Plongée

Alain FORET

*
*
*
*
*
11e édition

Édition entièrement revue et augmentée

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

SE IL

Conseillé par

WAY THE

éditions

WORLDIVERS

Alain FORET





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

Sommaire

Introduction Mode d'empl	oi
^e partie	- L'encadrant de palanquée
UL1	Le cadre de pratique
Fiche n°1	La plongée en France
	La plongée de loisir • Milieu naturel et milieu artificiel
	Plongées d'exploration et d'enseignement • Plongées encadrées (PE) et plongées autonomes (PA) • Limite de profondeur en plongée à l'air
Fiche n°2	
	Espaces d'évolution, aptitudes, brevets et qualifications
Fiche n°3	Les niveaux en plongée Niveaux de plongeurs et d'encadrants · Prérogatives en exploration
	et en enseignement • Possibilités offertes à un plongeur niveau 4
	Moniteurs et instructeurs
Fiche n°4	La notion de palanquée
Fiche n°5	Le directeur de plongée (DP)
	Rôle et responsabilités • Qualifications requises • Prérogatives
Fiche n°6	La fiche de sécurité
Fiche n°7	Le plan de secours
	Plan de secours • Tableau d'organisation des secours
Fiche n°8	Signalisation des plongeurs en immersion
	Signalisation en mer • Signalisation dans les eaux intérieures
est de co	nnaissances nº1
UL 2	Guider sa palanquée
Fiche n°9	Prérogatives du guide de palanquée (niveau 4)
i iche n g	Prérogatives du guide de palanquée: en exploration, comme aide aux enseignant.
	et pour les baptêmes en milieu artificiel • Prérogatives en autonomie
	Une adaptation aux circonstances et aux aptitudes des plongeurs · Nitrox
	Plongées enfants
Fiche n°10	Équipement obligatoire en plongée
	Guide de palanquée • Plongeur encadré • Plongeur autonome
Fiche n°11	Notions de responsabilités et d'assurance
	Responsabilité civile • Responsabilité pénale • Responsabilité et assurances Mise en danger délibérée d'autrui • Risque accepté et obligation de moyens
	Contrats d'assurance et conventions d'assistance • Notion de tiers

Fiche n 12	La conduite de patanquee
Fiche n°13	Typologie des sites de plongée et orientation
Fiche n°14	Flottabilité et équilibre
	L'immersion • Les risques du surlestage • Vérifier un lestage • Vérifier l'équilibre Facteurs influençant la flottabilité
Fiche n°15	La lumière et l'eau
Fiche n°16	Suivi de la consommation d'air
Fiche n°17	Approche des espèces
	Technique d'approche • Les poissons qui vivent en bancs • La ligne latérale
Fiche n°18	Protéger la nature
Fiche n°19	Charte internationale du plongeur responsable
Fiche n°20	Un palmage respectueux
Fiche n°21	Nettoyage, désinfection et rinçage du matériel
Test de co	nnaissances n°2
UL 3	Aider au choix du matériel
Fiche n°22	Les palmes
Fiche n°23	Le masque
	Masque • Verres correcteurs • Lentilles de contact • Vision sous l'eau
	Masque et buée
Fiche n°24	Le tuba
Fiche n°25	La combinaison et le lestage Les combinaisons · Néoprène et environnement · Lestage
Fiche n°26	Le gilet
i iciic ii 20	Types · Modèles · Volume · Gilet et lestage
Fiche n°27	L'ordinateur de plongée
,	L'ordinateur de plongée · Les logiciels ne sont pas certifiés · Les notices ne sont pas des guides d'apprentissage · Notices, consignes et aspects juridiques · Principe de fonctionnement · Profondeur affichée · Les écrans · Accès aux fonctions Critères de choix techniques · Interfaces · Piles et accus · Entretien courant Choisir un ordinateur de plongée
Fiche n°28	Le détendeur
	Principe général · Notions d'étanchéité · Marquage CE · Fonctionnement Membrane et piston · Détendeurs et eaux froides · DIN/Étrier · Compensation Surcompensation · Effet Venturi (et effort inspiratoire) · Effet Vortex Éléments de choix · Entretien et précautions · Clapet amont · Risques de pannes
Fiche n°29	Le manomètre
	Manomètres à aiguilles • Ordinateurs à gestion d'air • Systèmes de liaison Appairage • Sondes • Paramétrages • Affichage • Signal perdu
Fiche n°30	La bouteille de plongée
	Matériaux • Volumes • Nature du gaz, « G1 », « G2 » • Notice d'instructions
	Transport des bouteilles • Inspection périodique et requalification
	Date de mise en service • Précautions • Robinetterie • Opercule (BTR5, BTR8) et joints • Adaptateur • Fixation du gilet sur une bouteille de plongée

Fiche n°31	che n°31 Lampes et phares de plongées La lumière artificielle · Température de lumière · Indice de Rendu des Couleurs (IRC) · LED · Lumens et watts · Faisceau · Accus · Précautions						
Test de co	nnaissances n°3						
UL 4	Connaissance du monde subaquatique						
Fiche n°32	La classification des espèces Classification traditionnelle • Classification phylogénétique						
Fiche n°33	Le règne végétal 40 000 algues et quelques plantes sous-marines						
Fiche n°34	Le règne animal – les invertébrés Éponges · Cnidaires (méduses, corail, gorgones…) · Vers · Crustacés · Bryozoaires Gastéropodes · Mollusques (bivalves, céphalopodes) · Echinodermes · Tuniciers						
Fiche n°35	Le règne animal – les vertébrés 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						
Test de co	nnaissances n°4						
Test de co	nnaissances n°4						
Test de co	Prévention des risques						
UL 5	Prévention des risques Quatre règles fondamentales						
UL 5 Fiche n°36	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée Otite barotraumatique · Perforation du tympan · Coup de piston Vertige alterno-barique · Accident de désaturation · Otite infectieuse						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences						
UL 5 Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°39 Fiche n°40	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°39 Fiche n°40	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°40 Fiche n°41 Fiche n°42	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire Les sinus Les dents						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°40 Fiche n°40 Fiche n°42 Fiche n°43	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire Les sinus Les dents Estomac et intestin						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°40 Fiche n°40 Fiche n°41 Fiche n°42 Fiche n°43 Fiche n°43	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire Les sinus Les dents Estomac et intestin Le risque de placage de masque.						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°40 Fiche n°40 Fiche n°42 Fiche n°43	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire Les sinus Les dents Estomac et intestin Le risque de placage de masque Le risque d'essoufflement						
Fiche n°36 Fiche n°37 Fiche n°38 Fiche n°40 Fiche n°40 Fiche n°41 Fiche n°42 Fiche n°43 Fiche n°43	Prévention des risques Quatre règles fondamentales Visite médicale · Reprise progressive · Repos et hygiène de vie · Exercice physique Visite médicale Les oreilles en plongée 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 Oreilles et manœuvres d'équilibrage Prévention de la surpression pulmonaire Mécanisme: expirer suffisamment · Atteintes et conséquences Procédure d'urgence · Causes et prévention · Vraies et fausses idées sur les risques de surpression pulmonaire Les sinus Les dents Estomac et intestin Le risque de placage de masque.						

Fiche n°46	Froid et thermorégulation
	Spécificités de l'immersion • Mécanisme de déperdition de chaleur • Réactions
	de l'organisme • Signes • Facteurs favorisants • Prévention • Conduite à tenir
Fiche n°47	La narcose à l'azote
	La plongée profonde • Les effets de la narcose • La crise de narcose • Signes
	Facteurs favorisants • Conduite à tenir • Prévention
Fiche n°48	Stress et plongée
	Définition · Risque de réactions inadaptées · Causes · Détecter pour prévenir
	Conduite à tenir • L'entraînement mental
Fiche n°49	L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI)
	Mécanisme · Signes · Facteurs favorisants · Conduite à tenir · Prévention
Fiche n°50	Déshydratation et plongée
	L'eau et la vie • Causes • Se réhydrater après chaque plongée
	La diurèse d'immersion (fréquence cardiaque, production d'urine, baisse
	du volume sanguin)
Fiche n°51	Grossesse et plongée
Fiche n°52	Apnée: prévention des risques
	Syncope · Samba · Prévention
Fiche n°53	Animaux à risque potentiel
	Morsures · Brûlures · Piqûres · Intoxications
Fiche n°54	Autres risques du milieu
	Courant • Eaux troubles • Grottes et tunnels • Épaves • Filets • Embarcations
	Plongées de nuit
Fiche n°55	Risque de dérive en surface
	Situations à risque • Conseils de prévention • Instruments de signalisation
Tost do co	onnaissances n°5
rest de co	Tilidissalices II 3
UL 6	La désaturation
Fiche n°56	Saturation, désaturation et sursaturation
	Saturation • Désaturation • Sursaturation • Sursaturation critique
	Echanges gazeux: transport (perfusion) et diffusion (étape alvéolaire
	et étape tissulaire)
Fiche n°57	La modélisation de Haldane (1908) 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
Fiche n°58	À la suite de Haldane
1 10110 11 90	Adoption par l'US-Navy • Deux plongées par jour • Modification des couples
	demi-vie/Sc · Jeux de paramètres dérivés de celui de l'US-Navy
Fiche n°59	Quantité de gaz neutre et sévérité de la désaturation
10110 11 99	Henry V. Hempleman, 1952 • Facteur Q ou PrT index • Shields • Gardette
	Griptorian, 1992 i dottori di odi ili matori Gritta daratto

Fiche n°60	Les M-Values	259
	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)	
Fiche n°61	Bulles silencieuses	265
	Merill Spencer, 1968-1974 • Chaque désaturation crée des bulles • Elles 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	
Fiche n°62	Le jeu de paramètres de Bühlmann (1983)	266
	Historique • Compartiments • M-Values de Bühlmann • ADT • MB • PDIS M-Values: de Bühlmann à Workman	
Fiche n°63	Les facteurs de gradient	270
	Erik C. Baker • Astuce mathématique sans mode d'emploi • Réduction des	
	M-Values (%) • GFlow • GFhigh • Implémentation dans les ordinateurs de plongée	
Fiche n°64	Tentatives de prise en compte des noyaux (germes) gazeux	276
	Les noyaux gazeux · Modéliser les noyaux gazeux? · RGBM	
	Pré-conditionnement: inadapté à la plongée de loisir	
Fiche n°65	Le jeu de paramètres des tables MN90	279
- : 1 *00	Paramètres • Cadre de validité • FFESSM: pour les examens de théorie	
Fiche n°66	Les approches différentes du modèle de Haldane Thalmann · DCIEM · BSAC	281
Fiche n°67	Limites des modèles de désaturation	282
Fiche n°68	La (bonne) vitesse de remontée	283
Fiche n°69	Remontées rapides, yo-yo et plongées en dents de scie	284
Fiche n°70	Profils inversés	288
Fiche n°71	Paliers profonds	289
	Origine · Effet de mode · Invalidés pour les plongées à l'air	
Fiche n°72	Intervalle entre deux plongées et nombre de plongées par 24 h	291
Fiche n°73	Voyage en avion et montée en altitude	293
Fiche n°74	Procédures de désaturation (ordinateurs et tables)	294
	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	
Fiche n°75	Prévention des risques d'accident de désaturation (ADD)	307
1 10116 11 75	Respect du protocole • Prise en compte des facteurs individuels de risque	307
	Éviter les profils à risque • Éviter les comportements à risque • Foramen ovale perméable (FOP)	
Ficho p°76	·	71/
Fiche n°76	ADD: Atteintes et conséquences possibles Localisation des bulles · Mécanisme · Réaction plaquettaire · Lésions possibles	314
	du système nerveux (hémiplégie, monoplégie, paraplégie, tétraplégie)	
	Bends • Manifestations cutanées • Délais d'apparition	

-icne n 77	Décider de déclencher les secours · Alerter · CROSS · VHF · Oxygène · Corriger
	la déshydratation • Surveiller • Fiche d'évacuation • Déclaration d'accident grave
est de co	nnaissances n°6
UL 7	lider à l'organisation des plongées
iche n°78	L'embarcation: règles et matériel de sécurité
iche n°79	Navigation et sites de plongée
	Météo · Marée · Échelle de Beaufort (vent) · Échelle Douglas (vagues) · Amer Alignement · Enseignure · GNSS (GPS) · Sondeur · Mouillage · Sécurité de surface Récupération de plongeurs
Fiche n°80	Les nœuds.
	Nœuds usuels • Anatomie d'un bateau • Vocabulaire maritime
est de co	nnaissances n°7
UL 8	es acteurs de la plongée
iche n°81	
partie	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats)
partie pde d'empl	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats)
partie pde d'empl	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi
partie ode d'empl UL 9	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS
partie pde d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP)
partie ode d'empl UL 9	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS
partie ode d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP)
partie ode d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire
partie ode d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84	Les acteurs de la plongée — Connaissances approfondies (monitorats) Oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire Le cœur
partie pde d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84	Les acteurs de la plongée — Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI)
Partie Dide d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84 UL 10 L Fiche n°85 Fiche n°86	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire Le cœur Les vaisseaux sanguins
Partie Dide d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84 UL 10 Liche n°85 Fiche n°86 Fiche n°87 Fiche n°88	Les acteurs de la plongée - Connaissances approfondies (monitorats) oi Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire Le cœur Les vaisseaux sanguins Le sang: un transporteur
Partie Dide d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84 UL 10 L Fiche n°86 Fiche n°86 Fiche n°87 Fiche n°88	Les acteurs de la plongée Connaissances approfondies (monitorats) Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire Le cœur Les vaisseaux sanguins Le sang: un transporteur La circulation sanguine
Partie Dide d'empl UL 9 Fiche n°82 Fiche n°83 Fiche n°84 UL 10 Liche n°85 Fiche n°86 Fiche n°87 Fiche n°88	Les acteurs de la plongée Connaissances approfondies (monitorats) Réglementation Les établissements d'APS Les établissements recevant du public (ERP) Les équipements de protection individuelle (EPI) a plongée sollicite le système cardiovasculaire Le cœur Les vaisseaux sanguins Le sang: un transporteur La circulation sanguine

Fiche n°91	La mécanique ventilatoire	385
Fiche n°92	Les alvéoles pulmonaires	
Fiche n°93	Les échanges gazeux	389
Fiche n°94	Les risques de noyade	390
UL 12	es oreilles	
Fiche n°95	Description de l'oreille	393
Fiche n°96	Fonction d'audition	394
Fiche n°97	Fonction d'équilibre	394
UL 13	.e système nerveux	
Fiche n°98	Description et fonctionnement du système nerveux	395
Fiche n°99	Réflexes et automatismes	398
Fiche n°100	Narcose: quelles hypothèses ?	399
Fiche n°101	Prévention de la crise d'hyperoxie	400
Fiche n°102	Les risques de syncope en apnée	406
UL 14 N	lotions de physique appliquées à la plongée	
Fiche n°103	Unités de mesure et facteurs de conversion	410
Fiche n°104	Volume, poids et masse	411
Fiche n°105	La flottabilité	412
Fiche n°106	La compressibilité des gaz	415
Fiche n°107	Compression des gaz et température	418
Fiche n°108	Les pressions partielles	420
Fiche n°109	La dissolution des gaz dans un liquide	421
Fiche n°110	La vision subaquatique	422
UL 15	Compresseur et station de gonflage	
Fiche n°111	Compresseur et station de gonflage	424
	quebliographiques	
Livres et supp	oorts pédagogiques Plongée Plaisir	442
Livres édités é	et distribués par les éditions GAP	444

Espaces d'évolution, aptitudes, brevets et qualifications

Pour les plongées à l'air, les espaces d'évolution ou zones de profondeur définis par la réglementation (code du sport) sont:

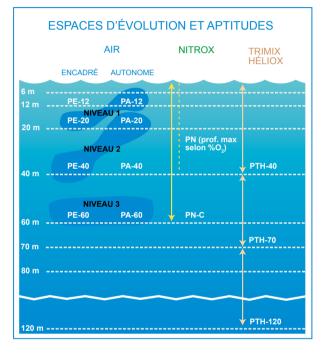
- 0 à 6 m:
- 0 à 12 m:
- 0 à 20 m:
- 0 à 40 m;
- 0 à 60 m¹.

L'accès à ces différents espaces d'évolution dépend des aptitudes des pratiquants, selon qu'ils plongent encadrés (PE) ou en autonomie (PA).

Par exemple, un plongeur niveau 1 est réputé avoir les aptitudes à plonger encadré à 20 m (PE-20).

À titre d'information (cela sort du cadre de ce livre):

 Les aptitudes plongeur nitrox (PN) et plongeur nitrox confirmé (PN-C) permettent de plonger au nitrox. La profondeur



maximum d'évolution dépend du pourcentage d'O3 du mélange.

 Les aptitudes plongeur trimix-héliox (PTH) permettent de plonger à l'héliox (hélium + oxygène) ou au trimix (azote + hélium + oxygène) dans les espaces additionnels suivants: 0 à 70 m, 0 à 80 m et au-delà de 80 m dans la limite de 120 m.

Qu'est-ce qu'une « aptitude »?

Une « aptitude » peut se définir comme une « compétence reconnue ». Cela signifie qu'au-delà des brevets, qui fournissent tout de même une indication sérieuse, le directeur de plongée doit être capable d'évaluer les aptitudes du moment. La connaissance des plongeurs et la lecture de leur carnet de plongée (expérience acquise) prennent alors une importance certaine :

- À quand remonte la dernière plongée?
- Combien de plongées a-t-il à son actif?

P4

P5 M

^{1.} L'espace de 40 à 60 m est réservé aux plongeurs brevetés au sein de l'École de Plongée Française (FFESSM, FSGT, UCPA, ANMP, SNMP) ou de la CMAS.

Prérogatives du DP

Plongeurs et encadrants (guides de palanquée, moniteurs) sont subordonnés aux décisions du directeur de plongée qui a les prérogatives les plus larges¹ 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.

Briefing du directeur de plongée

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.



Le directeur de plongée donne ses consignes.

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.



^{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).

Test de connaissances nº 1

- 1. Qu'est-ce qu'une palanquée?
- 2. Qu'est-ce qu'une plongée d'exploration?
- 3. Un baptême est-il considéré comme une plongée d'exploration ou d'enseignement?
- 4. Quelle différence faites-vous entre milieu artificiel et milieu naturel?
- 5. Quels sont les espaces d'évolutions définis en France pour la plongée à l'air?
- 6. Sous quelles conditions, un plongeur peut-il accéder à la zone des 40 à 60 m?
- 7. Qu'est-ce qu'une aptitude?
- 8. Quelles différences faites-vous entre des aptitudes et des brevets ou des qualifications?
- 9. Qu'est-ce qu'une plongée encadrée?
- 10. Que faut-il faire en cas de coexistence, au sein d'une même palanquée, de plongeurs ayant des aptitudes différentes?
- 11. Quelle différence faites-vous entre un « encadrant de palanquée » et un « guide de palanquée »?
- 12. Jusqu'à quelle profondeur un guide de palanquée niveau 4 peut-il encadrer des plongeurs?
- 13. Un quide de palanquée peut-il encadrer des plongeurs qui utilisent du nitrox?
- 14. Un plongeur CMAS 3 étoiles est-il reconnu en France comme quide de palanquée?
- 15. Qu'est-ce qu'un directeur de plongée (DP)?
- 16. Quelle est la qualification minimale d'un directeur de plongée pour les plongées à l'air?
- 17. Qu'est-ce qu'une fiche de sécurité?
- 18. Qu'est-ce qu'un plan de secours?
- 19. Comment est signalée la plongée en mer depuis une embarcation?
- 20. Que faut-il faire en présence du pavillon « alpha »?

Solutions

Les solutions proposées sont des guides sous la forme de points clefs ou de réponses résumées. Le contenu complet des réponses est dans les pages concernées.

1. Palanquée

Une palanquée est un groupe de plongeurs effectuant une plongée ayant les mêmes caractéristiques de trajet, durée et profondeur.

2. Plongée d'exploration

Une plongée d'exploration est une plongée sans acte d'enseignement. Les baptêmes, les évaluations, les remises à niveau et, *a fortiori*, les formations sont des actes d'enseignement.

3. Baptême: plongée d'exploration ou d'enseignement?

Un baptême est un acte d'enseignement. Il ne peut pas être réalisé par un plongeur niveau 4 (quide de palanquée) en milieu naturel.

4. Milieu artificiel et milieu naturel

Un milieu artificiel est un ouvrage construit (fosse, piscine) mais, lorsque la profondeur dépasse 6 m c'est la réglementation des milieux naturels qui s'y applique (qualification de l'encadrement en particulier).

Matériel de plongée obligatoire (code du sport)

AIDE-MÉMOIRE

Tout plongeur doit disposer a minima de Un manomètre ou un système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée Un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir (gilet + direct-system) Le même matériel est obligatoire pour les plongées en autonomie et les plongées en autonomie et les plongées en artificiel	Milieu naturel ✓ Milieu
plongée Un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir (gilet + direct-system) Le même matériel est obligatoire pour les plongées en autonomie et les plongées en artificiel artificiel	
s'y maintenir (gilet + direct-system) Le même matériel est obligatoire pour les plongées en autonomie et les plongées encadrées au-delà de 20 m (Cds 2012) Milieu artificiel	
encadrées au-delà de 20 m (Cds 2012) artificiel	
	naturel
Un manomètre ou un système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée	✓
Un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir (gilet + direct-system)	✓
Des équipements permettant de contrôler les caractéristiques personnelles de la plongée et de la remontée (ordinateur ou profondimètre + montre/timer + tables)	✓
Un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout (deux sources d'air, « octopus »)	✓
Un parachute de palier par palanquée	✓
Le matériel suivant est obligatoire pour l'encadrant de palanquée (guide, moniteur) Milieu artificiel	Milieu naturel
Un manomètre ou un système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée	✓
Un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir (gilet + direct-system)	✓
Des équipements permettant de contrôler les caractéristiques de la plongée et de la remontée de la palanquée (ordinateur ou ensemble profondimètre/timer et tables)	✓
Un équipement de plongée avec deux sorties indépendantes Deux détendeurs complets (1er et 2e étages)	✓
Un parachute de palier par palanquée	✓









Plongée encadrée au-delà de 20 m, même matériel obligatoire que pour les plongées en autonomie.

Entretien du matériel

Les matériels subaquatiques et équipements nautiques utilisés par les plongeurs sont régulièrement vérifiés et correctement entretenus.

Désinfection du matériel

Les tubas et détendeurs mis à disposition des plongeurs par les établissements d'APS doivent être désinfectés avant chaque plongée en cas de changement d'utilisateur (art. A322-81 du code du sport, voir fiche 21).

P4 P5 M



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 pourvoir 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).

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



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

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 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.

I

L'ENCADRANT DE PALANQUÉE

Pour connaître la déclinaison à une date et à un endroit donné, vous pouvez consulter, par exemple, le site de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) : http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination

Pour paramétrer la déclinaison, vous devez renseigner :

- Les degrés de déclinaison ;
- Le sens de la déclinaison (Est, Ouest).

En France, la déclinaison est généralement assez faible ce qui permet, le plus souvent, de négliger ce paramètre pour de courtes distances comme les parcours réalisés en immersion. Il n'en est pas de même si vous êtes, par exemple, au Canada (elle est de 17° à Halifax) ou en Nouvelle-Zélande (elle approche 20° à Auckland) ou encore si vous avez besoin d'effectuer une navigation extrêmement précise.

Temps de désactivation automatique (« timeout »)

Certains modèles d'ordinateur proposent de paramétrer un temps de désactivation de la fonction « compas ». Passé ce délai, votre instrument revient à l'affichage des paramètres de désaturation. Il vous faut réactiver le mode « compas » pour afficher les informations de navigation.

Compensation d'inclinaison

Les compas numériques disposent généralement d'une correction de dévers qui leur permet d'être utilisés même lorsqu'ils sont inclinés.

Utilisation d'une boussole électronique

Une boussole électronique s'utilise comme une boussole classique (voir pages précédentes) avec quelques options supplémentaires.

Réglage du cap

Cette fonction vous permet de régler le cap à suivre sur votre ordinateur. Un indicateur apparaît lorsque vous déviez de ce cap. Un indicateur de cap inverse (retour au point de départ) peut également être disponible.

Marquage de points de repère

Certains modèles permettent de marquer des points de repère tout au long de votre parcours.





P4 P5 M

Approche des espèces

Nous avons abordé, dans les chapitres précédents, le rôle du guide de palanquée en matière de sécurité. Mais les personnes que vous accompagnez voient aussi en vous un plongeur expérimenté, capable de leur faire approcher, connaître, aimer le monde subaquatique. Ainsi, le plaisir de la plongée est au rendez-vous : le sourire radieux de vos compagnons d'exploration en est la récompense. Cela suppose non seulement de connaître les espèces rencontrées (voir l'UL4 et les précédents tomes de la série *Plongée Plaisir*), mais aussi de savoir les approcher.

Des règles simples permettent de mettre toutes les chances de votre côté.

Règle n° 1 : ni bruit, ni mouvement brusque

Bruits et mouvements brusques font généralement fuir les poissons. Tenter de les rattraper accélère cette fuite. Une des solutions consiste à mettre à profit leur **curiosité** naturelle, pour que ce soit eux qui aillent vers les plongeurs et non l'inverse.

C'est une règle fondamentale. Pour cela, il faut :

- 1. Rester parfaitement immobile, que ce soit sur le fond, ou en pleine eau.
- 2. Limiter le bruit de la respiration en effectuant de courtes apnées.
- 3. Ne jamais tenter d'aller vers les poissons, éviter tout geste brusque.

Selon les époques et les espèces, le temps d'attente peut varier de quelques dizaines de secondes à plusieurs minutes.

Le comportement des poissons est alors intéressant à analyser.

Tout d'abord, ils viennent simplement satisfaire leur curiosité. Ils peuvent alors s'approcher très près du plongeur, c'est le moment idéal pour des prises de vue.

Puis, s'ils ne sentent aucune menace ou geste brusque, ils reprennent leur vie habituelle, sans plus se soucier des intrus que nous sommes.

Gaterin tacheté (Soudan).



P4 P5

77

Nettoyage, désinfection et rinçage du matériel

Que ce soit pour vous-mêmes ou pour les plongeurs que vous encadrez, il peut être utile de rappeler qu'une attention particulière doit être apportée au matériel afin d'éviter la transmission de maladies (virus, bactéries).

Dans ce cadre, nous pouvons distinguer trois catégories de matériel.

Catégorie 1: matériel particulièrement à risque. C'est celui en contact avec la salive, les muqueuses et les voies respiratoires (embout de détendeur ou de tuba, masque).

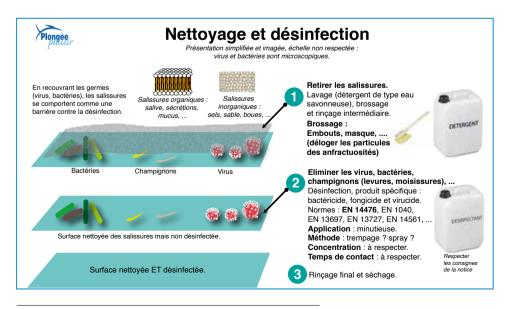
Catégorie 2: matériel souillé mais à faible risque (combinaisons, chaussons, gants).

Catégorie 3: autre matériel (gilets, instruments).

Voici nos conseils:

- 1. De manière générale, prenez l'habitude de ne pas mélanger et de ne pas partager votre matériel avec celui d'autres plongeurs.
- 2. Après la plongée, nettoyez le matériel de catégorie 1 et 2 à l'eau savonneuse (5 à 10 min) en frottant bien, y compris dans les anfractuosités afin d'éliminer les liquides corporels et les germes.
- 3. Rincez à l'eau claire (toutes catégories).
- 4. Uniquement une fois le matériel nettoyé et rincé¹, désinfectez celui de catégorie 1 avec un produit virucide (norme EN14476) et bactéricide en respectant son mode d'emploi (les structures d'accueil vous en proposent).
- 5. Faites sécher à l'ombre (le soleil endommage les équipements) en suspendant les équipements afin qu'ils ne soient pas en contact avec des surfaces souillées.

Pour en savoir plus: https://www.plongee-plaisir.com/fr/desinfection/





D4

P5

Aider au choix du matériel



En tant que guide de palanquée, vous pouvez être sollicité afin de donner des conseils sur le matériel de plongée:

- Lequel choisir?
- En fonction de quels critères?
- Comment l'utiliser au mieux?

Voici des éléments pour vous y aider.

FICHE 22

Les palmes

Description

Les palmes ont un triple rôle:

- De maintien en surface (palmage de sustentation);
- De propulsion (palmage ventral, dorsal et costal);
- D'équilibre (par la surface d'appui sur l'eau qu'elles procurent, les palmes facilitent l'équilibre dans l'eau; par exemple, si un plongeur est déséquilibré par sa bouteille qui penche sur la droite, un léger appui du même côté avec sa palme lui permet de retrouver son équilibre).

Justification

En apnée et en randonnée subaquatique, les palmes constituent un outil essentiel car elles permettent de parcourir de longues distances en limitant les efforts et facilitent la descente, la remontée et le maintien en surface.

En scaphandre, elles sont d'autant plus importantes que l'équipement est lourd et encombrant. Il serait donc quasiment impossible de se déplacer sans palmes.



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.



La vision sous l'eau

Le champ de vision est rétréci¹, 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.

Néoprène et respect de la nature

Issu du pétrole

Les combinaisons de plongée sont généralement réalisées en néoprène (polychloroprène), un caoutchouc synthétique gorgé de bulles de gaz qui assurent l'isolation thermique. Issu du pétrole, le néoprène pose la question de son impact sur l'environnement sur l'ensemble de son cycle de vie. Le néoprène peut être recyclé, mais selon des processus différents des matériaux tels que les plastiques, souvent non disponibles dans les filières de retraitement « classiques » des déchets ménagers. Cela conduit soit à enfouir (polluant) soit à brûler (toxique) le matériau. En conséquence, à défaut d'avoir accès à une filière spécifique de recyclage (ex. Sooruz), il est fortement déconseillé de jeter vos produits en néoprène.

Action n° 1: privilégiez, si possible, le « néoprène » issu du calcaire

Le Limestone (Yamamoto) est un substitut au néoprène issu du calcaire, dit « néoprène bio » qui offre les avantages suivants :

- une meilleure protection thermique que le néoprène classique;
- moins d'écrasement de la matière du fait de la pression, ce qui réduit la perturbation de la flottabilité au cours de la plongée;
- une élasticité accrue donnant une sensation de plus grand confort;
- pas de nocivité pour la peau, contrairement au néoprène classique qui peut utiliser un accélérateur de vulcanisation, l'éthylène thiourée (ETU) et provoquer des allergies (apparition de boutons ou plaques rouges sur la peau).

Action n° 2: Donnez une seconde vie à vos combinaisons

Les combinaisons en néoprène peuvent permettre de faire de nouveaux produits (sacs, vêtements) et de donner ainsi une seconde vie à votre équipement, à l'exemple des produits proposés par les sociétés CAPTAIN' NÉO (Banyuls-sur-Mer), TÉORUM (Cesson Sévigné) ou SOORUZ (La Rochelle).

Combinaisons sans néoprène

Le caoutchouc naturel, créé par la société Yulex peut également être employé.

Il offre le double avantage de ne pas être issu de la filière pétrolière et d'être directement produit par des arbres, les hévéas. Ce qui réduit considérablement le processus de fabrication en usine avec une réduction des rejets de ${\rm CO_2}$ que certains fabricants annoncent de 80 % par rapport au néoprène.

Cependant, toute combinaison de plongée doit répondre à deux exigences contradictoires:

- être suffisamment souple pour être facile à enfiler et agréable à porter;
- être suffisamment résistante à l'écrasement afin de pouvoir conserver son efficacité en profondeur et retrouver son épaisseur initiale dans les heures qui suivent la plongée. À notre connaissance, à ce jour, les caractéristiques du Yulex conduisent à privilégier son utilisation en surface (ex. surf) ou en plongée dans les eaux tropicales (eaux chaudes).



P4 P5 M

Description

Type

Il existe principalement trois types de gilets:

- 1. Les gilets « enveloppants » dont l'enveloppe est d'un seul tenant, ce qui est confortable mais rend le gilet spécifique à un gabarit, sans ajustement possible.
- 2. Les gilets « ajustables » qui, comme le nom l'indique, sont ajustables selon le gabarit, par des sangles disposées sur le devant. De plus, cela facilite le passage des bras et des épaules lors de l'équipement.
- 3. Les gilets « à flottabilité dorsale » dont l'avantage est de disposer d'une vessie gonflable sur le dos, ce qui libère le torse de toute entrave et confère une grande liberté de mouvement, même en étant gonflés au maximum. De plus, ces gilets favorisent une position horizontale dans l'eau. Les stabs « wings », de grands volumes, modulaires, solides et fiables sont des gilets à flottabilité dorsale plutôt réservés aux plongeurs tek.

La polyvalence des gilets ajustables fait qu'ils dominent aujourd'hui le monde de la plongée de loisir, non pas qu'ils soient « mieux » qu'un gilet enveloppant, mais un même gilet peut s'adapter à différents gabarits, ce qui facilite le prêt ou la location.

Modèles

Les gilets existent en modèles hommes, femmes et enfants.

Volume

Le volume d'air que peut contenir un gilet varie selon le modèle et la taille (de 10 à 30 litres en général). Dans tous les cas, il doit être suffisant pour permettre à un plongeur « de regagner la surface et de s'y maintenir » (code du sport). Précisons qu'il faut distinguer le volume total du gilet et son volume utile. Un gilet ajustable ou enveloppant, pour rester confortable sans trop comprimer le buste, ne doit jamais être gonflé au maximum.

Pour ce type de gilet, on peut considérer que le volume utile est de 50 à 60 % du volume total.

Un gilet doit donc être adapté aux conditions de plongée. Pour des plongées dans des eaux chaudes sans combinaison en néoprène ou bien avec une combinaison très fine, la flottabilité du plongeur variera peu entre la surface et le fond. Des gilets de relativement petit volume peuvent donc convenir. Pour des plongées avec des combinaisons épaisses, la flottabilité pouvant varier de manière importante entre le fond et la surface, des gilets de grand volume sont nécessaires.

Sangles ajustables et détachables



Gilet ajustable



Gilet enveloppant

Flottabilité dorsale



Gilet à flottabilité dorsale

P4 P5 M

L'ordinateur de plongée

Parmi les questions qui reviennent le plus souvent à bord des bateaux de plongée, celles relatives aux ordinateurs de plongée se situent en bonne place:

- Que faut-il acheter?
- Es-tu content de ton ordi?
- Quelle différence entre tel et tel modèle?
- Tu as vu le nouveau modèle qu'ils ont sorti?
- Je n'arrive pas à accéder à mes menus, tu peux m'aider?

C'est donc un sujet qui, en tant qu'encadrant de palanquée doit être maîtrisé, que ce soit au niveau des modèles et des procédures (voir UL6 sur la désaturation) ou sur le plan du matériel en lui-même.

Qu'est-ce qu'un ordinateur de plongée?

Un ordinateur de plongée est une machine électronique dans laquelle un modèle de désaturation a été programmé (voir fiche 57) afin de calculer en temps réel le niveau théorique de gaz neutre (azote) dans les compartiments (régions anatomiques factices) pour en déduire et afficher les conditions de la remontée (sans palier obligatoire ou bien profondeur et durée de palier).

Cela signifie que la machine ne pourra gérer que les cas prévus par le modèle. Toutes les limites des modèles de désaturation se retrouvent dans les ordinateurs (les capacités de calculs et l'intelligence artificielle n'y changent rien).

Tous les ordinateurs de plongées grand public utilisent les **mêmes formules de calcul et les mêmes paramètres**¹, ce sont ceux de Bühlmann (ZH-L₁₆C ou variante) ou ceux du RGBM (*Reduced Gradient Bubble Model*), inspirés en grande partie des paramètres de Bühlmann (voir **fiche 62**). Ce qui revient à dire que nous plongeons tous avec les paramètres de Bühlmann à quelques variantes près.

Paramètres de Bühlmann ZH-L₁₆C 1b (azote, air)

					10											
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Demi- vie	5	8	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
M _{_o}	2,96	2,54	2,25	2,03	1,85	1,69	1,59	1,52	1,47	1,43	1,4	1,37	1,34	1,31	1,29	1,27
ΔΜ	0,179	0,154	0,138	0,128	0,123	0,119	0,115	0,112	0,110	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	0,104	0,1035

Paramètres RGBM (azote, air) - plusieurs variantes ont été utilisées

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Demi- vie	5	10	20	40	65	90	120	150	180	220	280	350	450	635		
M _{_o}	3,04	2,40	1,99	1,65	1,56	1,51	1,47	1,43	1,41	1,38	1,35	1,32	1,30	1,27		
ΔΜ	0,184	0,146	0,126	0,115	0,113	0,111	0,110	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	0,104	0,103		

Données arrondies à la 2° ou à la 3° décimale pour les deux tableaux.

^{1.} Les paramètres VPM (plongées techniques aux mélanges autres que l'air) sont aujourd'hui d'un usage anecdotique au profit de Bühlmann.

Le détendeur

Principe général

Un détendeur permet de « détendre » l'air comprimé du bloc. Sur les détendeurs actuels, cette opération s'effectue en deux étapes.

Le premier étage détend l'air haute pression (HP) pour l'amener à une pression intermédiaire (PI) de l'ordre de 8 à 10 bars (avec des extrêmes de

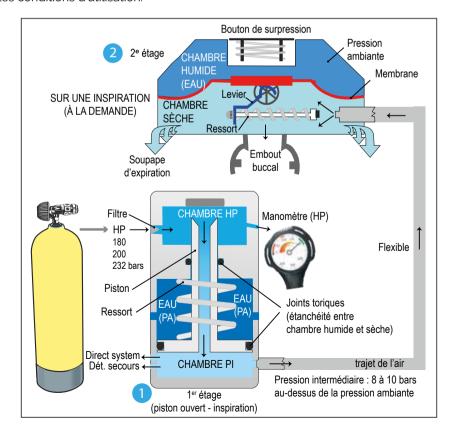


5 à 14 bars selon les modèles), au-dessus de la pression ambiante (PA).

Le deuxième étage détend à nouveau l'air à la pression intermédiaire pour l'amener à la pression ambiante.

Le principal intérêt d'un détendeur est donc de fournir de l'air:

- sur demande du plongeur (simple inspiration);
- à la pression ambiante, quelles que soient la profondeur, la position du plongeur et les conditions d'utilisation.



Le manomètre

Les manomètres doivent être marqués « CE » (norme NF EN 250) mais ne font pas partie d'un ensemble associé au détendeur. En conséquence, il possible d'utiliser tout manomètre « CE », quelle que soit sa marque.

Il existe deux types de manomètres:

- Les manomètres à aiguille (tube de Bourdon);
- La fonction manomètre (capteur piézoélectrique) des ordinateurs de plongée.

Manomètres à aiguille

Les manomètres à aiguille ont l'avantage de la simplicité.

Ordinateurs à gestion d'air

L'option « gestion d'air » disponible sur certains ordinateurs remplace un manomètre et permet d'utiliser l'écran pour afficher la pression disponible dans la bouteille ainsi que des informations sur l'autonomie en air.

Si les importantes baisses de pression peuvent conduire à augmenter les paliers, cela ne signifie pas que la consommation d'air réelle soit prise en compte par l'algorithme.

Avantages de la gestion d'air intégrée

La gestion d'air intégrée à un ordinateur de plongée offre de multiples avantages:

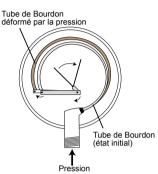
- Visualisation de la pression disponible sur le même écran que celui indiquant les paramètres de désaturation;
- Calcul de la consommation instantanée :
- Calcul de la consommation moyenne au cours de la plongée (consultable en sortie de plongée);
- Estimation de l'autonomie en air calculée en permanence (indicateur RBT pour « REMAINING BOTTOM TIME », durée restante au fond, AIR TIME ou TTR pour « TIME TO RESERVE », temps avant d'être sur réserve) en tenant compte de la consommation d'air, de la désaturation et d'une réserve de sécurité, de l'ordre de 35 bars;
- Alarme d'indication de réserve d'air faible vers 50 bars à 35 bars.

Système de liaison entre la bouteille et l'ordinateur

La liaison entre la bouteille de plongée et l'ordinateur peut s'effectuer:

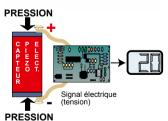
- soit par un tuyau (ordinateur en console);
- soit par un système de communication sans fil (ordinateur au poignet).





Toute augmentation de pression déforme le tube de Bourdon. Il suffit d'ajouter un cadran pour afficher la pression. Pour réduire l'erreur d'affichage, la plage de mesure doit être plus grande que celle réellement utile (ex. graduations jusqu'à 400 bars pour une utilisation réelle à 200 bars).





Un capteur piézoélectrique génère un signal électrique proportionnel à la pression subie.



Nature du gaz: « G1 », « G2 »

Depuis 1997 et la directive 97/23 CE, les bouteilles sont gravées (art. 13, directive 2014/68/UE):

« Groupe 1 », « G1 »,
 « Oxygène » ou
 « Service Oxygène »
 lorsqu'elles peuvent
 contenir des subs-



tances et mélanges dangereux: inflammables, comburants, toxiques... Les bouteilles en aluminium sont « Groupe 1 » par fabrication, sans nécessiter de marquage spécifique.

• « Groupe 2 » ou « G2 », pour les gaz autres que ceux du Groupe 1, considérés comme « non dangereux », à l'exemple de l'air sec respirable. D'anciennes bouteilles peuvent être gravées « AIR » voire même n'avoir aucun marquage. Ainsi, une bouteille « G1 » peut contenir tout type de gaz, y compris des gaz dangereux; une bouteille « G2 » ne peut contenir que des gaz non dangereux (une ancienne bouteille « AIR » ne peut contenir que de l'air).

Extrait de la notice Roth (FC244 rev. 6: mai 2019):

« Ne chargez la bouteille qu'avec du gaz respirable: air ou mélange respirable sec non dangereux du Groupe 2 marquage G2 ou avec un mélange gazeux (ex. Nitrox, O2, ...) du Groupe 1 marquage G1 à condition de mentionner le nom du mélange sur la bouteille. »

Les risques proviennent des gaz comburants (oxygène), définis par l'art. 2.4 du Règlement CE 1272/2008 comme étant capables « de provoquer ou de favoriser la combustion d'autres matières plus que l'air seul ne pourrait le faire [...] on entend des gaz purs ou des mélanges de gaz ayant un pouvoir comburant supérieur à 23,5 %, déterminé conformément à la méthode prescrite dans les normes ISO 10156 [...] ou 10156-2 [...] ».

En conséquence, le gonflage de tout mélange nitrox ne peut s'effectuer que dans des bouteilles « G1 ».

Notice d'instructions

Les blocs doivent être exploités « conformément à la notice d'instructions » (art. 2, arrêté du 20/11/2017), qui doit être fournie par le fabricant et pourrait donc être demandée au propriétaire en cas de contrôle.

Transport des bouteilles

Le transport des blocs est assuré par l'assurance du véhicule et réglementé par l'Accord pour le transport des marchandises Dangereuses par la Route (ADR du 01/01/2019). N'y sont pas soumis: le transport des blocs vides; les blocs transportés par des particuliers dans le cadre d'une pratique de loisir sportif (art. 1.1.3.1 a); les blocs transportés lorsque la « quantité » (l'unité est la contenance nominale en litres) ne dépasse pas 1000 L soit

environ 66 blocs de 15 L (art 1.1.3.6).

Tout transport par un professionnel y est soumis si les blocs sont gonflés et dépassent la quantité maximale.

P4 P5

М

Test de connaissances n° 3

- 1. Quel est le rôle des palmes?
- 2. Quels sont les différents types de palmes?
- 3. Comment choisir des palmes?
- 4. Vaut-il mieux utiliser un masque en silicone clair plutôt qu'en silicone tinté?
- 5. Comment choisir un masque?
- 6. Quel conseil pouvez-vous donner concernant les masques antireflet ou miroir?
- 7. Quel conseil pouvez-vous donner à un plongeur débutant concernant l'utilisation de lentilles de contact en plongée?
- 8. Peut-on adapter des verres correcteurs sur un masque?
- 9. Comment la vision est-elle modifiée sous l'eau?
- 10. Quelle précaution faut-il prendre avec un masque neuf?
- 11. Pourquoi de la buée se forme-t-elle sur un masque?
- 12. Quelle est l'utilité du tuba?
- 13. Quels sont les différents types de tubas?
- 14. Quels sont les éléments de choix d'une combinaison de plongée?
- **15**. Quelles questions posent les combinaisons de plongée au regard de la protection de la nature?
- 16. Quelle est l'utilité du lestage?
- 17. Quels sont les différents types de lestage disponibles?
- 18. Quel est le rôle d'un gilet?
- 19. Quels sont les différents types de gilet?
- 20. Quels sont les éléments de choix d'un gilet?
- 21. Quelle est l'utilité d'un ordinateur de plongée?
- 22. Le fonctionnement d'un ordinateur de plongée est-il certifié par une instance de contrôle?
- 23. Quel est le rôle d'une notice d'ordinateur de plongée.
- 24. Pourquoi est-il conseillé de lire la notice des ordinateurs de plongée avant achat?
- 25. Quel est le principe de fonctionnement d'un ordinateur de plongée?
- 26. Un plongeur vient vous voir en indiquant qu'il a remarqué une différence d'affichage de plus d'un mètre à 40 m entre son ordinateur et celui d'un autre membre de la palanquée. Que lui répondez-vous?
- 27. Quels sont les différents types d'écran disponibles sur les ordinateurs de plongée?
- **28**. Une personne qui a la vue qui baisse souhaite avoir des conseils sur la lisibilité des écrans d'ordinateurs de plongée. Que lui conseillez-vous?
- 29. Quelle est l'utilité d'un détendeur de plongée?
- 30. Quelles sont les différences entre un détendeur à membrane et un détendeur à piston?
- 31. Vaut-il mieux un détendeur avec étrier ou avec un système DIN?
- 32. Qu'est-ce que la compensation sur un détendeur?
- 33. Qu'est-ce que la surcompensation sur un détendeur?
- 34. Sur un détendeur, qu'est-ce que l'effet Venturi?
- 35. Sur un détendeur, qu'est-ce que l'effet Vortex?
- 36. Détendeur et eau froide: quelles précautions faut-il prendre?
- 37. Qu'est-ce qu'un « clapet amont »? Où en trouve-t-on en plongée? Quelle précaution faut-il prendre avec ce type de dispositif?
- 38. Quels sont les différents types de manomètres disponibles sur le marché?
- 39. Comment choisir sa bouteille de plongée?
- 40. Que signifie le marquage « G1 » sur une bouteille de plongée?
- **41.** Peut-on transporter une ou plusieurs bouteilles de plongée dans sa voiture personnelle?



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.

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.



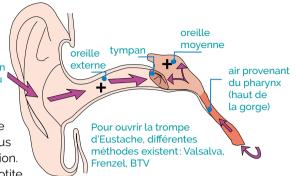
Règle n° 4: Exercice physique

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.

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 pression de l'eau

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

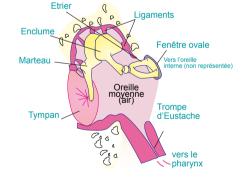
Le « coup de piston » de l'étrier dans la fenêtre ovale provoque une brusque augmentation de pression dans le milieu liquidien de l'oreille interne.

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:

- à la descente une dépression apparaît dans l'oreille moyenne faisant, en particulier, s'incurver le tympan;
- 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 75).

Conduite à tenir dans l'eau

Dès les premiers signes d'apparition du froid, les plongeurs doivent **le signaler** et le guide de palanquée mettre fin à la plongée.

Le froid étant un facteur favorisant les accidents de désaturation, il faut éventuellement accroître le temps de paliers (voir les procédures de désaturation) et, en tout cas, respecter une vitesse de remontée lente. Dans la mesure du possible, mieux vaut rester dans la courbe des plongées sans palier.



Conduite à tenir en surface

En cas de refroidissement sévère, il est conseillé de :

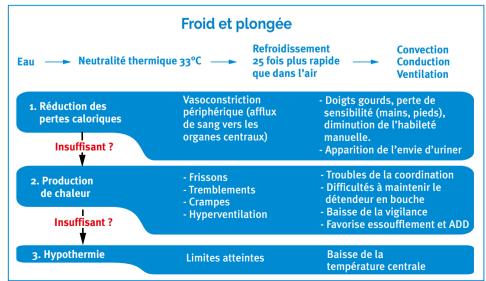
- déséquiper le plongeur le plus rapidement possible ;
- le sécher sans frotter ni frictionner :
- lui mettre des vêtements chauds et qui le protègent du vent ;
- l'allonger avec une couverture;
- lui faire boire une boisson chaude et sucrée (jamais d'alcool);
- attendre le réchauffement **progressif** du corps et rester vigilant. Les cas extrêmes peuvent nécessiter une évacuation vers des secours médicalisés.

Le froid ayant créé une vasoconstriction périphérique, il est important que les vaisseaux se dilatent progressivement, jusqu'à retrouver leur ouverture habituelle. Sinon, cela crée un afflux sanguin brusque vers la périphérie du corps, au détriment des organes centraux, avec un risque de malaise cardiaque. C'est la raison pour laquelle il ne faut pas passer ses mains sous l'eau chaude, ne pas boire d'alcool et ne pas se frictionner.

PLONGÉE EN EAUX TRÈS FROIDES

Dans les eaux très froides (ex. lacs d'altitude), le froid peut faire givrer les détendeurs qui se mettent alors en débit continu. Le risque est la panne d'air, puis la noyade. Si vous n'êtes pas familier de ce type de plongées, suivez une formation spécifique avant de les pratiquer.

Le froid est un facteur favorisant les accidents de désaturation.



La narcose à l'azote

« J'ai une sensation bizarre de béatitude et d'angoisse. Très vite, je me sens ivre, mes oreilles bourdonnent [...]. Je ballotte dans le courant comme quelqu'un qui titube, j'ai complètement oublié Jacques et ceux de la barque. [...] Le cauchemar est fini. Je remonte joyeusement [...]. Mon ivresse cesse tout de suite, et je suis furieux d'avoir raté cette plongée ». Ces paroles sont celles de Frédéric Dumas, citées dans Le Monde du Silence¹, lorsqu'il atteignit pour la première fois la profondeur de 62 mètres, un après-midi d'octobre 1943 au large des Goudes (Marseille).

Ces troubles du comportement sont caractéristiques de « l'ivresse des profondeurs », constatés dès 1835 par Junod chez des sujets respirant de l'air sous de fortes pressions. Un siècle plus tard, Behnke met en évidence le rôle de l'azote, et en 1939, il invente avec Yarbrough le terme de « narcose aux gaz inertes ». Avant de détailler la narcose en ellemême, abordons les spécificités des plongées au-delà de la zone des 20 m.

Plongées à 20 m et à 40 m ou plus, quelles différences?

N'oubliez pas, lorsque vous encadrez des plongeurs pour leurs premières plongées audelà de 20 m, que les sensations sont bien différentes et les points de repères habituels perturbés :

• La descente paraît sensiblement plus longue avec une baisse de la luminosité qui peut être un facteur de stress ainsi qu'un élément favorisant l'apparition de la narcose.



La narcose

La narcose ou « ivresse des profondeurs » est un trouble du système nerveux, réversible sans séquelles, provoqué par l'azote (N₂) pour les plongées à l'air.

Il faut distinguer:

- Les **effets de la narcose**, qui peuvent apparaître dès 30 mètres pour les sujets les plus sensibles;
- La **crise de narcose**, qui peut intervenir dans les plongées profondes au-delà de 40 m et exceptionnellement en deçà.

Les effets de la narcose

Les effets de la narcose se font ressentir au-delà d'une certaine quantité d'azote dissoute dans le corps.

Cela dépend donc:

- de la profondeur;
- du temps passé à cette profondeur;
- de la sensibilité propre à chaque individu et de sa forme du moment.

Il est communément admis¹ que les premiers signes peuvent apparaître dès 30 m et qu'ils sont le plus souvent masqués, le plongeur ne se rendant compte de rien.

Il s'agit d'une diminution des capacités de raisonnement, de concentration ou d'attention, de troubles de la mémoire immédiate (ex. regarder son manomètre trop souvent, en ayant oublié qu'on l'a déjà fait).

La prise de certains médicaments favorise l'apparition de la narcose, y compris à de faibles profondeurs. Lisez attentivement les notices et, si nécessaire, demandez conseil à votre médecin.

À titre préventif, il est conseillé de ne pas dépasser une vitesse de 30 m/min à la descente et de réduire cette vitesse à partir de 30 m de profondeur.

Conduite à tenir face aux « effets de la narcose »

En cas de troubles, l'encadrant de palanquée doit faire remonter le plongeur (et toute la palanquée) de quelques mètres.

Les signes disparaissent généralement d'eux-mêmes.

S'ils persistent, il faut mettre fin à la plongée.

La crise de narcose

La « crise de narcose » peut survenir lors de plongées profondes, généralement au-delà de 40 m. Elle conduit à des modifications notables du comportement :

- La lenteur de la réflexion est le premier élément. Le plongeur a du mal à se concentrer et des gestes simples (regarder ses instruments par exemple) demandent un effort de concentration.
- Certains individus ont un dialogue intense avec eux-mêmes, ils ont des idées fixes, parfois morbides.
- D'autres, au contraire, sont euphoriques. Ils s'enthousiasment pour tout et rien, le moindre caillou devient d'un intérêt primordial.
- Dans les cas ultimes, certains plongeurs ne sont plus capables d'avoir une réaction adaptée aux circonstances. Des troubles de la vision ou du goût peuvent apparaître.
 Certains ne différencient plus le haut du bas: croyant remonter, ils peuvent alors descendre encore plus profond.



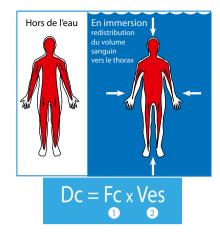
^{1.} Rostain J.-C. et coll., *La narcose aux gaz inertes, dans Physiologie et médecine de plongée*, coordonnateurs B. Broussolle et J.-L. Méliet, Ellipses, 2006.

La diurèse d'immersion

En immersion, un volume sanguin notable est déplacé vers des vaisseaux qui peuvent l'accueillir dans l'abdomen et le thorax: veines abdominales, circulation pulmonaire, cavités cardiaques¹. La redistribution du volume sanguin (largement vers le thorax) peut atteindre 0,7 L².

Phase 1: Action sur la fréquence cardiaque (bradycardie, surtout chez les sujets jeunes)

Le remplissage cardiaque, cœur droit d'abord puis, après remplissage des vaisseaux pulmonaires, cœur gauche, entraîne une augmentation du volume d'éjection systolique (Ves), avec de façon réflexe, surtout chez les sujets jeunes,



une diminution de fréquence cardiaque (Fc): bradycardie réflexe.

Phase 2: Augmentation de la production d'urine (diurèse d'immersion)

La redistribution immédiate de volume sanguin lors de l'immersion résulte d'une diminution de capacité des vaisseaux et elle est analogue à une hypervolémie pour les mécanismes de régulation (baroréflexes et régulations endocriniennes du volume sanguin).

L'entrée lente mais continue d'eau interstitielle dans les vaisseaux tend, elle, à créer une augmentation du volume de plasma.

En réponse à ces deux actions, les mécanismes régulateurs du volume plasmatique augmentent la production d'urine. Le débit urinaire passe ainsi de 1 mL/min à terre à 6 mL/min dans l'eau après 2 h d'immersion immobile.

En plongée, avec activité physique, ce débit est en moyenne de 4 mL/min avec des différences individuelles. La perte de masse d'eau de l'organisme est ainsi de l'ordre de 250 mL pour une heure d'immersion (en surface ou en plongée), de 500 ml pour deux heures, etc. Ces pertes se cumulent partiellement avec les plongées successives car la reconstitution à terre des volumes plasmatique et interstitiel est beaucoup plus lente que leur diminution au cours de l'immersion³.

Le froid peut augmenter modestement cette diurèse.

Phase 3: Baisse du volume sanguin lors du retour en surface

De retour en surface et après être sorti de l'eau, le plongeur retrouve les conditions terrestres: les veines et les capillaires se rouvrent soudainement et le volume sanguin remplit moins bien les vaisseaux. Cette hypovolémie (volume sanguin insuffisant) peut limiter la perfusion sanguine dans certains tissus et ainsi gêner l'élimination de l'azote et augmenter les risques d'accidents de désaturation. La reconstitution des volumes de liquides tissulaires qui, passés dans le sang ont été éliminés par les reins, est lente. Se réhydrater après chaque plongée

Toute immersion provoquant une déshydratation, il est important de plonger en étant normalement hydraté et de se réhydrater après la plongée.

L'eau est la seule boisson conseillée. Pour laisser le temps à notre organisme de l'assimiler, il est conseillé de boire par petites prises régulières de 0,3 à 0,5 litre ⁴ d'eau par heure d'immersion.

^{4.} Dr Mathieu Coulange, Bulletin de médecine subaquatique et hyperbare - Medsubhyp



^{1.} Jammes Y. et coll., *Physiologie respiratoire et plongée*, dans Physiologie et médecine de la plongée, Ellipses, 1992, p. 131.

^{2.} Regnard J., DU de médecine de plongée, Faculté de médecine de Cochin, polycopié, 1995-1996, pp. 101-114. 3. Vous devez être particulièrement vigilant lorsque vous cumulez plusieurs plongées par jour sur plusieurs jours, comme par exemple lors de croisières.

Test de connaissances n° 5

VISITE MÉDICALE

- 1. Quel est l'intérêt d'une visite médicale annuelle?
- 2. Un certificat médical est-il obligatoire pour un baptême?
- 3. Un certificat médical est-il obligatoire pour obtenir une licence fédérale en plongée?
- 4. Un certificat médical annuel est-il obligatoire?
- 5. Est-il possible, pour un centre de plongée ou une agence de voyages, de demander un certificat médical récent, en dehors des directives des organismes de formation?

BAROTRAUMATISMES

- 6. Qu'est-ce qu'un barotraumatisme?
- 7. Citez les barotraumatismes pouvant survenir en plongée.
- 8. Quel est le barotraumatisme le plus fréquent?
- 9. Quel est le barotraumatisme le plus grave?

OREILLES

- 10. Qu'est-ce que l'oreille moyenne?
- 11. Qu'est-ce que l'oreille interne?
- 12. D'où peuvent provenir les difficultés à équilibrer les pressions au niveau des oreilles?
- 13. Décrivez les différentes méthodes d'équilibrage que vous connaissez.
- 14. Pourquoi ne faut-il pas faire de Valsalva en état de sursaturation (remontée, palier)?
- 15. Qu'est-ce qu'un vertige alterno-barique?
- 16. En cas de difficulté à équilibrer la pression au niveau des oreilles à la remontée, que peut-on faire?
- 17. Décrivez les différentes atteintes que peuvent subir les oreilles en plongée.
- **18.** Avec des plongeurs débutants ou des niveau 1, sur quels points un guide de palanquée doit-il être particulièrement attentif?
- 19. Un des plongeurs niveau 1 que vous accompagnez en exploration sur 20 m vous indique, avant de plonger, qu'il met du temps à équilibrer à la descente. Que faitesvous?
- 20. Un plongeur sort de l'eau avec des vertiges et des nausées. La mer est peu agitée. En l'interrogeant, vous n'arrivez pas à savoir s'il s'agit d'un mal de mer ou d'autre chose. Que faites-vous?
- 21. Un plongeur de votre palanquée vous indique, de retour en surface, qu'il a l'oreille qauche « dans du coton ». Que faites-vous?

POUMONS

- 22. Une surpression pulmonaire (SP) est impossible dans 3 m d'eau. Vrai ou faux?
- 23. Une surpression pulmonaire est impossible en piscine. Vrai ou faux?
- 24. Ne pas bloquer sa ventilation suffit à éviter une surpression pulmonaire. Que pensezvous de cette affirmation?
- 25. Une surpression pulmonaire n'arrive qu'aux débutants. Que pensez-vous de cette affirmation?
- 26. Toute surpression pulmonaire provoque des signes neurologiques. Vrai ou faux?
- 27. Lors d'une surpression pulmonaire, les alvéoles se déchirent. Vrai ou faux?
- 28. Il ne faut jamais d'apnée en plongée avec scaphandre. Que pensez-vous de cette affirmation?
- 29. En tant que guide de palanquée, quelles précautions prenez-vous pour éviter une SP?



La désaturation

FICHE 56

Saturation, désaturation et sursaturation

Saturation, désaturation et sursaturation concernent les gaz neutres¹. Ils sont accumulés au cours de la plongée puis restitués, en provoquant la formation de bulles, lors de la remontée, des paliers et dans les heures qui suivent le retour en surface.

La saturation

La « saturation » est la phase d'accumulation de gaz neutre au cours d'une plongée (descente, séjour au fond) où celui-ci, en forte concentration dans le gaz comprimé, est transporté par le sang depuis les poumons vers les différents tissus de l'organisme. Le niveau de saturation dépend de la profondeur, de la durée de plongée et de la nature du gaz respiré ainsi que de l'activité physique (effort, froid, essoufflement) et de prédispositions individuelles (certains plongeurs consomment plus de gaz que d'autres).

La désaturation

La « désaturation » est la phase au cours de laquelle le gaz neutre accumulé dans les tissus au cours de la plongée repasse dans le sang pour être évacué par les poumons. Elle s'amorce à la remontée², du fait de la baisse de pression qu'elle provoque, puis se poursuit durant les paliers et l'intervalle en surface entre deux plongées, jusqu'à un nouvel équilibre. Ce processus provoque la création de bulles qui doivent rester peu nombreuses et de taille suffisamment petite pour ne pas provoquer d'accident de désaturation (ADD). Les voyages en avion et les montées en altitude provoquent également une baisse de pression, d'où des précautions spécifiques à prendre après une plongée (voir fiche 73). La désaturation est d'autant plus sévère (voir fiche 59) que la quantité de gaz neutre à éliminer est importante (durée et profondeur de plongée, plongées qui s'enchaînent, nature du gaz respiré).

La sursaturation

Alors que le terme « désaturation » désigne la phase d'élimination proprement dite, faire référence à la sursaturation reflète que la quantité d'azote dissoute dans le corps est supérieure à celle présente dans les poumons.

La sursaturation critique

Le terme « sursaturation critique » indique un dépassement des seuils de sursaturation acceptés par le jeu d'un paramètre d'un modèle de désaturation avec un risque théorique important d'accident de désaturation.

^{1.} Gaz neutre: gaz ne réagissant pas ou peu chimiquement. En plongée, il s'agit de l'azote (air, nitrox) ou de l'hélium (trimix, héliox) pour les plongées profondes.

^{2.} La phase de désaturation peut également être provoquée par un changement du gaz respiré (nitrox ou oxygène pur), ce qui permet son accélération tout en réduisant grandement la création de bulles. Ce principe de la « désaturation isobare » ou « fenêtre oxygène » sort du cadre de cet ouvrage. Il a été présenté pour la première fois en 1967 par Albert R. Behnke de l'US-Navy.

La modélisation de Haldane

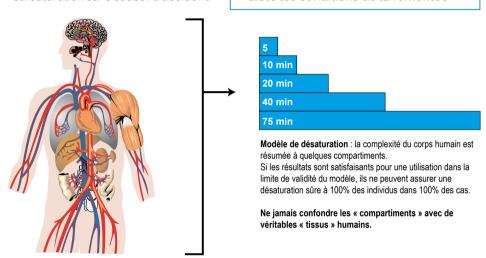
Selon la modélisation de Haldane, le processus de saturation et de désaturation du corps humain pourrait être représenté par des régions anatomiques factices appelées

« 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:

- 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



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.

P4 P5 M

Les M-values

Comme déjà indiqué (voir fiche 57), 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:

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

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

- 1 x 1,58 = 1,58 bar en surface (1 bar de pression atmosphérique);
- 1,3 x 1,58 = 2,054 bars à 3 m (1,3 bar de pression absolue);
- 1,6 x 1,58 = 2,528 bars à 6 m;
- 1,9 x 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 57) soit supérieure à sa $TN_{2\ max}$ à une profondeur donnée (surface, 3 m, 6 m, 9 m...).

Par exemple, si le compartiment ayant un Sc = 1,58 contient 2,5 bars d'azote $(TN_2=2,5\ bars)$ en fin de plongée, il ne pourra pas rejoindre la surface car sa TN_2 est supérieure à sa TN_2 $_{max}$ de surface (1,58 bar). Il ne pourra pas non plus rejoindre les 3 m car sa TN_2 $_{max}$ à 3 m est de 2,054 bars. En revanche, il pourra rejoindre les 6 m où la TN_2 $_{max}$ est de 2,528 bars.

Cette $TN_{2\ max}$ 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 :

$$Pabs = Patm + 1 \times \frac{p}{10}$$

Le jeu de paramètres de Bühlmann (1983)

Historique

Alors que l'US-Navy domine le sujet de la désaturation depuis les années 1950, Albert A. Bühlmann, médecin suisse, publie en 1983: *Dekompression – Dekompressionskrankheit.* Ce livre, traduit en anglais l'année suivante sous le titre *Decompression - Decompression Sickness*, va marquer l'histoire de la désaturation.

Albert A. Bühlmann travaille sur le sujet depuis de nombreuses années. Il a créé en 1960, avec l'aide de la marine française et de la marine américaine, le laboratoire de physiologie hyperbare de l'hôpital universitaire de Zürich. De plus, à partir de 1964, l'appui financier de la *Shell Internationale Petroleum Maatschappij* 1 lui a permis de mener à bien de nombreux travaux sur la plongée profonde, sujet d'actualité à l'époque, avec l'enjeu du pétrole *offshore* (« au large des côtes »).

C'est dans ces mêmes années que Jacques-Yves Cousteau et son équipe ont mené les expériences de vie sous la mer (plongées à saturation). C'est toujours dans ces mêmes années que se crée la Comex qui deviendra leader mondial sur le marché *offshore*.

Les paramètres de Bühlmann

Bühlmann ne crée pas un modèle de désaturation, mais il perfectionne grandement les paramètres du modèle du Haldane.

Parmi ses apports, citons:

- Une augmentation du nombre de compartiments qu'il porte à 16, alors que Workman se limitait à 9 et Haldane à 5.
- Le compartiment le plus long est fixé 635 min pour les plongées à l'air, ses recherches ayant déterminé que le corps se saturait en azote en 63,5 heures (6 x 635 min)² soit 2,645 jours. Pour l'hélium, il a calculé que la saturation complète se faisait en 1 jour. Il a donc divisé toutes les périodes des compartiments pour les plongées à l'air (azote) par 2,645 pour obtenir un jeu de paramètres spécifique à l'hélium³ avec le compartiment le plus long fixé à 240 minutes (635/2,645)⁴.
- La fraction d'azote retenue dans l'air respiré est de 79 % (et non de 80 %).
- La pression atmosphérique au-dessus de la mer est fixée à 0,95 bar⁵, ce qui fait qu'avant une plongée unitaire, l'azote dans le corps est de 0,75 bar (0,95 x 0,79) et non de 0,8 bar.
- Une prise en compte de l'air alvéolaire, en retirant 0,063 bar⁶ à la pression absolue du mélange respiré afin de prendre en compte le CO₂ et la vapeur d'eau.
- L'intégration des plongées en altitude.

^{6.} Bühmann A. A., Decompression, Decompression Sickness, Springer-Verlag, 1984, p. 5.



^{1.} Ces informations figurent dans la préface de son ouvrage.

^{2.} Par approximation, la saturation ou la désaturation sont considérées réalisées à 100 % au bout de 6 périodes ou demi-vies (voir fiche 57).

^{3.} Comex a procédé de manière similaire pour déterminer les périodes des compartiments à l'hélium de son jeu de paramètres

^{4.} Bühmann A. A., Decompression, Decompression Sickness, Springer-Verlag, 1984, p. 6.

^{5.} Bühmann A. A., Decompression, Decompression Sickness, Springer-Verlag, 1984, p. 41.

Les facteurs de gradient (GF)

Présentation

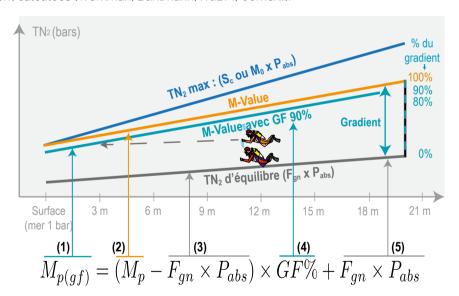
Les facteurs¹ de gradient (GF pour *Gradient Factors*) sont une **astuce de calcul** proposée par Erik C. Baker, sans mode d'emploi. À chacun donc de savoir comme les utiliser. Le gradient à la profondeur *p* est la différence entre la M-Value à cette même profondeur

Le gradient à la profondeur p est la différence entre la M-Value à cette même profondeur p (voir **fiche 60)** et la tension d'équilibre (P_{abs} x 0,79 pour les plongées à l'air) .

Cette astuce de calcul consiste à prendre un pourcentage de ce gradient (facteurs de gradient) afin de diminuer les M-Values et ainsi accroître la durée des paliers et/ou leur profondeur.

Cela permet de « jouer » sur les M-Values sans avoir à publier un nouveau jeu de paramètres.

Lorsque le GF est à 100 %, cela revient à ne pas modifier les M-Values. Les GF ne sont pas spécifiques à un jeu de paramètres, ils peuvent s'appliquer dès que des M-Values sont calculées (Workman, Bühlmann, RGBM, Comex...).



Lecture de la formule:

- La M-Value à la profondeur *p* affectée du GF (1) est égale à la M-Value sans GF (2) à laquelle on retire la fraction de gaz neutre multipliée par la pression absolue (3);
- Ce résultat, qui représente le gradient, est multiplié par un pourcentage (4);
- On rajoute la fraction de gaz neutre multipliée par la pression absolue (5). Il faut retirer (3) puis ajouter (5) la fraction de gaz neutre (azote pour les plongées à l'air) multipliée par la pression absolue car il s'agit d'une valeur qui ne peut pas être réduite. Elle ne fait pas partie du gradient, on ne peut donc pas lui appliquer un pourcentage.



^{1.} En mathématiques, un facteur est l'un des éléments constitutifs d'un produit. (Wikipédia).



Le jeu de paramètres des tables MN90

Les tables de la Marine nationale élaborées en 1990 (MN90) par le Dr Jean-Louis Méliet résultent d'une étude portant sur 33 dossiers d'accidents de décompression¹ survenus dans la Marine Nationale, qui utilisait alors les GERS 65, des tables adaptées à partir de celles de l'US-Navy.

Paramètres

- Tension d'azote initiale (plongée unitaire): 0,8 bar;
- Pourcentage d'azote dans l'air respiré: 80 %;
- Vitesse de remontée: 17 m/min (ramenée ensuite à 15 m/min);
- M-values: non (justifié par le fait qu'elles n'avaient pas d'incidence sur le type de plongées effectuées par la Marine nationale).

Nombre de compartiments: 12, de 5 à 120 minutes:

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demi-vie	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
S _c	2,72	2,54	2,38	2,2	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

Cadre de validité

L'instruction sur la Plongée Autonome (IPA) de la Marine nationale indique que « l'usage des tables MNgo est réservé à la plongée autonome, dans le cadre des missions de la Marine nationale, pour les plongées ne nécessitant pas d'effort physique plus important que celui de se déplacer à la vitesse de 0,5 nœud. » De plus², elles « correspondent (...) à une population particulière, ayant un certain profil biométrique et suivant une formation technique et un entraînement spécifique. L'adoption de ces tables hors de ce contexte ne peut se faire que sous la responsabilité de l'utilisateur [...]. »

Adoption par la FFESSM pour les examens théoriques

La FFESSM précise dans son mode d'emploi qu'elle « impose l'usage des tables MNgo dans le cadre des épreuves théoriques des examens » mais qu'il « va de soi que dans le cadre de la plongée sportive ou de loisir, l'usage des tables MNgo fédérales est déconseillé pour toute activité sortant de son domaine d'utilisation, en particulier lorsqu'il s'agit d'effort physique important en immersion ».

Le mode d'emploi de la FFESSM (voir fiche 74 et mode d'emploi annexé à ce livre) diffère, sur certains points, de celui de la Marine nationale.

Le fait que la vitesse de remontée retenue dans le mode d'emploi des tables MN90 de la FFESSM soit de 15 m/min pose la difficulté de définir ce qu'est une remontée rapide, à l'heure où la (bonne) vitesse de remontée unanimement reconnue est de 10 m/min (voir fiche 68). Pour l'utilisation théorique des tables au sein de la FFESSM, une vitesse de remontée rapide est une vitesse supérieure à 15 m/min.

^{1.} Meliet J.-L., Les accidents de décompression avec respect des tables GERS 65, 1988, MEDSUBHYP, 7,3:83-95. 2. Lettre n° 630 du 17 décembre 1996 du COMISMER.

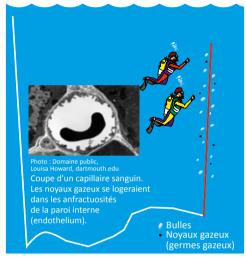
Remontées rapides, yo-yo et plongées en dents de scie

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 68) retenue mondialement est de 10 m/min, soit de l'ordre de 9 à 12 m/min en pratique.

En conséquence, une remontée rapide¹ 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'està-dire une remontée supérieure à la vitesse prévue par le jeu de paramètres du modèle (voir fiche 57).



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

Au mieux, des ajustements arbitraires sont effectués, via les GF (voir fiche 63). 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 64) 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 77).

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 77), même en l'absence de signes d'accident.

P5 M

^{1.} À ce titre, la vitesse de 15 m/min des tables MN90-FFESSM ne doit pas être enseignée en pratique (voir fiche 68). Récemment, pour son usage interne, la Marine nationale a réduit cette vitesse.

Intervalles entre deux plongées et nombre de plongées par 24 h

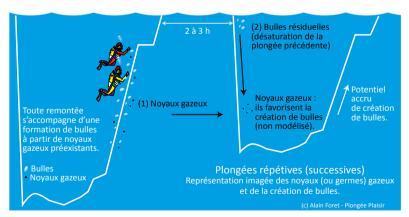
État des connaissances

La modélisation d'une plongée réalisée sous l'influence d'une précédente est imparfaite. Comme le souligne Peter Bennett: « Aucun algorithme unique et universellement accepté n'a été produit pour calculer une plongée successive. (...) La plupart des techniques disponibles, y compris dans les ordinateurs de plongée, utilisent la charge de gaz de la plongée précédente (...) et ne tiennent que peu ou pas compte de la création de nouveaux micronoyaux, eux-mêmes générateurs de bulles. » ¹

La littérature sur le sujet est abondante :

- « Les données sur les accidents de plongée montrent qu'il y a plus d'accidents lors des plongées successives que lors des plongées unitaires »^{1,2}
- « Les plongées successives et les plongées répétitives sont un facteur de risque supplémentaire quel que soit le moyen de détermination de la décompression. » ³
- « À données comparables, une plongée successive génère deux fois plus de bulles qu'une plongée unitaire. » ⁴
- « Un intervalle court entre deux plongées est un facteur de risque supplémentaire. »
 (...) « De même pour les plongées multiples sur plusieurs jours. » (...) « Les études de DAN ont montré que les plongeurs effectuant de multiples plongées sur plusieurs jours présentaient un risque d'ADD supérieur à la moyenne. » ⁵

De plus, lors de l'intervalle en surface, des bulles sont générées comme pour toute désaturation. Celles-ci vont se comprimer lors de la plongée suivante et pourraient ainsi créer de nouveaux noyaux gazeux lorsqu'elles deviennent extrêmement petites.



^{1.} Bennet and Elliott's, *Physiology and Medicine of Diving*, Saunders, 2003, pp. 471-472.

^{2.} Arieli R., Marmur A., *Decompression sickness bubbles: are gas micronuclei formed on a flat hydrophobic surface?* Respir Physiol Neurobiol. 2011 Jun 30;177(1):19-23. doi: 10.1016/j.resp.2011.02.013.

^{3.} Bennet and Elliott's, Physiology and Medicine of Diving, Saunders, 2003, p. 473.

^{4.} Bonnin J.-P. et coll, *Plongée sous-marine et milieu subaquatique, accidents – aspects médicaux*, Masson, 2003, p. 21.

^{5.} DAN, Projet Safe Dive.

^{6.} Powell Mark, Deco for Divers, Aquapress, 2021, p. 62.

Mais ces microbulles peuvent aussi:

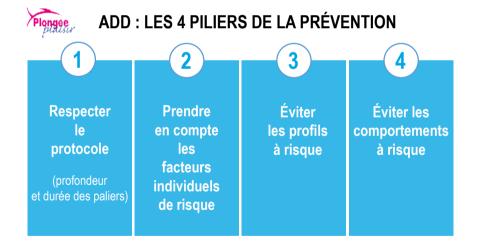
- grossir lors de la remontée ou s'associer entre elles pour former des emboles ou des manchons gazeux qui deviennent alors pathogènes;
- passer dans le circuit artériel, même si leur nombre est relativement faible, par exemple lors d'une manœuvre de Valsalva au palier en cas d'existence d'un FOP (voir fiche 75). Les signes dépendent de la localisation des bulles pathogènes.

Prévention des risques

Si, comme déjà dit, les risques sont relativement faibles, les études¹ 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 (ordinateur, tables).

Pour plonger en sécurité, il faut donc non seulement:

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





^{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.

L'ENCADRANT DE PALANQUÉE



Le centre des opérations du CROSS Méditerranée (CROSSMED). En mer ou depuis le littoral, c'est le CROSS qui doit être appelé en cas d'accident de plongée.

1. ALERTER

L'alerte des secours doit être la plus précoce possible. Contactez:

- Le CROSS en mer ou depuis le littoral (VHF-16 ou 196 au téléphone);
- Le SAMU dans tous les autres cas (téléphone 15, détresse vitale)¹.
 Ne raccrochez jamais vous-même, restez en communication avec les secours

Voir également la fiche 7 sur le plan de secours.



Les Centre régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage en France:

- CROSS Gris-Nez (Manche Est Pas-de-Calais):
- CROSS Jobourg (Manche Centrale);
- CROSS Corsen (Manche Ouest);
- CROSS Étel (Atlantique);
- CROSS Méditerranée;
- CROSS Martinique (Antilles-Guyane);
- CROSS Réunion (Océan Indien);
- JRCC (Joint Rescue Coordination Centre) Tahiti (Pacifique sud);
- MRCC (*Maritime Rescue Coordination Centre*) Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

1. Appeler le 112 ne fera, dans la plupart des cas, que retarder les secours. Le 112 est un numéro européen destiné à tout type d'urgence (chute, gaz, inondation, feu, accident de la route, agression, détresse vitale...) et relayera, en cas d'accident de plongée, vers le 15 (SAMU/SMUR).

P4 P5 M

Test de connaissances nº 6

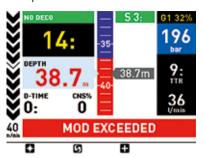
- 39. Expliquez la notion de « paliers profonds ». Pourquoi sont-ils invalidés, au moins pour les plongées à l'air?
- **40.** Pourquoi les plongées successives (ou répétitives) sont plus à risque que les plongées unitaires?
- 41. Quel intervalle est-il conseillé de respecter entre deux plongées?
- 42. Expliquez le concept du « two-tank dive »? Est-ce dangereux?
- 43. Est-il possible de plonger 3 fois dans la journée, en faisant une plongée de nuit?
- 44. Vous prévoyez une croisière plongée où l'on vous propose de faire jusqu'à 4 plongées par jour. Qu'en pensez-vous? Que faites-vous?
- **45.** En séjour plongée, il est parfois conseillé de faire une pause d'une journée tous les 5 jours. Pourquoi?
- 46. Quel est le délai à respecter pour prendre un avion de ligne après avoir plongé?
- **47**. Les paliers facultatifs sont issus des calculs du modèle de désaturation utilisé par votre ordinateur de plongée. Vrai ou faux?
- **48.** Les paliers profonds sont issus des calculs du modèle de désaturation utilisé par votre ordinateur de plongée. Vrai ou faux?
- **49.** Les remontées rapides, yo-yo et plongées en dents de scie ne sont pas modélisés. Vrai ou faux?
- 50. L'éventuelle procédure de rattrapage (1, 2 ou 3 minutes) en cas d'erreur de procédure est issue d'une modélisation de la désaturation. Vrai ou faux?
- **51.** La quantité réelle d'azote dissous (niveau de saturation réel) n'est pas connue. Il s'agit d'une hypothèse. Vrai ou faux?
- 52. Définissez ce qu'est une « procédure hétérogène ».
- 53. Que faites-vous en cas de procédure hétérogène?
- 54. Que signifie « MOD » sur un ordinateur de plongée?
- 55. Vous encadrez une plongée à 40 m. Lors de la remontée, en consultant les ordinateurs des plongeurs encadrés, vous constatez que l'un d'entre eux débute ses paliers à 12 m pour une durée totale de 22 minutes alors que vous-même et tous les autres de la palanquée n'avez que 8 minutes de palier à 3 m. Que faites-vous?
 - Quelle réflexion vous inspire cette situation? Qu'auriez-vous dû faire?
- 56. Interprétez les informations affichées.





Test de connaissances n° 6

57. Interprétez les informations affichées.





58. Interprétez les informations affichées.





59. Interprétez les informations affichées.





60. Interprétez les informations affichées.





Aider à l'organisation des plongées



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 78

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.
- 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.



Les acteurs de la plongée



FICHE 81

Les acteurs de la plongée

En France, la plongée subaquatique dépend du ministère chargé des Sports qui assure son développement, au même titre qu'un ensemble d'autres activités sportives:

- il propose des lois au parlement, promulgue des décrets et des arrêtés (codifiés dans le code du Sport);
- il apporte une aide humaine, technique et financière;
- il organise des examens pour les moniteurs d'État via les CREPS¹ (BPJEPS, DEJEPS...);
- il veille à ce que les meilleures garanties de sécurité soient offertes aux pratiquants. Cinq organismes certificateurs français sont mentionnés dans le code du sport:
- La FFESSM (Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins);
- La FSGT (Fédération Sportive et Gymnique du Travail);
- L'ANMP (Association Nationale des Moniteurs de Plongée);
- Le SNMP (Syndicat national des Moniteurs de Plongée);
- L'UCPA (Union des Centres de Plein Air).

S'y ajoute la CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques) au titre de fédération internationale.

Les fédérations

La notion d'agrément « sport »

L'agrément « sport » est une procédure de reconnaissance, octroyée sous certaines conditions (association à but non lucratif, respect des règles d'encadrement, d'hygiène et de sécurité, adoption de statuts types, fonctionnement démocratique, etc.).

C'est une condition indispensable pour prétendre à des aides de l'État.

C'est également une des conditions permettant de bénéficier d'une exemption, pour les navires en plaisance, du Droit Annuel de Francisation et de Navigation (DAFN).

La FFESSM et la FSGT disposent de cet agrément, ce qui entraîne de facto celui de leurs comités régionaux et départementaux ainsi que celui des associations (clubs) affiliées².

La notion de délégation

La procédure de délégation (renouvelable tous les 4 ans) consiste pour l'État à désigner, pour certaines disciplines, une fédération unique ayant de véritables pouvoirs de puissance publique. En particulier, les fédérations désignées définissent les règles techniques et administratives et organisent les compétitions à l'issue desquelles sont délivrés les titres nationaux, régionaux et départementaux.



^{1.} Centres de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportive.

^{2.} Depuis l'ordonnance n°2015-904 du 23 juillet 2015 portant simplification du régime des associations et des fondations, toute association sportive affiliée à une fédération sportive agréée par l'État en application de l'article L131-8 du code du sport est considérée comme agréée. Cette disposition est codifiée à l'article L121-4 du code du Sport.



Les établissements recevant du public (ERP)

Constituent des établissements recevant du public (ERP)¹, « tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non.

Sont considérées comme faisant partie du public toutes les personnes admises dans l'établissement à quelque titre que ce soit en plus du personnel. »²

Le but de cette réglementation est de vérifier que la conception et l'exploitation des ERP permettent de limiter les risques d'incendie, d'alerter les occupants de la survenue d'un sinistre, de favoriser leur évacuation, d'éviter la panique, de permettre l'alerte des services de secours et de faciliter leur intervention, de respecter un accès aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR).

Ainsi, selon les circonstances (ex. épisode sanitaire), l'État ou les préfectures peuvent décréter quels types d'établissements peuvent ou ne peuvent pas accueillir du public.

LES TYPES D'ERP

Établissements installés dans un bâtiment			W Administrations, banques, bureaux		
J	Structures d'accueil pour personnes âgées ou personnes handicapées		Établissements sportifs couverts		
L	Salles d'auditions, de conférences, de réunions, de spectacles ou à usage multiple		Musées		
М	Magasins de vente, centres commerciaux	Établissements spéciaux			
Ν	Restaurants et débits de boissons	PA	Établissements de plein air		
0	Hôtels et pensions de famille	CTS	Chapiteaux, tentes et structures itinérants ou à implantation prolongée ou fixes		
Р	Salles de danse et salles de jeux	SG	Structures gonflables		
R	Établissements d'enseignement, colonies de vacances	PS	Parcs de stationnement couverts		
S	Bibliothèques, centres de documentation	OA	Hôtels-restaurants d'altitude		
Т	Salles d'exposition	GF	Gares accessibles au public		
U	Établissements sanitaires	EF	Établissements flottants ou bateaux stationnaires et bateaux		
V	Établissements de culte	REF	Refuges de montagne		

Les bateaux de plongée ne sont pas des ERP de type EF (pontons ou bateaux non navigants transformés en restaurant, salle de réunion, ...).

Les clubs et centres de plongée ne sont pas des ERP de plein air (la notion d'ERP est attachée à une construction). En revanche, les piscines extérieures et les carrières privées aménagées pour la plongée constituent des ERP de type PA.

Les piscines couvertes sont des ERP de type X.

^{2.} Art. R123-2 du Code de la construction et de l'habitation.



^{1.} Ne pas confondre les ERP, qui sont des ouvrages construits, et les activités qu'y exercent les établissements d'APS (voir fiche 82).



La plongée sollicite le système cardiovasculaire

Le système cardiovasculaire se compose du sang, du cœur et des vaisseaux (artères, veines, capillaires). Ses fonctions sont essentielles à la vie, puisqu'il distribue oxygène et nutriments aux cellules, élimine déchets et gaz carbonique. En plongée, le système cardiovasculaire est particulièrement sollicité.



FICHE 85

Le cœur

Description

Le cœur est principalement constitué du **myocarde**, un muscle gros comme le poing. Situé entre les deux poumons, dans un espace appelé **médiastin**, son rôle est de faire circuler le sang dans les vaisseaux. Il se compose de deux pompes : le cœur droit et le cœur gauche. Chacune de ces parties contient deux cavités : les **oreillettes** et les **ventricules**,

séparés par des **valvules** dont le rôle est d'éviter le reflux sanguin vers les oreillettes pendant la contraction ventriculaire.

Les veines caves inférieure et supérieure acheminent le sang chargé en CO₂ dans le cœur droit qui le renvoie aux poumons par les artères pulmonaires gauche et droite. Les veines pulmonaires amènent au cœur gauche un sang riche en oxygène¹, appelé aussi « sang hématosé », transmis à tout l'organisme via l'artère aorte.

Fonctionnement

Le cycle cardiaque alterne des périodes de contraction des oreillettes et ventricules (systole), pour propulser le sang, puis de relâchement général (diastole)², afin de laisser se remplir les oreillettes et les ventricules. Le rythme cardiaque traduit le nombre de fois où l'ensemble de ce cycle se produit. Au repos, il est en moyenne de 70 pulsations par minute. En cas de stress ou d'effort, les nerfs cardiaques et des hormones augmentent ce rythme, ce qui accroît la quantité de sang, et donc d'oxygène, transmise aux organes (muscles en particulier). Ce contrôle du rythme cardiaque

MESURE DU DÉBIT CARDIAQUE

Le débit cardiaque (DC) dépend de la fréquence cardiaque (FC) et de la quantité de sang propulsée à chaque contraction ou Volume d'éjection systolique (VES) : DC = VES x FC.

est assuré par le système nerveux végétatif³. La fréquence cardiaque a une incidence directe sur le **débit cardiaque**. Au repos, ce débit est de l'ordre de 5 litres par minute alors qu'il peut atteindre 25 à 30 litres par minute en cas d'accélération du rythme cardiaque. Une telle variation du débit sanguin (jusqu'à 6 fois supérieur à celui au repos) a une incidence certaine sur la quantité d'azote dissous dans notre organisme. **C'est une des raisons pour lesquelles nous devons adapter nos procédures de désaturation en cas d'effort, d'essoufflement, de froid ou de stress en plongée**.

- 1. Par abus de langage, certains auteurs parlent de sang artériel (riche en O₂) et veineux (chargé en CO₂). Mais paradoxalement, au niveau de la petite circulation, les veines contiennent du sang artériel.
- 2. La tension artérielle mesure la pression au plus fort de la contraction systolique et au plus bas, lors du relâchement diastolique (exemple 12/8).
- 3. Voir le chapitre sur le système nerveux.

P4 P5

M



Le système respiratoire

Le système respiratoire se compose des poumons et des conduits aériens. Une de ses fonctions est de fournir de l'oxygène et d'éliminer le gaz carbonique. En plongée, cela fait intervenir le rôle de l'azote. En comprendre les mécanismes permet de mieux cerner les notions de ventilation, d'échanges gazeux, de consommation d'air et d'essoufflement. Cela permet aussi d'appréhender les risques de surpression pulmonaire et de noyade (inondation des voies aériennes).

FICHE 89

Les voies aériennes supérieures

Les voies aériennes supérieures assurent l'écoulement de l'air ambiant vers les poumons, ainsi que son évacuation. Elles se composent des fosses nasales, du pharynx, du larynx et de la partie supérieure de la trachée.

Les fosses nasales

Les fosses nasales, ouvertes vers l'extérieur par les **narines**, sont des cavités osseuses tapissées d'une muqueuse collante qui, d'une part, piège les impuretés, et, d'autre part, humidifie et réchauffe l'air inspiré.

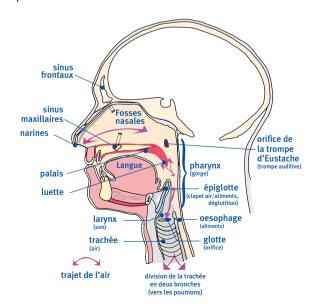
Les sinus

Les sinus sont des cavités emplies d'air. En plongée, ce sont essentiellement les sinus frontaux et maxillaires qui peuvent être sujets à des barotraumatismes, du fait de l'obstruction des minces canaux qui les relient aux fosses nasales.

Le plongeur ressent le plus souvent une douleur vive au niveau du front (parfois accompagnée de saignements) ou de la mâchoire. Ce dernier cas peut être confondu avec une douleur dentaire aiguë.

Afin d'éviter toute infection ou maux de tête consécutifs à une sinusite barotraumatique, il est conseillé de consulter un médecin ORL lorsque cela se produit.

À titre préventif, il ne faut pas plonger avec une sinusite, ne jamais insister en cas de douleur et éviter les décongestifs locaux, dont l'action est limitée dans le temps.





Les oreilles

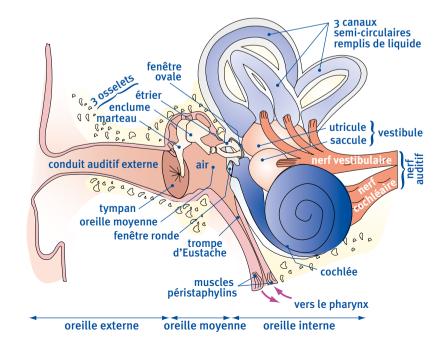
FICHE 95

Description de l'oreille

Une oreille se compose de trois grandes parties :

- L'oreille externe avec le pavillon et le conduit auditif qui mène à la paroi extérieure du tympan. Ce conduit est en communication avec le milieu ambiant : air en surface, eau en immersion.
- L'oreille moyenne, ou caisse tympanique, est délimitée par la paroi interne du tympan et par la fenêtre ovale. Elle contient trois osselets (marteau, enclume, étrier) maintenus par des ligaments. Elle communique avec le pharynx (arrière-nez) par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache, conduit généralement fermé qui s'ouvre spontanément toutes les 2 ou 3 minutes et lors de la déglutition, en faisant intervenir les muscles péristaphylins. Le rôle essentiel de ce canal de communication est d'assurer la ventilation et l'équilibre des pressions dans l'oreille moyenne. L'étrier, solidaire de la fenêtre ovale, met en communication l'oreille moyenne et l'oreille interne.
- L'oreille interne est un labyrinthe empli de liquide. Elle contient :
 - la cochlée (avec la fenêtre ovale et la fenêtre ronde), organe de l'audition d'où part le nerf cochléaire :
 - le vestibule et les canaux semi-circulaires, organes jouant un rôle dans l'équilibre, d'où part le nerf vestibulaire.

La réunion du nerf cochléaire et du nerf vestibulaire constitue le nerf auditif.





Le système nerveux

FICHE 98

Description et fonctionnement du système nerveux

Le système nerveux contrôle notre organisme dont il régule l'activité à l'aide d'un centre de commande et d'un réseau de transmission.

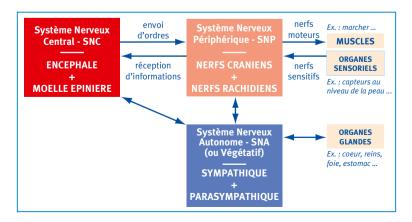
Le **centre de commande**, ou *système nerveux central* (SNC), se compose de l'**encéphale** (cerveau, cervelet, tronc cérébral) prolongé par la **moelle épinière** ¹.

Ce système ne peut assurer ses fonctions que s'il est connecté à un **centre de transmission** : ce sont les **nerfs crâniens** pour les régions de la tête et du cou (nerf facial, nerf optique, nerf auditif...) et les **nerfs rachidiens** pour le reste du corps.

Ils constituent le *système nerveux périphérique* (SNP) qui relie le système nerveux central aux différentes parties du corps pour envoyer ou recevoir des informations :

- Les nerfs sensitifs acheminent vers le SNC des informations en provenance d'organes disposant de capteurs sensitifs (peau, muscles, vaisseaux sanguins, etc.). Ce sont, par exemple, les sensations de chaud, de froid, de douleur, etc.
- Les nerfs moteurs permettent les mouvements, volontaires ou involontaires, en transmettant des ordres aux muscles (marcher, nager, tourner la tête, etc.).

De son côté, le *système nerveux autonome* (SNA), ou végétatif, agit sur les organes et glandes dont le fonctionnement est involontaire, comme celui du cœur, les fonctions digestives et, dans une certaine mesure, la ventilation. On y distingue deux réseaux nerveux: le *système sympathique* et le *système parasympathique*, dont les actions s'opposent et s'équilibrent, ce qui permet d'assurer le bon fonctionnement de l'organisme. Par exemple, le *système sympathique* accélère le rythme cardiaque, contracte certains vaisseaux sanguins et dilate les bronches, alors que le *système parasympathique* produit l'inverse. Le système végétatif emprunte également les nerfs crâniens et rachidiens.



1. Longue d'environ 45 cm, du diamètre d'un crayon, elle loge dans la colonne vertébrale.

Narcose: quelles hypothèses?

Les premières évocations de la narcose ont été faites par V. T. Junod en 1834-1835: « l'imagination est vive, les pensées s'accompagnent d'un charme particulier, et chez quelques personnes il se manifeste des symptômes d'ivresse »¹. Puis, la mise en évidence du rôle de l'azote a été faite par Behnke² en 1935 avant de l'étendre à d'autres gaz neutres (ex. hélium)³ en 1939. Il existe deux théories explicatives⁴ qui se complètent.

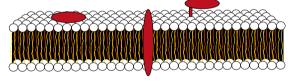
Théorie lipidique et de l'expansion membranaire

Selon la théorie lipidique dite « *de Meyer-Overton* »⁵, la diffusion de gaz neutre dans la bicouche lipidique des membranes des cellules nerveuses augmenterait leur volume (gonflement et étirement) perturbant ainsi, au-delà d'un volume critique, la transmission de l'influx nerveux. Selon l'hypothèse lipidique dite « moderne »⁶, l'effet anesthésique se produirait par la solubilisation de l'anesthésique général dans la bicouche lipidique, entraînant une redistribution des pressions latérales de la membrane.

Théorie protéique

Selon la théorie protéique, énoncée dans les années 1970⁷, redevenue récemment un sujet d'étude^{8,9}, l'azote se fixerait directement sur les protéines de la membrane cellulaire des neurones, perturbant ainsi l'activité d'un messager chimique, le « GABA¹⁰ » et diminuant la production de dopamine (modulateur des sorties motrices et psychiques) et du glutamate (neurotransmetteur excitateur du SNC) dans certaines parties du cerveau (troubles le canal de l'idéation).

Ces facteurs explicatifs ne constituent pas des connaissances opérationnelles en plongée car ils ne permettent pas d'améliorer les conseils de prévention de la crise de narcose.



Bicouche lipidique avec des protéines collées, ancrées et transmembranaires (représentation imagée).

^{1.} Communiqué à l'Académie des sciences du 25 août 1834 et *Recherche sur les effets physiologiques et thérapeutique de la compression et de la raréfaction de l'air, tant sur le corps que les membres isolés*, Archives Générales de Médecine, 2° série, Tome IX, Paris, 1835, p. 160.

^{2.} Behnke A. R., Thompson R. M., Motley E. P., *The psychologic effects from breathing air at 4 atmospheres pressure*. Am J Physiol. 1935.

^{3.} Behnke, A. R.; Yarborough, O. D., *Respiratory resistance, oil-water solubility and mental effects of argon compared with helium and nitrogen*, American Journal of Physiology. 126 (2): 409-15, 1939.

^{4.} La théorie aqueuse (hydrates) semble anecdotique. Pauling L., *A molecular theory of anesthesia*, Science, 1961.

^{5.} Meyer K. H., Contributions to the theory of narcosis, Trans Faraday Soc., 1937.

^{6.} Cantor RS, The Lateral Pressure Profile in Membranes: A Physical Mechanism of General Anesthesia, Biochemistry, 1997.

^{7.} Miller K. W., Paton W. D., Smith R. A., Smith E. B., *The pressure reversal of general anesthesia and the critical volume hypothesis*, Mol. Pharmacol, 1973.

^{8.} Rostain J.-C. et coll., A review of recent neurochemical data on inert gas narcosis, Hyperb Med. 2011 Jan-Feb;38(1):49-59.

^{9.} Rostain J.C. et Balon N., Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects, Undersea Hyperb Med., May-Jun 2006;33(3):197-204.

^{10.} GABA: messager chimique qui freine l'activité des neurones sur lesquels il se fixe.

Volume, poids et masse

Le langage courant emploie, parfois à tort, certains termes. Pour éviter des erreurs de compréhension, il est nécessaire de les définir.

Poids et masse

Habituellement, nous parlons du poids des objets, alors qu'il faudrait parler de masse. Le poids est la force exercée par la pesanteur sur une masse (il se mesure en Newtons) alors que la masse se mesure en kg.

Retenons simplement que lorsque nous disons « Le poids de cette bouteille est de 20 kg », il faudrait dire « La masse de cette bouteille est de 20 kg » (son poids est environ de 200 Newtons).

L'unité de mesure en Newtons (N) est, par exemple, utilisée dans la réglementation maritime (division 240, plaisance) afin de définir la flottabilité minimale des équipements individuels de flottabilité (EIF), communément appelé « gilet de sauvetage »: elle est de 50 N pour les navigations entre 2 et 6 milles d'un abri.

Masse volumique

La masse volumique est la masse par unité de volume.

La masse volumique de l'eau pure est de 1 kg par litre.

La masse volumique de l'air est en moyenne de 1,292 g par litre à la pression atmosphérique dite « normale » (au niveau de la mer).

À 60 m, par exemple, la masse volumique de l'air est de 7 x 1,292 = 9,04 g par litre. C'est la limite de masse volumique acceptée pour un mélange respiré en plongée selon la réglementation du travail et le code du sport (limite de la plongée à l'air).

La limite de 60 m pour les plongées à l'air est également imposée par la limite de pression partielle d'azote fixée à 5,6 bars (voir fiche 47).

Litres et dm₃

Le litre est une unité de volume réservée aux liquides (1 litre d'eau) et aux matières sèches (anciennement, on parlait d'un litre de farine). Dans le langage scientifique, on utilise comme unité de volume le dm3 plutôt que le litre. Cependant, 1 litre équivaut à 1 dm³.

Densité

La densité relative (d) est le rapport entre la masse volumique d'une substance et la masse volumique d'un corps de référence.

Elle s'exprime par un nombre sans unité.

Pour les solides et les liquides, le corps de référence est l'eau pure à 4 °C dont la masse volumique est de 1 kg/litre (pour les gaz, le corps de référence est l'air).

Ainsi, pour une eau de mer dont la masse volumique est de 1,025 kg/litre, sa densité est de :

$$D = \frac{1,025 \text{ kg/litre}}{1 \text{ kg/litre}} = 1,025$$

Un corps ayant une densité inférieure à celle de l'eau flotte, alors qu'un corps d'une densité supérieure coule. Par exemple, la densité du plomb est de 11,3, c'est-à-dire qu'un dm3 de plomb pèse 11,3 kg.

Compresseur et station de gonflage



FICHE 111

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 » jusqu'à atteindre la pression maximale prévue.

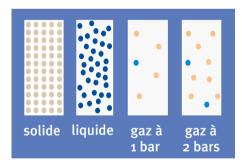


Schéma symbolique des différents états de la matière (échelles non respectées).

1 ^{er} étage	2º étage	3º étage	4º étage	5° 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).

P4 P5 M

^{1.} Étage : ensemble cylindre-piston.