

Alain FORET



Guide de palanquée (P4)  
Divemaster  
Directeur de plongée (P5)  
Monitorats

# Sommaire

Remerciements .....	12
Crédits photographiques .....	12
Introduction .....	13
Mode d'emploi .....	15

## 1<sup>re</sup> partie – L'encadrant de palanquée

### UL 1

#### Le cadre de pratique

Fiche n°1	<b>La plongée en France</b> .....	19
	<i>La plongée de loisir • Milieu naturel et milieu artificiel</i> <i>Plongées d'exploration et d'enseignement • Plongées encadrées (PE)</i> <i>et plongées autonomes (PA) • Limite de profondeur en plongée à l'air</i>	
Fiche n°2	<b>Espaces d'évolution, aptitudes, brevets et qualifications</b> .....	21
Fiche n°3	<b>Les niveaux en plongée</b> .....	25
	<i>Niveaux de plongeurs et d'encadrants • Prérogatives en exploration</i> <i>et en enseignement • Possibilités offertes à un plongeur niveau 4</i> <i>Moniteurs et instructeurs</i>	
Fiche n°4	<b>La notion de palanquée</b> .....	30
Fiche n°5	<b>Le directeur de plongée (DP)</b> .....	31
	<i>Rôle et responsabilités • Qualifications requises • Prérogatives</i>	
Fiche n°6	<b>La fiche de sécurité</b> .....	33
Fiche n°7	<b>Le plan de secours</b> .....	34
	<i>Plan de secours • Tableau d'organisation des secours</i>	
Fiche n°8	<b>Signalisation des plongeurs en immersion</b> .....	35
	<i>Signalisation en mer • Signalisation dans les eaux intérieures</i>	
	<b>Test de connaissances n° 1</b> .....	<b>37</b>

### UL 2

#### Guider sa palanquée

Fiche n°9	<b>Prérogatives du guide de palanquée (niveau 4)</b> .....	40
	<i>Prérogatives du guide de palanquée: en exploration, comme aide aux enseignants</i> <i>et pour les baptêmes en milieu artificiel • Prérogatives en autonomie</i> <i>Une adaptation aux circonstances et aux aptitudes des plongeurs • Nitrox</i> <i>Plongées enfants</i>	
Fiche n°10	<b>Équipement obligatoire en plongée</b> .....	48
	<i>Encadrants de palanquée • Plongeur encadré • Plongeur autonome</i>	
Fiche n°11	<b>Notions de responsabilités et d'assurance</b> .....	52
	<i>Responsabilité civile • Responsabilité pénale • Responsabilité et assurances</i> <i>Mise en danger délibérée d'autrui • Risque accepté et obligation de moyens</i> <i>Contrats d'assurance et conventions d'assistance • Notion de tiers</i> <i>Assurance individuelle accident</i>	
Fiche n°12	<b>La conduite de palanquée</b> .....	56
Fiche n°13	<b>Typologie des sites de plongée et orientation</b> .....	61

Fiche n°14	<b>Flottabilité et équilibre</b> ..... <i>L'immersion • Les risques du surlestage • Vérifier un lestage • Vérifier l'équilibre</i> <i>Facteurs influençant la flottabilité</i>	71
Fiche n°15	<b>La lumière et l'eau</b> .....	75
Fiche n°16	<b>Suivi de la consommation d'air</b> .....	76
Fiche n°17	<b>Approche des espèces</b> ..... <i>Technique d'approche • Les poissons qui vivent en bancs • La ligne latérale</i>	77
Fiche n°18	<b>Protéger la nature</b> .....	82
Fiche n°19	<b>Charte internationale du plongeur responsable</b> ..... Ocean Academy	86
Fiche n°20	<b>Un palmage respectueux</b> .....	89
Fiche n°21	<b>Nettoyage, désinfection et rinçage du matériel</b> .....	90
	<b>Test de connaissances n° 2</b> .....	<b>92</b>

### UL 3

## Aider au choix du matériel

Fiche n°22	<b>Les palmes</b> .....	98
Fiche n°23	<b>Le masque</b> ..... <i>Masque • Verres correcteurs • Lentilles de contact • Vision sous l'eau</i> <i>Masque et buée</i>	100
Fiche n°24	<b>Le tuba</b> .....	104
Fiche n°25	<b>La combinaison et le lestage</b> ..... <i>Les combinaisons • Néoprène et environnement • Lestage</i>	105
Fiche n°26	<b>Le gilet</b> ..... <i>Types • Modèles • Volume • Gilet et lestage</i>	108
Fiche n°27	<b>L'ordinateur de plongée</b> ..... <i>L'ordinateur de plongée • Les logiciels ne sont pas certifiés • Les notices ne sont pas</i> <i>des guides d'apprentissage • Notices, consignes et aspects juridiques • Principe de</i> <i>fonctionnement • Profondeur affichée • Les écrans • Accès aux fonctions</i> <i>Critères de choix techniques • Interfaces • Piles et accus • Entretien courant</i> <i>Choisir un ordinateur de plongée</i>	111
Fiche n°28	<b>Le détendeur</b> ..... <i>Principe général • Notions d'étanchéité • Marquage CE • Fonctionnement</i> <i>Membrane et piston • Détendeurs et eaux froides • DIN/Étrier • Compensation</i> <i>Surcompensation • Effet Venturi (et effort inspiratoire) • Effet Vortex</i> <i>Éléments de choix • Entretien et précautions • Clapet amont • Risques de pannes</i>	125
Fiche n°29	<b>Le manomètre</b> ..... <i>Manomètres à aiguilles • Ordinateurs à gestion d'air • Systèmes de liaison</i> <i>Appairage • Sondes • Paramétrages • Affichage • Signal perdu</i>	137
Fiche n°30	<b>La bouteille de plongée</b> ..... <i>Matériaux • Volumes • Nature du gaz, « G1 », « G2 » • Notice d'instructions</i> <i>Transport des bouteilles • Inspection périodique et requalification</i> <i>Date de mise en service • Précautions • Robinetterie • Opercule (BTR5, BTR8)</i> <i>et joints • Adaptateur • Fixation du gilet sur une bouteille de plongée</i>	140
Fiche n°31	<b>Lampes et phares de plongées</b> ..... <i>La lumière artificielle • Température de lumière • Indice de Rendu</i> <i>des Couleurs (IRC) • LED • Lumens et watts • Faisceau • Accus • Précautions</i>	147
	<b>Test de connaissances n° 3</b> .....	<b>150</b>

**UL 4****Connaissance du monde subaquatique**

Fiche n°32	<b>La classification des espèces</b> ..... <i>Classification traditionnelle • Classification phylogénétique</i>	157
Fiche n°33	<b>Le règne végétal</b> ..... <i>40 000 algues et quelques plantes sous-marines</i>	157
Fiche n°34	<b>Le règne animal – Les invertébrés</b> ..... <i>Éponges • Cnidaires (méduses, corail, gorgones...) • Vers • Crustacés • Bryozoaires Gastéropodes • Mollusques (bivalves, céphalopodes) • Echinodermes • Tuniciers</i>	158
Fiche n°35	<b>Le règne animal – Les vertébrés</b> ..... <i>Requins • Raies • Clefs d'identification des poissons • Principales espèces rencontrées en plongée • Notions sur les écosystèmes • Les différents habitats La vie à plusieurs • Reptiles • Mammifères</i>	165
<b>Test de connaissances n° 4</b> .....		<b>176</b>

**UL 5****Prévention des risques**

Fiche n°36	<b>Quatre règles fondamentales</b> ..... <i>Visite médicale • Reprise progressive • Repos et hygiène de vie • Exercice physique</i>	178
Fiche n°37	<b>Visite médicale</b> .....	179
Fiche n°38	<b>Les oreilles en plongée</b> ..... <i>Otite barotraumatique • Perforation du tympan • Coup de piston Vertige alterno-barique • Accident de désaturation • Otite infectieuse Rôle de prévention et d'assistance du guide de palanquée Conduite à tenir • En cas de doute</i>	182
Fiche n°39	<b>Oreilles et manœuvres d'équilibrage</b> .....	186
Fiche n°40	<b>Prévention de la surpression pulmonaire</b> ..... <i>Mécanisme: expirer suffisamment • Atteintes et conséquences Procédure d'urgence • Causes et prévention • Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire</i>	190
Fiche n°41	<b>Les sinus</b> .....	194
Fiche n°42	<b>Les dents</b> .....	195
Fiche n°43	<b>Estomac et intestin</b> .....	195
Fiche n°44	<b>Le risque de placage de masque</b> .....	195
Fiche n°45	<b>Le risque d'essoufflement</b> ..... <i>Hypercapnie (rétention de CO<sub>2</sub>) • Maux de tête • Mécanisme La PPCO<sub>2</sub> ne varie pas avec la profondeur • Apnée de contrôle Causes et facteurs favorisants • Prévention • Conduite à tenir</i>	196
Fiche n°46	<b>Froid et thermorégulation</b> ..... <i>Spécificités de l'immersion • Mécanisme de déperdition de chaleur • Réactions de l'organisme • Signes • Facteurs favorisants • Prévention • Conduite à tenir</i>	200
Fiche n°47	<b>La narcose à l'azote</b> ..... <i>La plongée profonde • Les effets de la narcose • La crise de narcose • Signes Facteurs favorisants • Conduite à tenir • Prévention</i>	204
Fiche n°48	<b>Stress et plongée</b> ..... <i>Définition • Risque de réactions inadaptées • Causes • Détecter pour prévenir Conduite à tenir • L'entraînement mental</i>	211



Fiche n°49	<b>L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI)</b> ..... 214 <i>Mécanisme • Signes • Facteurs favorisants • Conduite à tenir • Prévention</i>	214
Fiche n°50	<b>Déshydratation et plongée</b> ..... 217 <i>L'eau et la vie • Causes • Se réhydrater après chaque plongée La diurèse d'immersion (fréquence cardiaque, production d'urine, baisse du volume sanguin)</i>	217
Fiche n°51	<b>Grossesse et plongée</b> ..... 219	219
Fiche n°52	<b>Apnée : prévention des risques</b> ..... 220 <i>Syncope • Samba • Prévention</i>	220
Fiche n°53	<b>Animaux à risque potentiel</b> ..... 221 <i>Morsures • Brûlures • Piqûres • Intoxications</i>	221
Fiche n°54	<b>Autres risques du milieu</b> ..... 226 <i>Courant • Eaux troubles • Grottes et tunnels • Épaves • Filets • Embarcations Plongées de nuit</i>	226
Fiche n°55	<b>Risque de dérive en surface</b> ..... 231 <i>Situations à risque • Conseils de prévention • Instruments de signalisation</i>	231
	<b>Test de connaissances n° 5</b> ..... 232	232

## UL 6

## La désaturation

Fiche n°56	<b>Saturation, désaturation et sursaturation</b> ..... 245 <i>Saturation • Désaturation • Sursaturation • Sursaturation critique Échanges gazeux: transport (perfusion) et diffusion (étape alvéolaire et étape tissulaire)</i>	245
Fiche n°57	<b>Désaturation, de quoi parle-t-on ?</b> ..... 248 <i>Micro-noyaux gazeux • Azote dissous • Nucléation • Sursaturation • Bulles</i>	248
Fiche n°58	<b>Bulles et micro-noyaux gazeux</b> ..... 250 <i>Noyaux gazeux préexistants • Phospholipides • Bulles • Acclimatation Palier à l'oxygène • Tentatives de modélisation • Pré-conditionnement</i>	250
Fiche n°59	<b>Risque d'ADD et charge en gaz dissous</b> ..... 252 <i>Henry V. Hempleman, 1952 • Facteur Q ou Prt index • Shields • Gardette</i>	252
Fiche n°60	<b>Bulles silencieuses</b> ..... 254 <i>Merill Spencer, 1968-1974 • Chaque désaturation crée des bulles • Elle sont dites « silencieuses » si elles ne provoquent pas d'accident (déjà évoqué par Haldane en 1908) • Détection par effet Doppler • Modification des seuils de sursaturation</i>	254
Fiche n°61	<b>Une reprise progressive de la plongée</b> ..... 256 <i>Micro-noyaux gazeux • Voyages • Âge • Progressivité</i>	256
Fiche n°62	<b>Repos physiologique et plongée</b> ..... 258	258
Fiche n°63	<b>Âge et plongée</b> ..... 259	259
Fiche n°64	<b>La modélisation de Haldane (1908)</b> ..... 260 <i>Historique • La notion de modèle en général • La modélisation de Haldane Compartiments (régions anatomiques factices) • Demi-vie ou période Équation de Haldane • Variante : Équation de Schreiner (ordinateurs de plongée) Tolérance à la sursaturation (seuil de sursaturation critique) • Tables de Haldane Autres apports de Haldane</i>	260
Fiche n°65	<b>La question des plongées successives</b> ..... 269 <i>Haldane : 1 seule plongée par jour • Procédure additionnelle nécessaire</i>	269

<b>Fiche n°66</b>	<b>À la suite de Haldane</b> ..... 280 <i>Adoption par l'US-Navy • Modification des couples demi-vie/Sc Jeux de paramètres</i>
<b>Fiche n°67</b>	<b>Les M-Values</b> ..... 283 <i>Robert D. Workman, 1965 • Variante de la procédure de Haldane (quantité maximale d'azote acceptable dans les compartiments) • Réduction du seuil de sursaturation accepté pour les plongées saturantes (longues, profondes, répétitives)</i>
<b>Fiche n°68</b>	<b>Le jeu de paramètres de Bühlmann (1983)</b> ..... 289 <i>Historique • Compartiments • M-Values de Bühlmann • ADT • MB • PDIS M-Values: de Bühlmann à Workman</i>
<b>Fiche n°69</b>	<b>Les facteurs de gradient</b> ..... 293 <i>Bruce Wienke, Erik C. Baker • Réduction des M-Values (%) • GFlow • GFhigh Implémentation dans les ordinateurs de plongée</i>
<b>Fiche n°70</b>	<b>Le jeu de paramètres des tables Marine nationale</b> ..... 297 <i>Paramètres • Cadre de validité • FFESSM: pour les examens de théorie</i>
<b>Fiche n°71</b>	<b>Limites des modèles de désaturation</b> ..... 298
<b>Fiche n°72</b>	<b>La (bonne) vitesse de remontée</b> ..... 299
<b>Fiche n°73</b>	<b>Remontées rapides, yo-yo et plongées en dents de scie</b> ..... 300
<b>Fiche n°74</b>	<b>Profils inversés</b> ..... 304
<b>Fiche n°75</b>	<b>Paliers profonds</b> ..... 305 <i>Origine • Effet de mode • Invalidés pour les plongées à l'air</i>
<b>Fiche n°76</b>	<b>Intervalle entre deux plongées et nombre de plongées par 24 h</b> ..... 307
<b>Fiche n°77</b>	<b>Voyage en avion et montée en altitude</b> ..... 309
<b>Fiche n°78</b>	<b>Procédures de désaturation (ordinateurs et tables)</b> ..... 310 <i>La notion de palier • Paliers obligatoires • Paliers facultatifs • Paliers profonds Ordinateur: avant de plonger • Procédures hétérogènes • Plongées simples (isolées ou unitaires) • Remontées lentes • Intervalle en surface entre deux plongées Plongées successives • Non-respect des paliers facultatifs ou des paliers profonds Procédures anormales ou dangereuses • Phase de constitution: réversibilité possible Plongées consécutives • Remontées rapides • En cas de violation (interruption) des paliers obligatoires • En cas de panne d'ordinateur sous l'eau</i>
<b>Fiche n°79</b>	<b>Prévention des risques d'accident de désaturation (ADD)</b> ..... 323 <i>Reprise progressive • Respect du protocole • Prise en compte des facteurs individuels de risque • Éviter les profils à risque • Éviter les comportements à risque Foramen ovale perméable (FOP)</i>
<b>Fiche n°80</b>	<b>ADD: Atteintes et conséquences possibles</b> ..... 330 <i>Localisation des bulles • Mécanisme • Réaction plaquettaire • Lésions possibles du système nerveux (hémiplégie, monoplégie, paraplégie, tétraplégie) Bends • Manifestations cutanées • Délais d'apparition</i>
<b>Fiche n°81</b>	<b>Procédure de secours</b> ..... 335 <i>Décider de déclencher les secours • Alerter • CROSS • VHF • Oxygène • Corriger la déshydratation • Surveiller • Fiche d'évacuation • Déclaration d'accident grave</i>
	<b>Test de connaissances n° 6</b> ..... 341

**UL 7****Aider à l'organisation des plongées**

Fiche n°82	L'embarcation: règles et matériel de sécurité .....	358
Fiche n°83	Navigation et sites de plongée .....	362
	<i>Météo • Marée • Échelle de Beaufort (vent) • Échelle Douglas (vagues) • Amer Alignement • Enseignure • GNSS (GPS) • Sondeur • Mouillage • Sécurité de surface Récupération de plongeurs</i>	
Fiche n°84	Les nœuds .....	369
	<i>Nœuds usuels • Anatomie d'un bateau • Vocabulaire maritime</i>	
	<b>Test de connaissances n° 7</b> .....	<b>375</b>

**UL 8****Les acteurs de la plongée**

Fiche n°85	Les acteurs de la plongée .....	378
------------	---------------------------------	-----

**2<sup>e</sup> partie – Connaissances approfondies (monitorats)**

Mode d'emploi .....	386
---------------------	-----

**UL 9****Réglementation**

Fiche n°86	Les établissements d'APS .....	387
Fiche n°87	Les établissements recevant du public (ERP) .....	388
Fiche n°88	Les équipements de protection individuelle (EPI) .....	389

**UL 10****La plongée sollicite le système cardiovasculaire**

Fiche n°89	Le cœur .....	390
Fiche n°90	Les vaisseaux sanguins .....	392
Fiche n°91	Le sang: un transporteur .....	393
Fiche n°92	La circulation sanguine .....	395

**UL 11****Le système respiratoire**

Fiche n°93	Les voies aériennes supérieures .....	398
Fiche n°94	Les voies aériennes inférieures .....	400
Fiche n°95	La mécanique ventilatoire .....	401
Fiche n°96	Les alvéoles pulmonaires .....	404
Fiche n°97	Les échanges gazeux .....	405
Fiche n°98	Les risques de noyade .....	406

**UL 12****Les oreilles**

Fiche n°99	Description de l'oreille .....	409
Fiche n°100	Fonction d'audition .....	410
Fiche n°101	Fonction d'équilibre .....	410

**UL 13****Le système nerveux**

Fiche n°102	Description et fonctionnement du système nerveux .....	411
Fiche n°103	Réflexes et automatismes .....	414
Fiche n°104	Narcose : quelles hypothèses ? .....	415
Fiche n°105	Prévention de la crise d'hyperoxie .....	416
Fiche n°106	Les risques de syncope en apnée .....	422

**UL 14****Notions de physique appliquées à la plongée**

Fiche n°107	Unités de mesure et facteurs de conversion .....	426
Fiche n°108	Volume, poids et masse .....	427
Fiche n°109	La flottabilité .....	428
Fiche n°110	La compressibilité des gaz .....	431
Fiche n°111	Compression des gaz et température .....	434
Fiche n°112	Les pressions partielles .....	436
Fiche n°113	La dissolution des gaz dans un liquide .....	437
Fiche n°114	La vision subaquatique .....	438

**UL 15****Compresseur et station de gonflage**

Fiche n°115	Compresseur et station de gonflage .....	440
	Index thématique .....	452
	Références bibliographiques .....	456
	Livres et supports pédagogiques <i>Plongée Plaisir</i> .....	458
	Livres édités et distribués par les éditions GAP .....	460

# Le cadre de pratique



Départ pour la plongée...

## FICHE 1

# La plongée en France

En France, la plongée est régie par le code du sport. Il s'applique à la plongée de loisir<sup>1</sup>, à l'exclusion de la plongée archéologique, de la plongée souterraine et de l'orientation subaquatique (dans le cadre de « parcours balisés d'entraînement et de compétition »). Tous les établissements organisant la pratique et l'enseignement de l'activité, qu'ils soient associatifs ou commerciaux, sont soumis aux dispositions de ce texte.

## La plongée de loisir

La plongée de loisir se distingue de la plongée professionnelle (scaphandriers, scientifiques...) et de la plongée militaire.

Elle peut se pratiquer avec différents gaz respiratoires :

- l'air, comme celui que nous respirons en surface, composé d'environ 20 % d'oxygène (O<sub>2</sub>) et de 80 % d'azote (N<sub>2</sub>), est le gaz majoritairement utilisé du fait de sa facilité d'emploi;
- le nitrox, un air enrichi en oxygène, afin de réduire la proportion d'azote (diminution des risques d'accidents de désaturation), qui impose une limite de profondeur moindre que pour les plongées à l'air du fait des risques d'hyperoxie (voir **fiche 105**);
- des mélanges à base d'hélium (He) en remplacement de l'azote (héliox, trimix), afin de pouvoir plonger plus profond qu'à l'air, le pouvoir narcotique de l'hélium étant 14 fois<sup>2</sup> moindre que celui de l'azote.

1. Parfois appelée plongée « récréative », dans une traduction littérale de « recreational » en anglais.

2. J.-J. Risso, J.-E. Blatteau et coll., Revue *Médecine et armées*, 2015, Tome 43, n°1, p. 96.

## Prérogatives du DP

Plongeurs et encadrants (guides de palanquée, moniteurs) sont subordonnés aux décisions du directeur de plongée qui a les prérogatives les plus larges<sup>1</sup> pour :

- déterminer si la plongée peut avoir lieu ou si elle doit être annulée;
- choisir le site;
- former les palanquées en fonction des aptitudes démontrées par les participants (brevets, carnet de plongée...) et s'assurer que leur équipement est conforme à la réglementation (détendeurs de secours, instruments...) et aux exigences de la plongée (parachute de palier, boussole...);
- donner des directives sur la plongée (parcours, durée, profondeur...);
- s'assurer du bon état de fonctionnement de l'équipement prêté ou loué;
- mettre en place tous les dispositifs de sécurité et de secours (bouteille de secours, pendeur, ligne de vie en cas de courant, oxygène, trousse de secours...);
- assurer ou faire assurer la sécurité de surface pendant la plongée (porter secours et assistance en cas de besoin, récupérer des plongeurs sortis loin du site...);
- donner des directives pour la préservation de la faune et de la flore;
- etc.

### Le directeur de plongée doit-il rester en surface ?

Ce n'est pas une obligation, mais s'il plonge, il est tout de même responsable de l'organisation des plongées et de la sécurité associée, y compris de la sécurité en surface.

### Peut-il y avoir plusieurs directeurs de plongée à bord d'un même navire (ex. location par 2 clubs différents) ?

La réglementation actuelle (code du sport) est muette sur la question. En conséquence, elle ne l'interdit pas bien que cela puisse faire débat avec certains inspecteurs lors de contrôles. Dans tous les cas, la convention signée avec le prestataire doit être claire sur ce point, chaque DP doit disposer de sa fiche de sécurité et connaître son périmètre de responsabilité.

## Cas dérogatoire

Le code du sport prévoit un cas dérogatoire pour les plongeurs PA-60. En l'absence de directeur de plongée, ils peuvent plonger avec d'autres plongeurs PA60 ou supérieur (palanquée de 2 ou 3) en :

- se limitant à 40 m;
- après accord de l'exploitant;
- après l'avoir informé du choix du site;
- et après qu'il ait entériné l'organisation mise en œuvre pour assurer la sécurité des plongeurs et le déclenchement des secours.



Briefing du directeur de plongée.

1. Le DP a en charge, en particulier, la sécurité globale de l'activité. Les moyens et procédures de désaturation restent de la responsabilité individuelle de chaque plongeur (éventuellement sur les conseils du DP).

## Le niveau 4 plongeur autonome

En tant que plongeur niveau 4 en autonomie, vous disposez des mêmes prérogatives qu'un plongeur niveau 3 (PA60) :

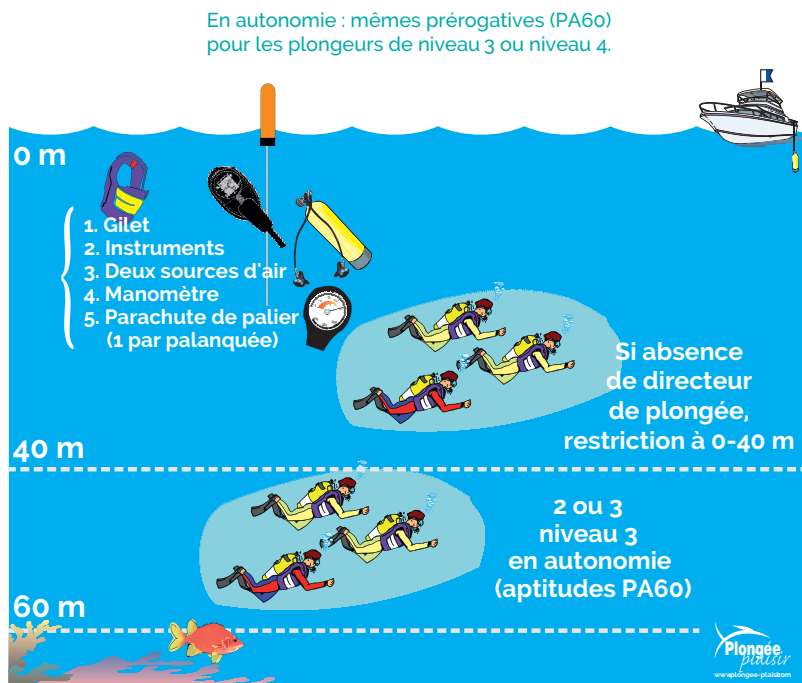
- vous pouvez plonger en autonomie avec 1 ou 2 autres niveau 3 minimum (PA60), entre 0 et 60 m, après accord et sous la responsabilité d'un directeur de plongée ;
- en l'absence de directeur de plongée, vous pouvez plonger avec d'autres plongeurs PA60 ou supérieur (palanquée de 2 ou 3) en vous limitant à 40 m, après accord de l'exploitant, après l'avoir informé du choix du site et après qu'il ait entériné l'organisation mise en œuvre pour assurer la sécurité des plongeurs et le déclenchement des secours.

Dans le cadre de ces plongées, vous devez disposer, au minimum, du matériel nécessaire à toute plongée en autonomie (code du sport) :

- un « système gonflable au moyen de gaz comprimé [...] permettant de regagner la surface et de s'y maintenir » (gilet+direct-system) ;
- des « équipements permettant de contrôler les caractéristiques personnelles de sa plongée et de sa remontée » : il s'agit d'un ordinateur ou de l'ensemble tables-montre-profondimètre ;
- un « équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout » (deux sources d'air, « octopus ») ;
- un manomètre ou équivalent ;
- un parachute de palier par palanquée.

### CORESPONSABILITÉ

Les plongées entre plongeurs autonomes s'effectuent en coresponsabilité, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de « guide de palanquée » au sens juridique du terme.







Le guide de palanquée doit être attentif lors de la mise à l'eau.

Convenez de l'endroit précis de la mise à l'eau et de la technique de mise à l'eau (n'oubliez pas que certains plongeurs encadrés n'ont peut-être pas été formés à la bascule arrière ou au saut droit).

Précisez les modalités de la descente : au mouillage, le long d'un pendeur, le long d'une paroi après un court trajet à la palme, en pleine eau...

Indiquez également comment circuler à bord du bateau. Par exemple, selon les cas, mieux vaut ne pas marcher palmes aux pieds du fait des risques de chute.

### Gérer la mise à l'eau

Regroupez toute votre palanquée, équipée, prête à partir.

Demandez confirmation au pilote du bateau et au directeur de plongée que vous pouvez vous mettre à l'eau.

Vérifiez qu'il n'y a pas de risque avec les hélices (voir **fiche 54**).

Mettez-vous à l'eau et, lorsque vous êtes prêt à recevoir les plongeurs, indiquez-leur de se mettre à l'eau.

Nous vous conseillons d'avoir votre gilet vide afin de pouvoir intervenir rapidement en cas de nécessité.

Mettez votre tête sous l'eau pour voir les plongeurs arriver dans l'eau et vérifiez avec chacun d'entre eux que tout va bien (signe « Ok » de leur part), avant de passer au suivant. Indiquez à tous ceux qui sont déjà à l'eau de rester groupés autour de vous, gilet légèrement gonflé (flottabilité positive), sans gêner la mise à l'eau.

### Gérer la descente

Durant la descente, soyez particulièrement attentif. Préférez, chaque fois que possible, une immersion le long d'un mouillage ou d'un pendeur. Cela offre aux plongeurs, à la fois un repère visuel et un point d'appui, éléments fort utiles lorsque l'équilibre dans l'eau doit encore s'améliorer.

La meilleure des positions consiste à faire face aux plongeurs.

Si un plongeur n'arrive pas à s'immerger (sous lestage, mauvaise technique de mise à l'eau, ventilation exagérée), restez en surface avec toute votre palanquée, faites appel au bateau et réglez la question avec la personne assurant la sécurité de surface (ex. ajout de lest).

P4

DM

P5

M

i



## Typologie des sites et parcours en plongée

La typologie des sites dignes d'intérêt est similaire sur toute la planète. Un encadrant de palanquée doit connaître cette typologie, d'une part pour l'intérêt des plongées, d'autre part du point de vue de l'orientation, tous les sites n'étant pas d'égale difficulté.

### Les plongées sur un « sec », une roche de faible dimension ou autour d'un îlot

Une ou plusieurs roches qui montent depuis un plateau plus ou moins profond et s'arrêtent près de la surface (« secs ») ou font surface (îlots) favorisent la concentration du poisson sur une petite surface.

Cela permet de les observer facilement car la plupart ne partent pas au large et restent proches de la roche qui les protège et leur permet de se nourrir.

Ces sites, très recherchés, sont nombreux: La Gabinière (Port-Cros), les Rosiers (La

Ciotat), île de Riou (Marseille), les Triagoz (Nord de la baie de Lannion), les Tas de pois (Camaret), l'Estartit (Catalogne, Espagne), Bajo de dentro (Cabo de Palos, Espagne), Shaab Rumi ou Sanganeb (Soudan), la Perle ou le Rocher du Diamant (Martinique), les îlets Pigeon (Malendure, Guadeloupe), Cozumel (Mexique), Saba (Caraïbe), les atolls des Maldives, Raja Ampat (Indonésie), Îles Galápagos (Équateur), îles Cocos (Costa Rica), etc. Ces plongées ne posent aucune difficulté en matière d'orientation: il suffit généralement de faire le tour du site. Toutefois, faites attention au courant, ne vous laissez pas surprendre avec votre palanquée.



Les plongées autour d'un sec ou d'un îlot sont généralement riches en vie.

### Les plongées sur des navires immergés ou des récifs artificiels

Les plongées sur des navires immergés (« épaves ») sont une variante du cas précédent. L'immersion d'un « récif artificiel » sur un site propice à la vie produit les mêmes effets que les secs ou les îlots en favorisant la concentration de la vie (faune et flore fixées, poissons). Dans de bonnes conditions (eau claire, courant faible), s'orienter sur une épave ne pose aucune difficulté particulière. Il reste conseillé que le mouillage soit attaché bien haut, pour faciliter son repérage en fin de plongée.

### Les avancées dans la mer: caps, pointes, ...

Les avancées dans la mer (caps ou pointes rocheuses immergées ou émergées) provoquent un rétrécissement du passage de l'eau qui favorise la création de courant et donc l'apport de nourriture.

C'est la raison pour laquelle ces zones sont généralement riches en vie. Exemples: Cap de l'Abeille (Banyuls, Cerbère), Pointe Burgos ou Pointe Lamare (Martinique), Massa de Oro (Cap de Creus, Espagne), Cabo de Palos (Espagne), Ras Mohammed (Égypte), etc.

P4

DM

P5

M

i

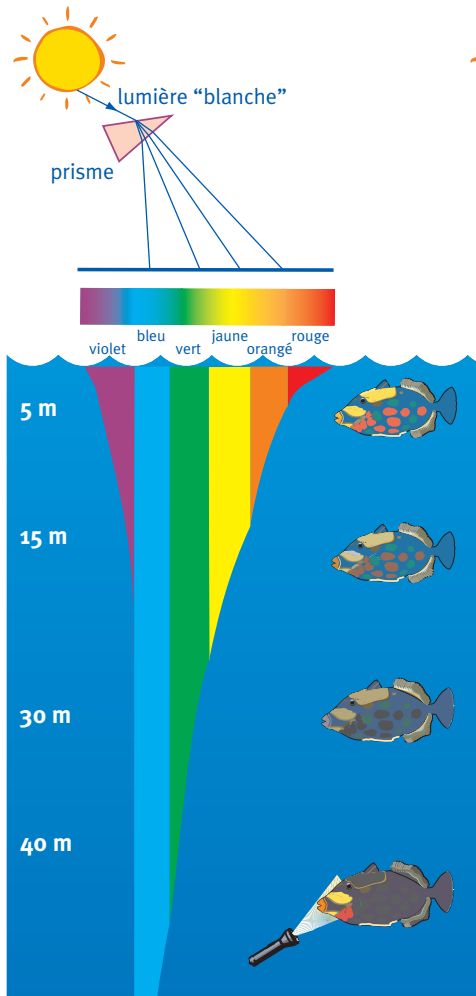
## FICHE 15

# La lumière et l'eau

La lumière du soleil, qui apparaît « blanche », est en fait la réunion de toutes les ondes du spectre visible, du rouge au violet, en passant par l'orangé, le jaune...

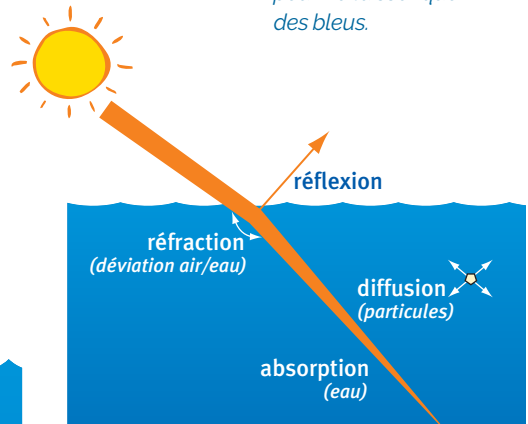
Chacune de ces tonalités de couleur est caractérisée par une longueur d'onde. Par exemple, le rouge a une longueur d'onde supérieure au bleu qui lui-même a une longueur d'onde supérieure au violet.

Lorsqu'un rayon de lumière traverse l'eau, ses diverses composantes sont progressivement absorbées sur les extrêmes (les plus courtes et les plus longues ondes), le minimum d'absorption se situant autour du bleu. Cela explique pourquoi, passé une certaine profondeur, tout semble d'un bleu uniforme. Vers 500 m de profondeur, toute la lumière est absorbée. C'est l'extinction.



La lumière dite « blanche » réunit toutes les couleurs du spectre visible. Il est possible de mettre cela en évidence en utilisant un prisme (l'arc-en-ciel en est aussi une illustration). Les différentes couleurs qui composent la lumière visible sont absorbées de manière sélective par l'eau :

- les rouges disparaissent vers 5 m ;
  - les orangés vers 10 à 15 m ;
  - les violets vers 20 m ;
  - les jaunes vers 15 à 25 m ;
  - les verts au-delà de 40 m ;
- pour ne laisser que des bleus.



## LA VIE D'UN RAYON LUMINEUX DANS L'EAU

Lorsqu'un rayon lumineux rencontre l'eau, il subit 4 phénomènes principaux :

- **La réflexion** : une partie de la lumière est réfléchiée par l'eau, elle ne pénètre pas.
- **La réfraction** : les rayons lumineux sont déviés lorsqu'ils pénètrent dans l'eau.
- **L'absorption** (due à l'eau) : l'intensité lumineuse diminue rapidement, transformée en chaleur.
- **La diffusion** (due aux particules) : les rayons lumineux sont déviés et absorbés par les particules en suspension. Cela est particulièrement gênant en photographie ou en vidéo.

Schémas inspirés par « La plongée »,  
G. Poulet et R. Barincou.

## La vision de Jean-Michel Cousteau

### 1. Quels changements avez-vous vu apparaître au fil des années ?

En dehors du changement climatique, je vois trois problèmes, tous causés par notre propre comportement :

- le fait que nous considérons l'océan comme une poubelle ;
- la destruction des habitats côtiers ;
- la surpêche.

La bonne nouvelle, c'est qu'il y a des solutions. Elles sont amenées par la science, le bon sens commun, une attention particulière aux animaux qui sont des sentinelles, un engagement profond envers ce que nous aimons, à l'image de l'incomparable beauté de la mer, et nos enfants car ils représentent le futur.

### 2. En quoi les animaux sont-ils des sentinelles ?

Les animaux, et en particulier les animaux marins, sont des sentinelles car ce qui leur arrive aujourd'hui nous arrivera demain. Par exemple, les analyses faites sur les cétacés (qui comme nous sont en bout de chaîne alimentaire) montrent une concentration de substances de toutes sortes, rejetées à la mer par les hommes, avec de graves conséquences à la clef : diminution des résistances aux maladies, transmission des produits toxiques aux nouveau-nés par le lait maternel, décès prématurés...

Protéger les océans, c'est nous protéger nous-mêmes.

### 3. Lors de vos expéditions, avez-vous pu mesurer par vous-même l'impact des rejets en mer ?

Je prendrai l'exemple des îles du nord-ouest à Hawaï, les plus isolées au monde, longtemps restées vierges de toute influence humaine. Partie intégrante du système océanique, elles subissent l'influence du gyre<sup>1</sup> du Pacifique Nord, un énorme courant circulaire parcourant la planète dans le sens des aiguilles d'une montre. D'ouest en est, il traverse le Pacifique Nord, descend le long des côtes nord-américaines puis d'Amérique centrale et repart ensuite, d'est en ouest, à travers le Pacifique pour atteindre les côtes du Japon.

Historiquement, ce courant charriait des bois flottés qui occasionnellement transportaient plantes et animaux peuplant alors les terres sur leur passage. Ce lent processus de colonisation s'effectuait sur des centaines d'années. Récemment, j'ai marché sur les plages de l'île de Laysan et j'ai pu voir ce que le gyre du Pacifique Nord apporte aujourd'hui : seringues, écrans d'ordinateur, brosses à dents, jouets, filtres de cigarettes, plastiques de toutes sortes... C'est la Grande Poubelle du Pacifique, affectant toutes les espèces marines sur son passage.

Ces déchets s'accumulent sur une surface représentant deux fois celle de la France !



Avec Jean-Michel Cousteau aux îles Fidji, avant une plongée sur l'extraordinaire réserve marine de Namena.

1. Gyre: terme utilisé dans le milieu marin pour désigner les structures tourbillonnaires caractéristiques de la turbulence océanique à l'échelle d'un bassin océanique. À plus petite échelle, on parle de « tourbillon ».

## Verres teintés antireflet ou « miroir »

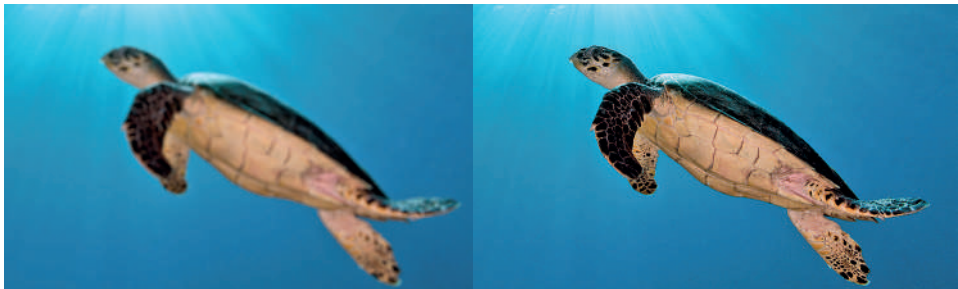
Conçus initialement pour la pêche sous-marine, certains masques ont des verres teintés ou « miroir » afin que les poissons ne voient pas les yeux du plongeur. Ils pourraient avoir une utilité pour approcher au plus près les poissons en photographie et vidéo.

Cependant, un pêcheur sous-marin est seul sous l'eau alors qu'en scaphandre nous plongeons en palanquée. Cela suppose de pouvoir communiquer avec les autres plongeurs, ce qui passe par le regard et l'observation des attitudes.

**De manière générale, pour des raisons de sécurité et de difficulté de communication, nous déconseillons l'usage de ces masques en plongée avec scaphandre.**

## Justification de l'usage d'un masque

Sous l'eau, sans masque, notre vision est floue. Un masque permet de retrouver la vision nette que nous avons en surface, en remettant les yeux dans un milieu aérien.



Sans masque

Avec un masque

## Masque, lunettes et lentilles de contact

Certains plongeurs vous poseront sûrement la question du port de lentilles de contact avec un masque. Les lentilles rigides sont généralement déconseillées car elles peuvent favoriser la formation de bulles dans le film lacrymal.

En revanche, des lentilles souples peuvent être utilisées a priori sans risques.

Les lentilles journalières jetables sont idéales pour pratiquer la plongée.

Il est également possible d'adapter des verres sur mesure sur un masque ou de clipser des verres correcteurs.



Masque avec verres correcteurs clipsés.

## La vision sous l'eau

Le champ de vision est rétréci<sup>1</sup>, ce qui a pour conséquences :

- De devoir tourner la tête pour voir sur les côtés, ou de devoir faire un tour d'horizon complet, particulièrement à l'approche de la surface pour vérifier l'absence d'obstacle ou de danger (en tant qu'encadrant de palanquée, veillez à pratiquer de la sorte à chaque plongée).
- De devoir manipuler certains instruments sans les voir : saisir son direct-system, trouver ses purges, rechercher son manomètre...

1. Nos calculs ont montré que le champ de vision sous l'eau avec des marques standards du marché est réduit de 50 à 70 %, par rapport à celui constaté en surface, sans masque. Il passe ainsi d'environ 180 degrés d'angle à des valeurs de l'ordre de 120 à 90 degrés en plongée.

## Lestage

Le lest ne sert pas à « couler » (voir fiche 14), il permet uniquement de compenser l'excès de flottabilité donné par la combinaison. L'objectif est de retrouver l'équilibre naturel que nous avons dans l'eau, lorsque nous sommes en maillot. Il existe différents types de lests, allant de 500 g à 1, 2 ou 3 kg.

On trouve dans le commerce trois présentations principales du lest :

1. Ceux qui sont « bruts », sans habillage.
2. Ceux en plomb ou en fonte avec une enveloppe protectrice. En dehors de l'aspect esthétique, cela protège l'environnement et évite d'endommager le pont du bateau ou les carreaux de piscine en cas de choc. Il est aussi plus facile de retrouver sa ceinture parmi d'autres si la couleur est caractéristique.
3. Les sachets de grenaille qui offrent l'avantage d'épouser la forme de votre corps, pour améliorer votre confort.

Il existe différents systèmes de fixation du lest :

- sur une ceinture ;
- dans une ceinture à poche ;
- directement sur le gilet si celui-ci prévoit un système de poches largables (voir fiche 26).

Attention : certains gilets proposent d'intégrer du lest non largable, ce système est déconseillé pour les plongeurs débutants.



P4  
DM  
P5  
M

## FONCTIONNEMENT D'UN ORDINATEUR DE PLONGÉE

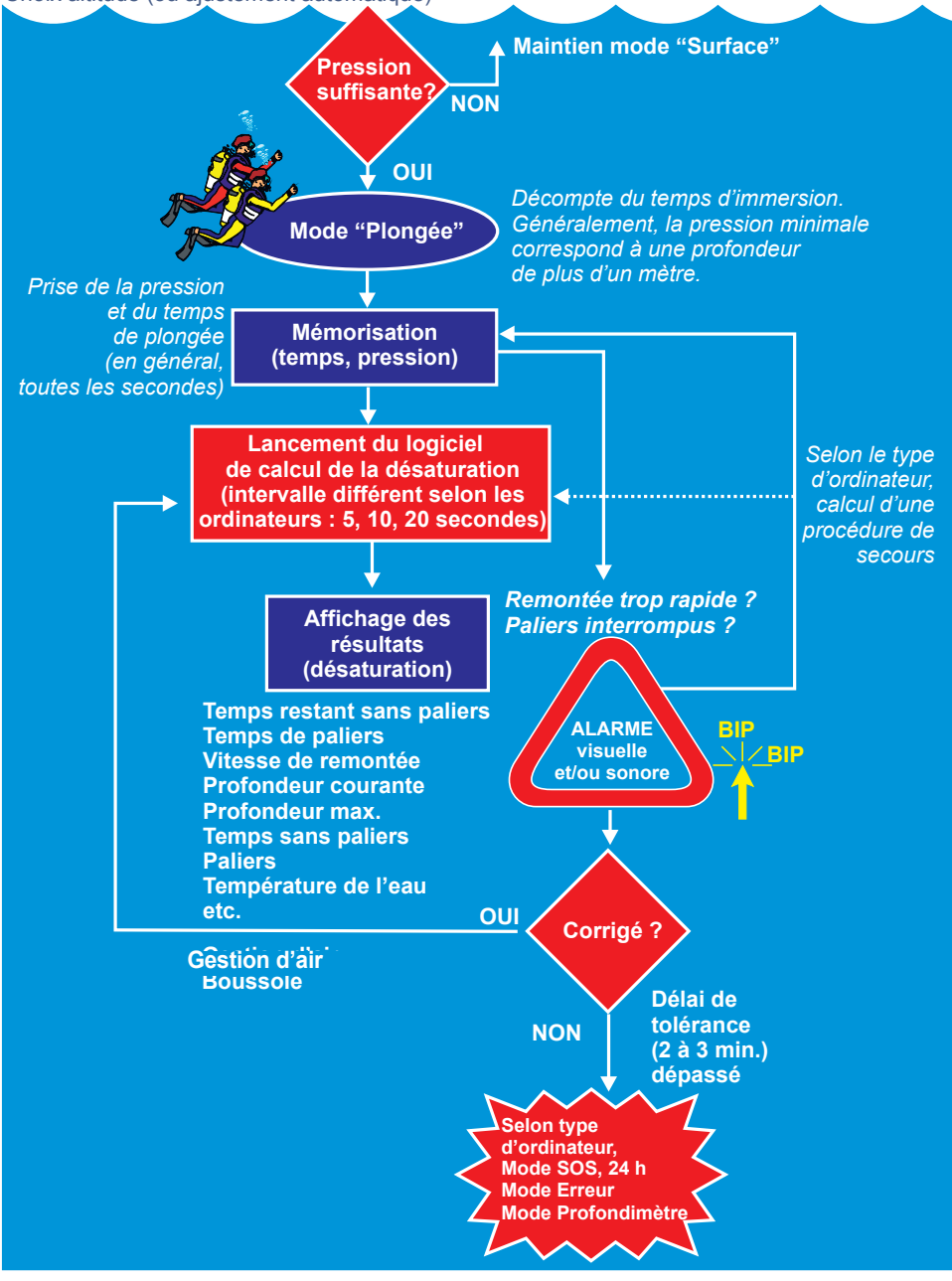
(approche simplifiée)

### AVANT PLONGÉE

Test piles à la mise en route  
 Choix du mode Air, Nitrox, Profondimètre  
 Paramétrages personnels  
 Paramétrage alarmes  
 Mode Planification  
 Choix altitude (ou ajustement automatique)

### APRES PLONGÉE

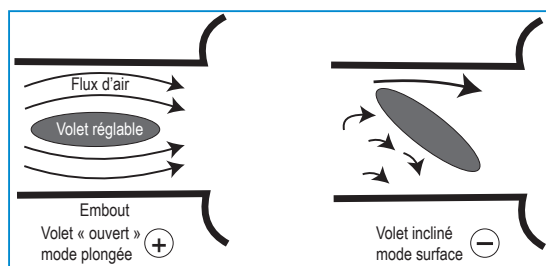
Délai avion, altitude  
 Temps résiduel de désaturation  
 Mode carnet de plongée  
 Interfaces



- P4
- DM
- P5
- M



## Effet Venturi (et effort inspiratoire)



Réglage de l'effet Venturi



Molette de réglage

« L'effet Venturi » (du nom du physicien italien Giovanni Battista Venturi) est le nom donné à un phénomène qui peut s'énoncer de multiples façons, dont celle qui consiste à dire que lorsque la section d'écoulement d'un fluide diminue, la vitesse du fluide augmente. On peut l'observer en montagne, avec le vent qui accélère entre deux montagnes, ou en plongée avec le courant qui forçait entre deux obstacles. Ce phénomène a été mis à profit dans le 2<sup>e</sup> étage des détendeurs afin de créer une dépression dans la chambre sèche du 2<sup>e</sup> étage qui « aspire » la membrane et provoque une augmentation du flux d'air. Cet afflux d'air facilité en profondeur peut provoquer, en surface, un effet indésirable par une mise en débit continu du détendeur. D'où l'ajout d'un volet orientable permettant de régler le 2<sup>e</sup> étage en mode plongée ou surface.

C'est le réglage de l'effet Venturi :

- En fonction du travail ventilatoire et de la profondeur (plus ou moins ouvert).
- Afin d'éviter un débit continu en surface (position « moins »).

Ce réglage permet également de réduire le flux d'air pour les plongées en eaux froides.

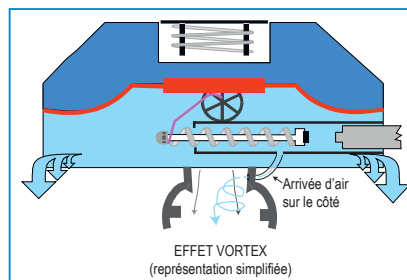
## Effort inspiratoire ou « sensibilité »

Certains détendeurs permettent de régler, de manière complémentaire, « l'effort inspiratoire » ou la « sensibilité » en augmentant la dépression nécessaire pour provoquer l'ouverture du clapet au 2<sup>e</sup> étage.

Les détendeurs de dernière génération intègrent ces deux réglages (Venturi et sensibilité) sur un seul et même bouton (ex. Dual Cam chez Aqua Lung).

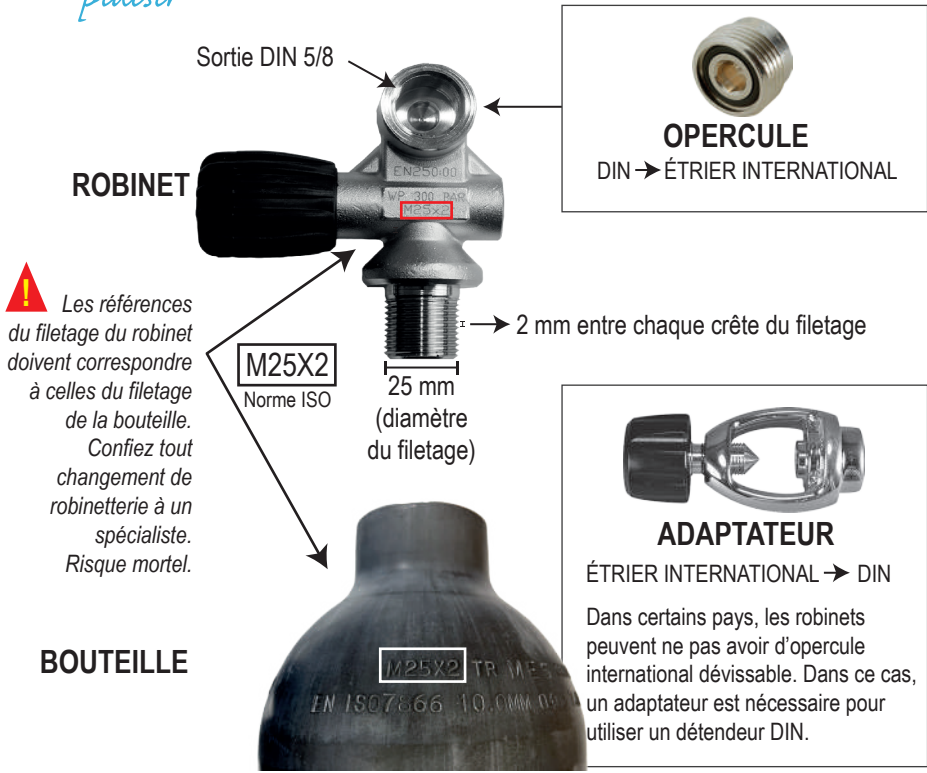
## Effet Vortex

Certains enseignants présentent le phénomène dès l'école primaire : remplissez une bouteille d'eau et videz-la dans un évier en la retournant ; faites la même chose en faisant un mouvement rotatif tout en la retournant. Dans le deuxième cas, la bouteille se videra deux fois plus rapidement. Cette création de tourbillons qui accélèrent la circulation des fluides par une diminution des résistances à l'écoulement est connue sous le nom « d'effet Vortex ». Certains fabricants ont mis cela à profit afin d'accélérer l'arrivée d'air au niveau de la bouche, en ajoutant une arrivée d'air supplémentaire à côté de l'embout où inspire le plongeur, ce qui provoque un tourbillon. Contrairement à « l'effet Venturi », ce procédé ne peut pas être réglé par l'utilisateur.





## BOUTEILLE ET ROBINET



## OPERCULE ET JOINTS

Les opercules peuvent nécessiter, selon les modèles, une clé 6 pans de 8 mm (BTR 8) ou de 5 mm (BTR 5), pour être vissés ou dévissés.

Un encadrant de palanquée doit être capable d'intervenir pour de « petits dépannages » en cas de fuite sur la bouteille des plongeurs encadrés, cas relativement fréquent.

L'étanchéité est faite par 2 joints toriques.

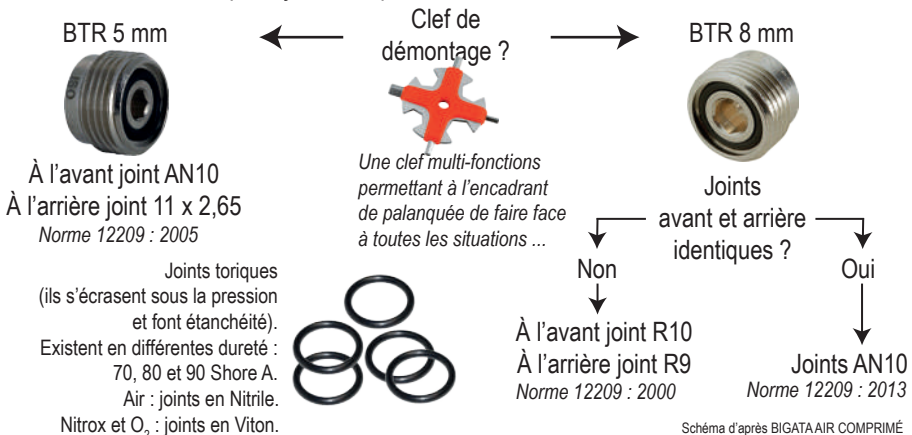
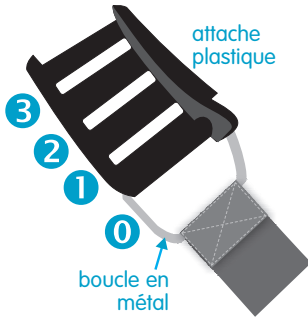


Schéma d'après BIGATA AIR COMPRIMÉ

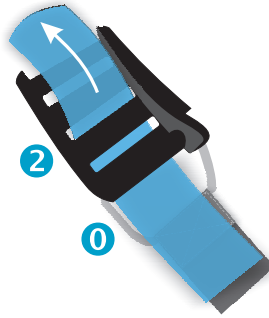


**BOUCLE DE FIXATION, PRÉSENTATION SCHEMATIQUE**

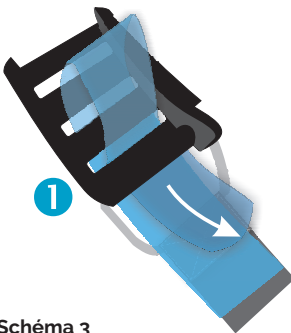
Pour aider à la mémorisation du système de montage de la boucle de fixation, il est couramment enseigné de désigner par « 0 » la boucle en métal et les 3 fentes de l'attache plastique par les chiffres « 1, 2 et 3 ». Il faut alors se souvenir que l'ordre de passage dans les boucles est « 0 2 1 3 ». Autre moyen mnémotechnique : « AMIE » - Anneau, Milieu, Intérieur, Extérieur.



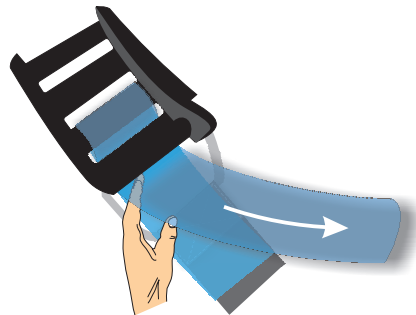
**Schéma 1**  
Numérotation de la boucle et des fentes. Schéma 1



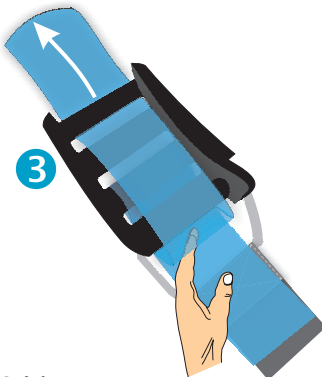
**Schéma 2**  
La sangle passe dans la boucle 0 et la fente 2.



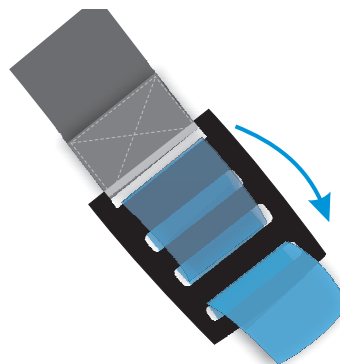
**Schéma 3**  
La sangle revient dans la fente 1.



**Schéma 4**  
Tendre fortement la sangle sur la bouteille et maintenir la pression. Il est possible de relever légèrement l'attache plastique pour bloquer la sangle en position.



**Schéma 5**  
Passer la sangle dans la fente n°3.



**Schéma 6**  
Rabattre l'attache plastique et bloquer la sangle sur la bande Velcro.

P4

DM

P5

M

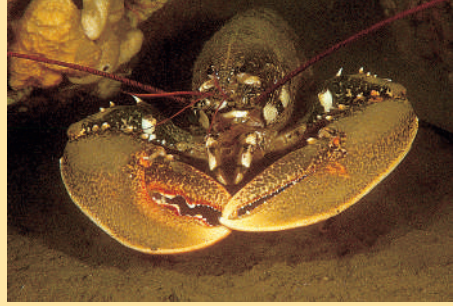
I

Crustacés

Crustacés, environ 30 000 espèces ainsi appelées parce que leur corps est recouvert d'une croûte.



Langoustes



Homards



Araignées de mer



Crabes



Bernard-l'hermite



Crevettes

Bryozoaires



Dentelle de Neptune



« Faux corail »

# Prévention des risques

## FICHE 36

### Quatre règles fondamentales

#### Règle n° 1: Un certificat médical annuel

Bien que la plongée de loisir ne nécessite pas d'être un athlète et qu'elle soit accessible à tous les âges, un bon état général est un préalable à la pratique. Selon les organismes, une visite médicale annuelle est rendue obligatoire (FFESSM, FSGT) ou vivement conseillée (ANMP, SNMP).

Pensez à avoir toujours sur vous un certificat médical de non-contre-indication à la plongée datant de moins d'un an (ou plus récent si la structure d'accueil l'exige, comme par exemple lors des séjours en croisière). Il pourra vous être demandé avant de vous autoriser à plonger.

Dans la mesure du possible, choisissez un médecin connaissant les risques de l'activité (ex. médecin diplômé de médecine subaquatique). Contrairement à une idée reçue, plus le médecin est spécialisé, plus l'accès à l'activité peut être facilité, en évitant qu'un simple manque de connaissances sur les spécificités de la plongée conduise, par précaution, à en interdire la pratique.

#### Règle n° 2: Une reprise progressive de la plongée

Les phases de saturation et de désaturation sollicitent énormément notre organisme, sans même que nous nous en rendions compte. Tout comme il ne viendrait à l'idée de personne de raisonnable de courir un marathon sans entraînement, chaque reprise de la plongée en milieu naturel doit se faire de manière progressive, par faible profondeur (zone des 15-20 m). Ainsi, en France métropolitaine, les plongées du mois de mai sont particulièrement à risque (plusieurs morts chaque année selon le CROSSMED). De nombreux plongeurs, sédentaires le reste de l'année, présument de leur condition physique et descendent trop profond (ex. 40 ou 50 m) sans entraînement sous prétexte que leur brevet le permet. C'est une pratique dangereuse. La population la plus exposée est celle des plongeurs confirmés de plus de 50 ans (voir fiche 61).

#### Règle n° 3: Repos et hygiène de vie

Il est parfois difficile lorsque les séjours sont courts, de se raisonner et de ne plonger qu'après s'être bien reposé du voyage. C'est pourtant une bonne pratique. Le cas typique est celui des longs trajets en bus entre amis ou membres du même club, pour descendre sur la côte après une semaine de travail harassante et une longue période sédentaire. Le voyage, le manque de sommeil et les éventuels abus de boissons et de nourriture conduisent à une accumulation de fatigue qui augmente les risques d'accidents (voir fiche 62).

#### Règle n° 4: Exercice physique

Essayez de pratiquer une activité physique, même modérée, de l'ordre de 30 minutes de marche par jour. C'est un bon conseil non seulement pour la plongée, mais également pour la vie de tous les jours.

P4

DM

P5

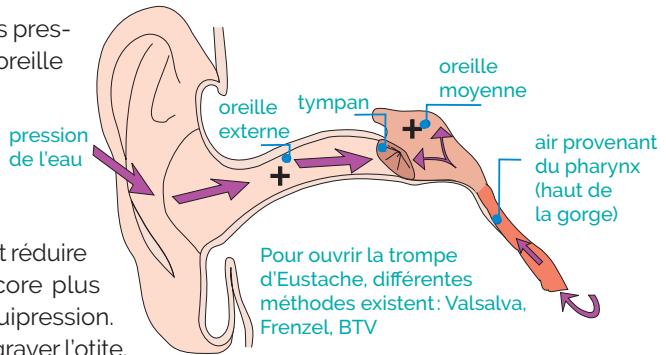
M

i

## Risque d'otite barotraumatique de l'oreille moyenne

À la descente, si l'équilibre des pressions ne s'effectue pas dans l'oreille moyenne, la dépression créée déforme le tympan qui se tend à l'extrême et se congestionne.

Cette congestion peut gagner la trompe d'Eustache et réduire sa perméabilité, rendant encore plus difficiles les manœuvres d'équipression. Ce cercle vicieux ne fait qu'aggraver l'otite.



## Risque de perforation du tympan

Une otite barotraumatique peut aboutir à une perforation du tympan. Le plongeur ressent généralement une forte douleur, accompagnée parfois de saignements et d'acouphènes (bourdonnements, sifflements...). Certains cas présentent aussi une surdité temporaire, voire des vertiges. La cicatrisation demande plusieurs semaines.

## Coup de piston: risque barotraumatique de l'oreille interne

Le « coup de piston » de l'étrier dans la fenêtre ovale provoque une brusque augmentation de pression dans le milieu liquidien de l'oreille interne.

Il peut résulter :

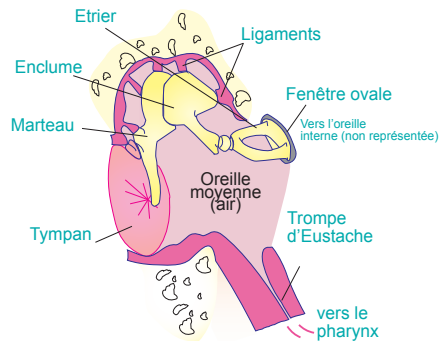
- d'un équilibrage brutal à la descente, par exemple du fait d'un Valsalva tardif et donc violent;
- d'une erreur de procédure à la remontée en effectuant un Valsalva plutôt qu'une manœuvre de Toynbee ou une simple déglutition.

En visualisant une oreille moyenne (voir schéma ci-contre), le mécanisme est simple à comprendre :

- 1) à la descente une dépression apparaît dans l'oreille moyenne faisant, en particulier, s'incurver le tympan;
- 2) plus la manœuvre d'équilibrage est tardive, plus elle risque d'être violente et non contrôlée, provoquant une arrivée d'air massive et brutale;
- 3) le retour brutal du tympan à sa position d'équilibre provoque une réaction en chaîne sur les osselets solidaires entre eux (marteau-enclume-étrier) pouvant conduire à la rupture de la fenêtre ovale avec atteinte de la cochlée voire même de la fenêtre ronde. L'oreille interne peut ainsi être endommagée avec une perte d'audition et/ou des troubles de l'équilibre, temporaires ou définitifs.

La prévention est évidente :

- équilibrer régulièrement au cours de la descente par une manœuvre douce et anticipée;
- ne jamais faire de Valsalva à la remontée non seulement pour éviter ce type de barotraumatisme mais également pour prévenir le risque d'accident de désaturation en cas de FOP (voir fiche 79).



# L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI)

## Présentation

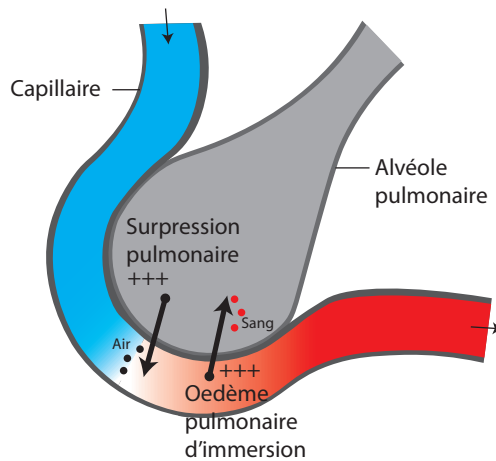
Un œdème pulmonaire est une accumulation de liquides (plasma, sang) dans les poumons. L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) peut survenir en plongée (scaphandre, recycleur, apnée) ou en nage de surface.

C'est une pathologie relativement nouvelle puisque décrite pour la première fois dans les années 1980<sup>1</sup>. Par le passé, l'OPI a probablement été confondu avec la surpression pulmonaire. Les OPI représenteraient 10 à 15 % des accidents graves contre 1 à 2 % pour les surpressions pulmonaires<sup>2</sup>.

Souvent bénin, parfois récidivant, il peut être mortel.

## Mécanisme général

La plongée entraîne divers phénomènes vasoconstricteurs provoquant une redistribution des masses sanguines (environ 700 ml) vers le thorax: blood-shift (voir fiche 50) et froid en particulier. Cela peut conduire à une plus ou moins grande augmentation de la pression capillaire pulmonaire, au risque de provoquer le passage de liquide (sang) dans les alvéoles, en cas de « défaillance de la barrière alvéolo-capillaire »<sup>3</sup>.



La surpression pulmonaire est due au passage d'air dans le sang. L'OPI est dû au passage de sang (liquides) dans les alvéoles pulmonaires.

P4

DM

P5

M

i

1. Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM., *Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension*, Lancet 1989, 1(8629):62-65.

2. *Recommandations de bonne pratique - Prise en charge en santé au travail des salariés intervenant en conditions hyperbares*, MedSubHyp et SFMT, 2016 révisé en 2023, p. 36.

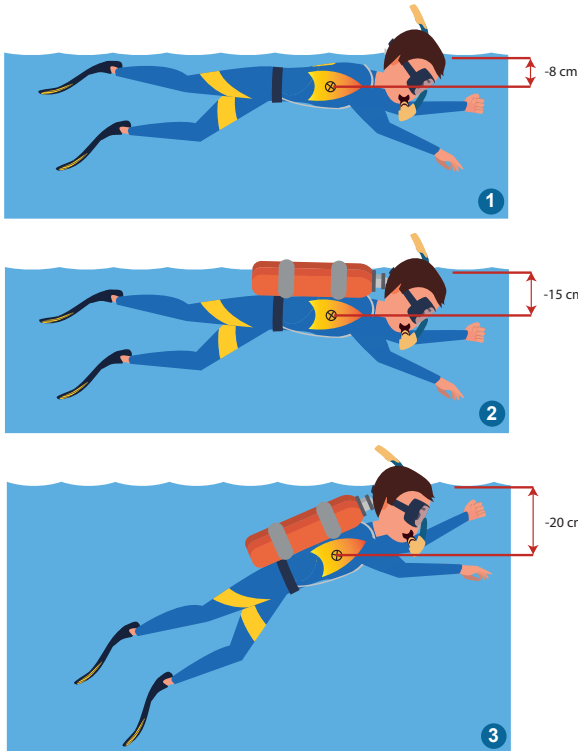
3. A. Henckes et V. Lafay, *L'œdème pulmonaire d'immersion*, dans *Cœur et plongée*, Ellipses, 2017, pp. 217-233.



## L'OPI en surface (nages)

Lors d'une nage en surface avec tuba, le plongeur doit vaincre, à l'inspiration, une pression hydrostatique qui correspond à la hauteur d'eau entre la surface et les poumons. On parle de charge pulmonaire statique (CPS) négative.

### Nage en capelé et risque d'OPI



Celle-ci est d'environ -8 cm pour une nage PMT (figure 1).

Pour une nage en surface avec bouteille et respiration sur tuba (capelé), le plongeur s'enfonce plus profondément dans l'eau du fait du poids de la bouteille. La CPS passe alors à -15 cm (figure 2) voire à -20 cm lorsque du fait de la fatigue, le plongeur incline de plus en plus son buste (figure 3).

Plus la CPS négative est élevée, plus l'effort ventilatoire inspiratoire est important, ce qui augmente le risque d'OPI.

Pour information, le même mécanisme entre en jeu avec des recycleurs dont le faux poumon est situé sur le dos.

Schéma d'après Wolff, D., Castagna, O., Morin, J. et al. *Characterizing Immersion Pulmonary Edema (IPE): A Comparative Study of Military and Recreational Divers*. Sports Med - Open 9, 108 (2023).

1. Wolff, D., Castagna, O., Morin, J. et al. *Characterizing Immersion Pulmonary Edema (IPE): A Comparative Study of Military and Recreational Divers*. Sports Med - Open 9, 108 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00659-4>

### Prévention

« Pour les plongeurs de loisir (...) âgés de 50 ans et plus, il est fortement conseillé d'éviter tout exercice physique intense et les situations qui déclenchent une augmentation de la CPS négative. Plus précisément, ces plongeurs doivent éviter de nager vigoureusement avec des palmes, en particulier dans les zones à fort courant. »<sup>1</sup>

P4

DM

P5

M

i

## FICHE 57

# Désaturation, de quoi parle-t-on ?

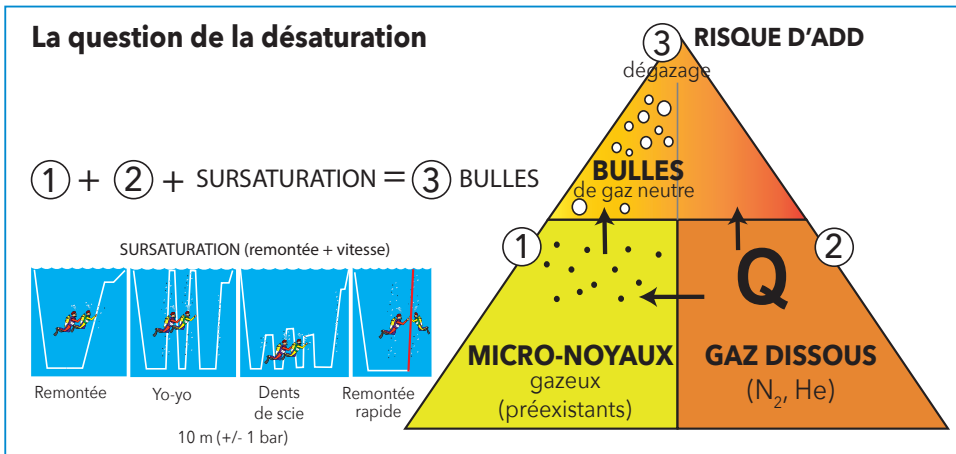
Trois éléments clefs doivent être considérés afin de comprendre la question de la désaturation :

1. La préexistence de micro-noyaux gazeux ;
2. La quantité de gaz neutre dissous ;
3. La formation de bulles à la remontée (sursaturation) à partir des noyaux-gazeux et du gaz neutre dissous, qui fait apparaître un risque d'accident de désaturation (ADD).

## Préexistence de micro-noyaux gazeux (schéma phase 1)

Dans les conditions rencontrées en plongée humaine, la sursaturation à la remontée ne peut pas provoquer de création de bulles à partir du seul gaz neutre dissous<sup>1,2</sup>. Ce sont les micro-noyaux gazeux, produits naturellement et continuellement par le corps (voir fiche 58), qui servent d'amorce à la création de bulles.

Lors de la décompression, « Les bulles ne peuvent s'étendre et se développer qu'à partir de micronoyaux gazeux préexistants »<sup>3</sup>.



1. Blatteau J-E, Souraud J-B, Gempp E, Boussuges A. *Gas nuclei, their origin, and their role in bubble formation*. Aviat Space Environ Med, 2006 Oct; 77(10):1068-76. PMID: 17042253.

2. En physique, théorie du changement de phase et de la germination ou de la nucléation. La nucléation homogène (à partir du seul gaz dissous) ne serait pas possible en plongée car elle nécessiterait une sursaturation (baisse de pression) importante, sans rapport avec celle subie par un plongeur. Seule la nucléation hétérogène (gaz dissous et noyaux gazeux) conduirait à la création de bulles dans les conditions rencontrées en plongée.

3. Arieli R (2017) *Nanobubbles Form at Active Hydrophobic Spots on the Luminal Aspect of Blood Vessels: Consequences for Decompression Illness in Diving and Possible Implications for Autoimmune Disease—An Overview*. Front. Physiol. 8:591. doi: 10.3389/fphys.2017.00591

## FICHE 58

# Bulles et micro-noyaux gazeux

## Des micro-noyaux préexistants

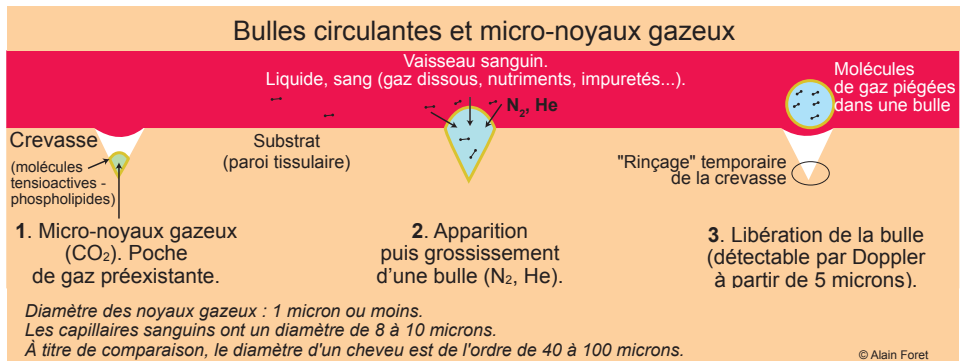
La première preuve de la présence de noyaux de gaz dans des organismes vivants a été donnée par Evans et Walder en 1969<sup>1</sup>.

Les recherches réalisées depuis cette date ont montré que les micro-noyaux gazeux préexistants sont probablement attachés à l'endothélium<sup>2</sup> (photo) et que l'activité physique en génère continuellement<sup>3</sup>.

Ces micro-noyaux gazeux seraient piégés dans des cavités et « recouverts de molécules tensioactives telles que les surfactants »<sup>3</sup> qui assureraient la stabilité de l'enveloppe permettant de capter des molécules de gaz dissoutes.



Vue au microscope électronique, coupe d'un capillaire sanguin avec un globule rouge. Photo : Louisa Howard, dartmouth.edu



Représentation simplifiée et imagée. D'après Marine nationale, *La Plongée*, Arthaud, 1967.

Les micro-noyaux gazeux grossissent à partir du gaz neutre dissous, jusqu'à exercer une telle force qu'ils se détachent de leur crevasse et sont libérés dans la circulation sanguine. Cela provoquerait un « rinçage »<sup>4</sup> temporaire du site qui expliquerait en partie pourquoi, en plongeant régulièrement, un même individu produit moins de bulles que lors de la reprise de l'activité. Ce point justifie, sur le plan de la prévention des ADD, de procéder à un **retour progressif** à la plongée (voir fiche 61)

1. Evans A, Walder DN. *Significance of gas micronuclei in the aetiology of decompression sickness*. Nature 1969; 222:251-2. PMID: 5778390 DOI: 10.1038/222251a0. Cité par Blatteau et coll.

2. Couche interne des vaisseaux sanguins, en contact avec le sang.

3. Blatteau J-E, Souraud J-B, Gempp E, Bousuges A, *Gas nuclei, their origin, and their role in bubble formation*. Aviat Space Environ Med. 2006 Oct;77(10):1068-76. PMID: 17042253.

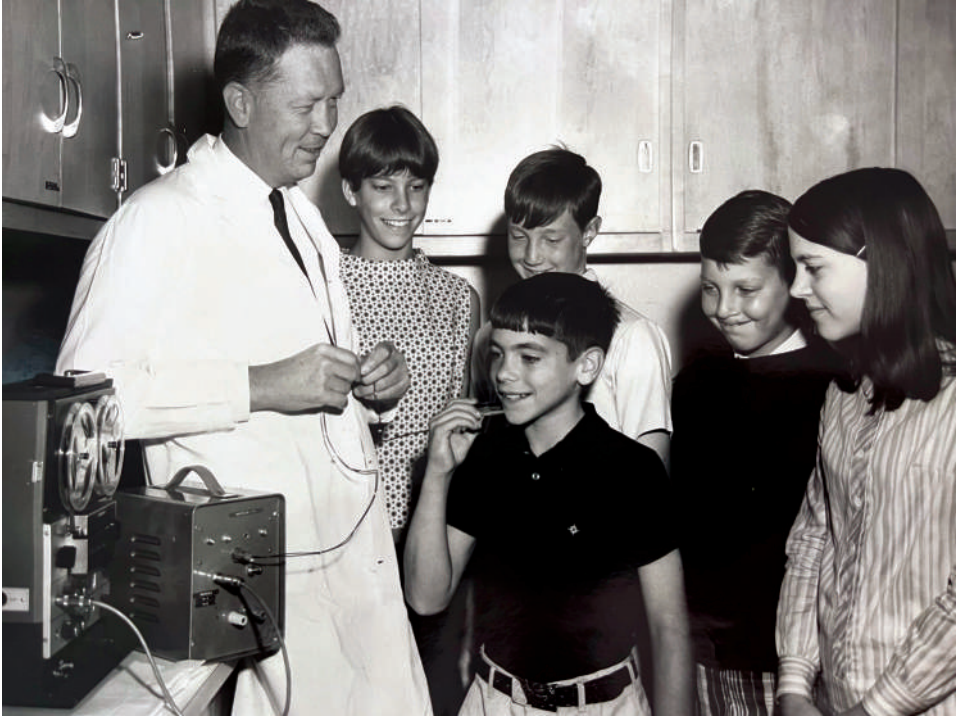
4. Arieli parle « d'acclimatation » : « une bulle détachée emporte avec elle une partie des phospholipides (...) » dans Arieli R, Marmur A. *A biophysical vascular bubble model for devising decompression procedures*. Physiol Rep. 2017 Mar;5(6):e13191. doi: 10.14814/phy2.13191. PMID: 28320890; PMCID: PMC5371562.



## FICHE 60

# Les bulles silencieuses

(Merill Spencer, 1968-1974)



Le Dr Merrill P. Spencer, directeur du Virginia Mason Research Center, présente son système de détection de bulles par ultrasons à un jeune public qui lui a remis une bourse de recherche de 40 dollars collectée lors d'une réunion de quartier. De gauche à droite: Dr Spencer, Carolyn Green, Tim Minor, Luke Hill, Robert Green, Jannah Hill. © Seattle Times Co., 30 juillet 1967, collection Alain Foret.

Toute désaturation génère des bulles.

Lorsqu'elles ne provoquent pas d'accident, on parle de « bulles silencieuses ».

Haldane avait noté ce phénomène dès 1905-1908<sup>1</sup>.

Ce sont des bulles tolérées par l'organisme à la condition :

- qu'elles restent de petite taille et en faible quantité ;
- que le plongeur n'en fasse pas passer dans la grande circulation par un comportement favorisant l'ouverture d'un shunt<sup>2</sup> cardiaque ou pulmonaire (Valsalva au palier, effort à glotte fermée..., voir fiche 79).

1. « Il ne fait aucun doute que certains de nos animaux n'ayant présenté aucun symptôme devaient avoir des bulles dans le sang. » dans Haldane J.-S. et coll., *The prevention of decompression air illness*, J. Hyg., 1908, p. 411.

2 Shunt: terme anglais signifiant dérivation, court-circuit. En médecine, il désigne l'ouverture de passages normalement fermés, soit au niveau du cœur (foramen ovale, voir fiche 79), soit au niveau des poumons. Cela peut, par exemple, faire passer du sang veineux directement dans le circuit artériel, sans passer par le filtre pulmonaire.

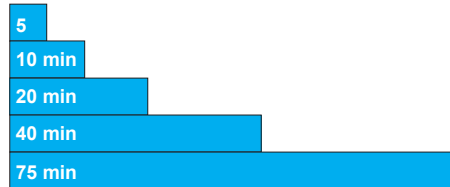
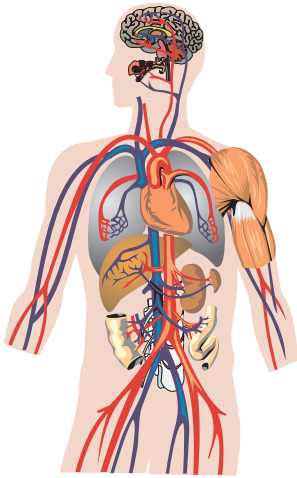
## La modélisation de Haldane

Selon la modélisation de Haldane, le processus de saturation et de désaturation du corps humain pourrait être représenté par des régions anatomiques factices appelées « compartiments », indépendantes les unes des autres et caractérisées par :

- Leur demi-vie ou « période », temps qui traduit la rapidité du processus de saturation/désaturation en gaz neutre.
- Leur seuil limite de tolérance à la sursaturation sans causer d'accident.

### SUR UN PLAN PRATIQUE :

1. La demi-vie permet de calculer le **niveau de saturation** des différents compartiments (au fond, durant la remontée, au palier, dans les heures qui suivent une plongée).
2. Le seuil de tolérance à la sursaturation dicte **les conditions de la remontée**.



**Modèle de désaturation** : la complexité du corps humain est résumée à quelques compartiments.

Si les résultats sont satisfaisants pour une utilisation dans la limite de validité du modèle, ils ne peuvent assurer une désaturation sûre à 100% des individus dans 100% des cas.

**Ne jamais confondre les « compartiments » avec de véritables « tissus » humains.**

Paramètres du modèle de Haldane (1908)					
Pression atmosphérique	1 bar (niveau de la mer)				
Fraction d'azote dans l'air respiré	80 %, soit 0,8 bar lorsque la pression atmosphérique est de 1 bar				
Numéro des compartiments	1	2	3	4	5
Demi-vie (ou période)	5 min	10 min	20 min	40 min	75 min

### Des régions anatomiques factices

La plage de valeurs des demi-vies retenues pour les compartiments a pour but de représenter une distribution des paramètres qui couvre l'ensemble du spectre des « vrais tissus », sans que les périodes ou demi-vies puissent être assimilées à de vrais organes ou tissus. À ce titre, la volonté de vulgarisation de certains auteurs, tentant de faire un lien entre organes et compartiments (régions anatomiques factices) conduit plus à créer une confusion et une mauvaise représentation des choses qu'à une clarification. Par définition, une modélisation ne reproduit pas la réalité mais considère des paramètres clefs qui, **sans être la stricte réalité, permettent d'obtenir des résultats fiables.**

## FICHE 65

# La question des plongées successives

Haldane n'a pas pris en compte, dans sa modélisation, la possibilité de réaliser plusieurs plongées par jour. Cela ne faisait d'ailleurs pas partie de la commande de la Royal Navy<sup>1</sup>. La gestion des plongées successives avec un jeu de paramètres haldaniens (US-Navy, Bühlmann, MN90, Comex...) suppose donc la mise en place d'une procédure additionnelle, hors modèle<sup>2</sup>.

## Cause de cette limitation

Le modèle de Haldane prévoit des compartiments en parallèle qui ne communiquent pas entre eux. La cohérence d'ensemble est assurée par la logique de compartiment directeur (voir fiche 64) : à la remontée, à chaque palier, le compartiment le plus restrictif (palier le plus profond et/ou le plus long) dicte ses conditions à tous les autres. Ainsi, le compartiment directeur contrôle les conditions de la désaturation.

Les calculs<sup>3</sup> montrent que pour la plupart des plongées de loisir, les compartiments directeurs ont des demi-vies courtes de l'ordre de 5, 10, 12 ou 18 minutes selon le jeu de paramètres utilisé, pour une première plongée comme pour une plongée successive. Après un intervalle en surface de six fois ces demi-vies (30, 60, 72, 108 minutes) les compartiments directeurs sont quasiment réinitialisés.

Lors de plongées successives réalisées dans cet intervalle, ces compartiments « courts » restent directeurs et n'imposent pas davantage de paliers qu'en plongée unitaire, alors que les compartiments « longs » n'ont pas terminé leur complète désaturation entre les deux plongées.

Le fait d'ignorer ce niveau de saturation des compartiments les plus longs est une faiblesse du modèle de Haldane qui peut favoriser les ADD.

Haldane était parfaitement conscient de cette limitation dès 1908 : « *Un plongeur doit souvent descendre deux fois ou plus à intervalles rapprochés. Au début de la deuxième descente, les parties du corps qui se désaturent le plus lentement n'auront pas eu le temps de perdre leur excès d'azote et, par conséquent, elles seront plus fortement saturées à la fin de la seconde descente que normalement.* »<sup>4</sup>

Selon Haldane, cela empêche, pour gérer les plongées successives, de se contenter de considérer le gaz neutre résiduel dans chacun des compartiments à l'issue de l'intervalle en surface<sup>5</sup>.

1. Admiralty, S.W., C.N. 11713/19049, 8th August 1905.

2. Afin de dépasser en partie cette limitation la Marine royale canadienne a créé un modèle « en série » connu sous le nom de DCIEM (voir fiche 66).

3. Ces calculs sortent du cadre de cette publication. Ils sont accessibles via le *Simulateur Universel de Calculs Haldaniens Plongée Plaisir*, disponible sur [www.plongee-plaisir.com](http://www.plongee-plaisir.com).

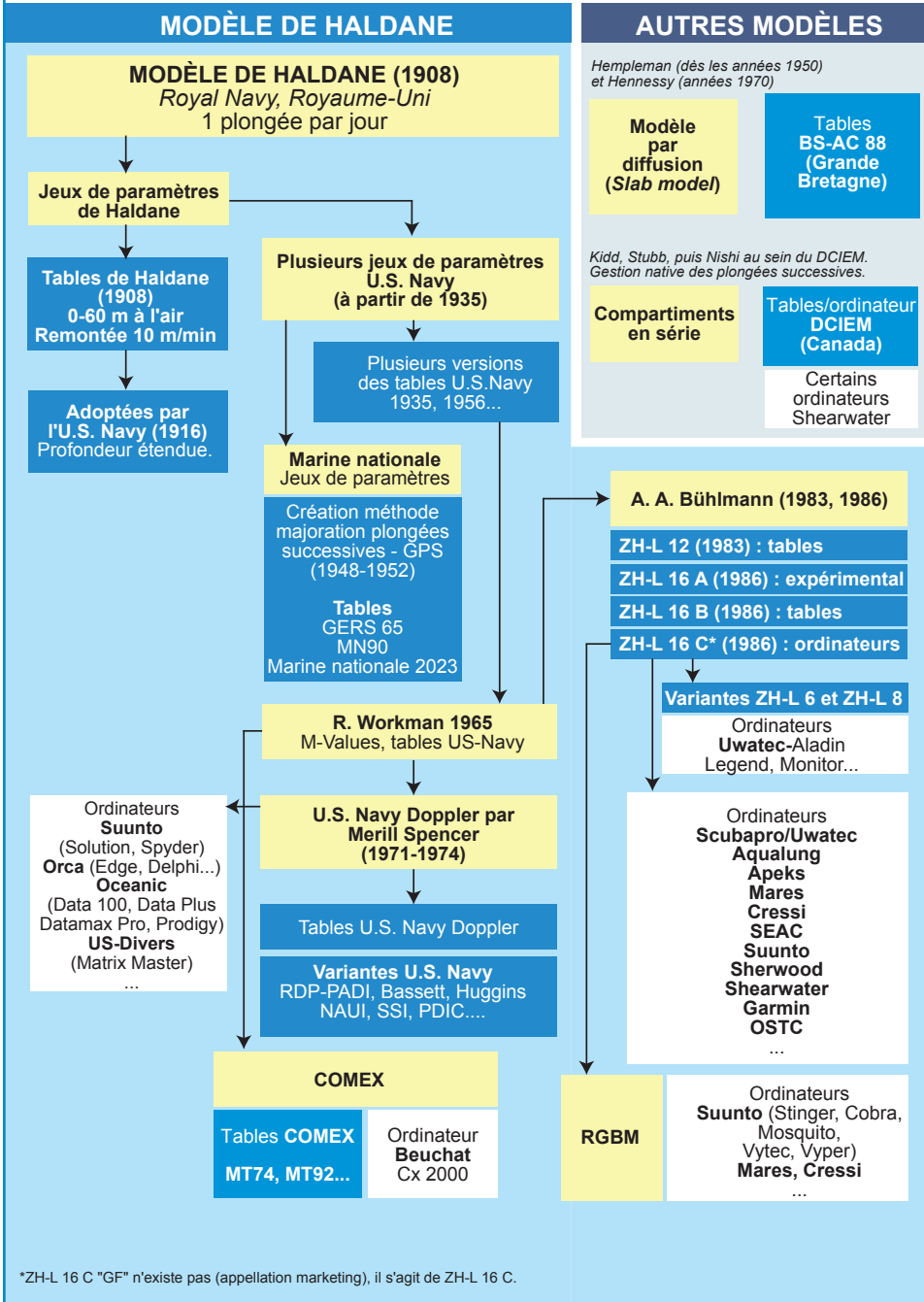
4. Haldane J.-S. et coll., *The Prevention of decompression air illness*, J. Hyg., 1908, pp. 369-370.

5. À cette limitation inhérente aux calculs haldaniens s'ajoutent les effets physiologiques d'une précédente plongée. Au-delà de l'azote dissous supplémentaire, il y a des bulles et des micronoyaux gazeux (voir fiches 58 et 76).



**AIDE-MÉMOIRE**

## Modèles et jeux de paramètres



\*ZH-L 16 C "GF" n'existe pas (appellation marketing), il s'agit de ZH-L 16 C.

## Les M-values

Comme déjà indiqué (voir fiche 64), le modèle de Haldane intègre deux équations :

- L'une qui détermine le niveau de saturation/désaturation.
- L'autre qui fixe les conditions de la remontée : « *Jusqu'à quelle pression absolue peut-on faire remonter les compartiments sans violer les rapports de pression définis par les seuils de tolérance à la sursaturation ?* »

$$P_{abs} = \frac{TN_2}{S_c}$$

Tout en conservant cette équation, Workman change la question. Il ne se demande plus jusqu'où les compartiments peuvent remonter mais : « *Quelle est la quantité maximale d'azote que chaque compartiment peut stocker à différentes profondeurs (surface, 3 m, 6 m...) sans violer les rapports de pression ?* »

L'équation devient :

$$TN_{2 \text{ max}} = P_{abs} \times S_c$$

Cela signifie, par exemple pour un  $S_c = 1,58$ , que la  $TN_{2 \text{ max}}$  est de :

- $1 \times 1,58 = 1,58$  bar en surface (1 bar de pression atmosphérique) ;
- $1,3 \times 1,58 = 2,054$  bars à 3 m (1,3 bar de pression absolue) ;
- $1,6 \times 1,58 = 2,528$  bars à 6 m ;
- $1,9 \times 1,58 = 3,002$  bars à 9 m ;
- etc.

Il est ainsi possible de savoir, à tout moment, jusqu'où le compartiment peut remonter : il ne faut pas que sa tension d'azote (calculée avec l'équation de Haldane en fonction de la durée et de la profondeur de plongée, voir fiche 64) soit supérieure à sa  $TN_{2 \text{ max}}$  à une profondeur donnée (surface, 3 m, 6 m, 9 m...).

Par exemple, si le compartiment ayant un  $S_c = 1,58$  contient 2,5 bars d'azote ( $TN_2 = 2,5 \text{ bars}$ ) en fin de plongée, il ne pourra pas rejoindre la surface car sa  $TN_2$  est supérieure à sa  $TN_{2 \text{ max}}$  de surface (1,58 bar).

Il ne pourra pas non plus rejoindre les 3 m car sa  $TN_{2 \text{ max}}$  à 3 m est de 2,054 bars. En revanche, il pourra rejoindre les 6 m où la  $TN_{2 \text{ max}}$  est de 2,528 bars.

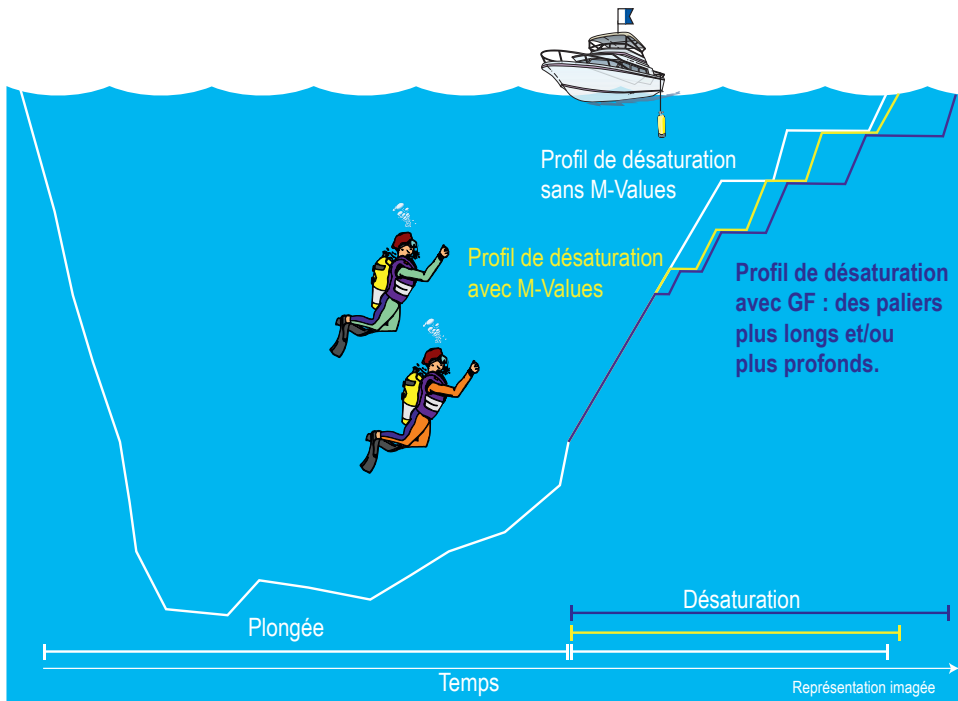
Cette  $TN_{2 \text{ max}}$  a été nommée par Workman **Maximum Value**, abrégée en **M-Value**.

Ce simple changement va modifier considérablement la donne.

Car Workman n'en reste pas là et va développer, dans l'équation, la variable  $P_{abs}$ .

Nous savons, depuis nos cours de niveau 1, que la pression absolue est égale à la pression atmosphérique  $P_{atm}$  augmentée de 1 bar tous les 10 mètres d'eau (ou de 0,1 bar tous les mètres). Ce qui peut s'écrire :

$$P_{abs} = P_{atm} + 1 \times \frac{p}{10}$$



Le décalage de profil de désaturation (plus profond voire plus long) provoqué par les M-Values par rapport aux Sc (sans M-Values) se poursuit avec les GF.

## Plongées à l'air ou au nitrox

Pour les plongées à l'air ou au nitrox, seule l'utilisation des GF jumeaux est recommandée afin de ne pas provoquer de paliers profonds (voir fiche 75).

Cette utilisation est implémentée depuis longtemps dans les ordinateurs de plongée, via les modes du type « Personnalisation », « P Factor », « Facteur de prudence » ou « Safety factor ». Selon les marques, ce sont les réglages « L0, L1, L2... », « MBL0, MBL1, MBL2... », « P0, P1, P2... ». Les GF sont fixés à 90/90 ou 85/85 en mode « 0 » et se décrémentent de 5 en 5 (ex. 80/80, 75/75...) lorsque le paramétrage est modifié (option « 1 », « 2 », ...). Les GF 100/100 ne sont pas utilisés car un ordinateur de plongée suit le profil du plongeur au plus près sans marge de sécurité, contrairement aux tables (profil carré).

À l'air ou au nitrox, les valeurs généralement retenues pour les GF sont donc de l'ordre de 90/90, 85/85 ou 80/80 (voire 75/75 ou 70/70 en cas de facteurs de risques importants – ce qui peut aller jusqu'à poser la question d'annuler la plongée).

### Exemple de calculs de paliers avec différents GF appliqués à ZH-L 16 C (air)

Prof (m)	Durée (min)	GF <sub>low</sub> /GF <sub>high</sub>	Paliers (min)		Variation (min)
			6 m	3 m	
20	60	100/100		7	
20	60	90/90		13	+6
20	60	85/85		16	+9
20	60	80/80		19	+12
20	60	70/70	3	26	+22

1. Les résultats sont similaires à ceux obtenus avec des tables en prenant une durée de plongée supérieure à la durée réelle (ex. 30 ou 35 min de plongée au lieu de 25 min).

## FICHE 73

# Remontées rapides, yo-yo et plongées en dents de scie

## Définition d'une remontée rapide

Une vitesse de remontée est dite « rapide » si elle est dangereuse physiologiquement pour le plongeur. Depuis 1990, la « bonne » vitesse de remontée (voir fiche 72) retenue mondialement est de 10 m/min, soit de l'ordre de 9 à 12 m/min en pratique.

En conséquence, une remontée rapide<sup>1</sup> serait une remontée à une vitesse supérieure à 12 m/min.

Aucun modèle de désaturation, qu'il soit transcrit sous forme de tables ou programmé dans un ordinateur de plongée (ex. Bühlmann, RGBM...) ne sait « gérer » une remontée rapide, c'est-à-dire une remontée supérieure à la vitesse prévue par le jeu de paramètres du modèle (voir fiche 64).

Au mieux, des ajustements arbitraires sont effectués, via les GF (voir fiche 69). En toute rigueur, il faudrait donc ne jamais faire de remontée rapide.

## Les risques d'une remontée rapide

Nous savons que toute remontée provoque la création de bulles dites « silencieuses » lorsqu'elles ne provoquent pas d'accident.

Une remontée rapide est un facteur de risque supplémentaire de faire apparaître des bulles pathogènes car en trop grand nombre et/ou de trop grande taille.

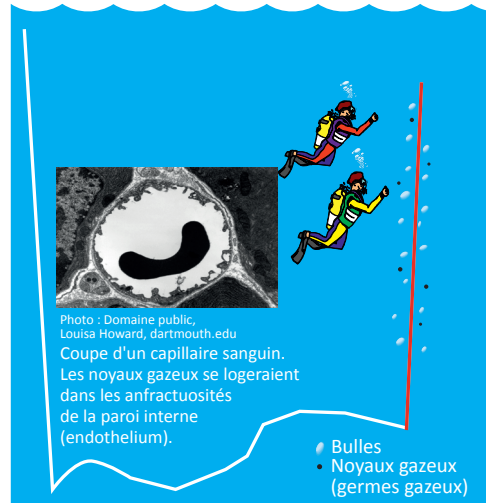
De plus, cela favoriserait la création de noyaux gazeux (voir fiche 58) qui augmenteraient le potentiel de création de bulles lors des plongées suivantes.

## Situation 1 : Signes d'accident

Si des signes d'accident apparaissent, la seule conduite à tenir est de lancer la procédure de secours (voir fiche 81).

## Situation 2 : Remontée en fin de plongée (ex. panique)

Le cas de remontées rapides en milieu ou fin de plongée (ex. panne d'air, panique, erreur de procédure...), c'est-à-dire avec un niveau de saturation élevé doit conduire à lancer la procédure de secours (voir fiche 81), même en l'absence de signes d'accident.



Remontée rapide  
Représentation imagée de la création de bulles et de noyaux gazeux (germes gazeux).

P4

DM

P5

M

i

1. À ce titre, la vitesse de 15 m/min des tables MN90-FFESSM ne doit pas être enseignée en pratique (voir fiche 72). Récemment, la Marine nationale a réduit cette vitesse à 12 m/min.

Mais ces microbulles peuvent aussi :

- grossir lors de la remontée ou s'associer entre elles pour former des emboles ou des manchons gazeux qui deviennent alors pathogènes ;
- passer dans le circuit artériel, même si leur nombre est relativement faible, par exemple lors d'une manœuvre de Valsalva au palier en cas d'existence d'un FOP (voir **fiche 79**).

Les signes dépendent de la localisation des bulles pathogènes.

## Prévention des risques

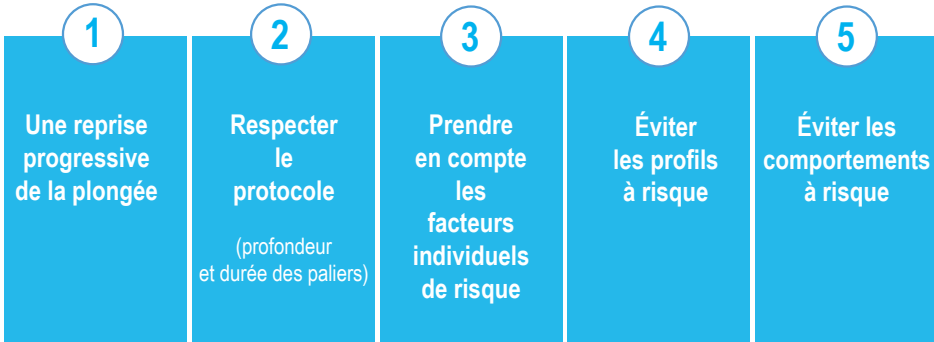
Si, comme déjà dit, les risques sont relativement faibles, les études<sup>1</sup> montrent que 70 % à 90 % des ADD surviennent malgré le respect des procédures (ordinateurs, tables). Cela signifie que l'amélioration constante des procédures et des formations permet de bénéficier désormais d'une désaturation sûre, mais que les cas qui persistent se situent majoritairement en dehors du domaine de validité des protocoles et donc de la modélisation.

Pour plonger en sécurité, il faut donc non seulement :

- 1) Effectuer une reprise progressive de la plongée ;
  - 2) respecter un protocole de désaturation ;
- mais également prendre en compte :
- 3) l'existence de facteurs individuels de risque ;
  - 4) les profils de plongée à risque ;
  - 5) les comportements à risque.



### ADD : LES 5 PILIERS DE LA PRÉVENTION



#### 1. Une reprise progressive de la plongée

Il est fondamental de reprendre l'activité progressivement afin de permettre à notre corps de se réhabituer aux phases de saturation/désaturation (voir **fiche 61**).

1. Enquête annuelle DAN; enquête FFESSM, Commission Médicale et de Prévention Nationale (2013); *Prise en charge en santé au travail des salariés intervenant en conditions hyperbares*, MedSubHyp et SFMT, 2018, p.28.



Plongeur de niveau 4, vous êtes non seulement un guide de palanquée mais aussi un encadrant qui aide à l'organisation de l'activité. Vous devez donc connaître les règles et le matériel de sécurité concernant les embarcations, le matelotage, la surveillance des palanquées et les procédures de secours.

Ce chapitre résume les connaissances utiles en complément des cours dispensés par vos moniteurs.

## FICHE 82

### L'embarcation : règles et matériel de sécurité

En dehors des règles et du matériel propres à sa catégorie de navigation, tout navire de plongée est soumis à des obligations spécifiques.

#### Pour la sécurité des plongeurs

**1. Un pavillon Alpha (lettre « A »** du code international des signaux) signifiant « plongeurs en immersion » doit être arboré de jour (de nuit, feux rouge/blanc/rouge).

La conduite à tenir diffère selon les régions maritimes (voir fiche 8).

#### STATUT DU NAVIRE

Les navires de plongée sont classés, de plein droit, en « plaisance navire de formation ». Le décret n° 84-810 du 30 août 1984 modifié indique: *3.2. Navire de plaisance de formation: tout navire de plaisance utilisé dans le cadre [...] d'un établissement d'activités physiques ou sportives [...] qui organise à titre principal et à des fins de formation la pratique d'une activité aquatique, nautique ou subaquatique [...].*

Le statut dit « au commerce » peut être choisi sur demande.

**2. Une tablette de notation** immergeable doit être disponible.

**3. Un jeu de tables** de décompression lors de plongées au-delà de 6 m en milieu naturel.

**4. Une bouteille d'air de secours** équipée de son détendeur doit être prête à l'emploi, mais elle n'est pas nécessairement dans l'eau, au pendeur. En cas de plongée effectuée avec un mélange respiratoire autre que l'air, une ou plusieurs bouteilles de secours équipées de détendeurs, dont le contenu prévu par le plan de secours est adapté à la plongée organisée, doivent être disponibles.

P4

DM

P5

M

i

# Test de connaissances n° 7

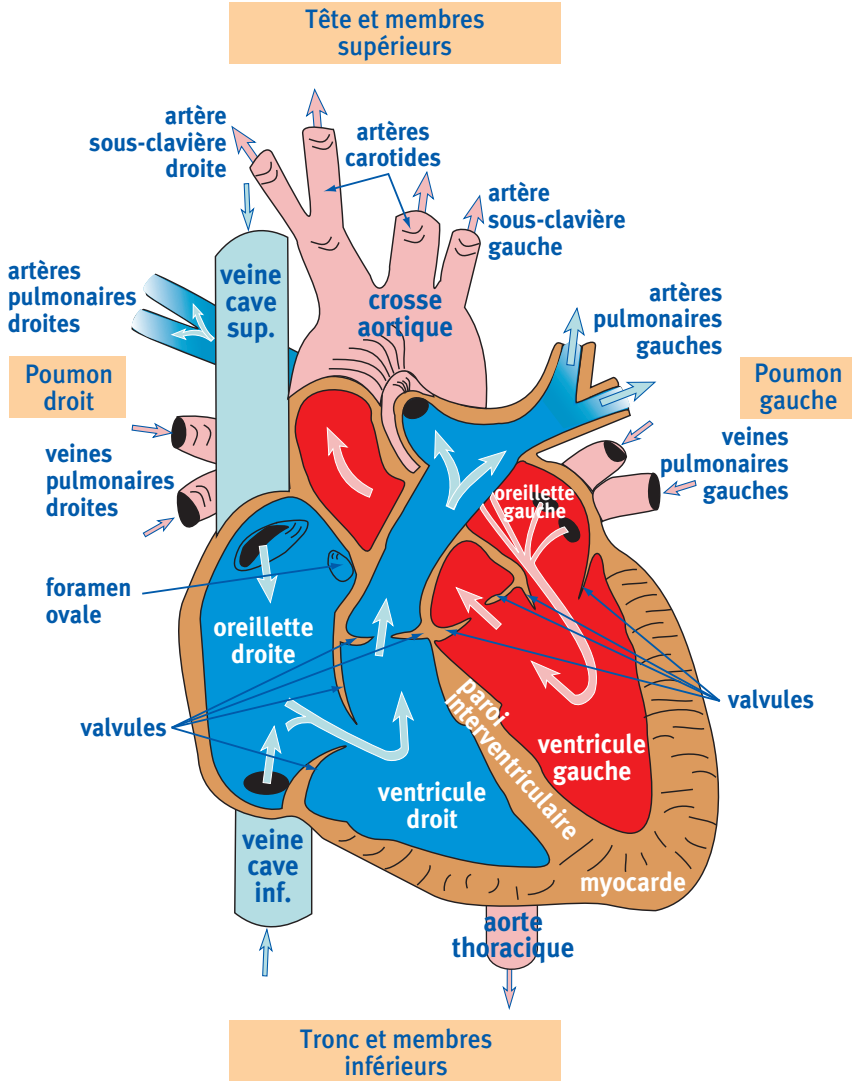
## CADRE RÉGLEMENTAIRE

1. Que signifie le pavillon alpha ?
2. Quelles sont les caractéristiques du pavillon alpha ?
3. Quand le pavillon alpha doit-il être hissé ?
4. Comment est signalée la plongée de nuit ?
5. Sur un bateau de plongée, quels sont les règles et le matériel de sécurité obligatoires (spécifiques à l'activité) ?
6. Quel est le contenu minimum de la trousse de secours ?
7. Quels sont les moyens de communication permettant de prévenir les secours ?
8. Détaillez le contenu du matériel d'oxygénothérapie nécessaire à bord d'un bateau de plongée.
9. Qu'est-ce qu'un plan de secours ?

## MATELOTAGE

10. Quelles sont les sources d'information pour la météo marine ?
11. Quelles sont les caractéristiques d'un bulletin météo ?
12. Quelles précautions prenez-vous pour pratiquer la plongée lorsqu'il y a des marées significatives ?
13. Que signifie « mer belle » ?
14. Que signifie « BMS » ?
15. Qu'est-ce qu'un amer ?
16. Qu'est-ce qu'un alignement ?
17. Qu'est-ce qu'une enseigne ?
18. Qu'est-ce que le GPS ?
19. Qu'est-ce que le DGPS ?
20. Qu'est-ce qu'un sondeur ?
21. En quoi un sondeur peut-il être utile en plongée ?
22. Qu'est-ce qu'un mouillage ?
23. Quelle est l'utilité d'une chaîne de mouillage ?
24. Quelle est l'utilité d'une ancre ?
25. Quelles précautions prenez-vous pour mouiller une embarcation ?
26. Vous assurez la sécurité de surface, quelles précautions prenez-vous, que mettez-vous en place ?
27. Vous devez fixer une bouteille à un pendeur. Quel nœud faites-vous ? Réalisez ce nœud et justifiez votre choix.
28. Réalisez un nœud de huit, un nœud de plein poing, un nœud du pêcheur, un nœud d'écoute double, un nœud de cabestan, un nœud de chaise.
29. Vous devez lover un cordage. Comment faites-vous ?
30. Vous devez lancer une amarre. Comment faites-vous ?

LE CŒUR



**Information**

**Bradycardie** : Ralentissement du rythme cardiaque au-dessous de 60 contractions par minute.

**Bradycardie réflexe** : Le contact des narines, et surtout du pourtour des lèvres, avec de l'eau froide provoque un ralentissement du rythme cardiaque.

**Apnée** : On constate une bradycardie et une vasoconstriction périphérique liées à l'apnée. Cette adaptation permet d'apporter une quantité d'O<sub>2</sub> suffisante au cœur et au système nerveux central.

**Tachycardie** : Accélération durable ou permanente de la fréquence cardiaque, au-delà de 100 battements par minute.

## FICHE 91

# Le sang : un transporteur

## Rôle

Le sang transporte des éléments nutritifs à nos cellules, les hydrate, répartit la chaleur, les anticorps (défenses de l'organisme) et les gaz ( $N_2$ ,  $O_2$ ).

Il évacue aussi déchets et substances en excès, soit en les acheminant aux poumons ( $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ), soit par les reins et la peau.

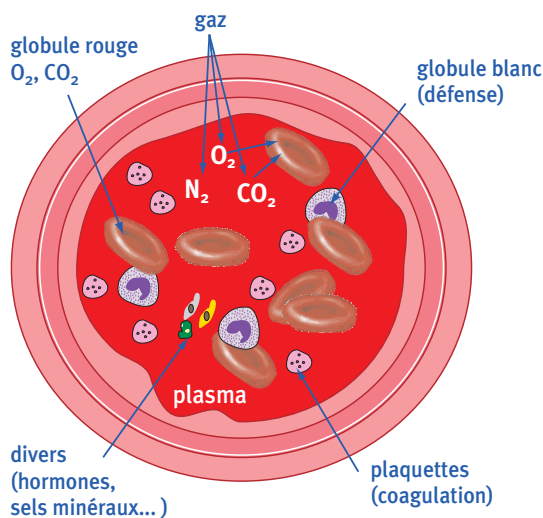
## Composition

Le sang représente en moyenne 8 % de notre poids, soit 5 à 6 litres. Composé à plus de 50 % d'eau, les éléments qu'il contient sont en suspension dans un liquide : le plasma. Nous y trouvons des globules rouges, des globules blancs, des plaquettes et diverses autres substances : nutriments, minéraux ou protéines, hormones, déchets et **gaz sous différentes formes** :  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ .

Les **globules rouges** participent au transport de l' $O_2$  (et accessoirement du  $CO_2$ ) entre les poumons et le reste de l'organisme. Chaque globule rouge renferme des molécules d'**hémoglobine** qui contiennent du fer (d'où la couleur rouge) pour fixer l'oxygène et une partie du  $CO_2$ . Le sang est rouge vif lorsqu'il est riche en oxygène (sang hématosé), il devient rouge foncé lorsqu'il est chargé en  $CO_2$  et appauvri en oxygène (sang non hématosé). En cas d'apparition de bulles dans le sang, les globules rouges ont tendance à s'agréger.

Les **globules blancs** ont pour fonction principale de défendre l'organisme contre les agressions : virus, bactéries, corps étrangers... Les **plaquettes** sont essentielles à la coagulation (voir le phénomène de réaction plaquettaire, **fiche 80**). Si le sang coagule trop rapidement, cela peut créer des caillots dans les vaisseaux et les obstruer. Si, au contraire, le sang ne coagule pas assez vite, cela peut provoquer des hémorragies.

Malgré leur petite taille, les plaquettes renferment de nombreuses substances chimiques qui permettent de déclencher une réaction en chaîne et de réparer les parties endommagées des vaisseaux sanguins. Cette même réaction se produit face à des corps étrangers, comme des bulles d'azote.



Représentation simplifiée des éléments constitutifs du sang (échelle non respectée).

L'immersion en scaphandre modifie sensiblement notre ventilation. En particulier, les études sur le sujet ont montré :

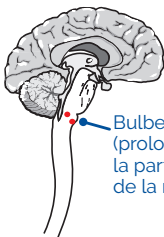
- **Une diminution des volumes pulmonaires**, due à un afflux sanguin vers le thorax (voir fiche 50) avec une redistribution d'une partie du sang dans les vaisseaux pulmonaires. Cela a aussi pour effet d'augmenter le travail des muscles de la ventilation. Ce phénomène est accentué par le port d'une combinaison qui comprime plus ou moins la poitrine.
- **Une résistance ventilatoire accrue du fait du détendeur**, qui rend plus difficiles les inspirations tête haute et les expirations tête basse. Dans tous les cas, la mise en bouche d'un détendeur oblige à une expiration active. Tous ces phénomènes augmentent les risques de fatigue à l'effort.
- **Une diminution de débit maximal**, due à l'augmentation de la masse volumique (viscosité) de l'air qui limite son écoulement par la formation de turbulences. Ce débit est réduit de manière significative dès 30 à 40 m, pour atteindre 70 % de sa valeur de surface à une profondeur de 60 m. « *Ainsi, en plongée, les débits ventilatoires maximaux de sujets sains sont comparables à ceux des sujets insuffisants respiratoires en surface* »<sup>1</sup>.

*Nous pouvons en déduire que tous ces facteurs concourent à favoriser l'essoufflement, du fait d'une ventilation alvéolaire insuffisante et d'une fatigue accrue des muscles ventilatoires.*

## CHÉMORÉCEPTEURS

Lorsqu'il y a une augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans le sang artériel, cela stimule des récepteurs sensibles aux substances chimiques : les chémorécepteurs du bulbe rachidien (**chémorécepteurs centraux**) et ceux de l'aorte et des carotides (**chémorécepteurs périphériques**). Cela entraîne un mécanisme de régulation : augmentation de la fréquence et de l'amplitude ventilatoire, jusqu'à ce que le taux de CO<sub>2</sub> revienne à la normale.

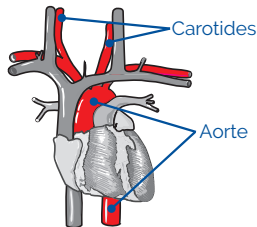
### TRONC CÉRÉBRAL



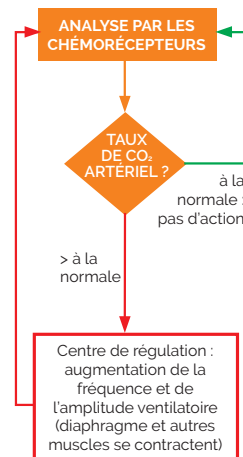
Bulbe rachidien (prolongement de la partie supérieure de la moelle épinière).

Centres inspiratoire et expiratoire. Localisation des chémorécepteurs centraux.

### CŒUR



Localisation des chémorécepteurs périphériques.



1. Pr Regnard J. *DU Médecine de la plongée et du travail en atmosphère hyperbare*, Faculté de médecine, Cochin Port-Royal, polycopié, 1995-1996, pp. 119-120.

## FICHE 106

# Le risque de syncope en apnée

## Définition

La syncope en apnée est une perte de connaissance brutale, temporaire et réversible due à une diminution excessive des réserves d'oxygène (voir fiche 52).

## Situations à risque

Fort heureusement, la nature nous protège contre ce risque en faisant apparaître l'envie de respirer, la « soif d'air », bien avant le seuil de syncope.

Généralement, ce n'est que lorsque ce mécanisme de protection est ignoré ou leurré que le risque se concrétise. Ce peut être le cas lorsque :

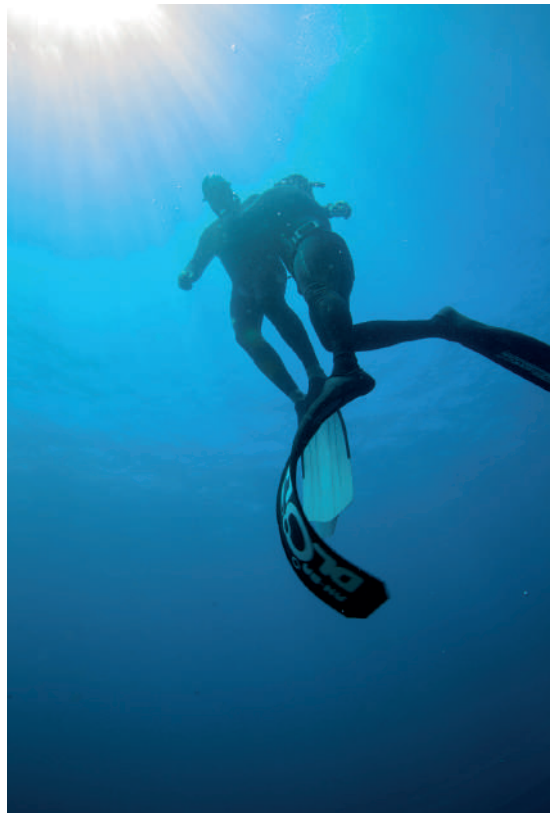
- nous pratiquons l'hyperventilation, ce qui **masque** les signaux d'alerte ;
- nous prolongeons une apnée au-delà de nos capacités, sans être capables d'**interpréter** ou d'**écouter** les signaux d'alerte envoyés par notre corps.

La syncope apparaît généralement en fin d'apnée, à l'approche de la surface, voire même juste après qu'elle ait été atteinte.

## Conseils de prévention

Nous pouvons d'ores et déjà en déduire les premières règles de prévention :

- Connaître son corps et ses limites.
- Ne jamais repousser brutalement ses performances maximales.
- Ne jamais faire d'hyperventilation.
- Ne jamais pratiquer d'apnée seul.
- Être surveillé par une personne connaissant les risques de l'activité et en capacité d'intervenir à la fois dans l'eau et en procédure de secours en surface.



La syncope est le risque principal de l'apnée. Ici, entraînement au sauvetage d'un apnéiste syncope. Les règles de prévention doivent être scrupuleusement respectées.

FICHE 115

## Compresseur et station de gonflage

Contrairement aux solides et aux liquides, très peu compressibles, les gaz se compriment aisément. Cette opération consiste à rapprocher les molécules pour en faire tenir un plus grand nombre dans un même volume. Pour cela, on utilise un compresseur.

### Principe : la montée en pression

En plongée, les compresseurs que nous utilisons compriment de l'air pour l'amener progressivement de la pression atmosphérique à la pression désirée : 176, 200, 230 ou 300 bars. Le cœur du mécanisme est le plus souvent un ensemble de plusieurs **pistons** en mouvement, chacun à l'intérieur d'un **cylindre**.

Lorsque le premier piston descend, cela ouvre un clapet d'aspiration par lequel l'air ambiant s'engouffre jusqu'à la limite de course du piston. Puis il remonte, ce qui ferme le clapet d'**aspiration**. Lorsque la pression dans le cylindre atteint le seuil de déclenchement du clapet de refoulement, l'air se déverse dans un autre cylindre, plus étroit que le précédent. Cette diminution de volume entre les deux cylindres provoque une montée en pression. Le même mécanisme se poursuit en plusieurs étapes appelées « étages »<sup>1</sup> jusqu'à atteindre la pression maximale prévue.

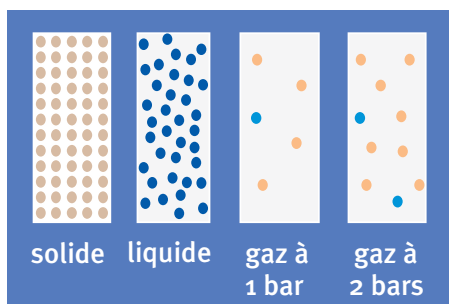


Schéma symbolique des différents états de la matière (échelles non respectées).

1 <sup>er</sup> étage	2 <sup>e</sup> étage	3 <sup>e</sup> étage	4 <sup>e</sup> étage	5 <sup>e</sup> étage
6 bars	45 bars	225 à 330 bars		
4 bars	20 bars	60 bars	225 à 330 bars	
4 bars	15 bars	45 bars	150 bars	350 à 500 bars

Exemples d'augmentation de pression entre étages sur différents types de compresseurs. La montée à de telles pressions (200, 300 bars) ne peut s'effectuer que par étages successifs, car les contraintes imposées en température et en efforts mécaniques ne peuvent être supportées ni par les matériaux, ni par les huiles. Il existe cependant des compresseurs à un étage pour un usage limité à de faibles pressions (exemple : pistolet à peinture).

1. Étage : ensemble cylindre-piston.