

Table « Marine Nationale 1990 »

MN 90

Jean-Noël TRUCCO

avec le concours de Jef BIARD, Yvon FAUVEL et Jean-Yves REDUREAU

2000
(à jour de la refonte de l'Instruction sur la Plongée Autonome (Marine Nationale) du 1/10/96)

BREF HISTORIQUE DES TABLES DE PLONGEE	4
METHODE D'ELABORATION DE LA TABLE MN 90	5
1 LE MODELE THEORIQUE	5
1.1 LES HYPOTHESES DU MODELE	5
1.2 CRITERE DE REMONTEE	6
1.3 UTILISATION DU MODELE POUR LA TABLE MN 90	6
1.3.1 Population de référence	6
1.3.2 Paramètres de la plongée initiale	7
1.3.3 Paramètres de la plongée successive	7
1.3.4 Calcul des décompressions	7
MODE D'EMPLOI DE LA TABLE MN 90	8
2 CONDITIONS D'EMPLOI DE LA TABLE	8
3 PRESENTATION DE LA TABLE	8
4 MODE D'EMPLOI DE LA TABLE	8
4.1 PLONGEE SIMPLE	9
4.2 PLONGEE CONSECUTIVE	10
4.3 PLONGEE SUCCESSIVE	10
4.4 REGLES DE SECURITE	11
4.5 PLONGEE EN ALTITUDE	12
4.5.1 Pression atmosphérique et altitude d'un lieu	12
4.5.2 Les profondimètres et l'altitude	13
4.5.3 Utilisation de la table en altitude	13
4.5.3.1 <i>Plongée simple</i>	13
4.5.3.2 <i>Plongée successive</i>	14
4.5.3.3 <i>Les règles de sécurité</i>	15
4.6 CALCUL DU COEFFICIENT D'AZOTE RESIDUEL	15
4.7 DIMINUTION DE L'AZOTE RESIDUEL - RESPIRATION D'OXYGENE PUR EN SURFACE	16
4.8 PLONGEE AVEC MELANGE DIFFERENT DE L'AIR	16
4.8.1 Règles de sécurité	16
4.9 INHALATION D'OXYGENE PUR AUX PALIERS	16
HISTORIQUE DES MODIFICATIONS DE LA TABLE MN 90	18
TABLE MN 90	19
PROBLEMES DE PLONGEE AVEC TABLE MN 90	23

Textes de référence :

Rapport CEPISMER 03/90 (Marine Nationale) de MELIET.

Instruction sur la Plongée Autonome (Marine Nationale), refonte globale du 01/10/96.

Avant propos

Dans le mode actuel de validation de certaines formations de plongeurs et moniteurs de la F.F.E.S.S.M. il est prévu une évaluation de la compétence des candidats à "utiliser un outil de décompression". L'outil choisi et imposé est une table et en l'occurrence il s'agit de la table Marine Nationale 1990.

Il est obligatoire d'utiliser cette table pour les examens concernés mais la fédération n'impose aucun outil pour la pratique (ce serait bien imprudent). Ceci signifie qu'un guide de palanquée est libre d'utiliser l'outil de décompression de son choix dans la mesure où celui-ci est une table réglementaire (et non calculée par qui que ce soit) en service en France ou à l'étranger ou un ordinateur en vente libre sur le marché.

Un nouveau type d'appareils, les ordinateurs dits de "troisième génération" ou "adaptatifs" a vu le jour en France en 1995. Ces modèles, grâce à une information constituée par la pression d'air (ou de mélange) du bloc déterminent par modélisation la consommation du plongeur, l'intensité de l'effort fourni, le taux de microbulles circulantes, etc. En fonction de ces paramètres et d'autres (comme la température de l'eau), ils adaptent à partir du programme qu'ils ont en mémoire (également appelé "algorithme") le profil de décompression proposé.

Cette multitude d'outils de décompression pose aujourd'hui de nouveaux problèmes. Comment organiser les plongées sachant que :

- les procédures (les "habitudes") de plongée changent, aujourd'hui on ne gère plus un temps et une profondeur mais une "autonomie" de plongée : il est possible de descendre le long d'un tombant à 45 m puis de remonter un peu de temps en temps quand la durée de plongée sans paliers (un des paramètres les plus visibles aujourd'hui sur les ordinateurs) est proche de zéro. On peut ainsi effectuer une plongée de 20, 30 ou 40 minutes et même plus en ayant atteint la profondeur de 45 m sans faire de paliers,
- la connaissance par l'organisation en surface des profils de décompression des palanquées mises à l'eau n'est plus possible puisque ces profils "s'établissent" en cours de plongée,
- l'association de divers outils de décompression au sein d'une même palanquée devient délicate : personne n'a les mêmes paliers à effectuer, les vitesses de remontée peuvent être différentes.

Ceci signifie que l'enseignement de la gestion du retour en surface, la "décompression", revêt des aspects pratiques et théoriques qui vont bien au-delà de la seule utilisation d'un outil de décompression et qui malheureusement ne sont pas suffisamment abordés en période de formation.

Ce n'est d'ailleurs plus de gestion de la décompression qu'il faut parler mais de gestion du profil de plongée.

Ce préambule est destiné à bien faire prendre conscience au lecteur des limites du contenu de ce document : il ne s'agit que de la description rapide de la méthode d'élaboration de la table MN 90 et de l'explication de l'utilisation de cette table dans le seul contexte de la résolution de problèmes lors des examens fédéraux.

Plongeurs niveau 2, 3 et 4 vous serez largement prêts pour ces examens en limitant votre lecture au paragraphe "Mode d'emploi de la table MN 90".

Les paragraphes "Bref historique des tables de plongée" et "Méthode d'élaboration de la table MN 90" ne constitueront pour vous que de l'information.

Moniteurs, ce fascicule devrait vous permettre de construire des cours adaptés à votre public.

Bonne lecture à tous.

Bref historique des tables de plongée

La présence de bulles dans le sang d'animaux morts d'accidents de décompression a été observée dès le XVII^e siècle, en particulier par Robert BOYLE en 1670 (Physicien - Chimiste Irlandais 1627/1691).

BUCQUOY, en 1861, émet le premier l'hypothèse que "les gaz du sang ... repassent à l'état libre sous l'influence de la décompression ... et occasionnent des accidents comparables à ceux d'une injection d'air dans les veines".

BUCQUOY conseille alors "aux ingénieurs de prendre toutes les précautions nécessaires pour obtenir une décompression suffisamment lente" et Paul BERT propose pour les ouvriers tubistes des temps de décompression en fonction de la pression de travail.

En 1907, la Royal Navy demande à un physiologiste et psychologue de renom, John Scott HALDANE (1860/1936), d'établir des procédures de décompression après plongée à l'air jusqu'à la profondeur de 204 pieds (68 m). Ces tables adoptées Outre-Atlantique, sont améliorées et prolongées et dès 1915 des plongées à 304 pieds (100 m) ont lieu en utilisant l'oxygène pur à la remontée à partir de 18 m. En 1937, l'U.S. Navy arrive à la profondeur de 183 m en utilisant l'hélium.

Que se passe-t-il en France ?

En 1948 la Marine Nationale se dote d'un matériel de plongée autonome permettant d'atteindre 40 m.

Les tables utilisées sont celles de l'U.S. Navy traduites dans le système métrique (d'où les paliers de 3 m en 3 m correspondant à 10 pieds environ). Ces tables soulèvent un peu plus tard deux objections principales :

- la vitesse de remontée fixée à 7,5 m / min paraît trop lente et pouvoir être dépassée sans risques,
- les durées de remontée sont considérées comme inutilement longues.

Ces observations coïncident avec l'apparition dans l'U.S. Navy de nouvelles tables élaborées par DWYER en 1955 : elles introduisent pour la première fois la notion de variation avec la profondeur du rapport de sursaturation supportable d'un compartiment, c'est la naissance des fameux "M values" des tables anglo-saxonnes.

De nouvelles tables sont calculées par le GERS en 1959 pour des durées allant jusqu'à 2 heures à 15 m et 50 min à 40 m. Etablies sur trois tissus de période 40, 75 et 120 min avec comme coefficient respectif 2,3, 2 et 2, elles prévoient une vitesse de remontée de 15 m/min jusqu'à 5 m et une réduction franche de la vitesse ensuite. Elles introduisent par ailleurs la notion de "coefficient de plongée successive", permettant de réaliser une deuxième plongée dans un intervalle de 6 heures.

En 1960 PERRIMOND-TROUCHET essaie de déterminer la vitesse de remontée "naturelle" d'un plongeur : 35 mesures sur 18 plongeurs lui donnent 24 m/min. Pour se rapprocher de la vitesse adoptée par l'U.S. et la Royal Navy (18 m/min) il retient pour ses calculs la valeur de 20 m/min.

A la suite d'un certain nombre d'accidents avec la table GERS 59, la Marine Nationale remanie ses tables en adoptant pour la tranche 40 à 85 m (le commandement de l'époque ne jugea pas utile de remettre en cause la tranche 15 à 38 m) une table calculée par BARTHELEMY de 0 à 85 m d'après des paramètres proposés par BESSE en 1962 avec quatre tissus de période 7, 30, 60 et 120 min choisis d'après les travaux de JONES (1951). La vitesse de remontée prise en compte est de 17 m/min, mais une vitesse de 20 m/min est tolérée dans l'exécution de la plongée. Les plongées successives sont calculées par rapport au tissu de période 60 min.

Les tables "GERS 65" furent donc une "fusion" de la table GERS 59 de 15 à 38 m et des études de 1965 pour la tranche 40 à 85 m.

Une nouvelle augmentation sensible des accidents avec la table GERS 65 a incité la Marine Nationale à mener une étude statistique (1989), montrant que sur 250.000 plongées enregistrées en 5 ans il y avait eu 17 accidents (15 dans la tranche 0-40 m pour 170.000 plongées). Par ailleurs, il apparaît une zone allant de 28 à 42 m où le taux d'accident est plus élevé.

A la suite de ces constatations, la Marine Nationale a décidé d'élaborer une nouvelle table afin de réduire encore le nombre d'accidents.

Cette table, conçue suivant le même modèle théorique que la GERS 65 (pour des raisons de facilité de réalisation) est la Table Marine Nationale 1990 ou MN 90.

Méthode d'élaboration de la table MN 90

Les éléments présentés dans ce chapitre n'ont pour but que de réunir toutes les informations concernant la table MN 90 dans un même document. Il est clair que ces données dépassent largement les besoins des plongeurs !

1 LE MODELE THEORIQUE

Le modèle mathématique utilisé pour l'élaboration de la table MN 90 est celui qui a été formulé par Haldane et qui fût utilisé pour la table G.E.R.S. 1965.

1.1 LES HYPOTHESES DU MODELE

Les hypothèses concernant la cinétique des gaz dissous dans l'organisme émises par Haldane pour déterminer son modèle mathématique sont les suivantes :

- à la sortie des poumons, les pressions partielles des gaz diluants dissous dans le sang artériel sont en équilibre avec le gaz alvéolaire,
- à la sortie d'un compartiment de volume V, les pressions partielles des gaz diluants dissous dans le sang et dans ce compartiment sont en équilibre,
- la quantité de gaz neutre accumulée par unité de temps dans ce compartiment est égale à la différence entre celle qui entre et celle qui sort :

$$Q = (P_1 - P) \cdot s_1 \cdot v$$

avec :

v	débit sanguin irriguant le compartiment
s ₁	solubilité du gaz dans le sang
P ₁	pression du gaz dissous dans le sang afférent et P dans le sang efférent

- elle est aussi égale par unité de volume, au produit de la solubilité s₂ du gaz dans le compartiment par la pression :

$$Q = V \cdot s_2 \cdot P = (P_1 - P) \cdot s_1 \cdot v$$

Pendant un intervalle de temps Dt, la pression dans le tissu augmente d'une valeur Dp :

$$Dp \cdot s_2 \cdot V = (P_1 - P) \cdot s_1 \cdot v \cdot Dt$$

ou

$$Dp/Dt = (P_1 - P) \cdot s_1 \cdot v / s_2 \cdot V$$

Le rapport v/V du débit sanguin afférent au volume du compartiment est le taux de perfusion de ce compartiment. A conditions physiologiques constantes (et comme s₁ et s₂ sont constants), la variation des gaz dissous dans un compartiment de l'organisme ne dépend que :

- du taux de perfusion du compartiment,
- du gradient de pression entre le compartiment et le sang.

On peut alors écrire :

$$Dp/Dt = K \cdot (P_1 - P) \text{ et si } Dt \text{ est petit : } dp/dt = K \cdot (P_1 - P)$$

où K est une constante représentant le taux de perfusion du compartiment considéré.

A P₁ constant (P ambiante ne variant pas), cette équation s'intègre et donne :

$$P = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot (1 - e^{-Kt})$$

où P₀ est la pression ambiante dans le compartiment à l'instant t₀.

On peut alors caractériser le compartiment (ou tissu) par sa période T : temps pendant lequel la valeur de la fonction augmente ou diminue de moitié (T = Log 2 / K).

L'équation devient alors :

$$P = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot (1 - 0,5^{t/T})$$

Remarque

L'évolution des connaissances sur les échanges gazeux, plus particulièrement en situation de désaturation de l'organisme, et l'amélioration des technologies permettant d'analyser ces phénomènes ont montré les limites du modèle mathématique "Haldanien".

Aussi, d'autres modèles concernant la cinétique des gaz dissous ou plus généralement la "décompression" ont fait leur apparition depuis Haldane.

La plupart sont des "Haldane" modifiés. Certains, sont basés sur des hypothèses quant aux phénomènes physiologiques et physiques liés à la saturation/désaturation totalement différentes.

Ceci explique les nombreux outils de décompression existant sur le marché aujourd'hui et surtout que pour une même plongée on aboutit à une décompression différente suivant l'outil utilisé.

1.2 CRITERE DE REMONTEE

Les hypothèses de Haldane sur les facteurs limitants à la remontée sont :

- les échanges gazeux à la décompression suivent la même loi qu'à l'augmentation de pression: le rôle des bulles dans la modification des échanges hémato-tissulaires est négligé,
- une décompression normale ne s'accompagne pas de bulles : l'accident survient quand les bulles apparaissent,
- les bulles apparaissent dans un compartiment lorsque le rapport entre la pression des gaz dissous et la pression hydrostatique ambiante, appelé rapport (ou coefficient) de sursaturation atteint une valeur dite "critique", caractérisant la pression maximale tolérable par ce compartiment.

1.3 UTILISATION DU MODELE POUR LA TABLE MN 90

Les éléments qui suivent sont spécifiques à la table MN 90.

Tissus pris en compte avec leur coefficient de sursaturation critique

	TISSUS											
PERIODES (min)	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
COEFFICIENT	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

La vitesse de remontée retenue est de 15 à 17 m/min : d'une part cela ne modifie pas les "habitudes" des plongeurs de la Marine Nationale par rapport à la table G.E.R.S. 1965, d'autre part une table basée sur une vitesse inférieure aurait conduit à se trouver plus "facilement" en situation de remontée rapide.

Sur le plan purement physiologique, la valeur "maximale" de la vitesse de remontée est en partie imposée par les tissus "rapides", comme le sang. La vitesse retenue est aussi le résultat d'un choix concernant le profil de la décompression : pour une même plongée, une vitesse plus rapide fait "descendre" le niveau du premier palier mais diminue la durée des derniers paliers. La vitesse de remontée influe sur d'autres facteurs, notamment au niveau des échanges gazeux, mais ce n'est pas l'objet de ce document.

1.3.1 Population de référence

La table a été élaboré et "idéalisé" pour une population de référence avec ses caractéristiques physiologiques et vis à vis des conditions d'emploi de la table par cette population.

Les caractéristiques de la population de référence sont :

- poids moyen 74 kg plus ou moins 8 kg,
- taille moyenne 175,9 plus ou moins 5,7 cm,
- âge moyen 32,3 plus ou moins 6,1 ans.

(ces caractéristiques sont la moyenne de celles constatées chez les 1095 plongeurs de la Marine Nationale ayant effectué une visite d'aptitude médicale durant l'année 1988)

1.3.2 Paramètres de la plongée initiale

Le mélange respiré est de l'air constitué en permanence de 80 % d'azote et de 20 % d'oxygène. Chaque compartiment est initialement saturé à une pression partielle d'azote de 0,8 bar : l'altitude normale d'utilisation est de 0 m (niveau de la mer).

1.3.3 Paramètres de la plongée successive

Il faut tenir compte de la charge résiduelle d'azote dans l'organisme à l'issue d'une plongée pour pouvoir effectuer une plongée successive.

Cette quantité d'azote est prise en compte uniquement pour le tissu de période T 120 min. Sa valeur est caractérisée par une lettre dans la table MN 90.

Pression résiduelle d'azote en bar à l'arrivée en surface (tissu T 120 min)	Groupes de plongées successives
0,801 à 0,84	A
0,841 à 0,89	B
0,891 à 0,93	C
0,931 à 0,98	D
0,981 à 1,02	E
1,021 à 1,07	F
1,071 à 1,11	G
1,111 à 1,16	H
1,161 à 1,20	I
1,201 à 1,24	J
1,241 à 1,29	K
1,291 à 1,33	L
1,331 à 1,38	M
1,381 à 1,42	N
1,421 à 1,47	O
1,471 à 1,51	P

Pour tenir compte de cette quantité d'azote (supplémentaire par rapport aux conditions initiales d'utilisation prévues), on calcule le temps appelé "majoration" qu'il aurait fallu passer à la profondeur de la plongée envisagée pour emmagasiner cette quantité d'azote. Ce temps est calculé avec le modèle théorique.

1.3.4 Calcul des décompressions

Les décompressions de l'ensemble des plongées initiales et successives sont alors calculées avec les paramètres du modèle théorique.

Voici de manière schématique les étapes de ces calculs :

- pour une profondeur et une durée d'exposition données (durée de la plongée) :
 - l'état de saturation avant le début de la remontée de chacun des douze compartiments est calculé,
 - lors de la remontée, dès que le premier de l'un quelconque de ces compartiments atteint son coefficient de sursaturation critique (on parle de "tissu directeur"), il impose alors un palier à une profondeur multiple de 3 m (la conservation des paliers de 3 m en 3 m est un choix volontaire de la Marine Nationale) immédiatement supérieure à celle où il atteint la saturation critique : par exemple, un compartiment qui atteindra la saturation critique à 4,3 m imposera un palier à 6 m,
 - la durée d'un palier est égale au temps nécessaire pour que tous les compartiments puissent être remontés à la profondeur inférieure (3 m dans l'exemple précédent).

Il est important de noter que ce n'est qu'à l'issue de plongées expérimentales ayant débouché parfois sur des corrections de la table que celle-ci a été validée.

Mode d'emploi de la table MN 90

Rappel : l'emploi de la table décrit ici a pour seule vocation la résolution de problèmes en examen. L'usage d'un outil de décompression (table ou ordinateur) et l'enseignement pratique de la décompression revêtent un tout autre esprit.

2 CONDITIONS D'EMPLOI DE LA TABLE

Les conditions dans laquelle la table MN 90 peut être utilisée pour déterminer la décompression d'une plongée découlent des hypothèses de calcul et d'application du modèle qui ont présidé à sa conception.

- Plongée autonome à l'air sans effort plus important que celui de nager face à un courant de 0,5 noeud ¹,
- Pression atmosphérique initiale : 1013 hPa (altitude 0m),
- Plongeur saturé à la P. atm. initialement (tN2 = 0,8 bar),
- Vitesse de remontée : 15 à 17 m / min du fond vers le premier palier, 6 m / min à partir du premier palier et jusqu'à la surface
- Critères de la population de référence : 74 kg \pm 8 kg / 175,9 \pm 5,7 cm / 32,3 \pm 6,1 ans.

La table MN 90 est une table de plongée à l'air.

La profondeur maximale réglementaire d'utilisation de l'air est de 60 m. Les décompressions données pour les profondeurs de 62 et 65 m ne figurent dans la table que pour répondre à un dépassement accidentel de la profondeur limite de 60 m.

3 PRESENTATION DE LA TABLE

La table MN 90 se présente sous forme d'un tableau comportant jusqu'à 8 colonnes, divisé en plusieurs parties correspondant chacune à une profondeur indiquée en mètres dans la 1ère colonne.

On trouve dans la 2ème colonne un éventail de durées de plongées en minutes ou heure et minutes.

Sont indiqués ensuite et successivement pour une durée et une profondeur donnée :

- la durée des paliers en minutes à 15, 12, 9, 6 et 3 m,
- le "groupe de plongée successive" GPS (sous forme d'une lettre variant de A à P) permettant l'utilisation de la table pour les plongées dites "successives".

4 MODE D'EMPLOI DE LA TABLE

La profondeur "P" et la durée "Dur" constituent les paramètres de la plongée.

L'élément avec lequel on entre dans la table est la profondeur maximale atteinte au cours de la plongée.

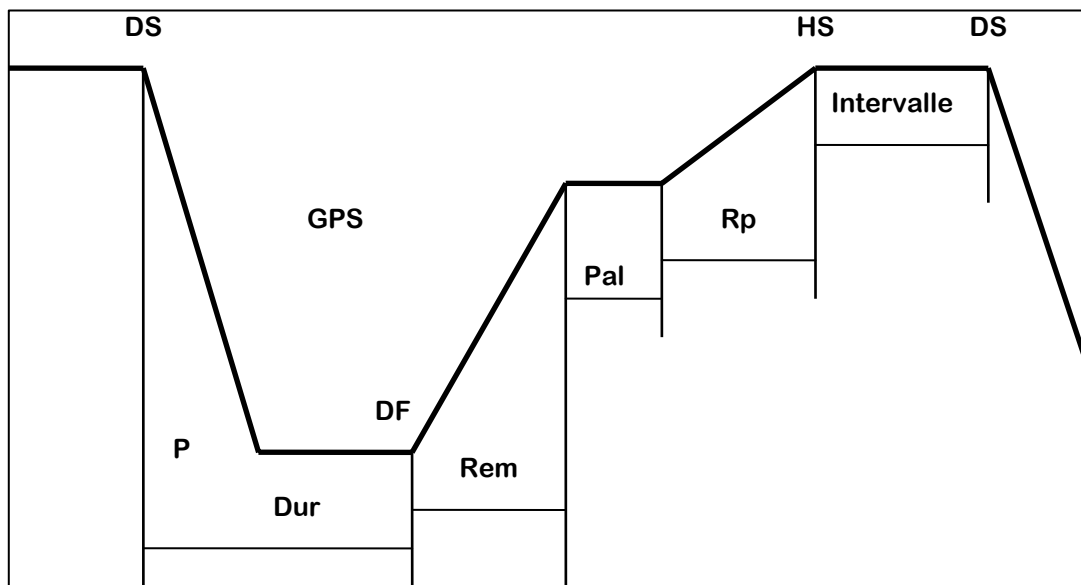
Puis avec la durée de la plongée, comptée en minutes entières depuis le moment où l'on s'immerge jusqu'au moment où l'on entame la remontée vers la surface, on détermine la décompression à suivre (paliers).

Définition des abréviations utilisées :

DS	Départ surface (heure)
P	Profondeur
Dur	Durée de la plongée
DF	Départ fond (heure, fin de la durée de plongée)
Rem	Durée de la remontée du fond vers le premier palier
Rp	Durée de la remontée entre les paliers
Pal	Durée des paliers
HS	Heure de sortie (heure)
GPS	Groupe de plongée successive (lettre variant de A à P)
Intervalle	Temps écoulé entre l'heure de sortie d'une plongée et le départ surface d'une plongée suivante.

Le schéma ci-après illustre la signification des sigles qui sont susceptibles d'apparaître dans le texte.

¹ Ce critère n'est pas très clair : on peut nager face à un courant de 0,5 nd en produisant un effort maximal, moyen, minimal, etc. Ce qu'il faut comprendre : la table MN 90 n'est pas une table valable pour effectuer un travail ou des efforts pendant la plongée. L'effort maximal prévu est à peu près celui qui est consenti pour nager à une vitesse de 0,5 nd en l'absence de courant.



4.1 PLONGEE SIMPLE

▪ Définition

"1ère plongée ou plongée intervenant au moins 12 h 00 après toute autre plongée"

Il suffit de lire dans la table à la profondeur concernée et en face de la durée de plongée la durée des paliers éventuels indiqués.

Exemple de problème : Pour 15 min de plongée à 30 m quels sont la durée des paliers et le GPS de cette plongée ?

Solution : 1 min de palier à 3 m. GPS : E.

Pour connaître l'heure de sortie de cette plongée il faut maintenant calculer :

- la durée de remontée du fond vers le premier palier avec comme vitesse de référence ²: 15 m / min,
- la durée de la remontée entre le ou les paliers et la surface avec comme vitesse de référence : 6 m / min,

En reprenant l'exemple précédent et en supposant que l'immersion intervienne à 10 h 00.

- Calcul de la durée de la remontée du fond vers le premier palier

Le premier palier se situe à 3 m et la remontée démarre d'une profondeur de 30 m :

$$(30 - 3) / 15 = 1,8$$

Il s'agit de 1,8 min. La règle veut que l'on arrondisse à la minute entière supérieure, mais cet arrondi interviendra sur la somme des durées de la remontée.

- Calcul de la durée de la remontée entre le ou les paliers et la surface

On remarquera avec utilité que l'écart entre deux niveaux de paliers ou entre le dernier palier et la surface est toujours de 3 m.

Ceci signifie qu'à une vitesse de 6 m / min il faut toujours le même temps pour passer d'un palier à l'autre :

$$3 / 6 = 0,5 \text{ min}$$

Il suffit donc de compter le nombre de changements de niveau de palier (en n'omettant pas le dernier : 3 m vers surface) et de le multiplier par 0,5.

Dans cet exemple, il n'y a qu'un changement de niveau ce qui fait que la durée d'ensemble de la remontée est de :

$$1,8 + 0,5 = 2,3$$

2,3 min que l'on arrondira toujours à la minute entière supérieure soit 3 minutes.

- Détermination de l'heure de sortie

$$\text{DS} + \text{Dur} + \text{Pal} + (\text{Rem} + \text{Rp}) \text{ arrondi}$$

$$\text{soit } 10 \text{ h } 00 + 15 \text{ min} + 1 \text{ min} + 3 \text{ min} = 10 \text{ h } 19$$

² Décision de la Commission Technique Nationale de la FFESSM.

REGLE

"lorsque le temps et/ou la profondeur ne figurent pas dans la table on prend, par défaut, le temps et/ou la profondeur immédiatement supérieurs"

Exemple de problème : Pour 21 min de plongée à 23 m quels sont les paliers et le GPS de cette plongée ?

Solution : 23 m ne figure pas dans la table, on entre à la profondeur de 25 m et on prend la durée de 25 min car 21 min ne figure pas non plus dans les temps proposés : il y a alors 1 min de palier à 3 m, GPS : F.

4.2 PLONGEE CONSECUTIVE

- Définition

"plongée qui en suit une précédente dans un intervalle de temps inférieur à 15 min"

Cet intervalle se compte depuis la sortie de la 1^{ère} plongée (arrivée en surface) jusqu'au début de la suivante (immersion).

Ici intervient la notion nouvelle **d'intervalle** : c'est le temps qui s'est écoulé entre la sortie d'une plongée et le début de la plongée suivante.

On voit dans la définition de la plongée consécutive, comme on le verra plus loin pour la plongée successive, qu'un problème se pose : quelle règle suivre lorsqu'on est en présence d'un intervalle de 14 min 30 s ou 14 min 59 s par exemple ? Doit-on considérer que c'est inférieur à 15 min ou au contraire doit-on arrondir à 15 min ?

Rien n'est défini dans les documents officiels. Il paraît néanmoins logique de considérer que telle qu'est libellée la définition de la plongée consécutive on est dans un intervalle inférieur à 15 min de 0 min 0 s jusqu'à 14 min 59 s.

REGLE

Dans ce cas on considère qu'il s'agit d'une seule et même plongée. Pour déterminer la décompression de la 2^{ème} plongée on entre dans la table avec la somme des durées des deux plongées et avec la plus grande profondeur des deux plongées.

Exemple de problème : à l'issue d'une 1^{ère} plongée de 11 min à 26 m et qui se termine à 10 h 00 vous effectuez une 2^{ème} immersion à 10 h 13 d'une durée de 12 min à 16 m. Quels sont les paliers, le GPS de la seconde plongée ?

Solution : première plongée: pas de palier, durée de remontée 2 min (1,73), sortie à 10 h 00, la plongée a donc débuté à 9 h 47.

La deuxième plongée débute à 10 h 13, l'intervalle est de 13 min, c'est une "consécutive" : on prend comme durée 11 min + 12 min = 23 min et comme profondeur 26 m pour entrer dans la table. Ce qui donne 2 min de palier à 3 m, GPS : G.

Durée de remontée : attention : si on entre dans la table à 26 m, on remonte toujours de la profondeur réelle où l'on se trouve, soit 16 m. C'est l'une des erreurs classiques des plongées consécutives.

Durée de remontée : $(16 - 3) / 15 = 0.87 + 0,5$ (3 m vers surface) = 1,37 arrondi à 2 min.

Heure de sortie : 10 h 13 + 12 min + 2 min + 2 min = 10 h 29

4.3 PLONGEE SUCCESSIVE

- Définition

"plongée qui en suit une précédente dans un intervalle de 15 min à 12 h 00 inclus"

En fonction de ce qui a été dit pour la plongée consécutive et de la définition de la plongée successive, il est clair qu'à 14 min 59 s il ne s'agit pas encore d'une plongée successive et qu'à 12 h 00 et 01 s il ne s'agit plus d'une plongée successive.

Dans ce cas, au départ de cette plongée il faut tenir compte de la charge résiduelle d'azote de la plongée précédente caractérisée par une lettre (A à P) dans la colonne "Groupe de plongée successive" (GPS) de la table. Pour cela il faut calculer le temps, appelé "majoration", que mettrait le tissu de période T 120 min pour atteindre à la profondeur prévue de la 2^{ème} plongée le niveau de saturation qui est le sien au moment de l'immersion pour cette seconde plongée.

En ajoutant ce temps à la durée réelle de la 2^{ème} plongée on va déterminer une "durée fictive" avec laquelle on entrera dans la table. Ainsi il aura été tenu compte de l'azote résiduel.

Méthode :

Avec le groupe de plongée successive (GPS) de la 1^{ère} plongée on entre dans le tableau I de plongées successives et en fonction de l'intervalle on détermine l'azote résiduel. Avec cette valeur on entre dans le tableau II de plongées successives et en fonction de la profondeur prévue de la deuxième plongée on détermine la majoration (en minutes).

Pour calculer les paliers de la plongée successive, on ajoute la majoration à la durée réelle de plongée. Ceci détermine alors une "durée fictive" de plongée avec laquelle on entre dans la table en respectant les mêmes règles que pour une plongée simple en cas d'absence des valeurs.

REGLES

- 1 dans le tableau I Détermination de l'azote résiduel, on prend par défaut l'intervalle inférieur
- 2 dans le tableau II Détermination de la majoration, on prend par défaut l'azote résiduel supérieur et la profondeur supérieure³
- 3 dans le tableau III Diminution de l'azote résiduel par respiration d'oxygène pur en surface, on prend par défaut l'intervalle inférieur

Exemple de problème : après avoir débuté à 10 h 01 une plongée de 17 min à 24 m vous prévoyez de replonger à 14 h 00 à une profondeur de 21 m et pour une durée de 28 min ? Quels seront vos paliers, le GPS et l'heure de sortie de la seconde plongée ?

Solution : pour la première plongée : pas de palier, durée remontée 2 min, sortie à 10 h 20, GPS : E.

2^{ème} plongée : immersion à 14 h 00, l'intervalle est de 14 h 00 - 10 h 20 : 3 h 40 min.

Dans le tableau I : pour un GPS E et par défaut un intervalle de 3 h 30 l'azote résiduel est de 0,87.

Dans le tableau II : pour un azote résiduel par défaut de 0,89 et une profondeur par défaut de 22 m la majoration est de 9 min.

Pour déterminer la décompression de la 2^{ème} plongée on ajoute 9 min à 28 min pour trouver la "durée fictive" avec laquelle on doit entrer dans la table de plongée simple. Ceci donne pour 40 min (37 min) à 22 m un palier de 2 min à 3 m et un GPS : I.

La durée de remontée (de 21 m ! même remarque que précédemment : on remonte de la profondeur réelle à laquelle on se trouve) est de 1,2 min ce qui donne : 14 h 00 + 28 min + 1,2 min + 2 min (Pal) + 0,5 min (3 m vers surface) : 14 h 32 pour l'heure de sortie.

Attention : ne pas commettre l'erreur d'inclure la majoration dans la somme des temps permettant de déterminer l'heure de sortie.

Remarque : le cas d'une troisième plongée successive n'a fait l'objet d'aucune expérience. Ce type de plongée est à proscrire pour des raisons physiologiques : on ne sait pas ce qui se passe réellement dans ce cas (ce qui diffère de la problématique de la plongée successive exposée page précédente).

4.4 REGLES DE SECURITE

Si les conditions d'utilisation de la table ne sont pas scrupuleusement respectées, il convient d'appliquer des mesures de sécurité.

Les paliers indiqués dans la table doivent être respectés à plus ou moins 10 s et 50 cm.

Remontée lente

Si la vitesse de remontée < 15 m / min il faut ajouter la durée de remontée à la durée de plongée pour entrer dans la table.

³ Cette règle diffère du mode d'emploi réglementaire de la Marine Nationale qui préconise de prendre par défaut dans le tableau II la profondeur immédiatement inférieure.

Remontée rapide ⁴

Si la vitesse de remontée > 17 m / min il faut, dès l'arrivée en surface et en moins de 3 min, redescendre à la 1/2 profondeur maximale atteinte de la plongée pour y effectuer un palier de 5 min et déterminer la décompression à suivre en prenant comme durée le temps écoulé depuis le début de la plongée jusqu'à la fin du palier de 5 min et comme profondeur la profondeur maximale atteinte. Si la décompression déterminée ne prévoit aucun palier, effectuer un palier minimum de 2 min à 3 m.

Attention : l'une des erreurs classiques dans les examens se produit au niveau de l'heure de sortie. En effet, on calcule la décompression pour une profondeur et on remonte en réalité de la moitié de cette profondeur. Il faut donc calculer la durée de la remontée de la profondeur où est effectué le palier de 5 min. Des schémas clairs !

Exemple de problème : après s'être immergé à 10 h 00, un plongeur remonte rapidement vers la surface au bout de 17 min de plongée à 29 m. Il se réimmerge 2 min plus tard avec un autre plongeur et descend à la profondeur du premier palier en 1 min. Quels sont tous les paliers à effectuer et l'heure de sortie ?

Solution : le premier palier à effectuer est de 5 min à 15 m (14,5 m arrondi)
Durée de plongée pour le calcul des paliers : 17 min + 2 min + 1 min + 5 min = 25 min.
Profondeur pour le calcul des paliers : 29 m (soit 30 m par défaut).
Soit pour 25 min à 30 m, 4 min de palier à 3 m.

Attention à l'heure de sortie :

- on remonte de 15 m et non de la profondeur ayant servi au calcul des paliers (30 m),
- on remonte à la vitesse de 15 m / min du palier à mi-profondeur ⁵ jusqu'au niveau du premier palier : en effet si l'on prenait la vitesse de 6 m / min on se rapprocherait trop d'une remontée lente dans certains cas.

Soit : 10 h 00 + 17 + 2 + 1 + 5 + (14,5 - 3) / 15 + 0,76 + 4 = 10 h 29,76 soit 10 h 30.

Paliers interrompus

Si lors de l'exécution des paliers l'un d'eux est interrompu il faut se réimmerger en moins de 3 min et reprendre la décompression au début et au niveau du palier interrompu ⁶.

Profondeur de successive différente du calcul

Si la profondeur réellement atteinte au cours d'une plongée successive est différente de celle ayant servi au calcul, il faut conserver la valeur de majoration trouvée et prendre comme profondeur d'entrée dans la table de plongées simples la plus grande profondeur des deux : soit celle atteinte au cours de la plongée, soit celle ayant été utilisée pour le calcul.

Remarque : Seules les règles en cas de remontée rapide, paliers interrompus (plongées dites "non conformes" ou "remontées anormales") et profondeur de plongée successive différente de celle ayant servi au calcul sont définies dans les procédures de la Marine Nationale.

Les autres règles de sécurité citées ci-dessus sont des règles "fédérales" communément admises.

4.5 PLONGEE EN ALTITUDE

Le traitement des problèmes de plongée en altitude nécessite au préalable d'étudier les aspects relatifs à la pression atmosphérique d'un lieu en fonction de l'altitude et la mesure de ce paramètre.

4.5.1 Pression atmosphérique et altitude d'un lieu

L'unité légale de pression atm. est l'hectoPascal (hPa). La P atm. normale à 0 m d'altitude (niveau de la mer) est de 1013 hPa. On peut également l'exprimer en mbar, bar, mm de mercure (mm Hg) ou en ATA (atmosphère). Les équivalences entre ces diverses unités sont : 1013 hPa = 1013 mbar = 1,013 bar = 760 mm Hg = 1 ATA. Dans les calculs la P atm. est arrondie à 1000 hPa ou 1 bar.

⁴ Cette règle ne s'applique qu'à partir d'une profondeur supérieure ou égale à 6 m.

⁵ Décision de la Commission Technique Nationale.

⁶ Le mode d'emploi réglementaire de la Marine Nationale prévoit la reprise totale de la décompression, soit au début du premier palier même si celui-ci et ceux précédents le palier interrompu sont terminés.

La P atm. étant due au poids de l'air, celle-ci diminue lorsque l'altitude augmente. De manière approximative on admet **(pour les calculs d'examens seulement car l'erreur est trop importante en pratique)** que la diminution est de 0,1 bar tous les 1000 m. Exemple : la pression atmosphérique à 3000 m est de $3000/1000 = 3$, soit 0,3 bar en moins ce qui donne 0,7 bar.

L'équivalence entre une P atm. indiquée en une quelconque unité et une autre s'obtient en effectuant une règle de 3.
Exemple : exprimez une pression atmosphérique de 0,8 bar en hPa ?

Solution : $1/0,8 = 1000/x$ soit $x = 1000/0,8 \cdot 1 = 800$ hPa.

4.5.2 Les profondimètres et l'altitude

Il existe trois sortes de profondimètres. Les "mécaniques", utilisant la force due à une pression également appelés "tube de bourdon", les "tubes capillaires" utilisant la variation inversement proportionnelle du couple pression/volume d'un gaz (également appelés "Loi de Mariotte") et enfin les "électroniques" ou "digitaux" qui sont les plus précis.

Le point commun entre les deux premiers types d'appareils est qu'ils sont étalonnés pour une P atm. de 1 bar, donc une altitude de 0 m (certains appareils électroniques possède un mode "altitude" qui rectifie automatiquement l'altitude initiale). Si l'altitude est différente de 0 m leur indication est donc faussée :

- Les "mécaniques"

Ils ont un retard égal à la différence (traduite en mètres de hauteur d'eau) entre la P atm normale et la P atm du lieu exprimée en bar.

Exemple : à 2000 m d'altitude la P atm. est d'environ 0,8 bar.

$1 - 0,8 = 0,2$ bar ce qui correspond à 2 m de hauteur d'eau. A 10 m, le profondimètre mécanique indiquera $10 - 2 = 8$ m.

- Les "tube capillaire" ou "Loi de Mariotte"

Ils indiquent toujours une profondeur > profondeur réelle.

La profondeur indiquée est égale au rapport de la profondeur réelle sur la P atm. du lieu en bar.

Exemple : Quelle est la profondeur indiquée par un profondimètre "tube capillaire" lorsqu'il se trouve à une profondeur réelle de 24 m et que la P atm. du lieu est de 0,8 bar ?

Solution : $24 \text{ m} / 0,8 = 30 \text{ m}$

Vérification : à 24 m la pression ambiante est de $24/10 + 0,8 = 3,2$ bar. Par rapport à la pression ambiante en surface (0,8) celle-ci a été multipliée par 4 ce qui implique que le volume d'air dans le tube a été divisé par 4. En mer, ce rapport de 4 correspond à une pression ambiante de 4 bar ce qui fait bien 30 m !

4.5.3 Utilisation de la table en altitude

La table n'est pas utilisable directement. Il faut appliquer certaines corrections aux paramètres d'une plongée en altitude avant d'entrer dans la table.

4.5.3.1 Plongée simple

Correction de la profondeur

Pour une même profondeur le rapport entre la P ambiante et la P atm. sera différent si l'altitude varie.

C'est pour retrouver le même rapport (gradient de pression lors de la remontée) que l'on corrige la profondeur en déterminant une profondeur "fictive" avec laquelle on entrera dans la table :

$\text{Profondeur fictive} = \text{Profondeur réelle} / P \text{ atm. du lieu en bar}$
--

On remarque que cette formule rappelle celle utilisée pour déterminer le comportement des profondimètres "Loi de Mariotte" en altitude !

Correction du niveau des paliers

Pour les mêmes raisons, le niveau réel d'un palier en altitude est différent du niveau table :

$\text{Niveau palier altitude} = \text{niveau table} \times P \text{ atm. du lieu en bar}$
--

Attention : Le niveau d'un palier en altitude s'effectue à la profondeur réelle trouvée avec la formule. Il faut tenir compte de l'erreur du profondimètre.

Correction de la vitesse de remontée du fond jusqu'au premier palier

La remontée est une décompression continue. A la profondeur équivalente avec laquelle on entre dans la table correspond une durée de remontée et donc une décompression continue basée sur une vitesse de 15 à 17 m/min.

Or, on ne remonte pas de la profondeur équivalente mais de la profondeur réelle et si l'on conserve la vitesse on arrivera plus vite au niveau du premier palier. La "décompression continue" sera plus courte, le gradient de pression à la remontée sera plus important.

Pour respecter le même gradient qu'en mer, on corrige la vitesse de remontée en une "vitesse de remontée altitude" qui est inférieure :

$$\text{Vitesse altitude} = 15 \text{ m / min} \times P \text{ atm. du lieu en bar}$$

Exemple de problème : dans un lac situé à 2000 m d'altitude, quels sont les paliers, l'heure de sortie, le GPS et la vitesse de remontée d'une plongée de 23 min à une profondeur réelle de 20 m et qui débute à 10 h 00 ?

Solution :

Calcul de la P atm. : $(2000 / 1000) \times 0,1 = 0,2 \text{ bar}$. $1 - 0,2 = 0,8 \text{ bar}$

Profondeur fictive : $20 / 0,8 = 25 \text{ m}$

Pour 23 min de plongée à 25 m il y a 1 min de palier à 3 m, le GPS est F.

Niveau réel du palier : $3 \times 0,8 = 2,4 \text{ m}$

Vitesse de remontée à adopter : $15 \times 0,8 = 12 \text{ m / min}$

Durée de la remontée : $(20 - 2,4) / 12 = 1,47$.

Heure de sortie : $10 \text{ h } 00 + 23 \text{ min} + 1,47 + 1 + 0,5 = 10 \text{ h } 25, 97 \text{ soit } 10 \text{ h } 26$

Remarque : à ce jour, il n'est pas dit que la vitesse entre paliers (6 m / min) doit être corrigée en altitude.

En l'état actuel des choses, cette vitesse est conservée pour le calcul des durées de remontée entre paliers pour les problèmes de plongée en altitude.

4.5.3.2 Plongée successive

Si les deux plongées ont lieu à la même altitude, la méthode d'utilisation est identique à celle du niveau de la mer (altitude 0 m). On entre dans le tableau I de plongées successives avec le GPS de la profondeur fictive de la 1ère plongée.

Variation d'altitude lors d'une plongée successive

Si à l'issue d'une plongée, et jusqu'à 12 h 00 d'intervalle, l'altitude où un plongeur se trouve change (élévation ou diminution de la P atm. : voyage en avion ou autre), il faut tenir compte de la variation du rapport entre la tension d'Azote du tissu T 120 min et la P atm. ambiante qui va en résulter. Ce rapport est défini comme étant le coefficient de sursaturation et doit toujours être inférieur à 1,54. La tension d'Azote du compartiment de période 120 min à prendre en compte est celle qui est caractérisée par le Groupe de plongée Successive résultant d'une plongée et dont la valeur numérique est indiquée dans le tableau III de plongée successive.

Exemple : au sortir d'une plongée dont le GPS est F, un plongeur se rend en montagne à une altitude de 1500 m. Est-ce sans risques ?

Solution : la P atm. à 1500 m est de 0,85 bar et un GPS : F correspond à une valeur d'Azote résiduel de 1,07 d'après le tableau III de plongées successives.

Le coefficient de sursaturation devient : $1,07 / 0,85 = 1,258$. Il est inférieur à 1,54, donc le transfert en altitude est possible et correspond à un GPS : K toujours d'après le tableau III.

Pour l'utilisation des tableaux de plongées successives, il faut également déterminer un "Azote Résiduel équivalent" si une variation d'altitude intervient entre les deux plongées. En effet, si la P atm. varie la P ambiante pour une même profondeur varie également. Ceci signifie que la majoration va changer aussi (Cf. chapitre Définition d'une plongée successive).

Deux cas peuvent se présenter :

- la nouvelle altitude est supérieure à la précédente : la valeur "d'Azote Résiduel équivalent" sera supérieure à la précédente,
- la nouvelle altitude est inférieure à la précédente : la valeur "d'Azote Résiduel équivalent" sera inférieure à la précédente.

Nouvelle altitude supérieure à la précédente

$$\text{Azote résiduel équivalent} = \text{Azote résiduel initial} / P \text{ atm. nouvelle en bar}$$

Nouvelle altitude inférieure à la précédente

$$\text{GPS équivalent} = \text{GPS initial} \times P \text{ atm. nouvelle en bar}$$

Exemple : dès la sortie d'une plongée dont le GPS était K un plongeur se rend à 1000 m d'altitude. Quelle est la nouvelle valeur d'azote résiduel à prendre en compte ?

Solution : d'après le tableau III de plongées successives, un GPS : K correspond à une valeur d'Azote résiduel de 1,29. La P atm. à 1000 m étant de 0,9 bar, l'Azote résiduel équivalent après un transfert immédiat à cette altitude est : $1,29 / 0,9 = 1,4333$.

Si le transfert en altitude avait eu lieu 3 h 20 après la sortie de la plongée :
D'après le tableau I la valeur d'Azote résiduel d'un GPS : K au bout de 3 h 00 (par défaut) est 0,97.
Arrivé à 1000 m d'altitude, l'Azote résiduel équivalent est : $0,97 / 0,9 = 1,07$.

4.5.3.3 Les règles de sécurité

Elles sont identiques à celles des plongées au niveau de la mer.
Précision : dans le cas d'une remontée rapide c'est à la 1/2 profondeur réelle qu'il faut redescendre.

4.6 CALCUL DU COEFFICIENT D'AZOTE RESIDUEL

La période est définie comme le temps nécessaire à un tissu pour emmagasiner ou éliminer la moitié de la quantité de gaz disponible. On entend par quantité de gaz disponible la différence entre la PpN2 ambiante et la tension initiale d'Azote (pression de gaz dissous) du tissu (tN2). Cette différence est positive lorsque le tissu se sature et négative lorsqu'il se désature.

Exemple : Quel est l'état de saturation d'un tissu T 20 min au bout de 40 min à 40 m ?

On va dans cet exemple raisonner en divisant le temps total en périodes. On calcule alors au bout de chaque période l'état de saturation du tissu (sa tension), on calcule également à chaque fois la nouvelle quantité de gaz disponible qui diminue au fur et à mesure que le tissu se sature.

▪ Première période

PpN2 ambiante = P amb. x 80 % soit 5 x 80 % = 4 bar

Au départ la tension du tissu est 0,8 bar (tN2 = 0,8 bar)

Quantité de gaz disponible : PpN2 - tN2 = 4 - 0,8 = 3,2 bar

Au bout de 20 min, quantité de gaz emmagasiné : 3,2 x 50 % = 1,6 bar d'ou tN2 = tN2 initiale + 1,6 = 2,4 bar

▪ Deuxième période

Quantité de gaz disponible : 4 - 2,4 = 1,6 bar

Au bout de 20 min, quantité de gaz emmagasiné : 1,6 x 50 % = 0,8 bar d'ou tN2 = 2,4 + 0,8 = 3,2 bar

Après 40 min à 40 m le tissu T 20 min a une tension d'azote de 3,2 bar.

On peut également raisonner sur le temps total et sur la quantité de gaz disponible initiale : la quantité de gaz emmagasinée au bout de deux périodes est de 75 %.

$3,2 \times 75 \% = 2,4$ bar ce qui donne bien une tension au bout de 40 min de $0,8 + 2,4 = 3,2$ bar.

Soit : une période 50 %, deux périodes 75 %, trois périodes 87,5 % de la quantité de gaz disponible et ainsi de suite.

Dans le tableau I, on peut à partir d'une des valeurs de tension déterminer sa valeur (sur la même ligne dans le tableau) si l'intervalle correspond à une différence de temps exacte entre deux colonnes.

Exemple : Quel est la valeur d'un coefficient de 1,45 au bout de 2 h 45 ?

1,45 correspond dans la colonne intervalle 15 min à la lettre P, il suffit alors de lire dans la colonne intervalle 3 h 00 et pour la même lettre le coefficient d'azote résiduel qui est de 1,05.

Si ce n'est pas le cas, le calcul est possible mais il faut utiliser une formule mathématique.

La tension d'un tissu de période T au bout d'un temps t est :

$$tN2 = t0 + (PpN2 - t0) \cdot (1 - 0,5^{t/T})$$

où t0 est la tension initiale du tissu, PpN2 la pression partielle d'azote ambiante.

A noter que ce type de calcul tend à disparaître et était traditionnellement posé en épreuve de physique dans le système fédéral.

4.7 DIMINUTION DE L'AZOTE RESIDUEL - RESPIRATION D'OXYGENE PUR EN SURFACE

Le tableau III de plongées successives qui porte le nom de ce chapitre donne la valeur de l'azote résiduel au bout d'une certaine durée de respiration d'oxygène pur et au niveau de la mer (P atm. 1013 hPa).

Exemple d'utilisation :

Un plongeur est sorti de l'eau à 10 h 00 avec un groupe de plongée successive M. Il respire de l'oxygène pur à 11 h 15 pendant 1 h 35 min. Quelle est la valeur de son azote résiduel à la fin de cette inhalation d'oxygène et quelle sera sa majoration pour une plongée prévue à 15 h 00 à 19 m ?

Solution :

L'inhalation d'oxygène débute 1 h et 15 min après la sortie de l'eau, il faut déterminer le GPS du plongeur au moment où il commence l'inhalation.

GPS à la sortie M, d'après le tableau I avec un intervalle de 1 h 00 (par défaut) l'azote résiduel est de 1,21.

D'après le tableau III, un azote résiduel de 1,21 correspond à un GPS : J (par défaut : 1,21 > 1,20, colonne Equivalent azote résiduel). Un GPS : J après 1 h 35 min de respiration d'oxygène (1 h 30 par défaut) donne un azote résiduel de 0,96 ce qui correspond à un GPS : D.

L'inhalation d'oxygène se termine à 11 h 15 min + 1 h 35 min soit 12 h 50 et la plongée successive est prévue à 15 h 00 soit un intervalle de 2 h 10 min qui dans le tableau I donne un azote résiduel de 0,89 (GPS : D, intervalle 2 h par défaut).

Ce qui donne une majoration de 10 min à 20 m.

Si le plongeur n'avait pas inhalé d'oxygène, sa majoration aurait été de 13 min.

4.8 PLONGEE AVEC MELANGE DIFFERENT DE L'AIR

L'intérêt de ce type de plongée est d'utiliser un mélange "sous azoté". Ceci permet à une même profondeur de respirer un mélange ayant une $PpN_2 <$ à l'air ce qui équivaut à une plongée moins profonde et conduit à une décompression moins longue.

La procédure consiste donc à déterminer la profondeur "équivalente" à l'air pour retrouver la même PpN_2 suivant le mélange utilisé.

Ce sera la seule correction à effectuer.

Exemple : on veut utiliser un mélange composé de 40 % O_2 et 60 % N_2 à une profondeur réelle de 30 m.

PpN_2 ambiante à 30 m avec ce mélange : $P_{amb} \times 60\%$ soit $4 \text{ bar} \times 60\% = 2,4 \text{ bar}$

A quelle profondeur a-t-on une $PpN_2 = 2,4 \text{ bar}$ en respirant de l'air ?

$PpN_2 = P_{amb} \times 80\%$ d'où $P_{amb} = PpN_2 / 80\%$ soit $2,4 / 80\% = 3 \text{ bar}$

Ceci est la P_{amb} où l'on se retrouve dans la même situation (avec ce mélange) que si l'on respirait de l'air. Ce qui donne une profondeur "équivalente" de 20 m (3 bar).

C'est avec cette profondeur que l'on entre dans la table.

REGLES

Vérifier que le mélange considéré ne présente pas de risque d'hyperoxie à la profondeur où il va être respiré :

$$PpO_2 < 1,6 \text{ bar}$$

La durée maximale d'une plongée au mélange est de 2 h 00.

$PpO_2 = P_{amb} \times 40\%$ soit $4 \times 40\% = 1,6 \text{ bar}$.

Le seuil d'hyperoxie (théorique dans les problèmes de tables) se situant aux environs de 1,6 bar le mélange est respirable mais il s'agit là de la profondeur maximale théorique d'utilisation de ce mélange qui n'est rien d'autre qu'un Nitrox 40/60 !

4.8.1 Règles de sécurité

Elles sont identiques aux règles de la plongée simple. En cas de remontée rapide on redescend à la demi profondeur réelle.

4.9 INHALATION D'OXYGENE PUR AUX PALIERS

Ceci permet de diminuer la PpN_2 ambiante et donc de raccourcir la durée de la décompression en accélérant l'élimination de l'azote.

REGLE

La durée d'un palier à l'oxygène est égale aux **deux tiers** ⁷ de la durée normale à l'air de ce palier indiquée dans la table, arrondie à la minute entière supérieure.

Cette règle s'applique lorsque le résultat de la formule donne une durée de palier à l'oxygène supérieure ou égale à 5 min ⁸ (après arrondi).

Le palier qui après réduction donne une durée < 5 min doit être réalisé avec la durée réelle de la table. Il peut être réalisé à l'oxygène pur dans la pratique.

Exemple : quelle doit être la durée d'un palier de 11min à 3 m si on l'exécute en respirant de l'oxygène ?

Solution : $11 \times 2/3 = 7 \text{ min } 20 \text{ s}$ soit 8 min.

En théorie (hyperoxie), seuls les paliers de 6 et 3 m peuvent être effectués à l'O₂.

Autre exemple : Durée table 6 minutes, ce qui donne après réduction 4 minutes.

Ce palier devra durer 6 minutes, comme le prévoit la table même s'il est réalisé à l'O₂.

⁷ Le texte est ainsi libellé dans les documents officiels.

⁸ C'est le temps minimum pour que l'efficacité de l'inhalation d'oxygène pur produise son effet.

Historique des modifications de la table MN 90

- Correction 1
 - Correction de certaines valeurs erronées de GPS de la profondeur de 20 m.
- Correction 2
- Extension des durées de plongées pour différentes profondeurs figurant dans la table, calculées dès l'origine, et conduisant à des plongées successives interdites.
- Correction 3
 - Extension du tableau 1 de plongées successives de 8 h 00 à 12 h 00. Calcul des plongées successives jusqu'à un intervalle de 12 h 00.
- Refonte de l'Instruction sur la Plongée Autonome (Marine Nationale) du 01/10/96
 - Tous les documents (table comprise) reprennent l'indice "Original".
 - Introduction d'une "vitesse de changement de paliers" de 1 m / 10 s.
 - Apparition de nouvelles durées d'inhalation d'oxygène pur dans le tableau 3 de plongées successives.
 - Correction de certaines valeurs d'azote résiduel dans le tableau 3 de plongées successives.
 - Suppression de la colonne "Durée totale de remontée" dans la table MN 90.
 - Définition d'une limite d'application de la réduction de la durée des paliers à l'oxygène.

Table MN 90

PROFONDEURS DE 6 m à 18 m

Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers				GPS	Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers				GPS	
		12 m	9 m	6 m	3 m				12 m	9 m	6 m	3 m		
6 m	15					A	15 m	5					A	
	30					B		10						B
	45					C		15						C
	1 h 15					D		20						C
	1 h 45					E		25						D
	2 h 15					F		30						E
	3 h 00					G		35						E
	4 h 00					H		40						F
5 h 15					I	45							G	
6 h 00					J	50							G	
8 m	15					B		55						H
	30					C		1 h 00						H
	45					D		1 h 05						I
	1 h 00					E		1 h 10						I
	1 h 30					F		1 h 15						J
	1 h 45					G		1 h 20				2		J
	2 h 15					H	1 h 25				4		K	
	2 h 45					I	1 h 30				6		K	
	3 h 15					J	1 h 35				8		L	
	4 h 15					K	1 h 40				11		L	
5 h 00					L	1 h 45				13		L		
6 h 00					M	1 h 50				15		M		
							1 h 55				17		M	
							2 h 00				18		M	
							2 h 10				22		!!	
							2 h 20				25		!!	
10 m	15					B	18 m	5					B	
	30					C		10						B
	45					D		15						C
	1 h 00					F		20						D
	1 h 15					G		25						E
	1 h 45					H		30						F
	2 h 00					I		35						F
	2 h 15					J		40						G
	2 h 45					K		45						H
	3 h 00					L		50						H
4 h 00					M	55					1		I	
4 h 15					N	1 h 00					5		J	
5 h 15					O	1 h 05					8		J	
5 h 30					P	1 h 10					11		K	
6 h 00				1	P	1 h 15					14		K	
12 m	5					A		1 h 20				17		L
	15					B	1 h 25				21		L	
	25					C	1 h 30				23		M	
	35					D	1 h 35				26		M	
	45					E	1 h 40				28		M	
	55					F	1 h 45				31		N	
	1 h 05					G	1 h 50				34		N	
	1 h 20					H	1 h 55				36		N	
	1 h 30					I	2 h 00				38		O	
	1 h 45					J	2 h 10				42		!!	
	2 h 00					K	2 h 20				46		!!	
	2 h 15					L	2 h 30				51		!!	
	2 h 20				2	L								
	2 h 30				4	M								
	2 h 40				6	M								
	2 h 50				7	N								
	3 h 00				9	N								
	3 h 10				11	N								
	3 h 20				13	O								
	3 h 30				14	O								
3 h 40				15	O									
3 h 50				16	O									
4 h 00				17	O									
4 h 10				18	P									
4 h 15				19	P									
4 h 30				22	P									
4 h 45				24	P									
5 h 00				26	P									
5 h 15				27	!!									
5 h 30				29	!!									
5 h 45				31	!!									
6 h 00				33	!!									

!! successive interdite : délai 12 h 00 - Vitesse de remontée : 15 à 17 m / min - Vitesse de changement de palier : 1 m / 10 s

PROFONDEURS DE 20 m à 32 m

Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers				GPS	Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers				GPS	
		12 m	9 m	6 m	3 m				12 m	9 m	6 m	3 m		
20 m	5					B	28 m	1 h 50			21	59	!!	
	10					B		1 h 55			23	61	!!	
	15					D		2 h 00			24	63	!!	
	20					D		5					B	
	25					E		10					D	
	30					F		15					E	
	35					G		20				1	F	
	40					H		25				2	G	
	45				1	I		30				6	H	
	50				4	J		35				12	I	
	55				9	J		40				19	J	
	1 h 00				13	K		45				25	K	
	1 h 05				16	K		50				32	L	
	1 h 10				20	L		55			2	36	M	
	1 h 15				24	L		1 h 00			4	40	M	
	1 h 20				27	M		1 h 05			8	43	N	
	1 h 25				30	M		1 h 10			11	46	N	
	1 h 30				34	M		1 h 15			14	48	O	
	1 h 35				37	!!		1 h 20			17	50	O	
	1 h 40				40	!!		1 h 25			20	53	O	
1 h 45				43	!!	1 h 30			23	56	P			
1 h 50				45	!!	1 h 35			26	58	!!			
1 h 55				48	!!	1 h 40			28	61	!!			
2 h 00			1	49	!!	1 h 45			30	64	!!			
22 m	5					B	30 m	1 h 50		1	32	67	!!	
	10					C		1 h 55		2	34	70	!!	
	15					D		2 h 00		3	36	73	!!	
	20					E		5					B	
	25					F		10					D	
	30					G		15				1	E	
	35					H		20				2	F	
	40				2	I		25				4	H	
	45				7	I		30				9	I	
	50				12	J		35				17	J	
	55				16	K		40				24	K	
	1 h 00				20	K		45			1	31	L	
	1 h 05				25	L		50			3	36	M	
	1 h 10				29	L		55			6	39	M	
	1 h 15				33	M		1 h 00			10	43	N	
	1 h 20				37	M		1 h 05			14	46	N	
	1 h 25				41	N		1 h 10			17	48	O	
	1 h 30				44	N		1 h 15			20	50	!!	
	1 h 35			2	46	!!		1 h 20			24	54	!!	
	1 h 40			4	47	!!		1 h 25			27	57	!!	
1 h 45			5	49	!!	1 h 30			30	60	!!			
1 h 50			7	51	!!	5					B			
1 h 55			9	53	!!	10					D			
2 h 00			11	55	!!	15				1	E			
25 m	5					B	32 m	20				3	G	
	10					C		25				6	H	
	15					D		30				14	I	
	20					E		35				22	K	
	25				1	F		40			1	29	K	
	30				2	H		45			4	34	L	
	35				5	I		50			7	39	M	
	40				10	J		55			11	43	N	
	45				16	J		1 h 00			15	46	N	
	50				21	K		1 h 05			19	48	O	
	55				27	L		1 h 10			23	50	O	
	1 h 00				32	L		1 h 15			27	54	!!	
	1 h 05				37	M		1 h 20			2	29	58	!!
	1 h 10			1	41	M		1 h 25			4	30	61	!!
	1 h 15			4	43	N		1 h 30			6	32	64	!!
	1 h 20			7	45	N								
	1 h 25			9	48	O								
	1 h 30			11	50	O								
	1 h 35			14	51	!!								
	1 h 40			16	54	!!								
1 h 45			19	56	!!									

!! successive interdite : délai 12 h 00 - Vitesse de remontée : 15 à 17 m / min - Vitesse de changement de palier : 1 m / 10 s

PROFONDEURS DE 35 m à 65 m

Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers				GPS	Profondeur	Durée de plongée	Durée paliers					GPS		
		12 m	9 m	6 m	3 m				15 m	12 m	9 m	6 m	3 m			
35 m	5					C	48 m	5							D	
	10					D		10							4	F
	15				2	F		15				2		7	H	
	20				5	H		20				4		19	J	
	25				11	I		25				7		30	K	
	30			1	20	J		30				1	12	37	M	
	35			2	27	K		35				3	18	44	N	
	40			5	34	L		40				6	23	48	O	
	45			9	39	M		45				10	27	53	!!	
	50			14	43	N		50			1	14	30	59	!!	
	55			18	47	N		55			2	18	32	64	!!	
	1 h 00			22	50	O		1 h 00			5	19	36	70	!!	
	1 h 05			2	26	52		!!	50 m	5					1	D
	1 h 10			4	28	57		!!		10					4	F
1 h 15			7	30	60	!!	15					2	9	H		
1 h 20			10	31	64	!!	20					4	22	J		
1 h 25			12	33	69	!!	25				1	8	32	L		
1 h 30			14	36	72	!!	30				2	14	39	M		
							35				5	20	45	N		
38 m	5				1	C	52 m	5					1	D		
	10				4	E		10					3	10	I	
	15				8	F		15				1	5	23	K	
	20				16	H		20				2	9	34	L	
	25			1	24	J		25				4	15	41	M	
	30			3	33	K		30				6	22	47	O	
	35			5	38	L		35				10	26	52	O	
	40			10	43	M		40			1	10	29	59	!!	
	45			15	47	N		45			2	15	32	64	!!	
	50			20	50	O		50			5	17	32	64	!!	
	55			2	53	O		55			8	19	36	71	!!	
	1 h 00			5	53	P		1 h 00			11	22	38	78	!!	
	1 h 05			8	58	!!		5						2	D	
	1 h 10			11	62	!!		10					2	5	G	
1 h 15			14	66	!!	15				1	4	16	J			
1 h 20			17	71	!!	20				2	7	30	K			
1 h 25			20	76	!!	25				4	13	40	M			
1 h 30			23	81	!!	30				7	21	46	N			
40 m	5				2	C	55 m	5					1	5	G	
	10				4	E		10					4	13	I	
	15				9	F		15				1	6	27	K	
	20			1	19	H		20				3	11	37	M	
	25			2	28	J		25				6	18	44	N	
	30			4	35	K		30				9	23	50	O	
	35			8	40	L		35			1	9	23	50	O	
	40			13	45	M		40			3	12	29	55	P	
	45			1	50	N		45			5	17	31	62	!!	
	50			2	55	O		50			8	19	35	69	!!	
	55			5	60	O		55			12	22	37	76	!!	
	1 h 00			8	65	P		1 h 00			2	14	24	39	86	!!
	1 h 05			12	70	!!		5						2	D	
	1 h 10			15	75	!!		10					2	5	G	
1 h 15			18	80	!!	15				1	4	16	J			
1 h 20			21	85	!!	20				2	7	30	K			
1 h 25			23	90	!!	25				4	13	40	M			
1 h 30			24	95	!!	30				7	21	46	N			
42 m	5				2	C	58 m	5					1	5	G	
	10				5	E		10					4	13	I	
	15				12	F		15				1	6	27	K	
	20			1	22	H		20				3	11	37	M	
	25			3	31	J		25				6	18	44	N	
	30			6	40	K		30				9	23	50	O	
	35			11	49	L		35			1	9	23	50	O	
	40			1	58	M		40			3	12	29	55	P	
	45			3	67	N		45			5	17	31	62	!!	
	50			6	76	O		50			8	19	35	69	!!	
	55			8	85	O		55			12	22	37	76	!!	
	1 h 00			13	94	P		1 h 00			2	14	24	39	86	!!
								5						2	D	
								10						5	G	
						15					1	4	16	J		
						20					2	7	30	K		
						25					4	13	40	M		
						30					7	21	46	N		
						35					11	28	54	P		
						40					17	30	62	P		
						45					19	35	69	!!		
						50					22	37	78	!!		
						55					24	40	88	!!		
						1 h 00					26	44	96	!!		
45 m	5				3	C	60 m	5					2	D		
	10				6	F		10					2	6	G	
	15			1	15	H		15				1	4	19	J	
	20			3	24	I		20				3	8	32	L	
	25			5	33	K		25				5	15	41	M	
	30			9	42	L		30				8	22	48	O	
	35			1	51	M		35				4	11	28	54	P
	40			3	60	N		40				6	17	30	62	P
	45			6	69	O		45				9	19	35	69	!!
	50			10	78	O		50				13	22	37	78	!!
	55			14	87	P		55				15	24	40	88	!!
	1 h 00			1	96	P		1 h 00				17	26	44	96	!!
								5						2	!!	
								10						7	!!	
						15					1	5	21	!!		
						5						3	!!			
						10						8	!!			
						15						24	!!			

!! successive interdite : délai 12 h 00 - Vitesse de remontée : 15 à 17 m / min - Vitesse de changement de palier : 1 m / 10 s

TABLEAUX DE PLONGEES SUCCESSIVES

TABLEAU 1 : Détermination de l'Azote résiduel

G P S	Intervalles																									
	0.15	0.30	0.45	1.00	1.30	2.00	2.30	3.00	3.30	4.00	4.30	5.00	5.30	6.00	6.30	7.00	7.30	8.00	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00
A	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
B	0.88	0.88	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
C	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
D	0.97	0.95	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
E	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
F	1.05	1.03	1.01	0.99	0.96	0.94	0.91	0.90	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
G	1.08	1.06	1.04	1.02	0.98	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
H	1.13	1.10	1.08	1.05	1.01	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
I	1.17	1.14	1.11	1.08	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.90	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
J	1.20	1.17	1.14	1.11	1.06	1.02	0.98	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
K	1.25	1.21	1.18	1.15	1.09	1.04	1.01	0.97	0.95	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81
L	1.29	1.25	1.21	1.17	1.12	1.07	1.02	0.99	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81
M	1.33	1.29	1.25	1.21	1.14	1.09	1.04	1.01	0.97	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81
N	1.37	1.32	1.28	1.24	1.17	1.11	1.06	1.02	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81
O	1.41	1.36	1.32	1.27	1.20	1.13	1.08	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.90	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81
P	1.45	1.40	1.35	1.30	1.22	1.15	1.10	1.05	1.01	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81

TABLEAU 2 : Détermination de la majoration

Azote résiduel	Profondeur de la deuxième plongée																			
	12m	15m	18m	20m	22m	25m	28m	30m	32m	35m	38m	40m	42m	45m	48m	50m	52m	55m	58m	60m
0,82	4	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,84	7	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
0,86	11	9	7	7	6	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
0,89	17	13	11	10	9	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3
0,92	23	18	15	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4
0,95	29	23	19	17	15	13	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5
0,99	38	30	24	22	20	17	15	14	13	12	11	11	10	9	9	8	8	8	7	7
1,03	47	37	30	27	24	21	19	17	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	9
1,07	57	44	36	32	29	25	22	21	19	18	16	15	15	13	13	12	12	11	10	10
1,11	68	52	42	37	34	29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12
1,16	81	62	50	44	40	34	30	28	26	24	22	21	20	18	17	16	16	15	14	13
1,20	93	70	56	50	45	39	34	32	29	27	24	23	22	20	19	18	18	17	16	15
1,24	106	79	63	56	50	43	38	35	33	30	27	26	24	23	21	20	19	18	17	17
1,29	124	91	72	63	56	49	43	40	37	33	30	29	27	25	24	23	22	20	19	19
1,33	139	101	79	70	62	53	47	43	40	36	33	31	30	28	26	25	24	22	21	20
1,38	160	114	89	78	69	59	52	48	44	40	37	35	33	30	28	27	26	24	23	22
1,42	180	126	97	85	75	64	56	52	48	43	39	37	35	33	30	29	28	26	25	24
1,45	196	135	104	90	80	68	59	55	51	46	42	39	37	34	32	31	29	28	26	25

TABLEAU 3 : Diminution de l'Azote résiduel par inhalation d'oxygène pur en surface

Groupe successive	Equivalent azote	Respiration oxygène																								
		0.15	0.30	0.45	1.00	1.15	1.30	1.45	2.00	2.15	2.30	2.45	3.00	3.15	3.30											
A	0.84	0.80																								
B	0.89	0.85	0.82	0.79																						
C	0.93	0.89	0.85	0.82	0.79																					
D	0.98	0.94	0.90	0.86	0.82	0.80																				
E	1.02	0.98	0.94	0.90	0.86	0.82	0.80																			
F	1.07	1.02	0.98	0.94	0.90	0.86	0.82	0.80																		
G	1.11	1.06	1.02	0.97	0.93	0.90	0.86	0.82	0.80																	
H	1.16	1.11	1.06	1.02	0.97	0.93	0.89	0.86	0.82	0.80																
I	1.20	1.15	1.10	1.05	1.01	0.97	0.93	0.89	0.85	0.81	0.80															
J	1.24	1.19	1.14	1.09	1.04	1.00	0.96	0.92	0.89	0.86	0.81	0.79														
K	1.29	1.24	1.18	1.13	1.08	1.04	0.99	0.95	0.91	0.87	0.84	0.80														
L	1.33	1.27	1.22	1.17	1.12	1.07	1.03	0.99	0.94	0.91	0.86	0.83	0.79													
M	1.38	1.32	1.27	1.21	1.16	1.11	1.06	1.02	0.98	0.93	0.89	0.86	0.82	0.79												
N	1.42	1.36	1.30	1.25	1.19	1.14	1.09	1.05	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79											
O	1.47	1.41	1.35	1.29	1.24	1.19	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.91	0.88	0.84	0.80											
P	1.51	1.45	1.38	1.33	1.27	1.22	1.16	1.11	1.07	1.02	0.98	0.94	0.90	0.86	0.82											

(Période 240 min : effet vasoconstricteur de l'oxygène)

Problèmes de plongée avec table MN 90

- 1 Plongées simples avec recherche d'un paramètre
 - 1.1
 - 1.2
 - 1.3
- 2 Plongée simple avec remontée rapide
- 3 Consécutive avec recherche d'un paramètre
 - 3.1
 - 3.2
- 4 Consécutive avec remontée rapide
- 5 Successive
- 6 Durée max d'une successive en fonction d'une durée max de paliers
- 7 Détermination de l'intervalle min d'une successive
- 8 Détermination de la profondeur max d'une successive en fonction des durées de plongée et de paliers
- 9 Calcul de majoration d'une successive pour 2 profondeurs différentes
- 10 Successive avec remontée rapide
- 11 Successive après long séjour dans peu d'eau
- 12 Successive avec inhalation d'O₂ pur
 - 12.1
 - 12.2
- 13 Plongée aux mélanges O₂-N₂ différents de l'air
- 14 Plongée en altitude
 - 14.1
 - 14.2
 - 14.3

Problème n° 1.1

Heure départ :	08 h 30	<i>Recherche directe sans palier</i>
Profondeur max :	33 m	
Durée plongée max sans palier :	?	10 min
Heure sortie :	?	08 h 43 (remontée à 15 m/min par convention)

Problème n° 1.2

Profondeur max :	33 m	<i>Recherche inverse dans la table</i>
Durée de plongée :	maximum	
Durée max palier :	30 min	Durée max : 35 min
Heure sortie au plus tard :	09 h 30	DTR : 29 + 3 = 32 min
Heure départ au plus tard :	?	09 h 30 - (0 h 35 + 0 h 32) = 08 h 23

Problème n° 1.3

Heure départ :	10 h 00	<i>Détermination des paliers à l'O₂</i>
Profondeur max :	44 m	
Durée plongée :	30 min	(9) 6 min à 6 m
Paliers à l'O ₂ pur :	?	(35) 24 min à 3 m
Heure sortie :	?	10 h 30 + 0 h 30 + 0 h 04 = 11 h 04

Problème n° 2

Heure départ :	12 h 10	<i>Plongée simple avec remontée rapide</i>
Profondeur max :	32 m	Durée plongée : 12 h 46 - 12 h 10 = 0 h 36
Remontée rapide		5 min à 16 m
Retour prof. de sécurité :	12 h 41	1 min à 6 m
Paliers :	?	29 min à 3 m
Heure sortie :	?	12 h 46 + 0 h 30 + 0 h 02 = 13 h 18

Problème n° 3.1

1ère plongée		<i>Consécutive avec recherche directe</i>
Heure départ :	10 h 00	
Profondeur max :	39 m	
Durée :	8 min	Heure sortie : 10 h 00 + 0 h 08 + 0 h 05 = 10 h 13
2ème plongée		10 h 22 - 10 h 13 = 0 h 09 => consécutive

Heure départ : 10 h 22
Profondeur max : 27 m
Durée plongée : 16 min
Paliers : ?

DFT : 0 h 08 + 0 h 16 = 0h 24 à 39 m
2 min à 6 m
19 min à 3 m

Problème n° 3.2

1ère plongée

Heure départ : 10 h 00
Profondeur max : 39 m
Durée : 8 min

Consécutif avec durée max 2ème plongée

2ème plongée

Heure départ : 10 h 24
Profondeur max : 41 m
Durée max paliers : 12 min
Durée réelle max : ?

HS : 10 h 13

int : 10 h 24 - 10 h 13 = 0 h 11 => consécutif

DFT à 41 m : 0 h 15

0 h 15 - 0 h 08 = 0 h 07

Problème n° 4

1ère plongée

Heure départ : 10 h 20
Profondeur max : 40 m
Durée : 8 min

Consécutif avec remontée rapide

2ème plongée

Heure départ : 10 h 45
Profondeur max : 17 m
Remontée rapide
Retour prof. de sécurité : 11 h 00
Paliers : ?
Heure sortie : ?

HS : 10 h 33

int : 10 h 45 - 10 h 33 = 0 h 12 => consécutif

DFT : 0 h 08 + 0 h 20 = 0 h 28

5 min à 20 m

4 min à 6 m, 28 min à 3 m

11 h 05 + 0 h 32 + 0 h 02 = 11 h 39

Problème n° 5

1ère plongée

Heure sortie : 09 h 00
GPS : D

Successive avec recherche directe

2ème plongée

Heure départ : 11 h 15
Profondeur max : 21 m
Durée réelle : 14 min
Paliers : ?
Heure sortie : ?

int : 11 h 15 - 09 h 00 = 02 h 15 => successive

N₂ résiduel : 0,89

maj : 9 min, DFT : 23 min

pas de palier

11 h 15 + 0 h 14 + 0 h 02 = 11 h 31

Problème n° 6

1ère plongée

Heure sortie : 12 h 00
GPS : J

Successive avec recherche durée max

2ème plongée

Profondeur max : 35 m
Durée paliers : 25 min max
Heure départ : 16 h 15
Durée réelle max : ?

DFT : 0 h 30

int : 4 h 15, N₂ résiduel : 0,91, maj : 8 min

0 h 30 - 0 h 08 = 0 h 22

Problème n° 7

1ère plongée

Heure départ : 08 h 33
Profondeur max : 43 m
Durée : 41 min
Paliers : ?
Heure de sortie : ?

Successive au plus tôt

6 min à 9 m, 24 min à 6 m, 50 min à 3 m

08 h 33 + 0 h 41 + 1 h 20 + 0 h 04 = 10 h 38

Intervalle min pour

2ème plongée :

?

int 12 h 00

Problème n° 8

1ère plongée

Heure sortie : 08 h 21
GPS : E

Successive à profondeur max (recherche itérative)

2ème plongée

Heure départ :	11 h 36	int : 3 h 15, N ₂ résiduel : 0,88
Durée réelle Min :	23 min	
Durée paliers max :	20 min	
Profondeur max :	?	32 m

Problème n° 9
1ère plongée

Heure sortie :	09 h 21	<i>Successive avec profondeur incertaine</i>
GPS :	D	

2ème plongée

Heure départ :	11 h 36	int : 2 h 15, N ₂ résiduel : 0,89
Maj si fond = 20 m :	?	10 min
Maj si fond = 30 m :	?	7 min

Problème n° 10

1ère plongée

Heure sortie :	08 h 32	<i>Successive avec remontée rapide</i>
GPS :	D	

2ème plongée

Heure départ :	11 h 00	int : 2 h 28, N ₂ résiduel : 0,89
Profondeur max :	21 m	Maj : 9 min
Remontée rapide		
Retour prof. de sécurité :	11 h 22	DFT : 0 h 27 + 0 h 09 = 0 h 36
Paliers :	?	5 min à 10,5 m, 2 min à 3 m
Heure sortie :	?	11 h 27 + 0 h 02 + 0 h 01 = 11 h 30

Problème n° 11

1ère plongée

Heure départ :	12 h 20	<i>Successive avec long séjour peu profond</i>
Profondeur max :	12 m	
Durée :	02 h 00	HS : 14 h 21, GPS = K

2ème plongée

Heure départ :	14 h 55	int : 14 h 55 - 14 h 21 = 0 h 34, N ₂ résiduel : 1,21
Profondeur max :	28 m	Maj : 38 min
Durée paliers :	20 min max	DFT : 0 h 40
Durée max :	?	Durée réelle : 0 h 40 - 0 h 38 = 0 h 02
Observations :	?	Inverser les plongées

Problème n° 12.1

1ère plongée

Heure sortie :	12 h 00	<i>Successive après inhalation O₂ pur</i>
GPS :	H	

2ème plongée après inhalation O₂ pur pendant 2 h

Heure départ :	14 h 00	N ₂ résiduel : 0,82
Profondeur max :	39 m	Maj : 1 min
Durée max :	15 min	
Paliers :	?	1 min à 6 m, 9 min à 3 m

Problème n° 12.2

1ère plongée

Heure sortie :	12 h 00	<i>Successive après inhalation O₂ puis air</i>
GPS :	H	<i>nota : ou l'inverse si plus avantageux</i>

2ème plongée après inhalation O₂ pur pendant 1 h

Heure départ :	15 h 00	N ₂ résiduel après 1 h : 0,98 => D
Profondeur max :	39 m	N ₂ résiduel après 3 h : 0,89
Majoration :	?	5 min

Problème n° 13

Utilisation d'un mélange binaire :	40 % O ₂ - 60 % N ₂	<i>Mélanges O₂ - N₂ (Nitrox)</i>
Profondeur max :	30 m	
Durée max :	45 min	P abs éq = P abs réelle mélange * % N ₂ / 0,8
Profondeur équivalente pour entrer dans la table MN90 :	?	P abs équivalente = 4 * 0,6 / 0,8 = 3 bar
Paliers :	?	soit une prof équivalente de 20 m
		1 min à 3 m

Problème n° 14.1

Patm. lac : 912 hPa
Prof. réelle : 35 m
Prof équivalente mer : ?
Vitesses remontées lac : ?
Prof réelle paliers lac : ?

Recherche paramètres simples

$35 * 1013 / 912 = 38,87$ m (40 m dans la table)
13,50 m/min et 5,4 m/min
 $9 * 912 / 1013 = 8,10$ m (correspond à 9 m en mer)
 $6 * 912 / 1013 = 5,40$ m (correspond à 6 m en mer)
 $3 * 912 / 1013 = 2,70$ m (correspond à 3 m en mer)

Problème n° 14.2

Prof réelle paliers lac : 5,10 et 2,55 m
Patm. lac : ?

Recherche Patm locale

$1013 * 5,10 / 6 = 862$ hPa ou $1013 * 2,55 / 3 = 862$ hPa

Problème n° 14.3

Patm. lac : 912 hPa
Prof. lue sur profondimètre
à membrane : 36 m
Prof équivalente mer : ?
Prof lue sur ce profondimètre
des paliers lac : ?

Recherche paramètres avec retard instrument

retard = 1 m => prof. réelle = 37 m
 $37 * 1013 / 912 = 41,11$ m (42 m dans la table)
 $(9 * 912 / 1013) - 1 = 7,10$ m
 $(6 * 912 / 1013) - 1 = 4,40$ m
 $(3 * 912 / 1013) - 1 = 1,70$ m