mètres.
La mi-profondeur sera à 18 mètres (mi-prof de la première plongée).
On prendra donc 36 mètres 30 minutes sur les tables, soit 3 minutes à 6 mètres et 24 minutes à 3 mètres.
- VI.** Remontée normale sur première plongée, ne pas inclure temps remontée dans temps de plongée.
40m pendant 20 minutes, soit 1 minute à 6 mètres et 9 minutes à 3 mètres. GPS : H.
Au bout d'une heure sous O₂, H ($P_pO_2=1,16$) passe à 0,97. Le plongeur replonge à 20 mètres (successive).
Majoration : 22 minutes. Le plongeur pourra replonger pendant 18 minutes sans avoir à effectuer de palier.
- VII.** $Prof \text{ Mer} = (Prof \text{ Lac} \times P_{Lac}) / P_{Mer} = 32/0.8 = 40 \text{ mètres}$.
Calcul Paliers : 40m pour 20 minutes, soit 1 minute à 6 mètres et 9 minutes à 3 mètres.
Calcul Prof paliers : $Prof \text{ Lac} = (prof \text{ Mer} \times P_{Lac}) / P_{Mer} \rightarrow$ paliers à 4.8m et 2.4m.
Vitesse de remontée Lac = vitesse remontée Mer x PLac = 15 x 0.8 = 12 m/min.
- VIII.** 40m pendant 30 minutes, soit 4 minutes à 6 mètres et 28 minutes à 3 mètres sur les tables fédérales.
La palanquée effectue sa décompression à l'O₂ pur, le palier à 6 mètres n'est pas modifié (palier inférieur à 5 minutes), la durée du palier à 3 mètres est égale aux 2/3 de la durée du palier air arrondie à la minute supérieure (palier supérieur à 5 minutes). La palanquée effectuera donc à l'O₂ pur 4 minutes à 6 mètres et 19 minutes à 3 mètres.
- IX.** 40m pendant 30 minutes. La palanquée effectuera à l'O₂ pur 4 minutes à 6 mètres et 19 minutes à 3 mètres.
Heure de sortie : 9h57 (cf. problème VIII). Au bout de 10 minutes à 3 mètres, un des plongeurs tombe en panne d'O₂ et repasse à l'air. La palanquée perd le bénéfice de la règle de diminution du temps de palier. Elle restera donc 18 minutes à 3 mètres pour finir le temps de palier théorique à l'air. La palanquée effectuera donc un temps de 4 minutes à 6 mètres et 28 minutes à 3 mètres.
- X.** 50m pendant 20 minutes soit 4 minutes à 6 mètres et 22 minutes à 3 mètres sur les tables fédérales.
Heure de sortie : 9h50. GPS : J. Deux heures après la sorties de l'eau la même palanquée souhaite replonger au Nitrox à 30 mètres pendant 30 minutes avec un maximum de 5 minutes de paliers.
Majoration : 27 minutes. La palanquée doit choisir un mélange qui lui donnera une profondeur équivalente de 20 mètres. Le mélange sera un Nx40.

Question 2 : Comparatif des procédures de décompression (6 pts)

a. Tableau à remplir

Paramètres	Tables Fédérales	Ordinateur
courbe de sécurité	Définie clairement	Différente en fonction des ordinateurs
début de plongée	Immersion en surface	Immersion entre 0,5 et 1m en fonction des ordinateurs
fin de plongée	Sortie en surface	Emergence entre 1m et 0,5m en fonction des ordinateurs.
durée de plongée	De l'immersion au début de la remontée	De l'immersion à l'émersion.
vitesse de remontée	De 15 à 17 m/minutes	Plus lente (10 m/minute) ou variable en fonction de la profondeur.
Durée des paliers	Profondeur maxi atteinte + durée plongée (profil carré). Paliers 3, 6, 9	Calcul en « temps réel » la tension d'azote dans tous les compartiments, comparaison constante aux coefficients de sursaturation : remonté en continu ou paliers à des profondeurs = ou différentes à 9, 6,3 m (fonction de l'altitude)
Remontée rapide	1er palier de 5 min à demi-prof. à additionner à la durée de plongée	Soit arrêt du calcul de décompression avec alarme sonore (passage sur Timer) ou indication de paliers majorés à effectuer
Intervalles de plongée	< 15 min = consécutive ≥ 15 min = successive	Pas de distinction successive / consécutive: calcul d'une nouvelle saturation
paliers à l'oxygène	Réduction du temps de palier de un tiers	Palier à l'oxygène prévu dans certains ordinateur Nitrox
température de l'eau	Non prévu	Intégré dans certains modèles de décompression
fatigue, stress, efforts	Non prévu	Intégré dans certains modèles de décompression ou prise en compte en augmentant la plage d'altitude
Organisation des palanquées	Pas de problème si respect des consignes de sécurité habituelle	mélange de procédures de décompression différentes au sein d'une même palanquée : Accord avant l'immersion

b. Conseils d'utilisation

- ✓ Temps restant avant paliers (« No Dec Time ») : Ne pas effectuer toute la plongée aux limites de la courbe en évitant à tout prix de rentrer dans les paliers. L'ordinateur n'a pas été conçu pour être utilisé comme cela.
- ✓ Planifier toute plongée à l'ordinateur et respecter cette planification.
- ✓ Gestion des profils Yoyo : Profils déconseillés car non gérés par tables et ordinateurs. Limiter le nombre de remontées par plongée selon préconisation CTN.
- ✓ Gestion de la remontée rapide :
En cas d'utilisation de tables de plongée : protocole de la descente à mi profondeur pendant 5 min + durée : du début de la plongée initiale à la fin du palier à mi profondeur. Minimum 2 min à 3 mètres. La demi-profondeur avec utilisation d'un ordinateur n'est pas prévue sur le mode d'emploi d'un ordinateur après remontée rapide. Le choix d'effectuer une mi-profondeur préventive n'est pas problématique puisque l'ordinateur continue de calculer la décompression
- ✓ Si l'ordinateur du plongeur est en mode erreur ou SOS = surveillance du plongeur et appel des secours à la première manifestation de symptômes.
- ✓ Sensibilisation des plongeurs au non mélange des procédures de décompression.

Question 3 : Eléments de calcul de table (5pts)

- 1°- a) Quelles sera la tension d'azote dans les compartiments
 $C_{10} = 2,9 \rightarrow 1,218 = 2 \text{ m } 18$; $C_{15} = 2,6 \rightarrow 1,181 = 1 \text{ m } 81$; $C_{30} = 2,0 \rightarrow 1,098 = 0 \text{ m } 98$
- b) Le compartiment directeur sera donc le C_{10} qui impose l'arrêt le premier.
Le palier sera donc à 3 mètres.
- c) La profondeur illimitée sans palier
 $T/C_{sc} < 1 \Rightarrow T < C_{sc} \Rightarrow T < 1,54$
 $P_{abs} = 1,54 / 0,8 = 1,925$, soit 9.25 mètres.

2°-

Un tissu est une entité anatomique ayant les mêmes caractéristiques physiologiques. C'est donc un ensemble de cellules ayant des propriétés communes. Un tissu possède des caractéristiques de saturation et de désaturation non constantes dans le temps et dans l'espace.

Un compartiment est une entité théorique (concept mathématique). Les paramètres de fonctionnement de celui-ci sont constants dans le temps et dans l'espace.

Donc, dans notre organisme, aucun tissu ne se comporte comme un compartiment. Il s'agit bien d'une modélisation simplificatrice qui permet de calculer ce qui ne peut pas l'être avec un tissu réel. On suppose (et on espère !!!) donc que cette simplification aboutit à un résultat compatible avec la réalité physiologique.

C'est cette dualité qui permet d'expliquer la survenue d'accidents avec respect de procédures.

Décompression : Durée 1 h 30

Coefficient 4

Partie 1 : Utilisation des tables MN90 (8 points)

A) Immersion 1 :

- Heure Départ : 9h45
- Profondeur maximum atteinte : 29 mètres
- Temps de plongée : 33 minutes.

Immersion 2 :

- Heure Départ : 10h45
- Profondeur maximum atteinte : 25 mètres
- La remontée commence à 10h55.

Immersion 3 :

- Heure Départ : 15h00
- Profondeur maximum atteinte : 27 mètres
- A 15h25, le plongeur a un problème et remonte en surface en 1 minute.
- 2 minutes plus tard il atteint son 1^{er} palier.

Donnez, pour chaque plongée profondeur et temps des paliers,

B) Vous décidez de monter une structure de plongée près d'un lac situé à 3000 mètres d'altitude (la pression atmosphérique y est de 0,7 bar).

L'immersion dans ce lac est prévue à une profondeur réelle de 35 mètres.

Pour éviter de longs calculs de profondeur équivalente aux plongeurs de votre structure, vous décidez d'utiliser du Nitrox afin qu'ils puissent utiliser directement leurs tables MN90 en évoluant à cette profondeur.

Quel NITROX devez-vous préparer pour ce type de plongée ?

Remarque : On considère que l'air est composé de 80% d'azote et 20% d'oxygène.

C) 2 plongeurs réalisent la plongée suivante :

- Heure Départ : 9h00
- Profondeur maximum atteinte : 40 mètres
- Temps de plongée : 15 minutes.

Ces plongeurs souhaitent replonger 3 heures après être sortis de leur première plongée en ayant le taux d'azote résiduel le plus faible possible.

Ils disposent d'une bouteille d'oxygène pur leur permettant de respirer dessus durant 1 heure en surface.

Montrez par le calcul qu'il est plus intéressant qu'ils respirent cet oxygène durant 1 heure juste avant de plonger la seconde fois (plutôt que durant 1 heure juste après être sortis de la 1^{ère} plongée).

Décompression : suite

Partie 2 : Accidents de décompression (6 points)

Lors d'un stage de préparation au niveau 4, après une plongée d'exercices à 40m, une palanquée de 2 personnes (1 élève et 1 encadrant) remonte sur le bateau.

Après quelques minutes, l'encadrant vient vous voir (vous êtes le Directeur de Plongée) en vous disant que son élève se sent fatigué et qu'il a envie de vomir. Vous remarquez également qu'il a du mal à se tenir debout et qu'il est particulièrement pâle.

- A) Quel type d'accident de décompression suspectez-vous ? (0,5 point)
- B) Expliquez les symptômes observés en utilisant vos connaissances d'anatomie-physiologie. (2 points)

La procédure de décompression a été respectée lors de cette plongée qui, au demeurant, s'était bien déroulée.

- C) Expliquez pourquoi un accident de décompression peut néanmoins survenir bien que la procédure de décompression ait été correctement appliquée ? (1 point)
- D) Quelle est la conduite à tenir face à un accident de ce type ? (1 point)

Lors d'un accident de décompression on constate souvent que l'état de la victime s'améliore après qu'on lui ait prodigué les gestes de premiers secours adéquats. Parfois, les symptômes disparaissent presque totalement. Il est donc tentant « d'attendre que cela passe tout seul ».

- E) En utilisant vos connaissances en physiopathologie de ce type d'accident, expliquez pourquoi on ne doit jamais faire cela. (1,5 point)

Partie 3 : Modélisation de la décompression (6 points)

Actuellement, les ordinateurs de plongée rencontrés sur le marché utilisent un modèle mathématique de type « Bühlmann » ou de type « VPM ».

- A) Quelles sont les principales différences entre le modèle de Haldane et celui de Bühlmann en ce qui concerne :
- Les hypothèses physiologiques utilisées pour la modélisation du comportement du corps humain.
 - Le(s) critère(s) qui déclenchent l'apparition d'un palier de décompression. (2 points)
- B) Quelles sont les principales différences entre le modèle dit « de Bühlmann » et ceux de type « VPM » en ce qui concerne :
- Les hypothèses physiologiques utilisées pour la modélisation du comportement du corps humain.
 - Le(s) critère(s) qui déclenchent l'apparition d'un palier de décompression. (2 points)

En pratique, certains ordinateurs indiquent des paliers « obligatoires » et des paliers « non obligatoires ».

- C) Expliquez à quoi servent ces paliers « non obligatoires ». (1 point)
- D) Dans quel(s) cas peut-on conseiller à des plongeurs de réaliser ces paliers « non obligatoires ». (1 point)

Décompression : Durée 1 h 30

Coefficient 4

Partie 1 : Utilisation des tables MN90 (8 points)

A) Immersion 1 :

- Heure Départ : 9h45
- Profondeur maximum atteinte : 29 mètres
- Temps de plongée : 33 minutes.

Immersion 2 :

- Heure Départ : 10h45
- Profondeur maximum atteinte : 25 mètres
- La remontée commence à 10h55.

Immersion 3 :

- Heure Départ : 15h00
- Profondeur maximum atteinte : 27 mètres
- A 15h25, le plongeur a un problème et remonte en surface en 1 minute.
- 2 minutes plus tard il atteint son 1^{er} palier.

Donnez, pour chaque plongée profondeur et temps des paliers,

Eléments de réponse et référentiel de correction

- Plongée 1 : (0,5 pt)
 - 17 min à 3m
 - GPS = J
 - HS1 = 9h45 + 33 + 20 = 10h38
- Plongée 2 : (0,5 pts)
 - Intervalle = 7 min → plongée consécutive.
 - On calcule donc les paliers avec 29 mètres (30 mètres dans la table) pendant 43 minutes (33 minutes de la 1^{ère} plongée et 10 minutes de la seconde plongée).
 - 1 min à 6m
 - 31 min à 3m
 - HS2 = 10h55 + (25-6)/15 + 1 + 0,5 + 31 + 0,5 = 11h30
 - GPS = L
- Plongée 2 : (1 pts)
 - Intervalle de 3h30.
 - L → 0,96 bar de tension d'azote résiduelle.
 - Paliers :
 - 5 min à 16m (1/2 profondeur)
 - 25 min à 3m (on rentre dans la table avec : 27m pendant 43 min (=25 + 1 + 2 + 15))
 - HS2 = 15h25 + 1 + 2 + 5 + (16 - 3)/15 + 25 + 0,5 = 16h00

B) Vous décidez de monter une structure de plongée près d'un lac situé à 3000 mètres d'altitude (la pression atmosphérique y est de 0,7 bar).

L'immersion dans ce lac est prévue à une profondeur réelle de 35 mètres.

Pour éviter de longs calculs de profondeur équivalente aux plongeurs de votre structure, vous décidez d'utiliser du Nitrox afin qu'ils puissent utiliser directement leurs tables MN90 en évoluant à cette profondeur.

Quel nitrox devez-vous préparer pour ce type de plongée ?

Remarque : On considère que l'air est composé de 80% d'azote et 20% d'oxygène.

Eléments de réponse et référentiel de correction

Il existe 2 manières de résoudre ce problème (les 2 sont acceptables) :

- La première méthode consiste à calculer la profondeur fictive mer puis de déterminer le mélange nitrox qui permet de rendre cette profondeur fictive à 35 mètres.
- La seconde méthode (plus rapide) consiste à dire que, pour que 2 plongées soient équivalentes entre elles (ici celle qui se déroule en lac et celle en mer), il suffit que les coefficients Sc de chaque compartiment soient, en permanence, les mêmes entre les 2 plongées.

1^{ère} méthode :

On calcule d'abord la profondeur fictive mer :

$$Pr of_{Fictive} = Pr of_{Lac} \times \frac{P_{atmosphérique_Mer}}{P_{atmosphérique_Lac}}$$

$$\Rightarrow Pr of_{Fictive} = 35 \times \frac{1}{0,7} \quad (1 \text{ pt})$$

$$\Rightarrow Pr of_{Fictive} = 50m$$

On cherche maintenant à calculer le nitrox avec lequel il faudrait plonger en mer à 50m pour que la pression partielle d'azote soit la même que celle pour une plongée à 35m à l'air.

Cela se traduit par :

$$P_{Absolue}(50m) \cdot \%N2 = P_{Absolue}(35m) \cdot 0,8$$

$$\Rightarrow \%N2 = \frac{P_{Absolue}(35m) \cdot 0,8}{P_{Absolue}(50m)}$$

$$\Rightarrow \%N2 = \frac{(1 + 3,5) \cdot 0,8}{1 + 5} \quad (1 \text{ pt})$$

$$\Rightarrow \%N2 = 0,6$$

$$\Rightarrow \%N2 = 60\%$$

Il faut donc utiliser un nitrox 40.

2^{ème} méthode :

Dire que les coefficients Sc de tous les compartiments sont, en permanence identiques entre les 2 plongées se traduit par :

$$Sc_{Lac} = Sc_{Mer} \quad \text{à tout moment et pour tous les compartiments}$$

Si cela est vrai à tout moment c'est, en particulier, à la surface. Cela se traduit alors par :

$$\left(\frac{PpN2}{Patm} \right)_{Lac} = \left(\frac{PpN2}{Patm} \right)_{Mer} \quad (1 \text{ pt})$$

D'où :

$$\left(\frac{(P_{Atmosphérique} + P_{Hydrostatique}) \%N2}{P_{Atmosphérique}} \right)_{Lac} = \left(\frac{(P_{Atmosphérique} + P_{Hydrostatique}) \%N2}{P_{Atmosphérique}} \right)_{Mer}$$

$$\Rightarrow \%N2_{Lac} = \left(\frac{(P_{Atmosphérique} + P_{Hydrostatique}) \%N2}{Patm} \right)_{Mer} \cdot \left(\frac{P_{Atmosphérique}}{P_{Atmosphérique} + P_{Hydrostatique}} \right)_{Lac}$$

$$\Rightarrow \%N2_{Lac} = \left(\frac{(1 + 3,5) \cdot 0,8}{1} \right) \cdot \left(\frac{0,7}{(0,7 + 3,5)} \right)$$

$$\Rightarrow \%N2_{Lac} = 0,60$$

$$\Rightarrow \%N2_{Lac} = 60\%$$

On retrouve bien qu'il faut utiliser un Nitrox 40. (1 pt)

C) 2 plongeurs réalisent la plongée suivante :

- Heure Départ : 9h00
- Profondeur maximum atteinte : 40 mètres
- Temps de plongée : 15 minutes.

Ces plongeurs souhaitent replonger 3 heures après être sortis de leur première plongée en ayant le taux d'azote résiduel le plus faible possible.

Ils disposent d'une bouteille d'oxygène pur leur permettant de respirer dessus durant 1 heure en surface. Montrez par le calcul qu'il est plus intéressant qu'ils respirent cet oxygène durant 1 heure juste avant de plonger la seconde fois (plutôt que durant 1 heure juste après être sortis de la 1^{ère} plongée).

Eléments de réponse et référentiel de correction

- Plongée 1 : 15 min à 40m
 - 4 min à 3m
 - GPS = G

Respiration d'O2 juste après la 1ère plongée :

- 1 heure sous O2 en surface : G → 0,93 bar d'azote résiduel (= C) (0,5 pts)
- 2h à l'air : C → 0,87 bar (0,5 pts)

Respiration d'O2 pendant 1h juste avant de plonger la 2nd fois :

- 2h à l'air : G → 0,96 bar d'azote résiduel (= D). (0,5 pts)
- 1h sous O2 en surface : 0,96 → 0,82 bar d'azote résiduel. (0,5 pts)

La tension d'azote résiduelle juste avant de partir plonger étant inférieur dans le 2nd cas, cette solution est donc bien la plus intéressante.

Partie 2 : Accidents de décompression (6 points)

Lors d'un stage de préparation au niveau 4, après une plongée d'exercices à 40m, une palanquée de 2 personnes (1 élève et 1 encadrant) remonte sur le bateau.

Après quelques minutes, l'encadrant vient vous voir (vous êtes le Directeur de Plongée) en vous disant que son élève se sent fatigué et qu'il a envie de vomir. Vous remarquez également qu'il a du mal à se tenir debout et qu'il est particulièrement pâle.

F) Quel type d'accident de décompression suspectez-vous ? (1 point)

Eléments de réponse et référentiel de correction

On peut penser à un ADD de l'Oreille interne. (0,5 pts)

G) Expliquez les symptômes observés en utilisant vos connaissances d'anatomie-physiologie. (2 points)

Eléments de réponse et référentiel de correction

ADD de l'oreille interne (1 pt) :

- Des bulles sont présentes au niveau de l'oreille interne et, en particulier dans ce cas, dans l'un au moins des organes intervenant dans l'équilibre comme l'utricle, la saccule et/ou les canaux semi-circulaires.
- Les informations envoyées par ces récepteurs sensoriels ne sont donc pas cohérentes avec celles des autres récepteurs sensoriels qui interviennent dans le maintien de l'équilibre (informations visuelles ou proprioceptives).

Au final, cette discordance entraîne alors des troubles de l'équilibre (« ... a du mal à se tenir debout... ») et des symptômes comparables au mal de mer (« ... envie de vomir », « ... particulièrement pâle. »). (0,5 pt)

La fatigue est liée à l'ensemble des réactions du corps pour « lutter » contre la présence de bulles (en lien avec la maladie de décompression). (0,5 pt)

La procédure de décompression a été respectée lors de cette plongée qui, au demeurant, s'était bien déroulée.

H) Expliquez pourquoi un accident de décompression peut néanmoins survenir bien que la procédure de décompression ait été correctement appliquée ? (1 point)

Éléments de réponse et référentiel de correction

Une procédure de décompression résulte d'une modélisation mathématique du comportement du corps humain, éventuellement complétée d'une expérimentation *in-situ*. (0,5 pt)
Mais, la modélisation, comme l'expérimentation, ne peuvent pas prendre en compte tous les facteurs qui interviennent dans les processus de saturation et désaturation. Ces facteurs, nommés « facteurs favorisant d'ADD » (ex. : âge, fatigue, stress, froid, profils de plongée particuliers, ...), peuvent induire un comportement réel différent de celui prévu par n'importe quelle procédure de décompression. (0,5 pt)
Il est donc possible que, dans certaines conditions ou situations, ces facteurs prennent une importance telle qu'ils rendent la procédure de décompression caduque.

I) Quelle est la conduite à tenir face à un accident de ce type ? (1 point)

Éléments de réponse et référentiel de correction

- Barème : 1 point si tout y est, 0 s'il en manque.
- Mise sous O₂,
- Aspirine : dose max 500mg et si la personne est consciente et non allergique,
- Appel des secours pour une évacuation vers un centre de traitement hyperbare.

Lors d'un accident de décompression on constate souvent que l'état de la victime s'améliore après qu'on lui ait prodigué les gestes de premiers secours adéquats. Parfois, les symptômes disparaissent presque totalement. Il est donc tentant « d'attendre que cela passe tout seul ».

J) En utilisant vos connaissances en physiopathologie de ce type d'accident, expliquez pourquoi on ne doit jamais faire cela. (1 point)

Éléments de réponse et référentiel de correction

- L'ADD indique que des bulles pathologiques circulent dans le corps humain et que certaines se sont coincées quelque part, créant ainsi un défaut d'alimentation (en O₂ et nutriments) de certains tissus. (0,5 pts)
- La mise sous O₂ permet de rétablir temporairement et partiellement une alimentation en O₂ ce qui améliore la situation mais ne règle pas le problème de base (càd la présence de bulles). De plus, la présence de ces bulles dans le corps déclenche un ensemble de réactions de défense (maladie de décompression) qui va, à long terme, entraîner des symptômes nouveaux et/ou aggraver les symptômes déjà en place. (0,5 pts)
- Le seul moyen de supprimer ces bulles est de procéder à une recompression thérapeutique avec le protocole adapté et donc, de procéder à une évacuation vers un centre spécialisé. (0,5 pt)

Partie 3 : Modélisation de la décompression (6 points)

Actuellement, les ordinateurs de plongée rencontrés sur le marché utilisent un modèle mathématique de type « Bühlmann » ou de type « VPM ».

E) Quelles sont les principales différences entre le modèle de Haldane et celui de Bühlmann en ce qui concerne :

- Les hypothèses physiologiques utilisées pour la modélisation du comportement du corps humain.
- Le(s) critère(s) qui déclenchent l'apparition d'un palier de décompression. (2 points)

Éléments de réponse et référentiel de correction

Par rapport au modèle de Haldane, celui de Bühlmann prend en compte :

- La composition de l'air alvéolaire (et non de l'air ambiant) dans le calcul de la tension d'azote (0,5 pts). La différence porte essentiellement sur la prise en compte de la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air alvéolaire.
- Le nombre de compartiments est différent. (0,5 pts)
- L'apparition d'un palier est liée au dépassement d'une tension maximale d'azote (M-value) dans le compartiment (0,5 pts), alors que pour le modèle de Haldane c'est un rapport de pression.

- Cette tension limite varie en fonction de la profondeur. (0,5 pts)

F) Quelles sont les principales différences entre le modèle dit « de Bühlmann » et ceux de type « VPM » en ce qui concerne:

- Les hypothèses physiologiques utilisées pour la modélisation du comportement du corps humain.
- Le(s) critère(s) qui déclenchent l'apparition d'un palier de décompression. (2 points)

Éléments de réponse et référentiel de correction

Par rapport au modèle de Bühlmann, le modèle VPM prend en compte :

- Existence de bulles en permanence dans le corps humain. (0,5 pts)
- Calcul de la taille (ou du volume global) de ces bulles. (0,5 pts)
- Le critère d'apparition d'un palier est lié à ce que le volume total de ces bulles dépasse un volume maximum tolérable (1 pt) pendant un temps maximum.

En pratique, certains ordinateurs indiquent des paliers « obligatoires » et des paliers « non obligatoires ».

G) Expliquez à quoi servent ces paliers « non obligatoires ». (1 point)

Éléments de réponse et référentiel de correction

Le but de ces paliers « non obligatoires » est de limiter la création de microbulles (0,5 pts) et/ou de d'éviter que leur taille n'augmente trop lors de la remontée (0,5 pts).

H) Dans quel(s) cas peut-on conseiller à des plongeurs de réaliser ces paliers « non obligatoires ». (1 point)

Éléments de réponse et référentiel de correction

On peut conseiller à des plongeurs de réaliser ces paliers lorsqu'ils présentent un risque accru de faire un ADD (0,5 pts).

Par exemple dans les cas suivants : âge supérieur à 45 ans environ, embonpoint, profils de plongée particuliers (ex. : yoyo, profil inversé, ...), etc. (0,5 pts).

Décompression

Durée 1h30

PREMIERE PARTIE : Problèmes de tables

(7 pts)

▣ **ATTENTION : La 1^{ère} partie (problèmes de tables) se traite dans les 30 premières minutes.**

▣ La résolution de ces problèmes nécessite l'utilisation des tables fédérales.

Problème N°1 (3 pts)

- Deux plongeurs s'immergent à 9h45 sur un fond de 53 mètres pendant 12 minutes. Indiquez la procédure de décompression utilisable.
- Ils décident de se ré-immerger à 14h30 sur une profondeur de 24 mètres pendant 22 minutes. Indiquez la procédure de décompression utilisable pour cette seconde plongée.
- Au cours de la seconde plongée, ils décident de conserver la même durée d'immersion, mais de limiter leur profondeur à 20 mètres. Indiquez la procédure de décompression utilisable, sachant que les plongeurs disposent uniquement de tables immergeables simples sans possibilité de calcul de la majoration.
- Même question s'ils décident de conserver la même durée d'immersion, mais d'augmenter la profondeur à 27 mètres.

Problème N°2 (2 pts)

- Deux plongeurs s'immergent à 8h50 sur un fond de 36 mètres pendant 27 minutes. Ils décident de respirer de l'oxygène pur au palier. Indiquez la procédure de décompression utilisable.
- Ils décident de respirer de l'oxygène pendant une partie de l'intervalle de surface, puis de se ré-immerger à 13h40 sur une profondeur de 17 mètres
 - Le plongeur A respire de l'oxygène pur pendant une heure dès la sortie de la première plongée. Calculez le résultat de sa majoration avant le début de la deuxième plongée.
 - Le plongeur B respire de l'oxygène pur une heure avant le début de la seconde plongée. Calculez le résultat de sa majoration avant le début de la deuxième plongée.
- Expliquez brièvement les résultats obtenus à la question b).

Problème N°3 (2 pts)

Des plongeurs veulent s'immerger à une profondeur réelle de 25 mètres dans un lac de montagne situé à 2500 mètres d'altitude. Ils disposent de Nitrox et veulent se servir de la table fédérale en y entrant directement la profondeur réelle.

Quel sera le pourcentage d'O₂ dans le mélange Nitrox qu'ils devront utiliser ?

(On considère que la pression atmosphérique diminue de 0,1 bar quand on s'élève de 1000 mètres et que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂)

Décompression

Durée 1h30

SECONDE PARTIE

SUJET N°1 : les modèles de décompression (6 pts)

- a) La plupart des procédures de décompression utilisées actuellement sont dérivées du modèle de Haldane. Citez, sans les développer, les principales hypothèses ayant servi à son élaboration.
- b) Définissez la notion de seuil de sursaturation critique (Sc) dans les tables fédérales.
- c) WORKMAN a introduit la notion de M-Value :
- donnez une définition simple de ce terme
 - expliquez les différences par rapport au seuil de sursaturation critique utilisé pour les tables fédérales.
- d) Donnez les avantages annoncés par le concepteur du modèle RGBM. Par quels moyens pratiques sont-ils obtenus ? Justifiez cette réponse.

SUJET N°2 : Une histoire basée sur des faits authentiques... (7 pts)

"Laurel et Hardy", plongeurs niveau 3, reviennent d'un séjour d'une semaine de plongée en Egypte. Le lendemain de leur retour, Laurel téléphone à un médecin fédéral car il ressent toujours des fourmillements au niveau des membres inférieurs et des difficultés à uriner. Ce médecin l'adresse immédiatement au centre hyperbare le plus proche. Lorsqu'il y arrive, Laurel décrit sa dernière journée de plongée au médecin de garde.

Depuis quelques jours, Laurel et Hardy souffraient de diarrhées de type "turista". La première plongée débute à 11h du matin, se déroule à une profondeur de 40 mètres et dure 50 minutes (temps total d'immersion mesuré à l'ordinateur)

Laurel et Hardy absorbent chacun une tasse de thé à la menthe, puis rejoignent le deuxième site de plongée après une marche de 20 minutes bloc sur le dos. Ils se ré-immergent à 12h30 à une profondeur de 55 mètres pour une durée de 1h (temps total d'immersion mesuré à l'ordinateur).

Les deux plongées se déroulent sans incident, et les paliers donnés par les ordinateurs sont respectés, le gaz utilisé est l'air. Laurel et Hardy rejoignent l'aéroport où leur avion décolle à 17h30. Laurel se sent alors très mal, forte fatigue, fourmillements... .

- a) Quel accident peut-on évoquer en ce qui concerne Laurel ?
- b) En étudiant les conditions de pratique de Laurel et Hardy, expliquez pourquoi cet accident était largement prévisible.
- c) Bien que la décompression ait été effectuée à l'aide des ordinateurs, on peut admettre que, pour faire une estimation à partir de la table MN90, la TN_2 dans le compartiment 120 minutes en sortie de la 2nd plongée correspond à celle du GPS maximum possible. Justifiez par le calcul le fait que l'accident de Laurel était fortement probable.
- ($Sc_{120} = 1,54$; Pression de pressurisation de l'avion = 0,63 b que l'on suppose atteinte dès le décollage de celui-ci).

Eléments de réponse

PREMIERE PARTIE : Problèmes de tables (7 pts)

Problème N°1 (3 pts)

a) Deux plongeurs s'immergent à 9h45 sur un fond de 53 mètres pendant 12 minutes. Indiquez la procédure de décompression utilisable. (0,5 pt)

Paliers : 4 min à 6 m et 13 min à 3 m. Heure de sortie : 9h45 + 12 + 22 = 10h19

b) Ils décident de se réimmerger à 14h30 sur une profondeur de 24 mètres pendant 22 minutes. Indiquez la procédure de décompression utilisable pour cette seconde plongée. (1 pt)

□ GPS = I et intervalle de surface = 4h11

□ Tableau I : 4h → azote résiduel = 0,9

□ Tableau II : 0,92 à 25 m → Majoration = 11'

□ Donc tps de plongée = 11 + 22 = 33 min à 24 m (35 min à 25m) → palier de 5 min à 3 m

□ DTR = 7 min → heure de sortie = 14h30 + 22 + 7 = 14h59

c) Au cours de la seconde plongée, ils décident de conserver la même durée d'immersion, mais de limiter leur profondeur à 20 mètres. Indiquez la procédure de décompression utilisable, sachant que les plongeurs disposent uniquement de tables immergeables simples. (0,5 pt)

On ne recalcule pas la majoration sous l'eau. On prend en compte la profondeur la plus importante : 24 m = profondeur planifiée. Donc résultats identiques à la question b)

d) Même question s'ils décident de conserver la même durée d'immersion, mais d'augmenter la profondeur à 27 mètres. (1 pt)

□ On prend en compte la profondeur la plus importante : 27 m = profondeur réellement atteinte.

□ Majoration et durée de la plongée sont inchangées

□ Donc 33 min à 27 m (35 min à 28m) → palier de 12 min à 3 m.

□ DTR = 15 min → heure de sortie = 14h30 + 22 + 15 = 15h07

Problème N°2 (2 pts)

a) Deux plongeurs s'immergent à 8h50 sur un fond de 36 mètres pendant 27 minutes. Ils décident de respirer de l'oxygène pur au palier. Indiquez la procédure de décompression utilisable. (0,5 pts)

□ Palier de 6 m : 3 min = inchangé par la respiration d'O₂ car dure moins de 5 min.

□ Palier de 3 m : réduit d'un tiers = 24 x 2/3 = 16 min.

□ Durée totale de remontée : 2 min de 36 à 6 m + 3 min de palier à 6 m + 0,5 min de temps inter palier + 16 min de palier à 3 m + 0,5 min de temps inter palier = 22 min

□ Donc heure de sortie = 8h50 + 27 + 22 = 9 h 39

□ GPS = K : inchangé par la respiration d'O₂ au palier

b) Ils décident de respirer de l'oxygène pendant une partie de l'intervalle de surface, puis de se réimmerger à 13h40 à 17 mètres

- Le plongeur A respire de l'oxygène pur pendant une heure dès la sortie de la première plongée. Calculez le résultat de sa majoration avant le début de la deuxième plongée. (0,5 pt)

□ GPS = I. Intervalle de surface = 4h01.

□ Tableau III : au bout d'une heure d'O₂ : I → 1,08. On prend 1,11 dans la colonne équivalent azote résiduel donc GPS = G

□ Tableau I : Après 3h00 de respiration d'air G → 0,91

□ Tableau II on prend 0,92 à 18m → **majoration = 15 min**

- Le plongeur B respire de l'oxygène pur une heure avant le début de la seconde plongée. Calculez le résultat de sa majoration avant le début de la deuxième plongée. . (0,5 pt)

□ GPS = I. Intervalle de surface = 4h00.

□ Tableau I : au bout de 3h00 de respiration d'air, K → 0,97

□ Tableau III : on prend 0,98 dans la colonne équivalent azote résiduel. Après 1 h de respiration d'O₂ → 0,82

□ Tableau II on prend 0,82 à 18m → **majoration = 2 min**

c) Expliquez brièvement les résultats obtenus à la question b). (0,5 pt)

Il est plus avantageux de respirer de l'O₂ pur à la fin de l'intervalle de surface qu'au début : majoration plus courte. Les tables fédérales sont basées sur le modèle de Haldane : la désaturation en fonction du temps est exponentielle : rapide au début de l'intervalle de surface puis lente à la fin. Le bénéfice de l'O₂ sera plus grand en fin d'intervalle car la baisse du gradient de N₂ sera plus importante dans la partie lente de la désaturation.

Problème N°3 (2 pts)

Des plongeurs veulent s'immerger à une profondeur réelle de 25 mètres dans un lac de montagne situé à 2500 mètres d'altitude. Ils disposent de Nitrox et veulent se servir de la table fédérale en y entrant directement la profondeur réelle. Quel sera le pourcentage d'O₂ dans le mélange Nitrox qu'ils devront utiliser ?

(On considère que la pression atmosphérique diminue de 0,1 bar quand on s'élève de 1000 mètres et que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂)

□ Pression atmosphérique = 0,75 bar

□ On veut que la profondeur fictive (celle avec laquelle on entre dans les tables MN90) soit égale à la profondeur réelle atteinte en lac, c'est-à-dire, 25 mètres.

Pour cela, il faut que la profondeur équivalente en lac (en respirant du nitrox) soit celle qui donne une profondeur fictive de 25m, c'est-à-dire : Prof_équivalente (lac) = 25 x 0,75 = 18,75 m.

En lac, pour obtenir cette profondeur équivalente de 18,75m (en respirant de l'air) en étant à 25 mètres (en respirant du nitrox) il faut que la PpN₂ soit égale dans ces 2 cas, c'est-à-dire :

PpN₂ (à 25m en respirant du nitrox) = PpN₂ (à 18,75m en respirant de l'air)

⇒ Pabsolue (à 25m) x %N₂ = Pabsolue (à 18,75m) x 0,80

⇒ %N₂ = [Pabsolue (à 18,75m) x 0,80] / Pabsolue (à 25m)

⇒ %N₂ = [(0,75 + 1,875) x 0,80] / (0,75 + 2,5)

⇒ %N₂ = 0,646

⇒ %O₂ = (1 - 0,646)

⇒ %O₂ = 0,353

Ils doivent donc respirer un nitrox 35.

DEUXIEME PARTIE

SUJET N°1 : les modèles de décompression (6 pts)

a) La plupart des procédures de décompression utilisées actuellement sont dérivées du modèle de Haldane. Citez, sans les développer, les principales hypothèses ayant servi à son élaboration (2 pts)

- *L'organisme est découpé en compartiments, correspondant à des tissus caractérisés ayant le même comportement en ce qui concerne leur charge et leur décharge en azote (période et Sc)*
- *Ces compartiments échangent de l'azote avec le sang et lui seul : Haldane a élaboré un modèle par perfusion*
- *Dans une décompression normale, tout l'azote est transporté sous forme dissoute et il n'y a pas de formation de bulles*
- *L'équilibre PpO_2 / TN_2 / est instantané au niveau alvéolaire*
- *L'équilibre TN_2 / PpO_2 est instantané au niveau tissulaire*
- *La TN_2 est homogène au sein de toutes les zones d'un même compartiment,*
- *La charge et la décharge de l'azote au sein d'un même compartiment se déroulent de façon exponentielle et symétrique*
- *Dans le modèle original de Haldane, le SC est de 1/2 quel que soit le compartiment envisagé.*

b) Définissez la notion de seuil de sursaturation critique (Sc) dans les tables fédérales (1 pt)

$$Sc = \frac{TN_2}{Pabs}$$

- *Sc représente la valeur maximum du rapport entre la tension d'azote (TN_2) au sein d'un compartiment et la pression absolue (Pabs) à laquelle ce compartiment est exposé sans qu'il ne développe de signes d'ADD.*
- *Dans le modèle de Haldane et les tables MN90, cette valeur est fixe pour chaque compartiment.*

c) Workman a introduit la notion de M-Value.

- Donnez une définition simple de ce terme
- expliquez les différences par rapport au seuil de sursaturation critique utilisé pour les tables fédérales. (1 pt)

□ *Définition :*

- *M- Value = valeur maximale de gaz inerte (Azote, Hélium, etc.) tolérable par un tissu à une profondeur donnée sans que celui-ci ne développe de signe d'ADD.*
- *Contrairement aux seuils de sursaturation critique (Sc) du modèle de Haldane qui sont des valeurs fixes, les M-value varient, pour un même compartiment, en fonction de la profondeur de manière linéaire, sous la forme (A.Pression + B).*

d) Donnez les avantages annoncés par le concepteur du modèle RGBM. Par quels moyens pratiques sont-ils obtenus. ? (2 pts)

□ Le but du modèle RGBM est de limiter la croissance des bulles initiées par les noyaux gazeux, en maintenant leur taille à un niveau suffisamment faible pour qu'elles puissent être éliminées par le filtre pulmonaire sans provoquer d'ADD.

Les avantages annoncés par le concepteur du modèle RGBM sont de réduire le risque d'ADD neurologique. Pour cela, le modèle induit des paliers profonds et courts qui sont censés réduire la quantité de micro-bulles circulantes.

Informations complémentaires :

Il tient compte des apports d'autres modèles (VPM et Bühlmann) en combinant les notions de diffusion, de perfusion et de taille critique des bulles circulant dans le sang.

□ L'organisme produit en permanence des noyaux gazeux de très petite taille, composés de CO₂ et de N₂.

□ Ils peuvent servir d'amorces à la constitution de bulles en se « nourrissant d'azote » lorsque les tissus sont sursaturés pendant la plongée.

□ A la remontée, la tension d'azote diminue, l'azote sort des bulles par diffusion et leur taille diminue jusqu'à leur disparition.

□ Il utilise le principe de la double phase :

- Phase libre : le plongeur effectue de courts paliers profonds pour permettre à l'azote de quitter les bulles par diffusion et limiter leur taille. Cette phase est censée limiter les accidents médullaires qui se constituent au fond (modèle VPM).

- Phase dissoute : le plongeur effectue des paliers proches de la surface, censés prévenir les accidents ostéo-arthro-musculaires (Modèle de Bühlmann).

Sujet N°2 : Une histoire basée sur des faits authentiques... (7 pts)

Laurel et Hardy, plongeurs niveau 3, reviennent d'un séjour d'une semaine de plongée en Egypte. Le lendemain de leur retour, Laurel téléphone à un médecin fédéral car il ressent des fourmillements au niveau des membres inférieurs et des difficultés à uriner. Ce médecin l'adresse immédiatement au centre hyperbare le plus proche. Lorsqu'il y arrive, Laurel décrit sa dernière journée de plongée au médecin de garde.

Depuis quelques jours, Laurel et Hardy souffraient de diarrhées de type turista. La première plongée débute à 11h du matin, se déroule à une profondeur de 40 mètres et dure 50 minutes (temps total d'immersion mesuré à l'ordinateur)

Laurel et Hardy absorbent chacun une tasse de thé à la menthe, puis rejoignent le deuxième site de plongée après une marche de 20 minutes bloc sur le dos. Ils se réimmergent à 12h30 à une profondeur de 55 mètres pour une durée de 1h (temps total d'immersion mesuré à l'ordinateur).

Les deux plongées se déroulent sans incident, et les paliers donnés par les ordinateurs sont respectés, le gaz utilisé est l'air. Laurel et Hardy rejoignent l'aéroport où leur avion décolle à 17h30. Laurel ressent les premiers symptômes environ 30 minutes après le décollage.

a) Quel accident peut-on évoquer en ce qui concerne Laurel ? (1 pt)

Un accident de désaturation médullaire, de forme fruste et retardée.

b) En étudiant les conditions de pratique de Laurel et Hardy, expliquez pourquoi cet accident était largement prévisible. (5 pts)

□ **Déshydratation** : plusieurs causes

- Température extérieure élevée

- Effort entre les deux plongées : marche bloc sur le dos

- Respiration de l'air sec contenu dans la bouteille pendant les deux plongées

- Les diarrhées ont aggravé les pertes hydriques, ce qui n'a pas été pris en compte par les deux plongeurs.

La tasse de thé était manifestement insuffisante pour compenser un déficit hydrique qui dépassait vraisemblablement plusieurs litres ! La déshydratation augmente la viscosité du sang, ce qui diminue sa vitesse de circulation dans les vaisseaux et retarde l'élimination des bulles par le filtre pulmonaire.

□ **Effort après la plongée** : marche bloc sur le dos pendant 20 min au soleil

- Accélère le relargage de l'azote.
- Augmente la production de CO_2 , entre en compétition avec l'azote pour son élimination au niveau du filtre pulmonaire.
- Favorise l'ouverture des shunts pulmonaires et du foramen ovale

□ **Deux plongées profondes successives à profils inversés** :

- deuxième plongée plus profonde que la première
- charge totale d'azote plus importante que si la première plongée avait été la plus profonde.

□ **Intervalle de surface inférieur à 1 heure** :

- Beaucoup trop court surtout en raison du profil des 2 plongées.
- La désaturation est maximale entre 30 et 45 min après la remontée.
- La charge en azote est encore très élevée lorsque débute la deuxième plongée.
- Prise de risque importante, surtout avec des plongées longues et profondes, très saturantes.

□ **Prise d'un avion 4h après 2 plongées successives saturantes**

- Ce délai est beaucoup trop court après de telles plongées. Laurel et Hardy n'ont probablement pas respecté les recommandations affichées par leurs ordinateurs.
- La cabine de l'avion est généralement pressurisée à une pression inférieure à 1 bar. La pression partielle de N_2 diminue en altitude, donc le gradient augmente. La TN_2 atteint ainsi plus facilement le seuil critique.

c) Bien que la décompression ait été effectuée à l'aide des ordinateurs, on peut admettre que, pour faire une estimation à partir de la table MN90, la TN_2 dans le compartiment 120 minutes en sortie de la 2nd plongée correspond à celle du GPS maximum possible. Justifiez par le calcul le fait que l'accident de Laurel était fortement probable.

($Sc_{120} = 1.54$; Pression de pressurisation de l'avion = 0.63 b que l'on suppose atteinte dès le décollage de celui-ci) (1 pt)

□ A la sortie de la deuxième plongée, la TN_2 est de 1,51 b car cela correspond au GPS P.

Au bout de 4h, la tension d'azote résiduelle est alors de 0,98 b.

Son Sc est alors égal à :

$$Sc = 0,98 / 0,63$$

$$\Rightarrow Sc = 1,56$$

Ce Sc est supérieur à la valeur limite admissible pour le coefficient 120 minutes. L'accident de Laurel était donc fortement probable puisque son Sc est supérieur à la valeur limite admissible.

La décompression Durée : 1H30 Coefficient 4

Question n° 1 Etude de cas en plongée

(7 pts)

En mer, de retour de plongée, un de vos 2 stagiaires PE₆₀ se plaint de vertiges, il a des nausées et il vomit. Vous êtes sorti de l'eau depuis une demi-heure environ. Paramètres de la plongée technique : 15 minutes à 53 mètres. La procédure de remontée déterminée par l'ordinateur a été respectée. L'état de la mer a encore forcé depuis votre sortie.

- Que suspectez-vous, et quelle est votre attitude face à cette situation ? Exposez votre raisonnement
- Vous décidez de déclencher la procédure de traitement d'un accident de plongée. Vous prenez toutes les mesures qui s'imposent en pareil cas. Au bout de 15 minutes de prise en charge, votre plongeur se sent mieux, et n'a plus envie de vomir. Que faites-vous ? Pourquoi ?
- Quelles sont les données qui vous permettraient de confirmer, ou d'infirmier votre décision.
- Présentez les hypothèses qui permettent de justifier la survenue d'un accident malgré le respect de la procédure de décompression.

Question n°2 La décompression

(6 pts)

Lors d'un accident de décompression, il y a formation de bulles dites « pathogènes ».

- Quelles peuvent être les origines de leur formation et où peuvent-elles se situer ?
- Comment réagit l'organisme face à cette « agression bulleuse » ?
- Expliquez l'intérêt de traiter l'accidenté le plus rapidement possible : en lui faisant inhaler de l'oxygène pur, en lui donnant de l'aspirine et de l'eau, jusqu'à la prise en charge médicalisée. Vous préciserez la posologie préconisée en l'expliquant succinctement.

Question n°3 : Plongée et ordinateur

(7 pts)

L'ordinateur de plongée, s'est vulgarisé dans les années 80. Depuis, beaucoup d'appareils ont été commercialisés, avec des différences plus ou moins marquées. Néanmoins, ils fonctionnent tous selon une base commune : une modélisation mathématique de la dissolution des gaz dans les liquides.

- Qu'est ce qu'un modèle mathématique ?
- Les tables MN90, adoptées par la FFESSM, ont été conçues d'après le modèle de Haldane, également utilisé dans beaucoup d'ordinateurs de plongée.
 - Définissez la notion de compartiment par opposition à celle de tissus.
 - Sur quelles hypothèses est construit le modèle haldanien ?
- Depuis, d'autres modèles mathématiques ont été élaborés, ils apportent une approche complémentaire ou différente (non Haldanienne) de la saturation-désaturation.
 - Quels nouveaux paramètres principaux ont été intégrés à la modélisation du phénomène de dissolution des gaz ?
- Au vu de la diversité des procédures (tables, ordinateurs différents), en plongée, dans une même palanquée, il peut apparaître plusieurs profils de décompression. Précisez quelles règles simples sont à définir pour sécuriser la décompression de ce groupe ?

La décompression Éléments de correction Coef 4

Question n°1 Etude de cas en plongée

a) Le profil et les paramètres de la plongée sont connus, la procédure de décompression a été respectée, malgré tout il peut y avoir problème. → la plongée n'est pas finie (dé-saturation en cours). Au vu des symptômes et signes du plongeur, je peux suspecter un ADD avec une atteinte vestibulaire, mais je ne dois pas écarter la possibilité d'un « mal de mer » marqué. Les symptômes et signes décrits peuvent correspondre à cet accident et incident. Il doit y avoir un questionnement du plongeur pour connaître au mieux la condition physique avant et pendant la plongée, le profil exact, le comportement du plongeur pendant la plongée technique, des antécédents au « mal de mer », etc. Il est précisé, en plus, que la mer a forcé. Néanmoins, il existe un diagnostic différentiel qui peut permettre de distinguer un « mal de mer » d'un ADD avec lésion de l'oreille interne. Il faut rechercher et identifier un mouvement anormal des yeux (nyctagmus), horizontal et/ ou rotatoire qui signe principalement une atteinte vestibulaire (canaux semi-circulaires) ainsi que des vertiges rotatoires (les images tournent autour du sol...).

Dans le mal de mer ces signes et symptômes sont absents.

Dans le doute, je déclenche la procédure de traitement de l'accidenté et j'appelle les secours car l'atteinte de l'oreille interne est une urgence médicale.

b) Les secours prévenus et la procédure enclenchée, je continue le traitement sous O₂ à 15 l/min et ne l'arrête sous aucun prétexte. Cette décision appartient au service médicalisé prévenu qui prendra le relais et à qui décidera des suites à donner

c) Sous inhalation d'O₂ au débit maximum de 15 L/min son état général s'est amélioré et atteste que l'apport d'oxygène a été bénéfique. Cela signe qu'il fait probablement un ADD. Même s'il est vrai que sous O₂ et allongé, on peut améliorer et en partie récupérer d'un mal de mer, tout laisse penser à la manifestation d'un ADD

d) Malgré le respect des procédures de décompression, des comportements et situations en immersion peuvent déclencher un ADD. La présence d'un shunt cardiaque et/ou pulmonaire peut expliquer cela. Un tiers de la population serait porteur d'une communication inter-auriculaire (shunt), particularité anatomique résiduelle du stade fœtal. Dans la vie courante, la présence de ce Foramen Ovale Perméable (FOP) ne porte pas à préjudice. En hyperbarie et en présence de bulles veineuses circulantes, certains comportements peuvent faire passer ces bulles de l'oreillette D dans l'oreillette G et la grande circulation,

A la remontée, un blocage de la ventilation avec hyperpression thoracique → Valsalva, toux, effort avec ventilation bloquée → augmentation de la pression dans OD → ouverture de la communication inter auriculaire (FOP) → passage des bulles veineuses du cœur droit au cœur gauche → circulation artérielle → aorte → carotides → SNC et oreille interne.

Le passage de bulles veineuses dans le cœur gauche peut s'expliquer aussi par un shunt pulmonaire → blocage de la ventilation → filtre pulmonaire court-circuité → bulles veineuses non éliminées par poumons → retour dans cœur gauche → etc.

De retour sur le bateau → effort avec blocage de la ventilation (sortie d'eau et montée sur bateau, aide à la remontée de l'ancre, etc

Question n° 2 La décompression

a) Origine des bulles

Hors de tout contexte de décompression, des bulles statiques ou circulantes de très petite taille (l'ordre du μ mètre : 10^{-6} mètres) sont présentes dans la circulation sanguine, en faible quantité. Différents mécanismes expliquent leur origine.

Le dénominateur commun est :

Un gaz dissous en grande quantité dans le liquide

Un gradient de pression négatif qui peut être généré par des frottements mécaniques extracellulaires ou des ondes sonores.

En hyperbarie, l'augmentation de la quantité de gaz neutre (N_2) dissous explique la formation d'un plus grand nombre de bulles et de plus grande taille (bulles coalescentes + Mariotte → bulles « pathogènes »).

Ce phénomène est majoré par les microbulles de CO_2

Mais les bulles ne sont pas uniquement pathogènes en fonction de leur taille mais aussi de leur localisation.

Localisation des bulles :

- Principalement d'origine veineuse, comme vu ci-dessus, et parfois artérielle par le passage dans le cœur gauche de bulles veineuses : V.FOP et shunt pulmonaire
- Les bulles d'azote peuvent aussi se former directement dans tous les tissus où l'azote s'est dissous et en fonction de leur nombre et de leur taille, léser l'organe et en perturber la fonction.

b) Réaction de l'organisme

Le dégazage incontrôlé de bulles « pathogènes » dans le système vasculaire constitue une agression de l'endothélium intra vasculaire entraînant une réponse de l'organisme : Des réactions biochimiques en chaîne s'initialisent, induisant une activation des facteurs de l'hémostase (coagulation) → agrégation des plaquettes entre elles et en périphérie de la bulle « pathogène » (gangue solide, consolidée par le fibrinogène soluble → fibrine insoluble) → épaissement du sang (sludge). En parallèle, libération de molécules qui augmente la perméabilité capillaire → fuites hydriques → diminution de la volémie → concourant, avec la diurèse d'immersion, à l'épaississement du sang et apparition d'œdèmes extra vasculaires.

Cette viscosité ralentit encore le flux sanguin et s'ajoute à l'effet mécanique obstructif de la bulle dans le vaisseau. On parle de maladie de décompression.

c) Traitement

Oxygénothérapie

L'intérêt de l'inhalation d'oxygène à 15 litres / min ⇒ ($FiO_2 = 1$) est essentiel et multiples, il permet :

- de compenser, après diffusion, le déficit en O_2 des cellules en aval des bouchons vasculaires.
- l'inhalation d'oxygène pur au débit de 15 l/mn → $FiO_2 = 1$, purgeant les alvéoles de l'azote intra pulmonaire → gradient azote intra alvéolaire / intra vasculaire augmenté → La désaturation est accélérée.
- en diffusant dans l'organisme et au travers des manchons gazeux, l'oxygène crée un gradient intra/extra bullaire favorisant l'élimination de l'azote bullaire. (En traitement hyperbare l'effet de

l'oxygène sera accéléré par l'augmentation de sa pression partielle. On pourra agir aussi sur la taille des bulles sphériques, moins efficacement sur les manchons bullaires)

L'Aspirine

L'ingestion de 500 mg max (pour un adulte) d'Aspirine peut être effectuée rapidement après les premiers symptômes ; c'est l'effet antiagrégant plaquettaire de l'acide salicylique qui est recherché en particulier ...

L'eau

En buvant un litre d'eau plate par petites prises régulières, on augmente la volémie pour prévenir :

- l'épaississement du sang dû à la diurèse d'immersion (et de froid) et à l'œdème,
- la réduction du diamètre des vaisseaux sanguins dû à la perte d'eau, afin de favoriser la circulation des bulles circulantes et d'éviter leur immobilisation.
- un mauvais remplissage de la pompe cardiaque et donc un ralentissement sanguin.

Au total ce traitement (O_2 , eau, aspirine) est à administrer dans les meilleurs délais.

Et dans la 1/2h suivant les premiers symptômes pour l'aspirine.

Question n°3 Plongée et ordinateur

a) Modèle mathématique

C'est une représentation mathématique simplifiée d'un phénomène réel complexe. Grâce à des paramètres clé ajustés, le modèle tente d'approcher au mieux le phénomène.

b) Compartiment et modèle haldanien

- Le compartiment est une entité théorique (concept mathématique) qui représente différents éléments anatomiques de l'organisme se comportant de façon identique vis à vis de la saturation et de la désaturation de l'azote. Chaque compartiment est défini par sa période : exemple le compartiment C_5 est de période 5 min dans les MN 90.

Par opposition, un tissu est une entité anatomique ayant les mêmes caractéristiques physiologiques. Un même tissu peut être représenté mathématiquement par plusieurs compartiments.

Le temps nécessaire à l'acheminement des gaz jusqu'aux tissus va dépendre de la distance que le sang devra parcourir, et la quantité de gaz transportée sera fonction de la plus ou moins grande vascularisation de cet organe.

Lorsque les gaz atteignent enfin les tissus, ils vont les coloniser par diffusion, ce qui prend encore du temps.

Si le concepteur estime que le temps d'acheminement des gaz est plus important que le temps de diffusion alors on parle de modèle à perfusion car on considère que le transport des gaz par le sang est le caractère limitatif de l'absorption. Dans le cas contraire, on parle de modèle à diffusion.

Le modèle de Haldane est un modèle à Perfusion, il est basé sur une symétrie entre la saturation et la désaturation.

c) Autres modèles mathématique non haldaniens : (par diffusion)

Nouvelles données prises en compte :

- Non instantanéité de la diffusion des gaz dans les différents tissus
- Non homogénéité de la diffusion dans les cellules au sein des compartiments, résistance des parois cellulaires et tissulaires
- Présence de bulles existantes dans circulation sanguine.
- Etc.

d) Décompressions en groupe

Définir avant immersion les paramètres de la plongée et les respecter (durée, prof, intervalle)
Protocole de décompression identique pour tous les membres de la palanquée en tenant compte des moyens de décompression, de la compétence réelle de chacun et, si successive, de la charge en azote résiduel existante. →

Une seule vitesse de remontée : la plus lente parmi les moyens de déco de la palanquée

Temps de paliers : le plus sécurisant.

Rappel : toute la palanquée doit rester groupée

Epreuve écrite sur la décompression (coefficient 4, 1h30)

1. Un de vos moniteurs réalise une série de baptêmes et de formations le matin à 9h40. Il évolue à une profondeur entre 3 et 6 mètres pendant 2h00 et doit replonger l'après-midi.

a) L'un des compartiments va se révéler important pour la plongée de l'après-midi. Quelle est la TN_2 de ce compartiment à l'issue de la matinée ? (1 point)

b) Il replonge l'après midi à 15h. Quelle sera sa majoration avec un NITROX 32 à 30 mètres et combien de minutes pourra-t-il rester sans faire de palier (le pourcentage d'azote dans l'air est de 80 %) (2 points)

2. Deux de vos plongeurs réalisent une plongée au NITROX le matin à 10h (NITROX 30, profondeur : 40m, temps de plongée : 15min).

A l'issue de leur deuxième plongée, ils veulent atteindre la surface avant 14h45, en réutilisant un NITROX pour plonger à 30 mètres, au minimum pour 30 minutes, et en partant pour cette seconde plongée au plus tôt à 14h.

Est-ce possible ?

Si oui, quel NITROX le plus oxygéné possible doivent-ils utiliser (sans dépasser 40 % d' O_2) ? On considère que l'air est composé de 80 % de N_2 (3 points)

3. Vous effectuez une première plongée de 18 minutes à 43 m en vous immergeant à 10h. Vous engagez alors la remontée et vous arrivez au premier palier 6 minutes après être parti du fond.

a) Vous envisagez de replonger 3h15, après la première plongée, à 31 mètres pendant 12 minutes. Quels paliers devrez-vous faire ? (1 point)

b) Durant cette plongée, après 12 minutes à 31 mètres, L'observation d'un beau mérou vous entraîne à 36 mètres durant 3 minutes. Vous amorcez alors votre remontée à vitesse normale. Quelle conduite adoptez-vous par rapport au dépassement de la profondeur prévue ? (1 point)

c) Les plongeurs souhaitent sortir de cette deuxième plongée le plus tôt possible en gardant les mêmes caractéristiques de plongées et d'intervalle. Présenter les procédures permettant de sortir plus tôt en conservant une sécurité optimale. (3 points)

4. Vous partez pour une plongée. Chaque plongeur est équipé d'un ordinateur.

a) Quels conseils donneriez-vous aux plongeurs pour l'utilisation des ordinateurs ? (1 point)

b) La première plongée s'est effectuée à une profondeur de 35 mètres pour un temps de plongée de 25 minutes. La procédure de décompression est celle des ordinateurs. Vous êtes sorti de l'eau à 11 h. La deuxième plongée débute à 14h15. A 28 mètres, au bout de 25 minutes, votre ordinateur tombe en panne et votre équipier ne dispose que d'un profondimètre, un jeu de tables et une montre.

Comment gérez-vous la procédure de décompression de cette seconde plongée ? (2 points)

5. Deux plongeurs photographes partent en plongée sur un fond de 45 mètres pendant 15 minutes. A la sortie de la plongée, l'un des deux plongeurs est soudainement pris de nausées et de troubles de l'équilibre.

a) Que soupçonnez-vous ? (1 point)

b) En fonction de vos soupçons, préciser les conditions de pratique et les prédispositions qui favorisent la survenue de ces accidents. (2 points)

c) En plongée profonde, deux types d'ADD guettent principalement le plongeur loisir. Lesquels ? Quels en sont les symptômes ? (2 points)

d) Quels sont vos critères d'évaluation d'une procédure d'évacuation maîtrisée ? (1 point)

Epreuve écrite sur la décompression (coefficient 4, 1h30)

Eléments de correction

1. Un de vos moniteurs réalise une série de baptêmes et de formations le matin à 9h40. Il évolue à une profondeur entre 3 et 6 mètres pendant 2h00 et doit replonger l'après-midi.

a) L'un des compartiments va se révéler important pour la plongée de l'après-midi. Quelle est la TN2 de ce compartiment à l'issue de la matinée ? (1 point)

b) Il replonge l'après midi à 15h. Quelle sera sa majoration avec un nitrox 32 à 30 mètres et combien de minutes pourra-t-il rester sans faire de palier (le pourcentage d'azote dans l'air est de 80 %) ? (2 points)

Eléments de correction :

a) Le compartiment 120 va être pris en compte.

La saturation du T120 à 11h40 sera donc la suivante :

TN₂ compartiment 120 :

$$0,8 + ((1,28 - 0,8) \times 50\%) = 0,8 + 0,24 = 1,04 \text{ bar}$$

Pour aller dans le sens de la sécurité, on considère que l'ensemble des baptêmes a été effectué à 6 m.

Remarque, ce calcul peut être évité en lisant la table des faibles profondeurs en prenant 2h15. GPS = F

b) Calcul de la PEA au nitrox 32 : $(0,68 / 0,80) \times 4 \text{ bars} = 3,4 \text{ bars}$ soit 24 m, d'où 25 mètres dans la table

Evolution de la TN2 entre 11h40 et 15h (soit 3h20) :

La lecture des tables MN 90 (Tableau 3 : 1.04) oblige à prendre 1.07 soit GPS = F

Tableau I ligne F après 3 h TN₂ devient 0.90

Tableau II : le taux de 0,90 n'existe pas, je prends donc 0,92. La majoration indiquée pour 25 mètres est de 11 minutes.

La durée de plongée sans palier à 25 m est de 20 minutes, donc durée possible sans palier en tenant compte de la majo : 9 minutes.

2. Deux de vos plongeurs réalisent une plongée au nitrox le matin à 10h (Nitrox 30, profondeur : 40m, temps de plongée : 15 min).

Ils veulent atteindre la surface, à l'issue de leur deuxième plongée, avant 14h45, en réutilisant un nitrox pour plonger au minimum 30 minutes à 30 mètres, en partant au plus tôt pour leur seconde plongée à 14h.

Cela est-il possible ?

Si oui, quel nitrox le plus oxygéné doivent-ils utiliser (sans dépasser 40 % d'O₂) ? l'air est composé de 80 % de N₂ (3 points).

Éléments de correction :

1^{ère} plongée :

Pequiv nitrox 30 : $5 \times 0,7/0,80 = 4,375$ b soit 35 mètres pour la table

15 minutes à 35 mètres : paliers 2 min à 3 mètres, DTR : 5 min

HS : 10h + 15 + 5 : 10h20, GPS : F

2^{ème} plongée :

14h, soit intervalle surface 3h40 (3h30), tableau 1 : 0,88 (tableau 2 : 0,89)

30 m, majo : 7 min

14h + 30 + 27 : 14h57

Pour sortir au plus tard à 14h45 : 14h + 30 + 15 : 14h45

DTR max : 15 min

Profondeur optimale : 20 m, 40 min, DTR : 2 min. sortie 14h32 de l'heure finale

Nitrox prof 20 m : $3/4 \times 0,80 : 0,60$ soit nitrox 40/60

3. Vous effectuez une première plongée à 43 m de 18 minutes en vous immergeant à 10h. Vous engagez la remontée et vous arrivez au premier palier 6 minutes après être parti du fond.

a) Vous envisagez de replonger 3h15, après la première plongée, à 31 mètres pendant 12 minutes. Quels paliers devrez-vous faire ? (1 point)

b) Durant la plongée, après 12 minutes à 31 mètres, L'intervention vous entraîne à 36 mètres et dure 3 minutes. Vous amorcez alors votre remontée à vitesse normale. Quelle conduite adoptez-vous par rapport au dépassement de la profondeur prévue ? (1 point)

c) Présentez les différentes procédures dont ces plongeurs disposent pour optimiser la décompression de cette successive. Bien évidemment, la sécurité impose d'envisager la possibilité d'avoir un dépassement tel que celui qui s'est réellement produit, puisque la profondeur maximale du site n'est pas connue à l'avance (3 points)

Éléments de correction :

18 min à 45 m, 37m de remontée jusqu'à 6 m en 6min donc remontée lente. Durée de plongée 24 min à 43 m ce qui se traduit par 25 min à 45m

5 min à 6m, 25 min à 3m, groupe K

a) N₂ résiduel : 0,97 donc 0,99 Majoration à 31 mètres (32 mètres) : 13 minutes

Temps de plongée = 13 + 12 = 25 min.

Paliers : 6 m à 3 mètres (DTR 9 minutes)

b) Il doit garder sa majoration calculée pour 31 m. Il ne peut pas la recalculer.

Temps de plongée avec majoration : 12 + 3 + 13 = 28 minutes

Profondeur : 36 m, (38 m lus tables)

Paliers : 3 minutes à 6 mètres, 24 minutes à 3 mètres (DTR = 31 minutes)

HS 1^{ère} plongée = 10h + 18 + 6 + paliers 5 et 25 + 2 fois 30 s inter-paliers = 10h55
Temps entre 2 plongées = 3h15

Heure Départ = 14h10 HS = 14h10 + 12 + 3 + 31 = 14h56

c) Options possibles :

Respiration d'O₂ en surface : Groupe K, 2H45 de respiration sous O₂, azote résiduel : 0,80

Plongée : 36 mètres, 15 minutes soit 7 min DTR soit 22 min d'immersion

La respiration d'O₂ en surface permet de repartir sans azote résiduel.

Paliers O₂ (deux tiers de la durée du palier à l'air arrondie à la minute supérieure et au moins 5 minutes) : 5 minutes à 6m, 16 minutes à 3 mètres, durée de remontée : 4 minutes soit 40 minutes d'immersion

Les paliers à l'oxygène permettent de diminuer la durée de ces derniers.

Nitrox utilisable : Il n'est pas envisageable d'utiliser le nitrox le plus oxygéné possible car il ne permettrait pas le dépassement. L'utilisation d'un 32/68 est le plus raisonnable car il permet un dépassement jusqu'à 40 m.

P équi à 36 m : $4,6 \times 0,68 / 0,80 = 3,91$ b soit 30 mètres tables

Plongée : 30 mètres prof équivalente, 15 minutes, 1 min de paliers à 3 mètres, remontée, 4 minutes soit 20 minutes d'immersion

La plongée au nitrox est donc l'option la plus favorable en termes de temps de plongée, après avoir respiré de l'O₂ pendant 2h45 de l'intervalle (1 point)

4. Vous partez pour une plongée. Chaque plongeur est équipé d'un ordinateur.

a) Quels conseils donneriez-vous aux plongeurs pour l'utilisation des ordinateurs ?
(1 point)

b) La première plongée s'est effectuée à une profondeur de 35 mètres pour un temps de plongée de 25 minutes. La procédure de décompression est celle des ordinateurs. Vous êtes sorti de l'eau à 11 h. La deuxième plongée débute à 14h15. A 28 mètres, au bout de 25 minutes, votre ordinateur tombe en panne et vous vous apercevez que votre équipier a oublié le sien.

Vous avez pris soin de vous équiper d'un jeu de tables, d'un profondimètre classique et d'une montre.

Comment gérez-vous la désaturation de cette seconde plongée (2 points).

Éléments de correction :

a) Conseils :

Le conseil essentiel consiste à sensibiliser les plongeurs sur le fait qu'un ordinateur n'a rien de physiologique, il n'est qu'un calculateur. L'utilisation limite du "temps restant sans palier" en jouant sur la diminution progressive de la profondeur constitue un risque majeur.

b) 2^{ème} plongée : intervalle : 3h15

Cette situation particulière ne permet que le calcul d'une majoration indicative, car la décompression de la première plongée ne s'est pas faite à l'aide des tables.

Majo indicative :

1 ère plongée GPS = I

3 h tableau 1 : I => 0.94 => 0.95

Majo 28 m = 12 minutes.

Temps fictif de plongée 25 + 12 = 37 min, soit 40 min, càd 19 min à 3 m. Ce temps est minimum et il serait de le majorer largement en fonction de l'air disponible.

5. Deux plongeurs photographes partent en plongée sur un fond de 45 mètres pendant 15 minutes. A la sortie de la plongée, l'un des deux plongeurs est soudainement pris de nausées et de troubles de l'équilibre, ...

a) Que soupçonnez-vous ? (1 point)

b) Certaines pratiques ou prédispositions favorisent la survenue de ce type d'ADD. Lesquelles et pourquoi ? (2 points)

c) En plongée au-delà de 35 mètres, deux types d'ADD guettent principalement le plongeur loisir. Lesquels ? Quels en sont les symptômes ? (2 points)

d) Quels critères d'efficacité vont orienter votre réaction en cas d'ADD ? (1 point)

Éléments de correction :

a) deux explications possibles à des déséquilibres et des nausées à la sortie de la plongée : un barotraumatisme de l'oreille interne ou un ADD de l'oreille interne

On s'oriente vers un accident vestibulaire : (1 point)

Risque sur plongée profonde

Vertige intense rotatoire, avec nausées et vomissements ; parfois hypoacousie.

Un temps de latence peut être observé en surface dans la survenue des symptômes, sans douleur à la descente, plongée souvent profonde (permet de différencier du BT)

b) Pratiques ou prédispositions :

Accident de l'oreille interne, plus fréquente chez gens qui pratiquent un Valsalva à la remontée. Concernant les manœuvres d'équilibration pratiquées en plongée, on retrouve 25% de FOP chez le plongeur pratiquant la BTV ou des manœuvres passives, donc la même proportion que dans la population générale. Par contre on retrouve 50 % de FOP chez des plongeurs pratiquant le "Valsalva actif" dont on sait qu'il constitue un facteur susceptible d'ouvrir un FOP latent puisqu'il provoque une augmentation de pression intra thoracique.

c) ADD plongée loisir profonde :

- Les accidents médullaires :

Les plus fréquents, ils débutent par des fourmillements et des paresthésies, et des douleurs « en coup de poignard » (lombaire, sacrum...).

Tableau souvent rencontré : parapésie par « section physiologique » de la moelle épinière

Déficit de motricité, de sensibilité, abolition des reflexes ostéo-tendineux...

- Les accidents cérébraux :

Liés à des dégazages massifs avec forçage du filtre pulmonaire envahissant l'ensemble de la circulation artérielle de l'organisme.

Hémiplégies flasques, globales ou à prédominance brachio-faciale ou crurale, accompagné d'aphasie ou de crises convulsives

d) Critères d'efficacité :

Rapidité d'alerte et d'évacuation (la bonne réaction) : critère d'efficacité, temps le plus court pour arriver au caisson

Alerte ciblée (CROSS) : le bon interlocuteur

O₂, aspirine, eau (le bon traitement)

La décompression : Durée 1h30 : Coefficient 4

Pour toutes les questions du sujet, vous utiliserez les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1 bar au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80 % : N₂ et 20% O₂ ; PpO₂ max 1,6 bar.

Question 1 - La série de problèmes (8 points)

Voir la feuille jointe qui sera ramassée au bout de 30 minutes.

Pour chaque problème juste 1 point et -0,5 point par problème faux ou non fait.

Ne remplir que le tableau joint en annexe.

Question 2 - Les bulles et l'organisme (7 points)

Pendant longtemps on a considéré que seule la décompression sans formation de bulles permettait d'éviter l'accident de décompression. Depuis les années 1970, on sait que des bulles asymptomatiques (microbulles ou bulles silencieuses) sont présentes.

1. Comment ces bulles se forment-elles ? (2 points)
2. En vous aidant éventuellement d'un schéma, expliquez comment ces bulles sont éliminées ? (1 point)
3. Expliquez comment la bulle peut franchir, ou éviter, le filtre pulmonaire (2 points)
4. On constate, à la lecture des notices que la plupart des ordinateurs récents prennent en compte ces microbulles, en proposant pour certains un (ou même des) palier profond. Donnez succinctement les grandes lignes qui régissent ces modèles. (2 points).

Question 3 - L'accident (5 points)

A l'issue d'une plongée à 40 mètres réalisée dans le cadre d'un entraînement niveau 4, un moniteur plonge avec un de son élève pour un exercice d'assistance gilet. La mer est calme et ils effectuent deux remontées assistées. La première se passe sans incident à une vitesse convenable malgré les alarmes sonores des ordinateurs. La deuxième est dans un premier temps trop rapide, puis il y a un arrêt à 20 mètres. Pour relancer l'assistance, le stagiaire gonfle ses poumons et regonfle un peu le gilet. La remontée reprend et se termine convenablement. Ils ont tous les deux des ordinateurs qui affichent 2 min à 3 mètres. Après la plongée, le stagiaire N4 remontent le mouillage manuellement. Quelques minutes plus tard, il a un léger vertige, a du mal à déséquiper son scaphandre, et il ressent des nausées. Mettant cela sur le compte du mal de mer, le moniteur ne réagit pas d'autant que le stagiaire plaisante sur son propre cas. A l'arrivée au port, il ne peut plus se lever et perd connaissance.

1. Exposer le mécanisme de cet ADD et justifiez vos affirmations ? (2 points)
2. Quels sont le ou les facteurs favorisant de cet accident ? (1,5 point)
3. Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la décompression ? (1,5 point)

MF2 - Trébeurden Juillet 2011

Annexe Décompression

N°	Problèmes	Résultats
1	Immersion à 10h00, descente à 34 mètres, amorce de la remontée à 10h16. Arrivée à 9 m à 10h22. Paliers ?	
2	Plongée Nitrox 40/60. Descente à la profondeur maximale autorisée (PpO ₂ 1,6 b). Combien de temps maximum sans faire de paliers ?	
3	Immersion à 10h00 et descente à 32 mètres. Sortie à 10h45 sans difficulté particulière. Quelle sera l'heure de ré-immersion au plus tôt pour 25 min à 22 mètres et sans faire de palier ?	
4	Immersion à 08h40 dans un lac où la pression atmosphérique est à 0,8 bar. Descente à 22 mètres sonde et retour à 09h10. Deuxième plongée à 11h20 avec même profondeur et même temps. Quelles sont la durée et la profondeur réelle des paliers de la deuxième plongée ?	
5	Après être sorti d'une 1 ^{ère} plongée à 9h50 avec un GPS « J », un plongeur se ré-immerge à 11h30 pour une profondeur de 20 mètres. Au bout de 20 min, il se retrouve en surface suite à une remontée rapide. Il retourne au premier palier en 3 min depuis le départ du fond. Donnez la profondeur des différents paliers et leur temps pour la deuxième plongée seulement.	
6	Immersion à 10h00, descente à 45 mètres. Amorce de la remontée à 10h20. Panne d'air au palier à 10h25 et retour au palier à 10h28. Donnez l'heure de sortie ?	
7	Quelle est la tension d'azote d'un compartiment de période 240 min après 90 minutes d'inhalation d'oxygène pur en surface si la tension initiale de ce compartiment était de 1,2 bar ?	
8	1 ^{ère} plongée, 37 m pendant 23 mn. Seconde plongée, 2 heures après la première, 27 m pendant 13mn. Durée du ou des paliers de la 2 nd e plongée ?	

La décompression : éléments de correction

Pour toutes les questions du sujet, vous utiliserez les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1 bar au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80 % : N₂ et 20% O₂ ; PpO₂ max 1,6 bar.

Question 1 - La série de problèmes (8 points)

Voir la feuille jointe qui sera ramassée au bout de 30 minutes.

Pour chaque problème juste 1 point et -0,5 point par problème faux ou non fait.

Ne remplir que le tableau joint en annexe.

Question 2 - Les bulles et l'organisme (7 points)

Pendant longtemps on a considéré que seule la décompression sans formation de bulles permettait d'éviter l'accident de décompression. Depuis les années 1970, on sait que des bulles asymptomatiques (microbulles ou bulles silencieuses) sont présentes.

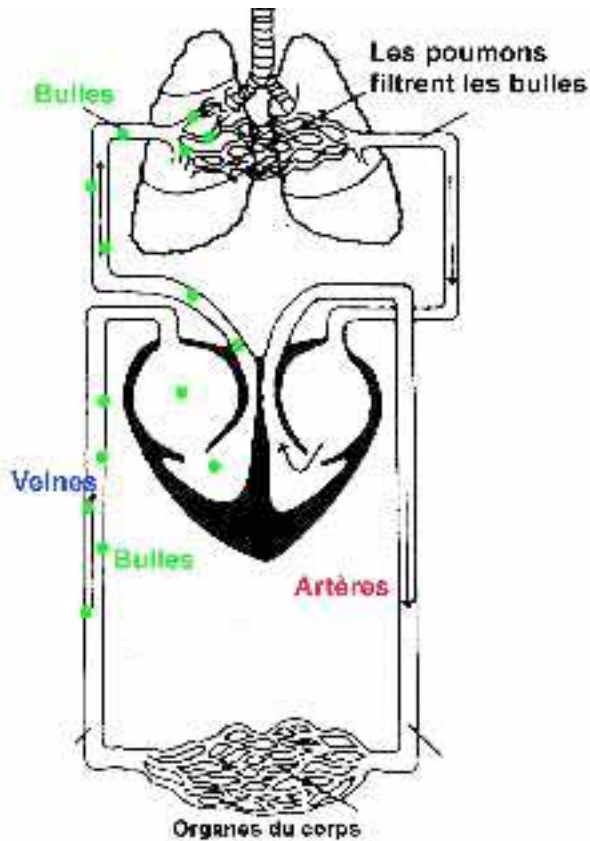
5. Comment ces bulles se forment-elles ? (2 points)

Plusieurs mécanismes de formation sont possibles :

- Par sursaturation : Lorsque la quantité de gaz dissout dépasse la capacité maximale de dissolution du tissu.
- Par cavitation : au centre des tourbillons produits par l'écoulement d'un liquide (ex. : sang) autour d'un obstacle (ex. : valvule, ...), la pression du liquide diminue. Il peut donc apparaître des bulles.
- Par tribonucléation : lorsque deux surfaces en contact sont séparées rapidement au sein d'un fluide, la pression chute fortement ce qui entraîne l'apparition de bulles.

6. En vous aidant éventuellement d'un schéma, expliquez comment ces bulles sont éliminées ? (1 point)

Un schéma possible qui décrit le cheminement des bulles et qui démontre le rôle de filtre avec des bulles du côté droit



7. Expliquez comment la bulle peut franchir, ou éviter, le filtre pulmonaire (2 points)
 Les bulles auront des effets différents.
 En fonction de la quantité elles perturberont la circulation sanguine au niveau des poumons, ce qui diminuera l'élimination de l'azote.
 En cas de plongée yo-yo ou successives rapprochées, leur taille diminuant pendant la descente, elles pourront passer à travers le filtre pulmonaire
 La présence d'un FOP et sa dangerosité seront développées succinctement. En cas d'effort, la pression dans l'oreillette droite devient supérieure à celle de l'oreillette gauche et peut favoriser l'ouverture du foramen.
8. On constate, à la lecture des notices que la plupart des ordinateurs récents prennent en compte ces microbulles, en proposant pour certains un (ou même des) palier profond. Donnez succinctement les grandes lignes qui régissent ces modèles. (2 points).

A l'heure actuelle, les ordinateurs ayant un modèle de type Bühlman ou de type VPM (Variable Permeability Model) indiquent prendre en compte ces microbulles. Nous indiquons donc les principales différences entre ces modèles.

Hypothèses de calcul :

Bühlman (1 pt)	Type VPM (1 pt)
Comportement du corps humain vis-à-vis de la saturation/désaturation représenté par plusieurs compartiments	Principe identique à celui du modèle de Bühlman
Pas de bulles dans l'organisme hors accident	Prise en compte de l'existence de bulles gazeuses dans l'organisme (équations spécifiques) Gestion des transferts de gaz entre ces

	bulles et le compartiment environnant
Prise en compte de l'air alvéolaire	Idem modèle de Bühlman

Question 3 - L'accident (5 points)

A l'issue d'une plongée à 40 mètres réalisée dans le cadre d'un entraînement niveau 4, un moniteur plonge avec un de son élève pour un exercice d'assistance gilet. La mer est calme et ils effectuent deux remontées assistées. La première se passe sans incident à une vitesse convenable malgré les alarmes sonores des ordinateurs. La deuxième est dans un premier temps trop rapide, puis il y a un arrêt à 20 mètres. Pour relancer l'assistance, le stagiaire gonfle ses poumons et regonfle un peu le gilet. La remontée reprend et se termine convenablement. Ils ont tous les deux des ordinateurs qui affichent 2 min à 3 mètres. Après la plongée, le stagiaire N4 remontent le mouillage manuellement. Quelques minutes plus tard, il a un léger vertige, a du mal à déséquiper son scaphandre, et il ressent des nausées. Mettant cela sur le compte du mal de mer, le moniteur ne réagit pas d'autant que le stagiaire plaisante sur son propre cas. A l'arrivée au port, il ne peut plus se lever et perd connaissance.

4. Exposer le mécanisme de cet ADD et justifiez vos affirmations ? (2 points)

Il s'agit d'un accident de décompression de type cérébral ou vestibulaire et qui peut être lié à un FOP.

Le plongeur n'a pas mal à l'oreille et a des nausées et vertiges. Le fait que les symptômes débutent très rapidement aux paliers et qu'ils se poursuivent à la surface est également révélateur. Il survient alors que le stagiaire a effectué une apnée pour relancer sa remontée assistée.. Le délire et la perte de connaissance donnent également des indications sur la nature de l'ADD. Le trouble du comportement est associé à l'ADD cérébral. La perte de connaissance peut aller jusqu'au coma.

5. Quels sont le ou les facteurs favorisants de cet accident ? (1,5 point)

Dans le cas présent, le facteurs favorisants de cet accident sont les suivants :

- a. Faire des exercices en fin de plongée, d'autant plus que cette plongée a été très saturante car réalisée à 40m.
- b. Dernière remontée rapide au démarrage (production de bulles),
- c. Possible hyperpression intrathoracique lors de la 2nd remontée.
- d. Efforts après la plongée (remontée manuelle du mouillage).

6. Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la décompression ? (1,5 point)

- Le moniteur aurait pu constater l'apnée lors de l'assistance.
- Les exercices auraient dû être réalisées en début de plongée.
- Rappeler les consignes de sécurité avant toute plongée et surtout en formation.
- Les signes étaient assez flagrants. Notamment ceux qui se déclenchent très rapidement sont en général évidents, donc réaction immédiate avec O² + aspirine + alerte des secours. Faire boire de l'eau.
- Les signes de fatigue, de nausées et de vertiges sont toujours à prendre en compte et à évaluer notamment lorsqu'il y a en plus la profondeur et le temps.
- Au niveau de la décompression, ils ont effectué leur palier. La vitesse de remontée des ordinateurs a sans aucun doute été dépassée car elle est fixée de

façon à avoir une décompression optimale aux alentours de 12 mètres par minute suivant les modèles. Les profils de remontées dites anormales comme la remontée rapide ne sont pas pris en compte. Il n'y a aucune procédure particulière dans l'ordinateur. Si la plongée reste dans la norme du modèle de l'ordinateur, il est possible qu'il n'y ait aucun palier. Les tables doivent être privilégiées dans le cadre de la formation notamment pour le motif qu'il existe des procédures en cas de plongées anormales.

MF2 - Trébeurden Juillet 2011

Annexe Décompression

N°	Problèmes	Résultats
1	Immersion à 10h00, descente à 34 mètres, amorce de la remontée à 10h16. Arrivée à 9 m à 10h22. Paliers ?	11 mn à 3 mn
2	Plongée Nitrox 40/60. Descente à la profondeur maximale autorisée (PpO ₂ 1,6 b). Combien de temps maximum sans faire de paliers ?	40 mn sans palier
3	Immersion à 10h00 et descente à 32 mètres. Sortie à 10h45 sans difficulté particulière. Quelle sera l'heure de ré-immersion au plus tôt pour 25 min à 22 mètres et sans faire de palier ?	15h15
4	Immersion à 08h40 dans un lac où la pression atmosphérique est à 0,8 bar. Descente à 22 mètres sonde et retour à 09h10. Deuxième plongée à 11h20 avec même profondeur et même temps. Quelles sont la durée et la profondeur réelle des paliers de la deuxième plongée ?	19 mn à 2.40 m
5	Après être sorti d'une 1 ^{ère} plongée à 9h50 avec un GPS « J », un plongeur se ré-immerge à 11h30 pour une profondeur de 20 mètres. Au bout de 20 min, il se retrouve en surface suite à une remontée rapide. Il retourne au premier palier en 3 min depuis le départ du fond. Donnez la profondeur des différents paliers et leur temps pour la deuxième plongée seulement.	5 mn à 10 m 13 mn 3 m
6	Immersion à 10h00, descente à 45 mètres. Amorce de la remontée à 10h20. Panne d'air au palier à 10h25 et retour au palier à 10h28. Donnez l'heure de sortie ?	10h47
7	Quelle est la tension d'azote d'un compartiment de période 240 min après 90 minutes d'inhalation d'oxygène pur en surface si la tension initiale de ce compartiment était de 1,2 bar ?	0.93 bar
8	1 ^{ère} plongée, 37 m pendant 23 mn. Seconde plongée, 2 heures après la première, 27 m pendant 13mn. Durée du ou des paliers de la 2 ^{nde} plongée ?	12 mn à 3 m

La décompression : Durée 1h30 : Coefficient 4

Pour toutes les questions du sujet, vous utiliserez les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1 bar au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80 % : N₂ et 20% O₂ ; PpO₂ max 1,6 bar.

Question 1 - La série de problèmes (8 points)

Voir la feuille jointe qui sera ramassée au bout de 30 minutes.

Pour chaque problème juste 1 point et -0,5 point par problème faux ou non fait.

Ne remplir que le tableau joint en annexe.

Question 2 - Les bulles et l'organisme (7 points)

Pendant longtemps on a considéré que seule la décompression sans formation de bulles permettait d'éviter l'accident de décompression. Depuis les années 1970, on sait que des bulles asymptomatiques (microbulles ou bulles silencieuses) sont présentes.

1. Comment ces bulles se forment-elles ? (2 points)
2. En vous aidant éventuellement d'un schéma, expliquez comment ces bulles sont éliminées ? (1 point)
3. Expliquez comment la bulle peut franchir, ou éviter, le filtre pulmonaire (2 points)
4. On constate, à la lecture des notices que la plupart des ordinateurs récents prennent en compte ces microbulles, en proposant pour certains un (ou même des) palier profond. Donnez succinctement les grandes lignes qui régissent ces modèles. (2 points).

Question 3 - L'accident (5 points)

A l'issue d'une plongée à 40 mètres réalisée dans le cadre d'un entraînement niveau 4, un moniteur plonge avec un de son élève pour un exercice d'assistance gilet. La mer est calme et ils effectuent deux remontées assistées. La première se passe sans incident à une vitesse convenable malgré les alarmes sonores des ordinateurs. La deuxième est dans un premier temps trop rapide, puis il y a un arrêt à 20 mètres. Pour relancer l'assistance, le stagiaire gonfle ses poumons et regonfle un peu le gilet. La remontée reprend et se termine convenablement. Ils ont tous les deux des ordinateurs qui affichent 2 min à 3 mètres. Après la plongée, le stagiaire N4 remontent le mouillage manuellement. Quelques minutes plus tard, il a un léger vertige, a du mal à déséquiper son scaphandre, et il ressent des nausées. Mettant cela sur le compte du mal de mer, le moniteur ne réagit pas d'autant que le stagiaire plaisante sur son propre cas. A l'arrivée au port, il ne peut plus se lever et perd connaissance.

1. Exposer le mécanisme de cet ADD et justifiez vos affirmations ? (2 points)
2. Quels sont le ou les facteurs favorisant de cet accident ? (1,5 point)
3. Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la décompression ? (1,5 point)

MF2 - Trébeurden Juillet 2011

Annexe Décompression

N°	Problèmes	Résultats
1	Immersion à 10h00, descente à 34 mètres, amorce de la remontée à 10h16. Arrivée à 9 m à 10h22. Paliers ?	
2	Plongée Nitrox 40/60. Descente à la profondeur maximale autorisée (PpO ₂ 1,6 b). Combien de temps maximum sans faire de paliers ?	
3	Immersion à 10h00 et descente à 32 mètres. Sortie à 10h45 sans difficulté particulière. Quelle sera l'heure de ré-immersion au plus tôt pour 25 min à 22 mètres et sans faire de palier ?	
4	Immersion à 08h40 dans un lac où la pression atmosphérique est à 0,8 bar. Descente à 22 mètres sonde et retour à 09h10. Deuxième plongée à 11h20 avec même profondeur et même temps. Quelles sont la durée et la profondeur réelle des paliers de la deuxième plongée ?	
5	Après être sorti d'une 1 ^{ère} plongée à 9h50 avec un GPS « J », un plongeur se ré-immerge à 11h30 pour une profondeur de 20 mètres. Au bout de 20 min, il se retrouve en surface suite à une remontée rapide. Il retourne au premier palier en 3 min depuis le départ du fond. Donnez la profondeur des différents paliers et leur temps pour la deuxième plongée seulement.	
6	Immersion à 10h00, descente à 45 mètres. Amorce de la remontée à 10h20. Panne d'air au palier à 10h25 et retour au palier à 10h28. Donnez l'heure de sortie ?	
7	Quelle est la tension d'azote d'un compartiment de période 240 min après 90 minutes d'inhalation d'oxygène pur en surface si la tension initiale de ce compartiment était de 1,2 bar ?	
8	1 ^{ère} plongée, 37 m pendant 23 mn. Seconde plongée, 2 heures après la première, 27 m pendant 13mn. Durée du ou des paliers de la 2 nd e plongée ?	

La décompression : éléments de correction

Pour toutes les questions du sujet, vous utiliserez les paramètres suivants :

Pression atmosphérique de 1 bar au niveau de la mer, densité de l'eau égale à 1, composition de l'air 80 % : N₂ et 20% O₂ ; PpO₂ max 1,6 bar.

Question 1 - La série de problèmes (8 points)

Voir la feuille jointe qui sera ramassée au bout de 30 minutes.

Pour chaque problème juste 1 point et -0,5 point par problème faux ou non fait.

Ne remplir que le tableau joint en annexe.

Question 2 - Les bulles et l'organisme (7 points)

Pendant longtemps on a considéré que seule la décompression sans formation de bulles permettait d'éviter l'accident de décompression. Depuis les années 1970, on sait que des bulles asymptomatiques (microbulles ou bulles silencieuses) sont présentes.

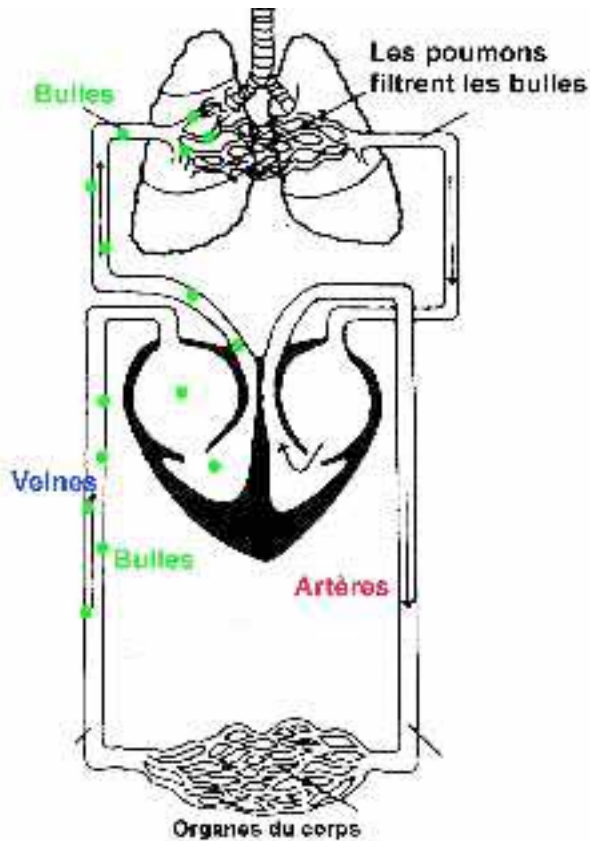
5. Comment ces bulles se forment-elles ? (2 points)

Plusieurs mécanismes de formation sont possibles :

- Par sursaturation : Lorsque la quantité de gaz dissout dépasse la capacité maximale de dissolution du tissu.
- Par cavitation : au centre des tourbillons produits par l'écoulement d'un liquide (ex. : sang) autour d'un obstacle (ex. : valvule, ...), la pression du liquide diminue. Il peut donc apparaître des bulles.
- Par tribonucléation : lorsque deux surfaces en contact sont séparées rapidement au sein d'un fluide, la pression chute fortement ce qui entraîne l'apparition de bulles.

6. En vous aidant éventuellement d'un schéma, expliquez comment ces bulles sont éliminées ? (1 point)

Un schéma possible qui décrit le cheminement des bulles et qui démontre le rôle de filtre avec des bulles du côté droit



7. Expliquez comment la bulle peut franchir, ou éviter, le filtre pulmonaire (2 points)
 Les bulles auront des effets différents.
 En fonction de la quantité elles perturberont la circulation sanguine au niveau des poumons, ce qui diminuera l'élimination de l'azote.
 En cas de plongée yo-yo ou successives rapprochées, leur taille diminuant pendant la descente, elles pourront passer à travers le filtre pulmonaire
 La présence d'un FOP et sa dangerosité seront développées succinctement. En cas d'effort, la pression dans l'oreillette droite devient supérieure à celle de l'oreillette gauche et peut favoriser l'ouverture du foramen.
8. On constate, à la lecture des notices que la plupart des ordinateurs récents prennent en compte ces microbulles, en proposant pour certains un (ou même des) palier profond. Donnez succinctement les grandes lignes qui régissent ces modèles. (2 points).

A l'heure actuelle, les ordinateurs ayant un modèle de type Bühlman ou de type VPM (Variable Permeability Model) indiquent prendre en compte ces microbulles. Nous indiquons donc les principales différences entre ces modèles.

Hypothèses de calcul :

Bühlman (1 pt)	Type VPM (1 pt)
Comportement du corps humain vis-à-vis de la saturation/désaturation représenté par plusieurs compartiments	Principe identique à celui du modèle de Bühlman
Pas de bulles dans l'organisme hors accident	Prise en compte de l'existence de bulles gazeuses dans l'organisme (équations spécifiques) Gestion des transferts de gaz entre ces

	bulles et le compartiment environnant
Prise en compte de l'air alvéolaire	Idem modèle de Bühlman

Question 3 - L'accident (5 points)

A l'issue d'une plongée à 40 mètres réalisée dans le cadre d'un entraînement niveau 4, un moniteur plonge avec un de son élève pour un exercice d'assistance gilet. La mer est calme et ils effectuent deux remontées assistées. La première se passe sans incident à une vitesse convenable malgré les alarmes sonores des ordinateurs. La deuxième est dans un premier temps trop rapide, puis il y a un arrêt à 20 mètres. Pour relancer l'assistance, le stagiaire gonfle ses poumons et regonfle un peu le gilet. La remontée reprend et se termine convenablement. Ils ont tous les deux des ordinateurs qui affichent 2 min à 3 mètres. Après la plongée, le stagiaire N4 remontent le mouillage manuellement. Quelques minutes plus tard, il a un léger vertige, a du mal à déséquiper son scaphandre, et il ressent des nausées. Mettant cela sur le compte du mal de mer, le moniteur ne réagit pas d'autant que le stagiaire plaisante sur son propre cas. A l'arrivée au port, il ne peut plus se lever et perd connaissance.

4. Exposer le mécanisme de cet ADD et justifiez vos affirmations ? (2 points)

Il s'agit d'un accident de décompression de type cérébral ou vestibulaire et qui peut être lié à un FOP.

Le plongeur n'a pas mal à l'oreille et a des nausées et vertiges. Le fait que les symptômes débutent très rapidement aux paliers et qu'ils se poursuivent à la surface est également révélateur. Il survient alors que le stagiaire a effectué une apnée pour relancer sa remontée assistée.. Le délire et la perte de connaissance donnent également des indications sur la nature de l'ADD. Le trouble du comportement est associé à l'ADD cérébral. La perte de connaissance peut aller jusqu'au coma.

5. Quels sont le ou les facteurs favorisant de cet accident ? (1,5 point)

Dans le cas présent, les facteurs favorisant de cet accident sont les suivants :

- a. Faire des exercices en fin de plongée, d'autant plus que cette plongée a été très saturante car réalisée à 40m.
- b. Dernière remontée rapide au démarrage (production de bulles),
- c. Possible hyperpression intrathoracique lors de la 2nd remontée.
- d. Efforts après la plongée (remontée manuelle du mouillage).

6. Quels enseignements pouvons-nous tirer de cet exemple au niveau de l'encadrement et de la gestion de la décompression ? (1,5 point)

- Le moniteur aurait pu constater l'apnée lors de l'assistance.
- Les exercices auraient dû être réalisés en début de plongée.
- Rappeler les consignes de sécurité avant toute plongée et surtout en formation.
- Les signes étaient assez flagrants. Notamment ceux qui se déclenchent très rapidement sont en général évidents, donc réaction immédiate avec O² + aspirine + alerte des secours. Faire boire de l'eau.
- Les signes de fatigue, de nausées et de vertiges sont toujours à prendre en compte et à évaluer notamment lorsqu'il y a en plus la profondeur et le temps.
- Au niveau de la décompression, ils ont effectué leur palier. La vitesse de remontée des ordinateurs a sans aucun doute été dépassée car elle est fixée de

façon à avoir une décompression optimale aux alentours de 12 mètres par minute suivant les modèles. Les profils de remontées dites anormales comme la remontée rapide ne sont pas pris en compte. Il n'y a aucune procédure particulière dans l'ordinateur. Si la plongée reste dans la norme du modèle de l'ordinateur, il est possible qu'il n'y ait aucun palier. Les tables doivent être privilégiées dans le cadre de la formation notamment pour le motif qu'il existe des procédures en cas de plongées anormales.

MF2 - Trébeurden Juillet 2011

Annexe Décompression

N°	Problèmes	Résultats
1	Immersion à 10h00, descente à 34 mètres, amorce de la remontée à 10h16. Arrivée à 9 m à 10h22. Paliers ?	11 mn à 3 mn
2	Plongée Nitrox 40/60. Descente à la profondeur maximale autorisée (PpO ₂ 1,6 b). Combien de temps maximum sans faire de paliers ?	40 mn sans palier
3	Immersion à 10h00 et descente à 32 mètres. Sortie à 10h45 sans difficulté particulière. Quelle sera l'heure de ré-immersion au plus tôt pour 25 min à 22 mètres et sans faire de palier ?	15h15
4	Immersion à 08h40 dans un lac où la pression atmosphérique est à 0,8 bar. Descente à 22 mètres sonde et retour à 09h10. Deuxième plongée à 11h20 avec même profondeur et même temps. Quelles sont la durée et la profondeur réelle des paliers de la deuxième plongée ?	19 mn à 2.40 m
5	Après être sorti d'une 1 ^{ère} plongée à 9h50 avec un GPS « J », un plongeur se ré-immerge à 11h30 pour une profondeur de 20 mètres. Au bout de 20 min, il se retrouve en surface suite à une remontée rapide. Il retourne au premier palier en 3 min depuis le départ du fond. Donnez la profondeur des différents paliers et leur temps pour la deuxième plongée seulement.	5 mn à 10 m 13 mn 3 m
6	Immersion à 10h00, descente à 45 mètres. Amorce de la remontée à 10h20. Panne d'air au palier à 10h25 et retour au palier à 10h28. Donnez l'heure de sortie ?	10h47
7	Quelle est la tension d'azote d'un compartiment de période 240 min après 90 minutes d'inhalation d'oxygène pur en surface si la tension initiale de ce compartiment était de 1,2 bar ?	0.93 bar
8	1 ^{ère} plongée, 37 m pendant 23 mn. Seconde plongée, 2 heures après la première, 27 m pendant 13mn. Durée du ou des paliers de la 2 nd e plongée ?	12 mn à 3 m

Décompression 1 H 30 - coefficient 4

Question 1 (4 points)

Un groupe de plongeurs arrive au bord d'un lac de cette magnifique région qu'est l'Auvergne. Le lac est situé à une altitude de 1090 m et ils planifient une plongée sur un fond de 31 m, en utilisant dans le tableau ci-dessous, sans extrapolation, la valeur qui vous semble la plus judicieuse.

Altitude (en mètres)	Pression atmosphérique	
	hPa	bars
1500	845	0,845
1000	898	0,898
800	920	0,920
0 mer	1013	Arrondi à 1

Le groupe s'immerge à 10 H10 et ce dernier décide de remonter au bout de 27 min.

Etablissez la procédure de décompression en adéquation avec l'utilisation de la table MN90 et de l'utilisation d'un bathymètre électronique de plongée. (2 pts)

b) - Avec quel mélange Nitrox, ce groupe de plongeurs aurait-il pu effectuer cette plongée ? (avec $P_{pO_2} \text{ max} = 1,6 \text{ b}$) (2 pts)

Question 2 (9 points)

a) - Une palanquée sort à 11 heures 08 d'une plongée hivernale en mer, à l'air, avec une température d'eau glaciale. Le GPS = K. Cette même palanquée décide de replonger à 15 H 15 et descendent sur un fond de 29 m. 23 min plus tard, le guide de palanquée (GP) constate qu'un des plongeurs a gonflé son gilet et remonte à une vitesse très largement au-delà de 17 m/min, sans pouvoir le rattraper.

Le « GP » et le reste de la palanquée le retrouvent en surface au bout de 2 minutes. Donnez la procédure de décompression préconisée par la table MN90, que le guide fait appliquer à tous ses plongeurs. (2 pts)

b) - Dix minutes après la sortie de l'eau, le « GP » s'aperçoit qu'un des membres de la palanquée est assis, prostré et n'a pas commencé à se déséquiper. A ses questions, le plongeur indique qu'il se sent extrêmement fatigué et qu'il n'a pas la force de retirer sa combinaison. Il avoue également qu'il a dû forcer à de nombreuses reprises, en utilisant la manœuvre de Valsalva, pour redescendre à mi-profondeur.

A quel type d'accident pouvez-vous penser ?

Justifiez votre réponse en tenant compte de ces circonstances particulières. (3 pts)

c) - Le fait d'avoir appliqué la procédure de mi-profondeur a pu être le déclencheur de cet accident.

Quelles autres alternatives avaient le guide de palanquée et le directeur de plongée ?

La planification de cette plongée vous semble-t-elle cohérente ? Justifiez. (4 pts)

Question 3 (7 points)

a) Si l'on se place dans les conditions de la plongée à l'air en mer, quelle est la TN_5 finale du compartiment 5 min (C_5) après 25 min de plongée à 41 m ? On suppose que les plongeurs étaient à saturation du bord de mer avant la plongée.

Dans ces conditions, est-il possible de remonter ce compartiment C_5 directement à la surface au bout de 25 min et si non, jusqu'à quelle profondeur ? Sc $C_5 = 2,72$ (2 pts)

b) Au début du siècle dernier J. S. HALDANE, le précurseurs de l'analyse de la décompression du plongeur, est l'un des premiers à faire référence à cette notion de « compartiments ». Sur quelles hypothèses fonde-t-il sa modélisation de la décompression ? (3 pts)

c) Les progrès de la connaissance de la décompression amènent à remettre en cause les hypothèses de Haldane.

Citez les données qui ont amené à prendre d'autres hypothèses de modélisation. (2 pts)

Décompression 1 H 30 - coefficient 4 Éléments de correction

Question 1

a) On prend l'altitude de 1500 m car plus pénalisant que 1000 m, d'où $P_{atm\ lac} = 0,845$ b
 Prof équiv. mer = Prof lac / $P_{atm\ lac}$ soit $31 / 0,845 = 36,68$ d'où 37 m
 Dans table MN 90 : 37 m → **38 m** d'où **paliers : 3mn à 6 m et 24mn à 3 m – GPS : K**
Prof palier lac = Prof palier mer X $P_{atm\ lac}$ soit $6 / 0,845 = 5,07$ → **5,1 m** et $3 / 0,845 = 2,535$ → **2,6 m**
 Vitesse de remontée lac = vitesse mer X $P_{atm\ lac}$ soit $15 \times 0,845 = 12,67$ → **12 m/mn**
DTR = $((31 - 6) / 12) + 3 + 24 + 0,5 + 0,5 = 2,083 + 3 + 24 + 0,5 + 0,5 = 30,083$ → **31 mn**
Heure de sortie = 10 H 10 + 27 + 31 = **11 H 08**.

b) $P_{abs\ lac} = 3,1 + 0,845 = 3,945$ b avec $P_{pO_2} = P_{abs\ lac} \times X/100$ → pour P_{pO_2} max = 1,6 b alors
 $X = (1,6 \times 100) / 3,945 = 40,55$ (40,55 % > 40 %) donc un **Nitrox 40/60 est limite mais peut convenir**.
 Par sécurité, on peut admettre un choix pour un Nitrox 36/64 par exemple.

Question 2

a) L'intervalle est de 4 H 07 → 4 heures
 Dans table MN 90 : 29 m → **30 m**
 Majoration : GPS K et Intervalle 4 heures = 0,92 puis 0,92 et 30 m donnent **9 min de majo.**
 d'où **durée plongée** = $23 + (9) + 2 + 1 + 5 = 40$ min soit **paliers : 24 min à 3 m – GPS : K**
DTR = $((15 - 3) / 15) + 24 + 0,5 = 0,8 + 24 + 0,5 = 25,3$ → **26 min**
Heure de sortie = 15 H 15 + 31 + 26 = **16 H 12**.

b) Ceci peut donc conduire à un **accident de décompression cérébral**.

c) On traite le 1^{er} incident mais le GP et le plongeur n'évitent pas le risque du 2^{ème}, de plus on place le reste de la palanquée en situation de risque.

- Effectuer le palier sans redescendre à mi profondeur.
- Sortir tous de l'eau sans palier : Les + = confort/froid, prise en charge du plongeur avec remontée rapide et du reste de la palanquée sans le palier effectué, appel des secours rapide, mais les - = possibilité de 1^{er} traitements pour tous ?, quel délai de route ?, rappel des autres palanquées ? ...
- Mettre le plongeur étant remonté rapidement sous O_2 + aspirine + eau et déclencher l'évacuation. Les autres plongeurs qui sont remontés à vitesse normale vont faire leurs paliers avec le GP. Pb retard pour l'évacuation sauf si annexe...

Le correcteur cherchera essentiellement à évaluer la capacité du candidat à proposer des solutions cohérentes donc aucune n'est parfaite. La solution adoptée est-elle réaliste ?

On peut penser que dans une eau glaciale, programmer une successive qui amène 17 min de palier n'est pas raisonnable. Donc restreindre la profondeur et le temps, voir augmenter l'intervalle ou utiliser de l'oxygène dans l'intervalle...

Cette étude d'un cas très particulier ne remet bien évidemment pas en cause la procédure de la demi-profondeur. Comme toutes les procédures systématiques, des conditions particulières peuvent amener à rechercher une démarche plus adaptée.

Question 3 (2 + 2 points)

a) C₅ avec 25 mn = 5 périodes → Ts = 0,9687 et Patmos mer = 1 b

$$TN^2(c5) = T0 + (G \times Ts)$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (5,1 \times 0,8 - 0,8) \times 0,9687$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (4,08 - 0,8) \times 0,9687$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (3,28 \times 0,9687)$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + 3,18$$

$$TN^2(c5) = 3,98 \text{ b}$$

$$Pabs = TN^2(c5) \text{ finale} / Sc$$

$$Pabs = 3,98 / 2,72 = 1,46 \text{ b ce qui donne } 1,46 - 1 = 0,46 \text{ b}$$

D'où : Ce compartiment **ne peut pas revenir en surface** sans dégazage critique.

b) Les deux hypothèses de modélisation de Haldane sont :

- La diffusion est instantanée.
- Notre organisme ne se comporte pas de façon homogène vis-à-vis de l'azote. Il effectue un découpage en 5 régions homogènes en regard de ce gaz appelées « compartiments » et dont l'ensemble se rapproche des tissus existants de notre corps..
- Chaque compartiment absorbe et élimine le gaz inerte de la même façon par la perfusion des compartiments de façon instantanée. Pour lui, ces transferts d'azote se font grâce à une loi exponentielle symétriquement inverse entre la phase de saturation et de désaturation basées sur une notion de période. De plus, il introduit la notion de sursaturation ($Sc = 2$ à l'origine = TN^2/Pa).

c) – 1 : - Pour Haldane lors d'une décompression normale, il n'a pas de bulle, or on sait maintenant que c'est faux (examen Doppler ou échographie). Cela veut dire que la charge et la décharge de gaz ne sont pas identiques car les bulles, mêmes silencieuses, perturbent les échanges.

- Le modèle de Haldane ne prend pas en compte les lois de la diffusion qu'il considère comme négligeable. On a découvert depuis que les échanges gazeux ne semblent pas complets en un seul passage car la tension tissulaire est différente de la tension veineuse. La « résistance mécanique » des tissus entraîne une certaine résistance à la diffusion et ainsi l'équilibre n'est donc pas instantané.

- La perfusion des tissus n'est pas homogène car elle est liée aux variations du rythme cardiaque. De plus, certains tissus sont très mal vascularisés et donc la théorie d'origine ne peut pas s'appliquer vraiment.

- Les tissus humains ne sont pas parfaitement homogènes donc pas complètement assimilables à des compartiments « étanches ».

- Le modèle de Haldane ne prend pas en compte les phénomènes de rediffusion des gaz, ni la circulation des gaz par les shunts cardiaques et pulmonaires.

- Des études plus récentes ont permis de mettre en évidence que les compartiments ne se chargent non pas de façon identique mais en série. De même, lors de la phase décharge, les compartiments les plus longs se déchargent dans les plus courts, cela est représenté par une courbe sigmoïdale d'où remise en cause de la forme des courbes.

Décompression 1 H 30 - coefficient 4

Question 1 (4 points)

Un groupe de plongeurs arrive au bord d'un lac de cette magnifique région qu'est l'Auvergne. Le lac est situé à une altitude de 1090 m et ils planifient une plongée sur un fond de 31 m, en utilisant dans le tableau ci-dessous, sans extrapolation, la valeur qui vous semble la plus judicieuse.

Altitude (en mètres)	Pression atmosphérique	
	hPa	bars
1500	845	0,845
1000	898	0,898
800	920	0,920
0 mer	1013	Arrondi à 1

Le groupe s'immerge à 10 H10 et ce dernier décide de remonter au bout de 27 min.

Etablissez la procédure de décompression en adéquation avec l'utilisation de la table MN90 et de l'utilisation d'un bathymètre électronique de plongée. (2 pts)

b) - Avec quel mélange Nitrox, ce groupe de plongeurs aurait-il pu effectuer cette plongée ? (avec $P_{pO_2} \text{ max} = 1,6 \text{ b}$) (2 pts)

Question 2 (9 points)

a) - Une palanquée sort à 11 heures 08 d'une plongée hivernale en mer, à l'air, avec une température d'eau glaciale. Le GPS = K. Cette même palanquée décide de replonger à 15 H 15 et descendent sur un fond de 29 m. 23 min plus tard, le guide de palanquée (GP) constate qu'un des plongeurs a gonflé son gilet et remonte à une vitesse très largement au-delà de 17 m/min, sans pouvoir le rattraper.

Le « GP » et le reste de la palanquée le retrouvent en surface au bout de 2 minutes. Donnez la procédure de décompression préconisée par la table MN90, que le guide fait appliquer à tous ses plongeurs. (2 pts)

b) - Dix minutes après la sortie de l'eau, le « GP » s'aperçoit qu'un des membres de la palanquée est assis, prostré et n'a pas commencé à se déséquiper. A ses questions, le plongeur indique qu'il se sent extrêmement fatigué et qu'il n'a pas la force de retirer sa combinaison. Il avoue également qu'il a dû forcer à de nombreuses reprises, en utilisant la manœuvre de Valsalva, pour redescendre à mi-profondeur.

A quel type d'accident pouvez-vous penser ?

Justifiez votre réponse en tenant compte de ces circonstances particulières. (3 pts)

c) - Le fait d'avoir appliqué la procédure de mi-profondeur a pu être le déclencheur de cet accident.

Quelles autres alternatives avaient le guide de palanquée et le directeur de plongée ?

La planification de cette plongée vous semble-t-elle cohérente ? Justifiez. (4 pts)

Question 3 (7 points)

a) Si l'on se place dans les conditions de la plongée à l'air en mer, quelle est la TN_5 finale du compartiment 5 min (C_5) après 25 min de plongée à 41 m ? On suppose que les plongeurs étaient à saturation du bord de mer avant la plongée.

Dans ces conditions, est-il possible de remonter ce compartiment C_5 directement à la surface au bout de 25 min et si non, jusqu'à quelle profondeur ? $Sc_{C_5} = 2,72$ (2 pts)

b) Au début du siècle dernier J. S. HALDANE, le précurseurs de l'analyse de la décompression du plongeur, est l'un des premiers à faire référence à cette notion de « compartiments ». Sur quelles hypothèses fonde-t-il sa modélisation de la décompression ? (3 pts)

c) Les progrès de la connaissance de la décompression amènent à remettre en cause les hypothèses de Haldane.

Citez les données qui ont amené à prendre d'autres hypothèses de modélisation. (2 pts)

Décompression 1 H 30 - coefficient 4 Éléments de correction

Question 1

a) On prend l'altitude de 1500 m car plus pénalisant que 1000 m, d'où $P_{atm\ lac} = 0,845$ b
 Prof équiv. mer = Prof lac / $P_{atm\ lac}$ soit $31 / 0,845 = 36,68$ d'où 37 m
 Dans table MN 90 : 37 m → **38 m** d'où **paliers : 3mn à 6 m et 24mn à 3 m – GPS : K**
Prof palier lac = Prof palier mer X $P_{atm\ lac}$ soit $6 / 0,845 = 5,07$ → **5,1 m** et $3 / 0,845 = 2,535$ → **2,6 m**
 Vitesse de remontée lac = vitesse mer X $P_{atm\ lac}$ soit $15 \times 0,845 = 12,67$ → **12 m/mn**
DTR = $((31 - 6) / 12) + 3 + 24 + 0,5 + 0,5 = 2,083 + 3 + 24 + 0,5 + 0,5 = 30,083$ → **31 mn**
Heure de sortie = 10 H 10 + 27 + 31 = **11 H 08**.

b) $P_{abs\ lac} = 3,1 + 0,845 = 3,945$ b avec $P_{pO_2} = P_{abs\ lac} \times X/100$ → pour P_{pO_2} max = 1,6 b alors
 $X = (1,6 \times 100) / 3,945 = 40,55$ (40,55 % > 40 %) donc un **Nitrox 40/60 est limite mais peut convenir**.
 Par sécurité, on peut admettre un choix pour un Nitrox 36/64 par exemple.

Question 2

a) L'intervalle est de 4 H 07 → 4 heures
 Dans table MN 90 : 29 m → **30 m**
 Majoration : GPS K et Intervalle 4 heures = 0,92 puis 0,92 et 30 m donnent **9 min de majo.**
 d'où **durée plongée** = $23 + (9) + 2 + 1 + 5 = 40$ min soit **paliers : 24 min à 3 m – GPS : K**
DTR = $((15 - 3) / 15) + 24 + 0,5 = 0,8 + 24 + 0,5 = 25,3$ → **26 min**
Heure de sortie = 15 H 15 + 31 + 26 = **16 H 12**.

b) Ceci peut donc conduire à un **accident de décompression cérébral**.

c) On traite le 1^{er} incident mais le GP et le plongeur n'évitent pas le risque du 2^{ème}, de plus on place le reste de la palanquée en situation de risque.

- Effectuer le palier sans redescendre à mi profondeur.
- Sortir tous de l'eau sans palier : Les + = confort/froid, prise en charge du plongeur avec remontée rapide et du reste de la palanquée sans le palier effectué, appel des secours rapide, mais les - = possibilité de 1^{er} traitements pour tous ?, quel délai de route ?, rappel des autres palanquées ? ...
- Mettre le plongeur étant remonté rapidement sous O_2 + aspirine + eau et déclencher l'évacuation. Les autres plongeurs qui sont remontés à vitesse normale vont faire leurs paliers avec le GP. Pb retard pour l'évacuation sauf si annexe...

Le correcteur cherchera essentiellement à évaluer la capacité du candidat à proposer des solutions cohérentes donc aucune n'est parfaite. La solution adoptée est-elle réaliste ?

On peut penser que dans une eau glaciale, programmer une successive qui amène 17 min de palier n'est pas raisonnable. Donc restreindre la profondeur et le temps, voir augmenter l'intervalle ou utiliser de l'oxygène dans l'intervalle...

Cette étude d'un cas très particulier ne remet bien évidemment pas en cause la procédure de la demi-profondeur. Comme toutes les procédures systématiques, des conditions particulières peuvent amener à rechercher une démarche plus adaptée.

Question 3 (2 + 2 points)

a) C₅ avec 25 mn = 5 périodes → Ts = 0,9687 et Patmos mer = 1 b

$$TN^2(c5) = T0 + (G \times Ts)$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (5,1 \times 0,8 - 0,8) \times 0,9687$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (4,08 - 0,8) \times 0,9687$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + (3,28 \times 0,9687)$$

$$TN^2(c5) = 0,8 + 3,18$$

$$TN^2(c5) = 3,98 \text{ b}$$

$$Pabs = TN^2(c5) \text{ finale} / Sc$$

$$Pabs = 3,98 / 2,72 = 1,46 \text{ b ce qui donne } 1,46 - 1 = 0,46 \text{ b}$$

D'où : Ce compartiment **ne peut pas revenir en surface** sans dégazage critique.

b) Les deux hypothèses de modélisation de Haldane sont :

- La diffusion est instantanée.
- Notre organisme ne se comporte pas de façon homogène vis-à-vis de l'azote. Il effectue un découpage en 5 régions homogènes en regard de ce gaz appelées « compartiments » et dont l'ensemble se rapproche des tissus existants de notre corps..
- Chaque compartiment absorbe et élimine le gaz inerte de la même façon par la perfusion des compartiments de façon instantanée. Pour lui, ces transferts d'azote se font grâce à une loi exponentielle symétriquement inverse entre la phase de saturation et de désaturation basées sur une notion de période. De plus, il introduit la notion de sursaturation ($Sc = 2$ à l'origine = TN^2/Pa).

c) – 1 : - Pour Haldane lors d'une décompression normale, il n'a pas de bulle, or on sait maintenant que c'est faux (examen Doppler ou échographie). Cela veut dire que la charge et la décharge de gaz ne sont pas identiques car les bulles, mêmes silencieuses, perturbent les échanges.

- Le modèle de Haldane ne prend pas en compte les lois de la diffusion qu'il considère comme négligeable. On a découvert depuis que les échanges gazeux ne semblent pas complets en un seul passage car la tension tissulaire est différente de la tension veineuse. La « résistance mécanique » des tissus entraîne une certaine résistance à la diffusion et ainsi l'équilibre n'est donc pas instantané.

- La perfusion des tissus n'est pas homogène car elle est liée aux variations du rythme cardiaque. De plus, certains tissus sont très mal vascularisés et donc la théorie d'origine ne peut pas s'appliquer vraiment.

- Les tissus humains ne sont pas parfaitement homogènes donc pas complètement assimilables à des compartiments « étanches ».

- Le modèle de Haldane ne prend pas en compte les phénomènes de rediffusion des gaz, ni la circulation des gaz par les shunts cardiaques et pulmonaires.

- Des études plus récentes ont permis de mettre en évidence que les compartiments ne se chargent non pas de façon identique mais en série. De même, lors de la phase décharge, les compartiments les plus longs se déchargent dans les plus courts, cela est représenté par une courbe sigmoïdale d'où remise en cause de la forme des courbes.