

LA DÉSATURATION

FORMATION N4 – GUIDE DE PALANQUÉE

CLUB ODYSÉE PLONGÉE 2021/2022



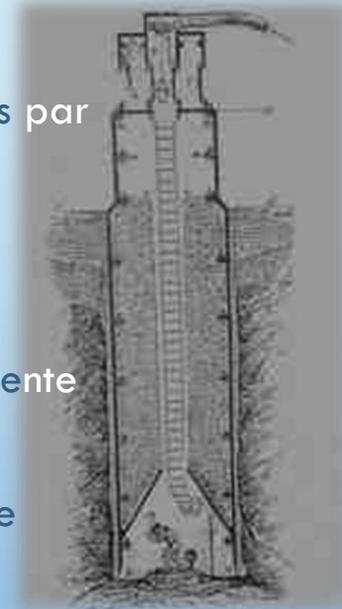
SOMMAIRE DE LA FORMATION – N4 GP

- Réglementation
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- **LA DÉSATURATION**
- Utilisation des tables et ordinateurs
- Les équipements sous pression (ESP) en plongée
- Matelotage en plongée



APPARITION DE LA DÉSATURATION

- Au milieu du XIXème siècle, de nouveaux types de travaux (ponts, puits de houillers) mettent en milieu hyperbare les ouvriers.
- Ils remontent après de longues heures sans précaution particulière
- Des scientifiques se penchent sur la question. Les phénomènes recensés ne semblent pas avoir de cohérence d'un travailleur à l'autre
- La thèse de BUCQUOY met en avant les soucis de la décompression, dû à la création de bulles par l'air préalablement dissous
- Au même moment, l'apparition du scaphandre rend plus accessible les tâches subaquatiques, augmentant le nombre d'adepte et donc les ennuis
- Auguste DENAYROUZE préconise 2h30 à 35m max par jour et plongeur, avec des remontées lente 1min/m de profondeur
- Paul BERT met en évidence le rôle spécifique de l'azote. Il préconise une désaturation très lente (1878)
- La marine anglaise confie à John SCOTT HALDANE la mise au point de règles de sécu permettant le retour à la pression atmosphérique sans incident
- En 1908, il propose une table de remontée par palier



LES MODÈLES DE DÉSATURATION

- Un modèle est une représentation simple d'un phénomène complexe basé sur des hypothèses
- Les modèles de désaturation en plongée découpent en compartiments notre organismes pour simplifier le phénomène de charge/décharge d'azote
- Chaque compartiment est caractérisé par:
 - Une vitesse de charge/décharge de l'azote nommée période
 - Un seuil critique à ne pas dépasser pour éviter une probabilité de risque d'ADD



Modèles de désaturation

Azote dissous

Modèles Monophasiques

Azote dissous

+ Germes gazeux

Modèles Diphasiques

LES MODÈLES DE DÉSATURATION AZOTE DISSOUS (MONOPHASIQUE)

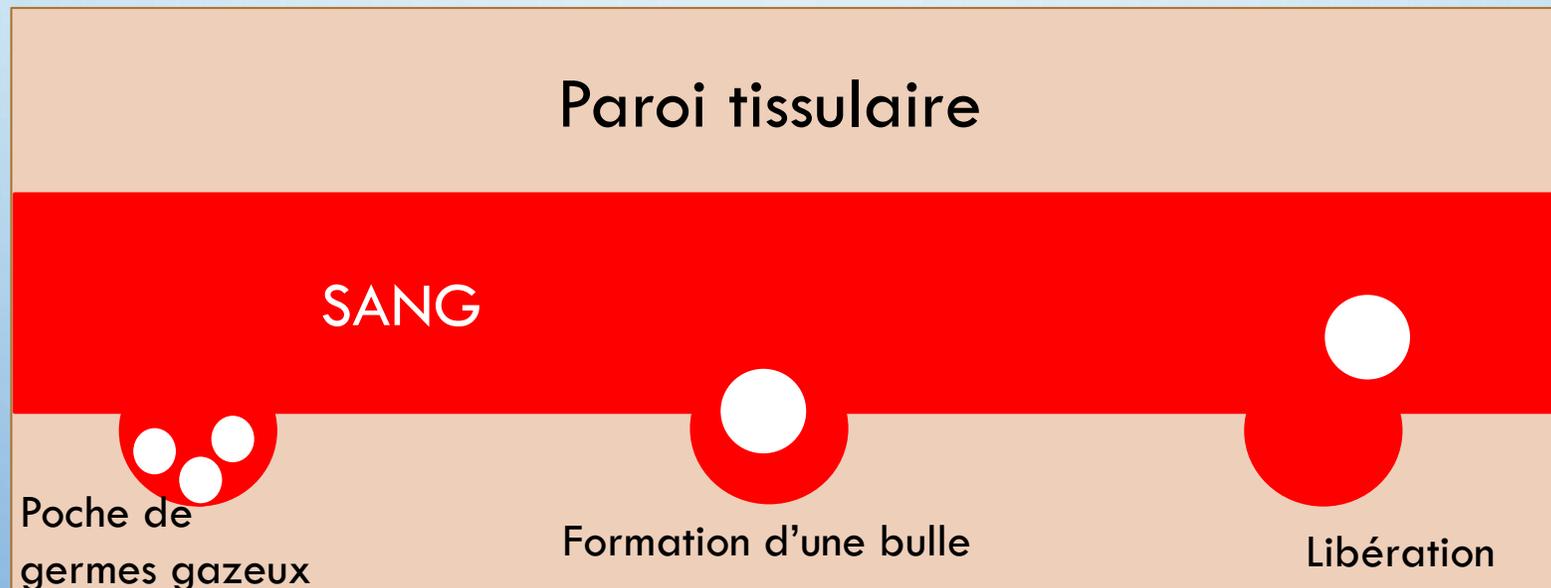
- Les modèles supposent que plus la quantité d'azote dissous dans le corps est importante, plus le **risque** d'A.D.D. est grand
- Dans un modèle, la quantité d'azote est calculé en fonction de:
 - La profondeur
 - Temps passé à cette profondeur
 - Une hypothèse de débit cardiaque et de consommation d'air
 - Une hypothèse d'élimination de l'azote par le filtre pulmonaire à un rythme similaire à son assimilation

Quantité d'azote + baisse de pression → Bulles



LES MODÈLES DE DÉSATURATIONS MICRONOYAUX GAZEUX, MODÈLES DIPHASIQUES

Quantité d'azote + *Germes gazeux* + baisse de pression → Bulles



LES MODÈLES DE DÉSATURATIONS

LES LIMITES

- Les modèles se basent sur des hypothèses et aux conditions de validations
- Ces modèles peuvent être remis en cause en fonction de:
 - Débit cardiaque et consommation réels du plongeur
 - Conditions de plongée (froid, courant, efforts)
 - Etat de santé du plongeur (âge, condition physique,...)
 - Capacité à éliminer l'azote
 - Conformation anatomo-physiologique (ex: les enfants)
 - Qualité du filtre pulmonaire
 - Forme physique (âge, embonpoint...)
 - Tout autre paramètre hors modèle
 - Froid (vasoconstriction)
 - Conditions autres que celles qui ont permis de créer le modèle
 - Profils et conditions de plongée
 - Population de plongeur retenue.

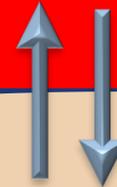


Les modèles de désaturations 2 phases

Perfusion (Transport)



Sang



Tissus Diffusion (échanges)

LE MODÈLE DE HALDANE

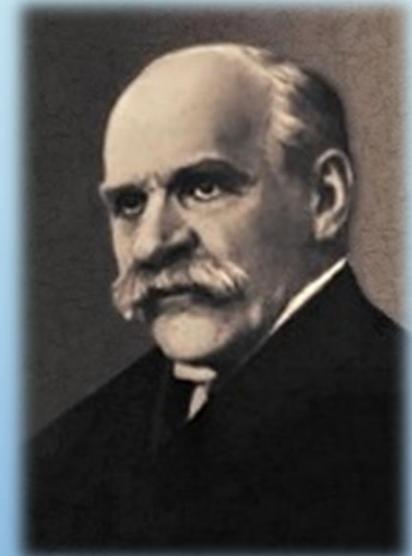


- Commande de la Royal Navy : jusqu'à 55/60 mètres
- Fait des tests sur des chèvres (mais elles désaturent plus rapidement que les hommes)
- Il part de la base qu'un plongeur peut remonter rapidement
 - Si le rapport de pression absolue entre deux profondeurs < 2
- Il détermine des paliers de 3m



LE MODÈLE DE HALDANE : 10 Hypothèses

1. Au niveau des poumons, l'excès d'azote est transmis instantanément au sang
2. Au niveau des poumons, lors de la décompression, à chaque cycle circulatoire, le sang transmet instantanément aux poumons la proportion d'azote en excès qu'il contient
3. Au niveau des tissus, l'excès d'azote est transmis instantanément
4. La pression partielle d'azote dans l'air alvéolaire est la même que dans l'air inspiré
5. Les tissus ont tous une constitution similaire à celle du sang hormis la graisse, qu'il traite différemment
6. Un cycle circulatoire a lieu en 1 minute
7. La courbe de désaturation est miroir de la courbe de saturation
8. Le rapport de pression ne doit pas dépasser 2:1. Ce qui correspondrait aujourd'hui à fixer un $Sc=2$. Haldane fixe un Sc unique pour tous les compartiments.
9. Les phénomènes de charge et de décharge en azote dans le corps humain peuvent se résumer à 5 compartiments (régions anatomiques factices) dont les périodes ou demi-vie sont : 5, 10, 20, 40 et 75 minutes
10. Le temps de descente est inclus dans le temps de plongée. La durée d'exposition virtuelle considérée est la durée d'exposition fond réelle, augmentée de la moitié du temps de descente.



LA LOI DE HENRI

- HALDANE s'est appuyer sur **la loi de HENRI** pour construire son modèle
- Selon cette loi: en l'absence de réaction chimique, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression qu'exerce ce gaz dessus du liquide. En cas de baisse de pression, le gaz peut ressortir du liquide et retrouver sa forme initiale.

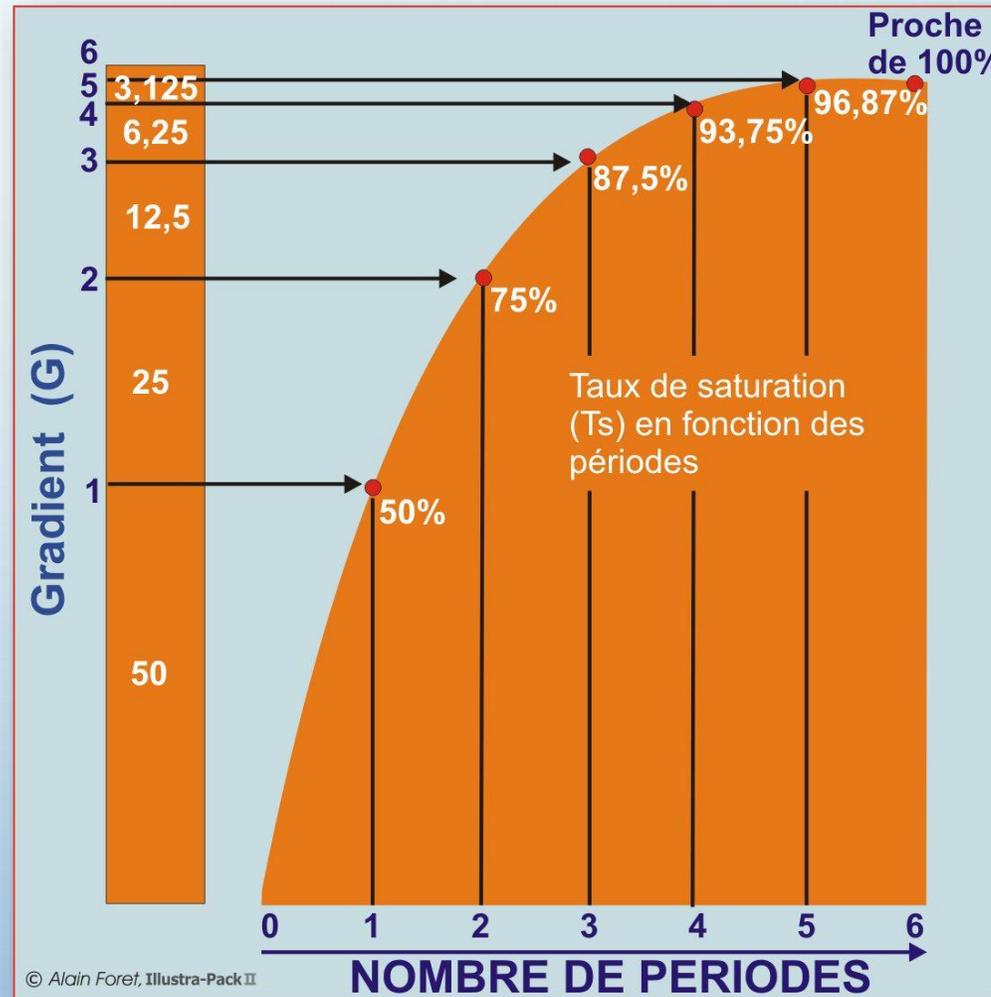


LES TABLES MN90

1. Issu du modèle HALDANIEN, les tables divisent notre organisme en **Compartment** (12)
2. La quantité maximum d'azote que ces compartiments peuvent dissoudre correspond au **Gradient** de pression (différence de P_{pn2} entre la surface et le fond)
3. La **Période** définit le temps nécessaire pour qu'un compartiment absorbe la moitié du gradient de pression
4. L'absorption de l'azote, comme l'élimination, est exponentielle
 1. Lors de la 1^{ère} période: 50% du gradient est dissoute.
 2. Lors de la 2^{ème}: la moitié de la moitié soit 25% → 75% dissoute à la fin de la 2^{ème} période
 3. Etc... on considère que le taux de saturation est de 100% au bout de 6 périodes

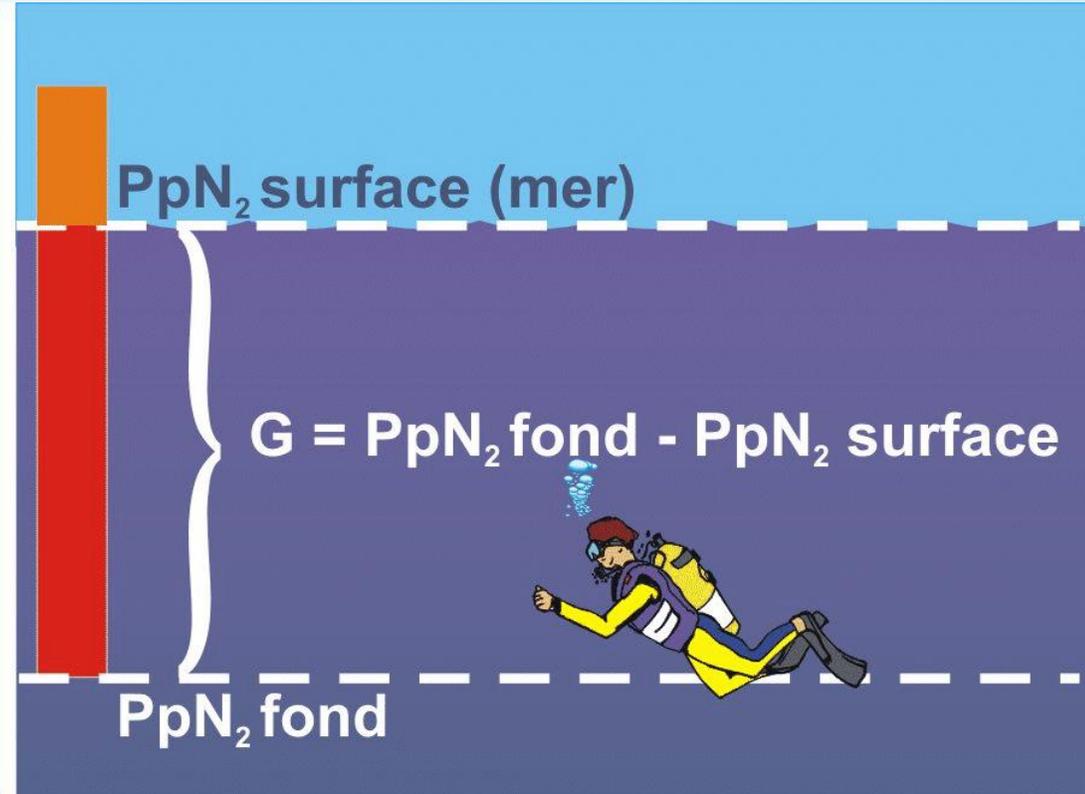


LE MODÈLE DE HALDANE ET LES TABLES MN90



LES TABLES MN90

12 COMPARTIMENTS	
1	C ₅ 5 min
2	C ₇ 7 min
3	C ₁₀ 10 min
4	C ₁₅ 15 min
5	C ₂₀ 20 min
6	C ₃₀ 30 min
7	C ₄₀ 40 min
8	C ₅₀ 50 min
9	C ₆₀ 60 min
10	C ₈₀ 80 min
11	C ₁₀₀ 100 min
12	C ₁₂₀ 120 min



© Alain Foret, Illustra-Pack II



- $T_{N_2} \text{ Finale} = 0,8 + (G \times Ts)$
- Ts : Taux de Saturation (%)

LES TABLES MN90

- Le seuil de Sursaturation Critique (**Sc**) est le rapport entre la tension d'azote et la pression absolue. Il ne doit jamais être dépasser.

$$Sc = TN_2 / Pabs$$

$$Pabs (\text{à ne pas dépasser}) = TN_2 / Sc$$

- Si le rapport $TN_2 / Sc > 1$, il faut faire un palier
- Si plusieurs compartiments sont concernés: On prend celui avec la valeur la plus élevée. On l'appelle le **COMPARTIMENT DIRECTEUR**

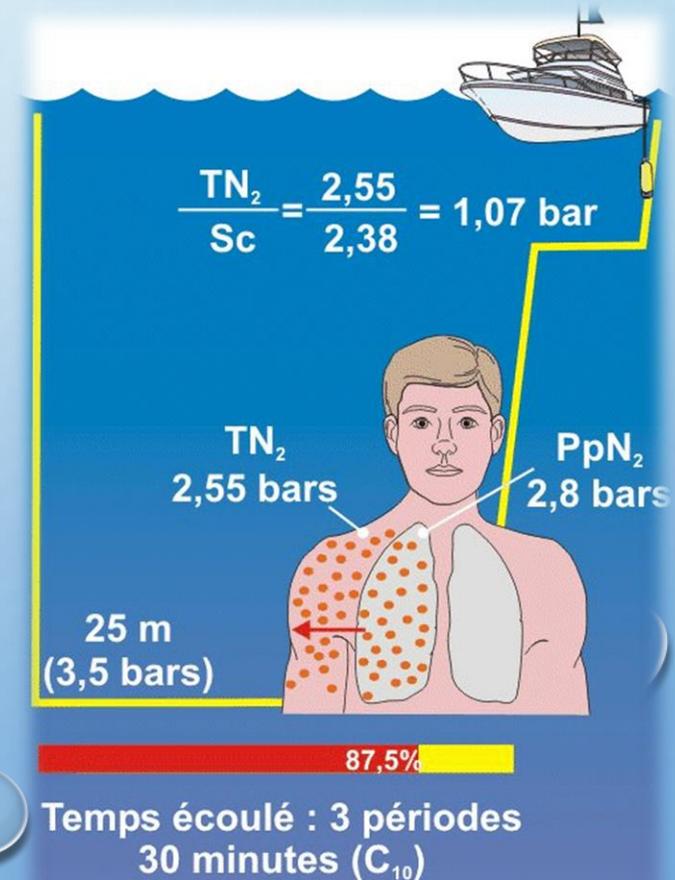


LES TABLES MN90

- Pierre et le loup font une plongée dans l'eau à 25m pendant 30 minutes
- Prenons le compartiment C10
- Quel est la période? Quel est la PpN₂ au fond?
- $3,5 \times 0,8 = 2,8$ bars
- Quel est le gradient de pression au fond en considérant que la phase de descente est instantanée?
- $G = 2,8 - 0,8 = 2$ bars
- Combien il y a de demi-vie pour C10 au bout de 30 minutes?
- Quel est le taux de saturation (T_s)?
- $50\% + 25\% + 12,5\% = 87,5\%$
- Quel est la tension finale?
- $TN_2 \text{ finale} = 0,8 + (2 \times 87,5\%) = 2,55$ bars
- A quelle profondeur le C10 peut remonter (sachant que le Sc = 2,38)?
- $Pabs = 2,55/2,38 = 1,07$ bars (Prof max à ne pas dépasser 70 cm → Palier)



Jean-Christophe BONNET MF2-2449

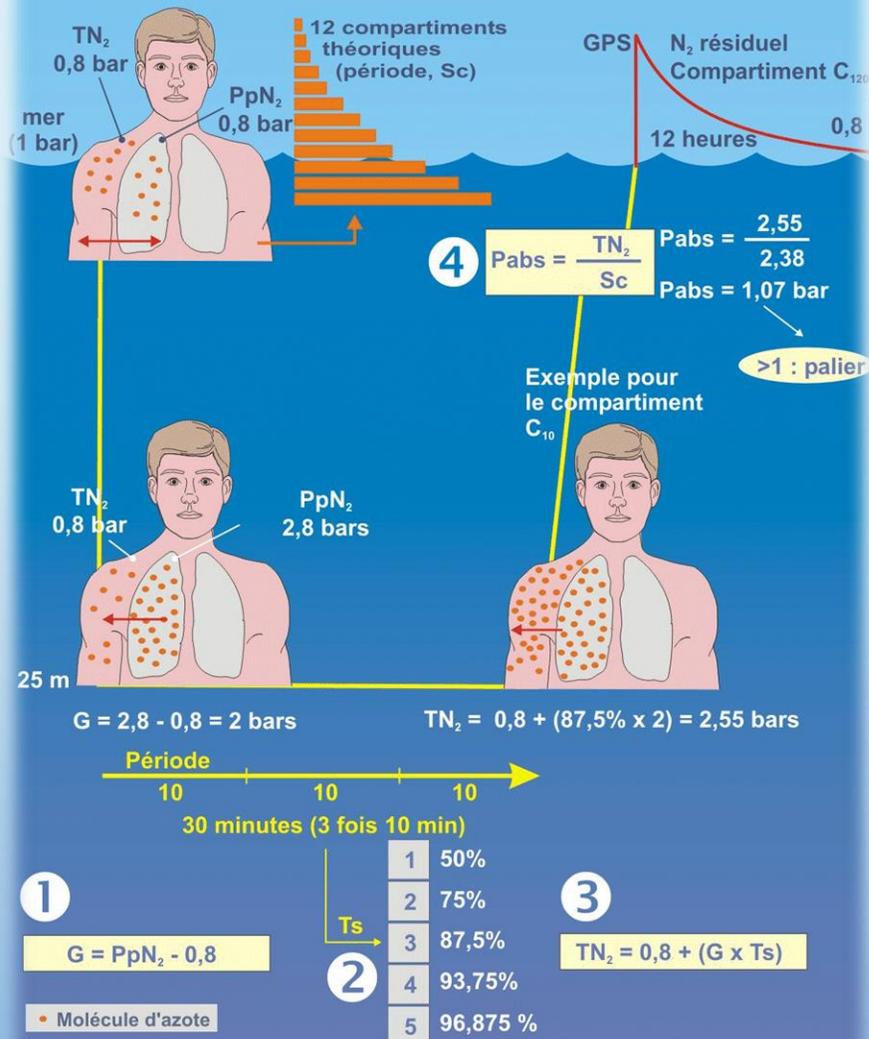


LES TABLES MN90 AZOTE RÉSIDUEL

- Les tables fédérale MN90-FFESSM considère que le compartiment C120 détermine ce taux d'azote résiduel



CALCUL DE LA DECOMPRESSION



Parce qu'ils dépassent le cadre du niveau 4, les éléments suivants ont été volontairement ignorés :

- temps de plongée ne correspondant pas à un nombre entier de périodes ;
- calcul de l'élimination d'azote au cours de la remontée ;
- calcul du temps de palier ;
- détermination du Groupe de Plongée Successive (GPS) ;
- calcul de l'évolution du taux d'azote résiduel en surface et majoration associée ;
- calcul de la diminution de l'azote résiduel par inhalation d'oxygène pur en surface.

HISTOIRE DE TABLES



- Vers 1930 : l'US Navy (PDIC) crée des Sc propres à chaque compartiment
- En 1957 : Elle définit six compartiments (5, 10, 20, 40, 80, 120) pour prévoir des plongées successives
- 1965 : WORKMAN Robert met en évidence les **M-Values** (Sc différentes par compartiment dépendent de la profondeur.
- 1983, BÜLMANN Albert prend en compte la pression absolue: Tables pour les plongées en altitude
- La COMEX a édité 2 modèles adaptés aux travailleurs hyperbares (1974, 1992). Les tables MT92 sont simples d'emploi.
- Entre 1971 et 1974 : SPENCER MERILL travaille sur les bulles silencieuses par effet doppler.
- 1988: Naissance des tables PADI-RDP.

MINISTÈRE DU TRAVAIL
AIR/OXY 6m MT92

Profondeur	OXY à 6m %					OXY à 6m %					OXY à 6m %				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
80	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
70	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
60	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Profondeur | Temps de plongée | 60 m | 54 m, 51 m

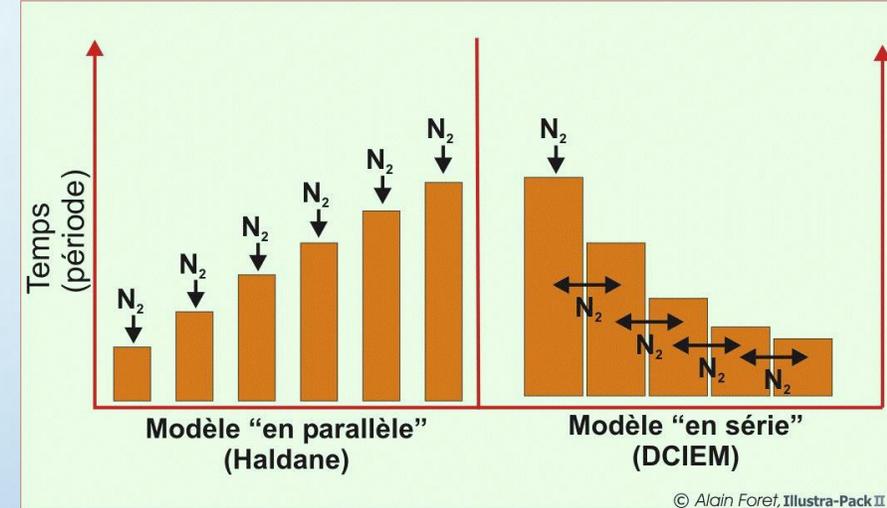
Vitesse de remontée de 12 m/min soit 1m/1m5sec
Vitesse de remontée entre paliers et surface 3m/min
Le palier Oxy 6m remplace les paliers 6m et 3m air



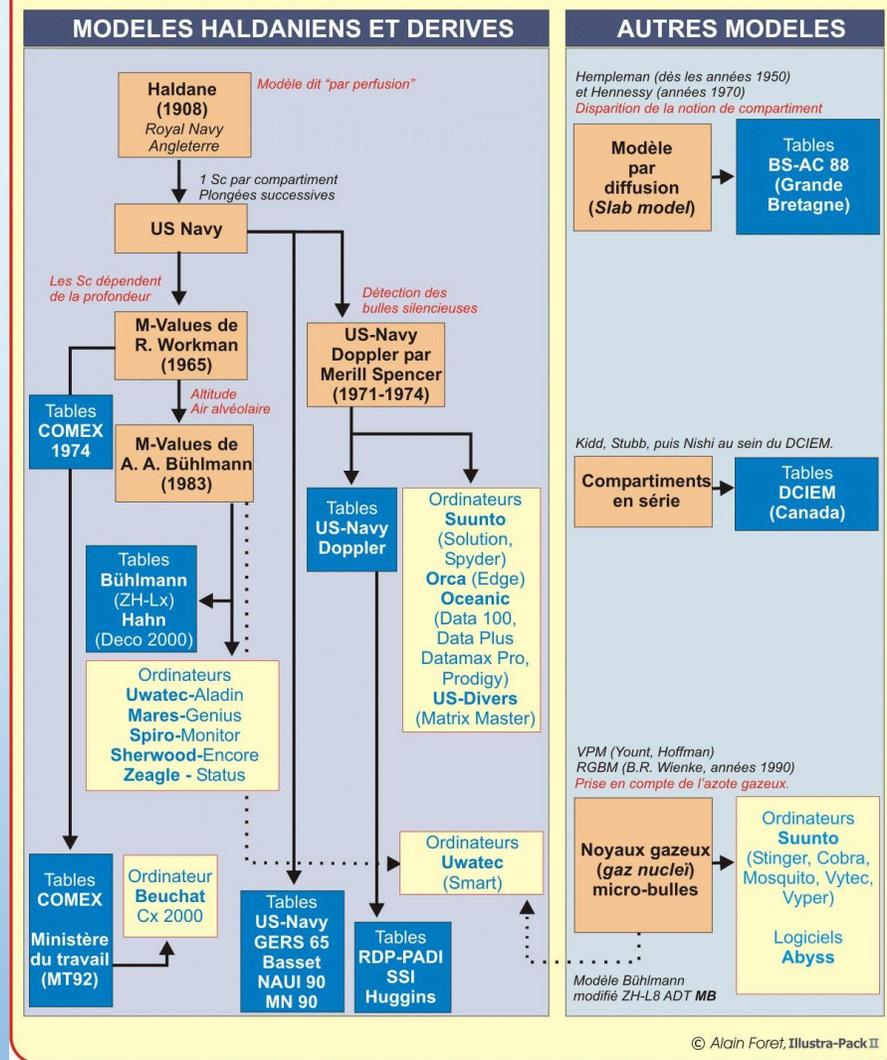
Jean-Christophe BONNET MF2-2449

LES MODÈLES NON-HALDANIENS

- Modèle par « **Diffusion** » ou « Slab model »
 - Prise en compte de la résistance mécanique des tissus
 - Envisage le cas des bulles non-pathogènes
- Compartiments en série (DCIEM)
 - Prend en compte des échanges de gaz entre compartiments
- Modèle « **Di-Phasique** » : Noyaux gazeux et microbulles
 - VPM (Varying Permeability Model)
 - RGBM (Reduced Gradient Bubble Model) : Dr Bruce WIENKE
 - Modèle ZH-L8 ADT MB (Microbulles) : d'après les travaux de BÜLHMANN



LES MODELES DE DECOMPRESSION



Risques d'accidents de désaturation A.D.D.

- 70 à 80% des ADD surviennent malgré le respect des procédures

- Éléments permettant de plonger en sécurité:

1. Respect du **protocole de désaturation**

- Prendre en compte : temps de plongée, profondeur et Débit Cardiaque (effort, essoufflement, froid, stress)
- Mais aussi : Intervalle surface, nombre de plongée par jour ou semaine

2. Être attentif **aux facteurs de risque individuel**

- Forme physique et psychologique
- Mauvaise hygiène de vie
- Age > 40 ans
- Embonpoint
- Antécédent de maladie grave, prise régulière de médicaments
- Manque de pratique récente

3. Profils de plongée dangereux

- Plongées YO-YO
- Plongées consécutives ou successives rapprochées
- « Peut-être » les plongées inversées à éviter

4. Vigilance sur les **comportements à risque**

- Hyperpressions thoraciques
- Effort violent > 2h
- Apnée > 6h
- Altitude > 6 à 12h
- Avion > 12 à 24h



TAUX DE RISQUE ACCEPTÉ

- A une charge en gaz « Q » : Profondeur (en mètre) multipliée par la racine carrée du temps au fond (en minutes)
- $Q = \text{Profondeur (m)} * \sqrt{\text{Tps au fond (Min)}}$
- Correspond un risque d'accident de désaturation
- Évaluation sur un individu classique
- Quel est votre de risque d'ADD pour une plongée à 40m pendant 64' ?

Facteur Q	Risque d'ADD
130	1/1 000 000
180	1/ 100 000
240	1/10 000
320	1/1 000
420	1/100 (1%)
560	1/10 (10%)
750	1/1 (100%)

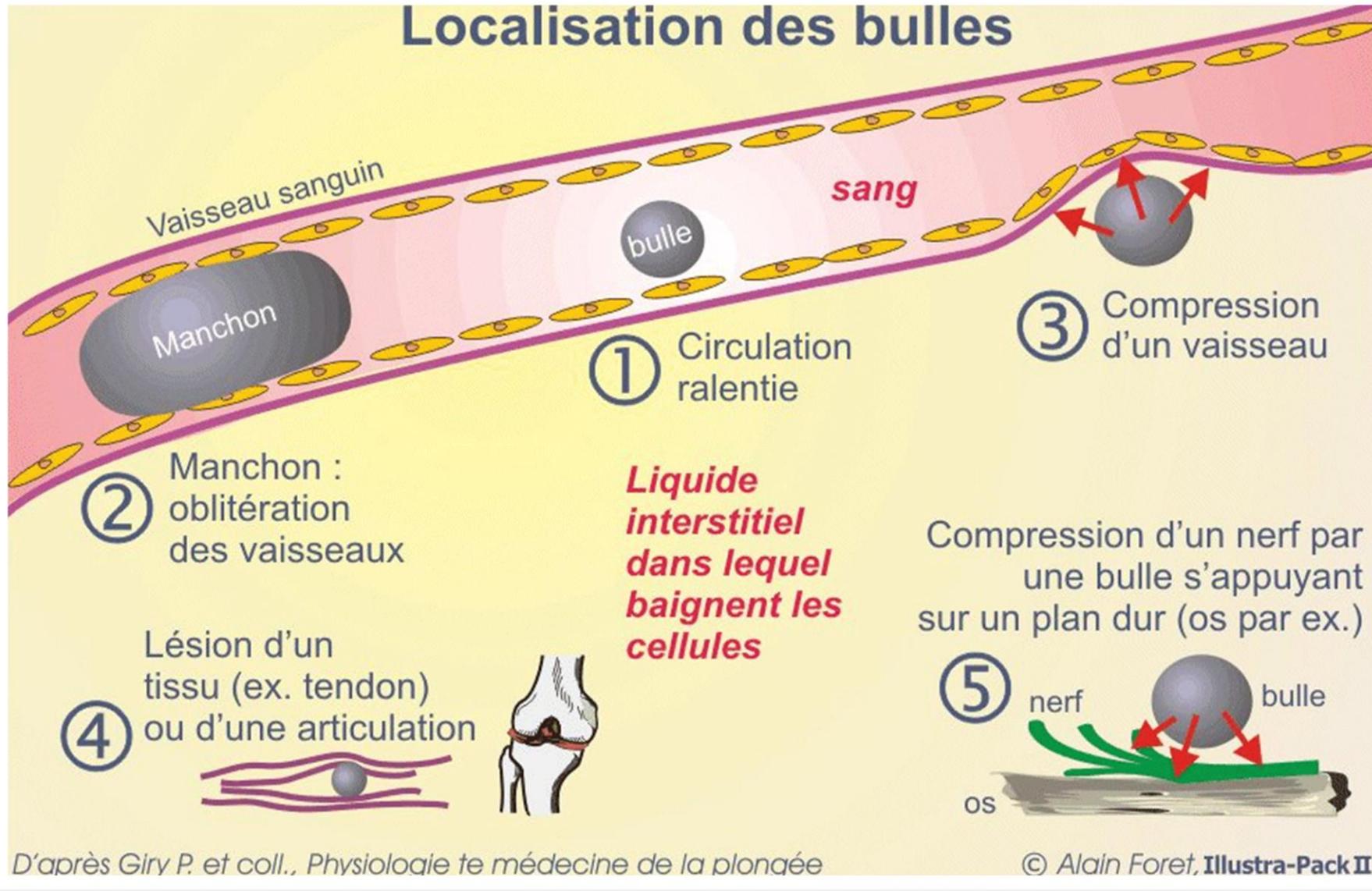


LOCALISATION DES BULLES

- Les bulles artérielles
 - A l'origine principalement des accidents cérébraux
 - Troubles de la vue
 - Hémiplégies ou Quadriplégies
 - Perte de connaissance, Coma
 - Certaines atteintes médullaire
 - Paralysies
 - Le FOP favorise le passage des bulles du circuit veineux vers le circuit artériel
- Les bulles tissulaires ou du liquide interstitiel
 - Peuvent endommager certaines parties cerveau ou de la moelle épinière
 - Provoquer des lésions neuronales
 - Comprimer certains vaisseaux
- Les bulles veineuses seraient à l'origine de la majorité des ADD médullaires



Localisation des bulles



D'après Giry P. et coll., Physiologie de médecine de la plongée

© Alain Foret, Illustra-Pack II

Mécanisme de l' A. D. D.

1. Phase de constitution (3 minutes)
2. Phase d'organisation : Urgence des secours primordiale, notamment mise sous O₂ pur
3. Phase de troubles généraux dans les cas graves
4. Phase de séquelles éventuelles

Réaction plaquettaire :

1. Phase d'adhésion plaquettaire : les plaquettes s'agglutinent sur les bulles
2. Phase de libération plaquettaire : les plaquettes entre contact entre elles
3. Phase d'agrégation plaquettaire

Cela diminue le flux sanguin (voir obstruer des vaisseaux) et augmente la viscosité du sang

Il est conseillé de bien s'hydrater après chaque plongée et mise sous O₂ si accident.



ATTEINTES ET CONSÉQUENCES



SNC : Manque d'oxygène au niveau du cerveau ou de la moelle épinière

- Monoplégie
- Hémiplégie
- Tétraplégie ou Quadriplégie (lésion au niveau des vertèbres cervicales ou anoxie globale du cerveau)
- Paraplégie
- Troubles de certaines fonctions (Vue, Parole)

Les symptômes sont variables et évolutifs dans l'intensité et la nature.

Ils peuvent apparaître dans l'eau comme bien après la plongée

- Coup de poignard
- Douleur entre les omoplates
- Fourmillements, engourdissement
- Difficulté ou incapacité à uriner
- Manque de force pour tenir sur ces jambes
- Fatigue générale, angoisse, frissons
- Troubles de la sensibilité au toucher, à la douleur, à la chaleur...
- Perturbation des sens (vision...).



LÉSIONS DU SYSTÈMES NERVEUX ET PARALYSIES



HEMIPLEGIE
Lésions de régions motrices du cerveau.

MONOPLÉGIE

TETRAPLÉGIE
Lésions de la moelle épinière au niveau des cervicales (atteinte médullaire haute).

PARAPLÉGIE
Lésions de la moelle épinière au niveau des dorsales ou de la première lombaire (atteinte médullaire basse).

Paralysie :
Arrêt momentané ou définitif de l'activité de certains muscles ou fonctions automatiques telles que la respiration. Une paralysie résulte de lésions au niveau de l'encéphale (cerveau), de la moelle épinière ou de perturbations dans le réseau de transmission (nerfs périphériques).

Paresthésie :
Trouble de la sensibilité (fourmillement, picotement ...)

Légende : Parties paralysées

© Alain Foret, Illustration-Pack II

ATTEINTES ET CONSÉQUENCES

- L'oreille interne (vertiges, nausées, surdité...)
- Troubles respiratoires
 - Hypoxie généralisée
 - Dégazage perturbé
 - Augmentation de pression : ouverture de shunts pulmonaires ou cardiaques (FOP)
 - Accident Cérébraux
 - OPI
- Os, articulations, muscles (Bends)
 - Réversible si re-compression en caisson sous oxygène
 - Lésions irréversibles au même endroit, si récidive.
- Manifestations cutanées
 - Pucés (démangeaisons)
 - Moutons (boursouflures en plaques).



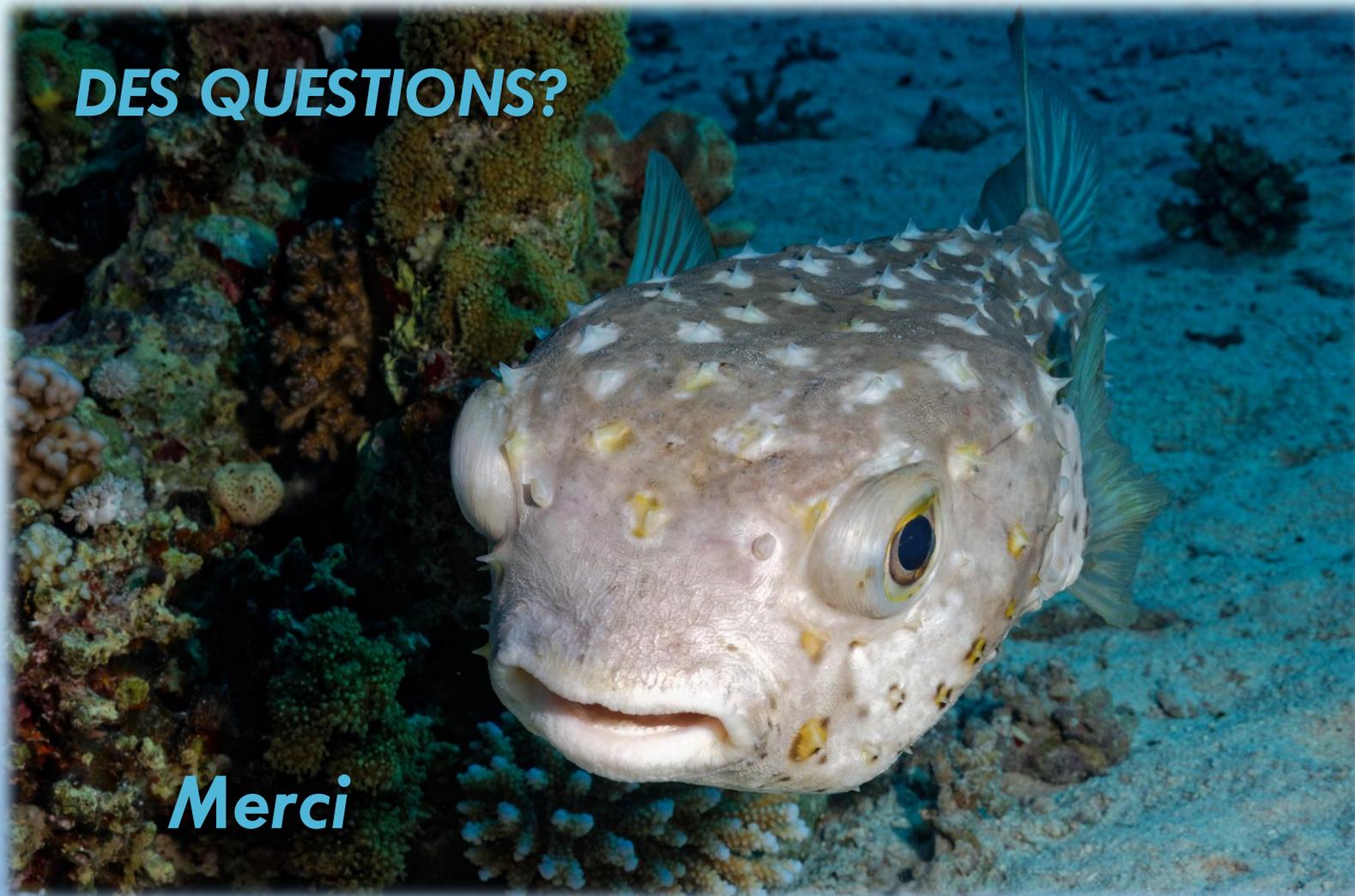
PROCÉDURE DE SECOURS



1. Alerter les secours
 - Cross (VHF Canal 16, VHF-ASN Canal 70 ou Téléphone au 196), Samu 15
 - Ne jamais raccrocher, rester en communication avec les secours
 - Utiliser le plan de secours
 - En cas de doute : agir comme si l'accident est déclaré
2. Administrer de l'oxygène à 100% à 15l/min (ne jamais interrompre)
3. Corriger la déshydratation. 0,3 à 0,5l d'eau par heure d'immersion par petites prises régulières
 - Sauf si risque d'inhalation
 - Nausées et/ou vomissement
 - Suspicion de lésion du tube digestif
4. Si possible, enlever la combinaison, assoir la victime ou l'allonger, la réchauffer et/ou mettre à l'ombre, puis surveiller
5. Remplir la fiche d'évacuation
6. Après l'accident, faire une déclaration d'accident grave



DES QUESTIONS?



Merci

SOMMAIRE DE LA FORMATION – N4 GP



- Réglementation
- physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- La désaturation
- **Utilisation des tables et ordinateurs**
- Les équipements sous pression (ESP) en plongée
- Matelotage

