

LE CAISSON HYPERBARE ET



LA RECOMPRESSION THERAPEUTIQUE

FRANÇOIS DESPRETS

FRANÇOIS Desprets
Septembre 2003

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement :

FEDERATION FRANCAISE D'ETUDE ET DE SPORTS SOUS MARIN

→ Mes parents : Gabriel VASSEUR et Jean Louis BLANCHARD, pour
leur soutien tout au long de mon parcours d'instructeur national
stagiaire.



→ L'équipe du C.C. de Lille : Prof. D.
Mallat, Dr JC L... , D. Demiers, ainsi que tout le
personnel du centre.

→ Dr Philippe Masson, Christine Fodern, Patrick Brosselard, ainsi que
Alainy Thomas pour leur aide et leur soutien.

COMMISSION TECHNIQUE NATIONALE

MEMOIRE D'INSTRUCTEUR NATIONAL

FRANÇOIS DESPRETS

Septembre 2003

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement :

➔ Mes parrains : Gabriel VASSEUR et Jean Louis BLANCHARD, pour leur soutien tout au long de mon parcours d'instructeur national stagiaire.

➔ L'équipe du Centre Régional d'Oxygénothérapie de Lille : Prof. D. Mathieu, Dr JC Linke, P. De Lastelle, D. Damiens, ainsi que tout le personnel du centre.

➔ Dr Philippe Mascret, Christelle Podevin, Patrick Brosselard, ainsi que Audrey Thomas pour leur aide et leur soutien.

SOMMAIRE

➤ Introduction

➤ Avant propos : Un peu d'histoire

➤ 1^{ère} Partie :

- Descriptif des installations hyperbares **P 9**
 - Les grandes familles de caissons
 - Le centre régional d'oxygénothérapie de Lille : **P 11**
 - Le personnel
 - Architecture du centre de recompression
 - Descriptif des installations
 - Production et distribution des gaz
 - Les différents circuits de fluide
 - Prévention des incendies en milieu hyperbare **P 18**

➤ 2^{ème} Partie :

- Traitement des accidents de décompression
 - Effets physiologiques de l'O₂ à des pressions élevées **P 20**
 - Classification des accidents de décompression : **P 23**
 - Accidents de type I
 - Accidents de type II
 - Intérêt du traitement par recompression thérapeutique **P 25**
 - Prise en charge pré-hospitalière **P 27**
 - Traitements médicamenteux et protocole d'hydratation avant OHB **P 28**
 - Déroulement d'une séance **P 30**

➤ Conclusion **P 32**

➤ Bibliographie **P 33**

➤ Annexes **P 34**

INTRODUCTION

Aujourd'hui, pour une grande partie des plongeurs, le caisson hyperbare est une énigme. En effet, les adeptes de cette activité subaquatique ont tous un jour ou l'autre entendu parler du caisson hyperbare et malheureusement, le plus souvent, lors d'accidents de plongée.

J'ai personnellement assisté, il y a quinze ans à un accident de décompression grave. C'est à cette occasion que j'ai pu découvrir l'aspect pratique et surtout l'importance de ces installations.

Elles assurent la sauvegarde et permettent d'assurer une guérison partielle voir totale aux plongeurs accidentés.

Aussi pendant toutes mes années de plongeur et d'enseignant, je me suis intéressé aux installations hyperbares tant pour ma culture personnelle que pour répondre aux nombreuses interrogations des plongeurs.

Tous ces éléments m'ont amené à choisir ce sujet pour l'élaboration du présent mémoire :

LES INSTALLATIONS HYPERBARES ET LA RECOMPRESSION THERAPEUTIQUE

Après présentation d'un court historique, je vous présenterai les grandes familles de caissons, les installations situées à Lille, puis une description technique de ces installations.

UN PEU D'HISTOIRE

Dès l'Antiquité, l'Homme a multiplié les incursions sur et sous la mer, d'abord à des fins alimentaires puis militaires et mercantiles.

Mais c'est à la Renaissance, principalement à cause du développement des grands voyages maritimes, que l'homme a cherché à améliorer les techniques de travaux portuaires, de récupérations d'épaves et de leurs cargaisons.

Le 17^{ème} siècle est fertile en expérimentation et en découvertes liées aux travaux hyperbares :

Tube barométrique de Torricelli en 1644.

Lois de l'hydrostatique de Pascal en 1653.

Premiers essais d'hyperbarie thérapeutique du docteur Henshaw à Londres en 1662.

Loi de Boyle et Mariotte en 1661/1676.

Les cloches à plongeurs à renouvellement d'air d'Edmund Haley (astrophysicien) en 1690.

Etude sur la pneumatique et mise au point de système de mise sous pression d'air (pompe à soufflet, clapet de non-retour).

Puis au 18^{ème} siècle :

Découverte du gaz carbonique par Black en 1755.

Découverte de l'oxygène par Priestley en 1775.

Mise en évidence par Lavoisier de la consommation d'oxygène par l'organisme et de la production de gaz carbonique de ce dernier.

En 1791, un ingénieur anglais en charge de la réparation des piles du pont d'Hexham, utilise le premier caisson immergé alimenté en air comprimé par une pompe située en surface sur une barge. D'autres, comme Fréminet, proposent des techniques plus souples comme l'intervention de scaphandriers alimentés en air par la surface.

Le 19^{ème} siècle, ère industrielle, source de gros chantiers, sera à l'origine de développements importants dans la recherche et la mise en place de techniques hyperbariques et subaquatiques :

1819, mise au point du premier scaphandre par Siebe et Gorman.

1834, Junod étudie les effets bénéfiques de la pression de l'air comprimé sur l'organisme.

Courant 1840, les premiers centres de traitements hyperbariques s'ouvrent sur le territoire français.

Dans le même temps, une série de grands chantiers de renflouements et de constructions outre manche et outre atlantique débutent.

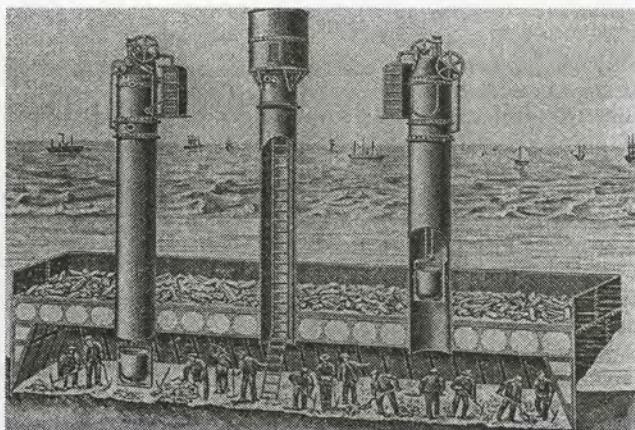
Les scaphandriers profonds chargés du renflouement du HMS ROYAL GEORGE sont pris de «douleurs rhumatismales et de froid intense ».

Sur le chantier du pont d'Eads bridge à Saint Louis 30 ouvriers sont atteints de paralysies, 13 trouvent la mort avant la fin du chantier.

Pendant la construction du tunnel de l'Hudson river un quart des ouvriers trouveront la mort.

Les ouvriers deviennent des cobayes.

La « Maladie du caisson » est née, le terme de « Bend » se répand dans la profession.



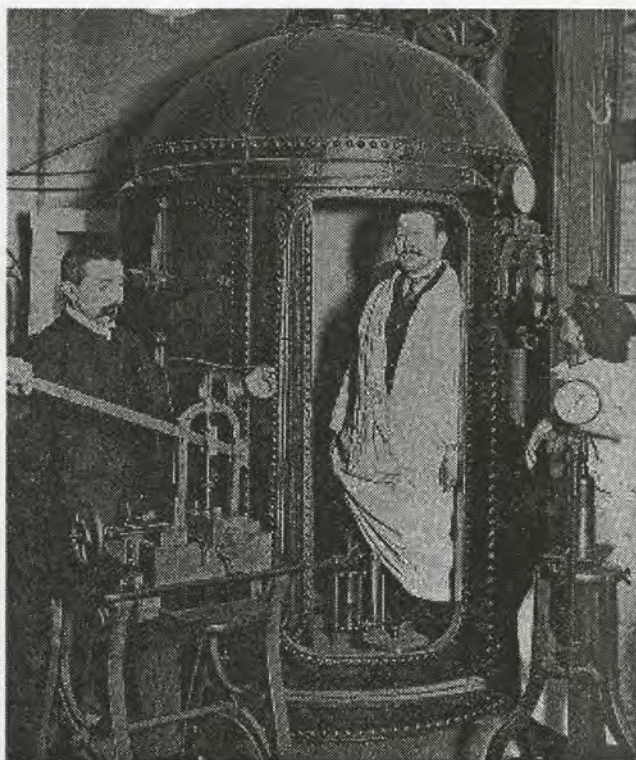
CONSTRUCTION D'UNE PILE DE PONT:
LES OUVRIERS TRAVAILLENT SOUS PRESSION.

1865, invention du détendeur par Rouquayrol et Denayrouse.

1878, mise au point du compresseur multi-étagé par Brotherhood.

La même année paraît un ouvrage qui constituera une référence incontournable dans le domaine subaquatique et hyperbarique :
« LA PRESSION BAROMETRIQUE »
de Paul Bert.

Celui-ci en précurseur traitera entre autres des problèmes de toxicité et de dissolution des gaz dans l'organisme avec formation de bulles lors de la décompression.



PAUL BERT ET SON CAISSON EXPERIMENTAL

En 1879, le docteur Fontaine ayant remarqué la diminution du nombre d'accidents d'anesthésie grâce à l'augmentation de la quantité d'oxygène dans le sang fait construire une salle d'opération hyperbare mobile.

1895, Haldane, suite à des expérimentations sur les intoxications au monoxyde de carbone préconise l'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare.

1906, le gouvernement anglais demande à Haldane, par l'intermédiaire de la Royal Navy, de poursuivre les travaux de Paul Bert sur la décompression afin de prévenir les accidents et la maladie de décompression.

Le 20^{ème} siècle, les deux guerres puis le développement remarquable de la plongée industrielle ont généré des progrès technologiques très importants.

1908, Haldane élabore les tables de la Royal Navy.

1915, l'US Navy développe des tables basées sur le même concept.

1919, l'ingénieur français Boutan met au point un scaphandre autonome à régénération d'air associé au scaphandre de Rouquayrol (utilisation dans les mines).

1937, démonstration de Leprieur du scaphandre autonome lors de l'exposition universelle de Paris.

La même année, premier essai de plongée à l'hélium par les scaphandriers de l'U.S. Navy.

La 2^{ème} guerre mondiale sera riche en découvertes et en exploits sous marin de tout genre ; sabotage et infiltration en terrain ennemi par les nageurs de combat, développement de la plongée recycleur chez les militaires...

1945, sortie du détendeur Cousteau-Gagnant plus communément appelé CG 45.

Dans le même temps, création du G.R.S. qui deviendra le G.E.R.S.

De 1957 à 1965, début de la plongée profonde à saturation et développement des expériences de Maisons sous la mer.

1961, création d'une société qui jouera un rôle important dans l'évolution de la plongée professionnelle : La COMEX

Toutes ces évolutions, et bien d'autres encore, ont permis le développement de la plongée sous-marine entraînant une augmentation des plongeurs ce qui a amené la création de centres hyperbares de plus en plus nombreux sur le territoire Français.

DESCRIPTIF DES INSTALLATION HYPERBARES

Tout d'abord qu'est ce qu'un caisson ?

C'est une enceinte étanche et résistante qu'il est possible de soumettre à une pression supérieure à l'atmosphère ambiante qui est de 1013mb.

LES GRANDES FAMILLES DE CAISSONS

Le caisson hyperbare peut être monoplace ou multiplace, de construction souple ou rigide, fixe ou mobile, de volumes intérieurs différents et de pressions de services variables.

Les caissons parmi les plus utilisés :

Le caisson monoplace.

Peu encombrant, simple d'emploi, il n'est pas sans inconvénients. En effet, l'accidenté se retrouve seul dans cette enceinte confinée sans aucune possibilité d'intervention extérieure pour assurer les actes médicaux.

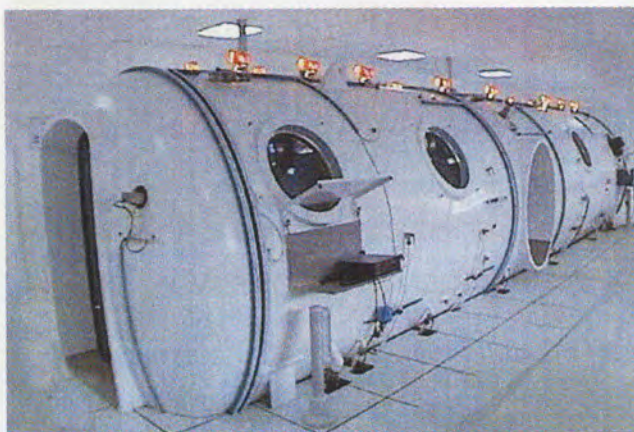
Il peut être utilisé par les professionnels de la plongée, comme les corailleurs, afin d'assurer leurs paliers de décompression.

Ce type de caisson est réservé aux personnes conscientes dont les conditions cardio-respiratoires sont stables. Leur pression d'utilisation maximum est de 3 bars.

Le caisson multiplaces.

Ensemble de chambres thérapeutiques reliées entre elles par des sas pouvant recevoir plusieurs malades simultanément.

Il est fabriqué en acier et muni de portes étanches permettant de maintenir l'ensemble à des pressions de 6 bars maximum. Ils sont équipés de tous les équipements médicaux nécessaires : respirateur, seringue électrique, appareil de monitoring, etc.



Le caisson souple.

Il est utilisé par les alpinistes pour traiter le mal des montagnes.

L'enceinte est constituée d'une double enveloppe préssurisable à environ 200 mb.



CAISSON SOUPLE DE LA SOCIETE CERTEC

Le caisson fixe.

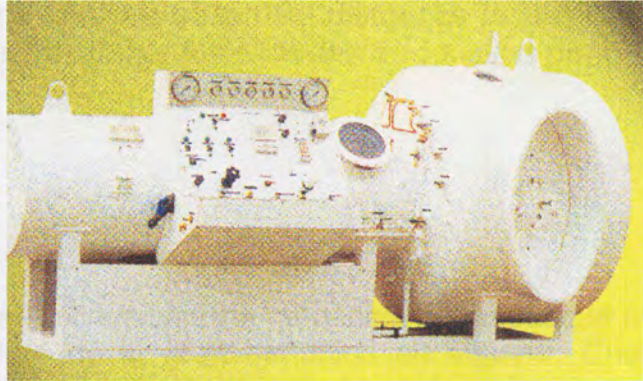
Par opposition au caisson mobile, celui-ci est installé de manière durable.

Il se rencontre dans les centres d'oxygénothérapie hyperbares, dans les sociétés de travaux sous-marin, dans certains organismes de recherche...

Le caisson mobile ou de transport.

Essentiellement utilisé pour le transport des accidentés quand le centre de recompression thérapeutique est très éloigné.

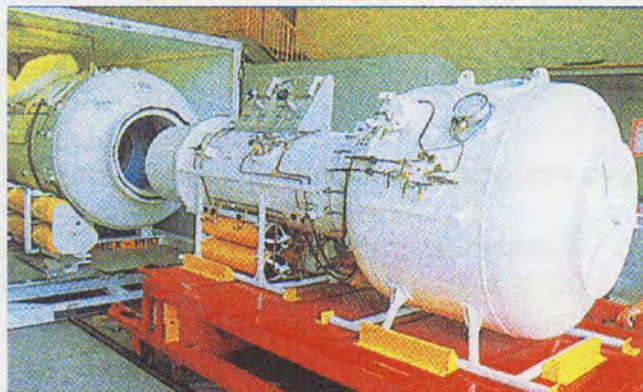
Fabriqués en aluminium ou en alliage léger, certains sont munis d'un sas ou un accompagnant peut assister l'accidenté.



CX 800/1600 COMEX

Certains modèles de caissons de transport sont clampables sur un système multiplaces.

Dans ce cas, si l'éloignement du centre est trop important, il est possible de réaliser l'intégralité du traitement.



VERSION CLAMPABLE

LE CENTRE REGIONAL D'OXYGENOTHERAPIE DE LILLE

Afin d'illustrer mes propos j'ai choisi de vous présenter le Centre Régional d'Oxygénothérapie Hyperbare de Lille, semblable à beaucoup d'autres centres de traitement présent sur le territoire Français.

Le centre hyperbare est jumelé avec une unité de traitement d'urgence respiratoire, la proximité d'une telle unité permet de dispatcher les malades en fonction de leur pathologie.

LE PERSONNEL

Les médecins

Ils doivent être titulaires du Diplôme inter-universitaire de médecine subaquatique et hyperbare. L'un d'entre eux est, au titre de la réglementation en vigueur, Chef d'Opération Hyperbare. Il est responsable de l'installation, du bon déroulement des séances et du choix qualitatif et quantitatif du personnel soignant.

L'opérateur de caisson – Appelé aussi « Caisson Master ».

Il est chargé de la conduite, de l'installation et de la prise en charge du ou des patients, de l'entrée à la sortie de l'installation. Il doit mettre en œuvre les protocoles de compression établis par les médecins.

L'hyperbariste.

Personnel soignant; médecin, infirmier ou aide-soignant.

Il est chargé de surveiller, d'assister et d'effectuer tout acte médical, compatible avec sa fonction, sur les patients se trouvant à l'intérieur des caissons.

L'ensemble de ce personnel est titulaire, en plus de leur diplôme respectif, du « Certificat professionnel d'aptitude à l'hyperbarie » défini selon le décret N°90-277 du 28 mars 1990 du Ministère du travail, mention C classe I ou II. (voir annexes)

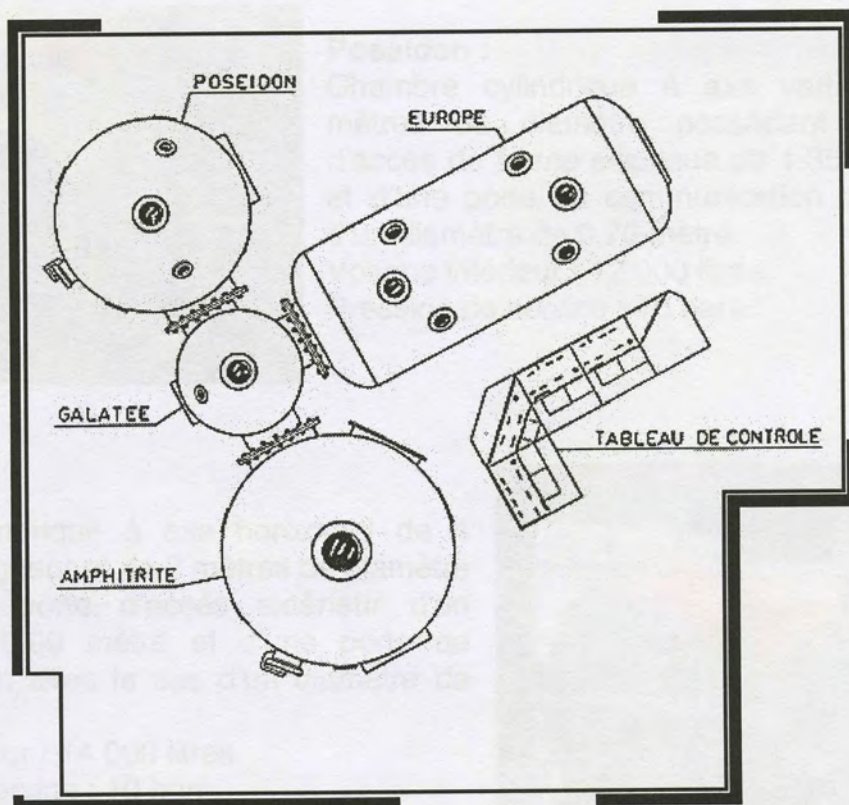
A titre indicatif le centre de Lille est pourvu de :

- Un chef de clinique
- Trois médecins
- Un interne
- Huit à dix infirmiers
- Huit à dix aides soignant
- Quatre opérateurs de caisson
- Un ingénieur
- Trois administratifs

ARCHITECTURE DU CENTRE DE RECOMPRESSION

Sur une surface au sol d'environ 100 m² sont installées 4 chambres de recompression, possédant chacune une entrée patient et une entrée secondaire via un sas commun.

Cette installation a été réalisée par la Comex dans les années 80.



IMPLANTATION GENERALE DES CAISSONS (Vue de dessus)

Quelques locaux annexes complètent cette installation : les locaux de production, de stockage et de distribution des fluides.

DESCRIPTIF DES INSTALLATIONS

Amphitrite :

Chambre cylindrique à axe vertical de 3 mètres de diamètre et de 2,10 mètres de hauteur utile. Cette chambre possède une porte d'accès patient d'un mètre de diamètre et une porte de sas d'un diamètre de 0.90 mètre.

Volume intérieur : 17 500 litres

Pression de service : 10 bars.



Poséidon :

Chambre cylindrique à axe vertical de 2,4 mètres de diamètre possédant une porte d'accès de forme elliptique de 1,35*0,90 mètre et d'une porte de communication avec le sas d'un diamètre de 0,70 mètre.

Volume intérieur : 12 000 litres

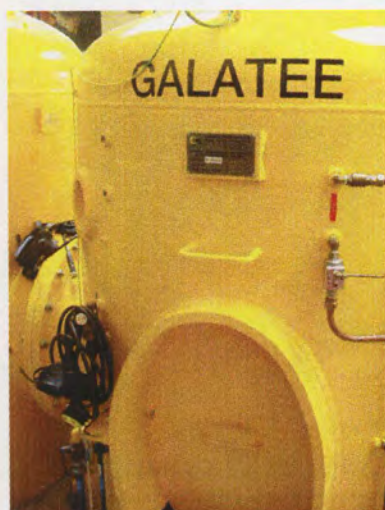
Pression de service : 10 bars.

Europe :

Chambre cylindrique à axe horizontal de 4 mètres de longueur et de 2 mètres de diamètre munie d'une porte d'accès extérieur d'un diamètre de 0.90 mètre et d'une porte de communication avec le sas d'un diamètre de 0,70 mètre.

Volume intérieur : 14 000 litres

Pression de service : 10 bars.

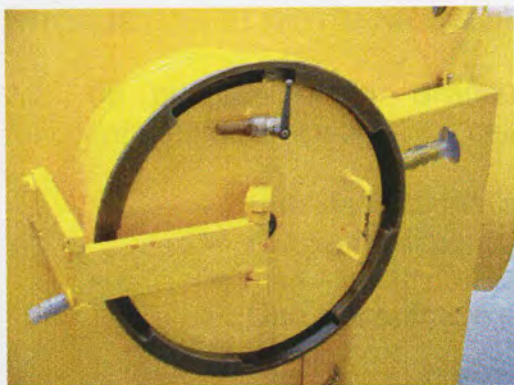


Galatée :

Chambre sas cylindrique à axe vertical d'un diamètre de 1600 mm sur une hauteur de 2.10 mètres. Elle possède une porte d'accès extérieure elliptique de 0,90x0,60 mètre et de trois autres portes d'un diamètre de 0,70 mètre commune avec les autres chambres.

Volume intérieur : 4 800 litres

Pression de service : 10 bars.



Ces quatre chambres sont pourvues de sas utilisables en cours de séance permettant le passage de petits matériels et de médicaments.

Poste de commande

Ensemble de pupitres interconnectés permettant les différentes manœuvres de fonctionnement des caissons par un seul opérateur.

Celui-ci a la possibilité d'intervenir en permanence sur l'ensemble de l'installation. Selon les affections à traiter, il devra appliquer des consignes différentes, de temps, de pression et de mélanges gazeux.



Ces pupitres devront comporter :

- Des vannes,
- Des détendeurs d'admissions,
- Des systèmes régulés d'échappement de gaz ,
- Des manomètres de précisions mesurant la pression relative interne des caissons, gradués en mètre d'eau.

- Des enregistreurs à disque permettant de conserver une trace sur papier de la séance, appareil similaire à ceux utilisés dans les véhicules poids lourds.

- Des commandes d'éclairages extérieurs et intérieurs en basse tension.

- Un interphone permettant au personnel soignant et technique de garder un contact avec le ou les patients.

- Un système de caméra vidéo facilitant la surveillance interne.

- De appareils de mesure des taux d'oxygène et de dioxyde de carbone, permettant d'assister le technicien dans la conduite de l'installation ainsi que de réajuster l'atmosphère à l'intérieur de chaque caisson.

- La commande d'extinction d'incendie par rampe de pulvérisation d'eau.



PRODUCTION ET DISTRIBUTION DES GAZ

Afin de produire et de distribuer l'ensemble des gaz nécessaires au bon fonctionnement de l'installation, celle-ci doit comporter :

- Une installation d'air comprimé haute pression.
- Plusieurs alimentations en oxygène.
- Une alimentation en air de qualité médical pour l'instrumentation.
- Une alimentation en mélanges du type Heliox 50/50.

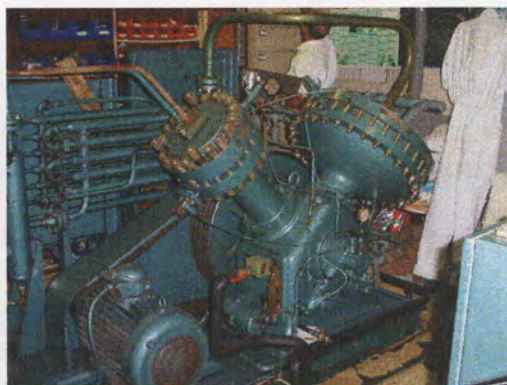
La production d'air comprimé haute pression.

Elle est assurée par :

Trois compresseurs à membrane de marque BURTON CORBLIN ayant les caractéristiques suivantes :

Gaz :	Air
Pression de refoulement :	250 bars
Débit :	24 m ³ / heure
Vitesse de rotation :	400 tours / minute
Refroidissement :	Eau.

L'intérêt d'utiliser des compresseurs à membrane réside en l'absence de contact entre le gaz comprimé et la présence d'élément polluant comme l'huile.



Un compresseur à piston basse pression de même marque équipé d'une filtration comportant deux sécheurs ; un par absorption, l'autre par réfrigération. Caractéristiques :

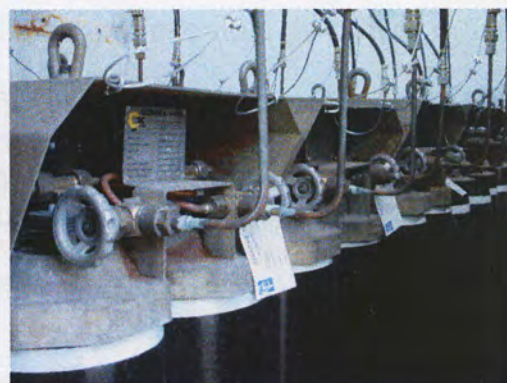
Gaz :	Air
Pression de refoulement :	8 bars
Débit :	121 m ³ / heure
Vitesse de rotation :	835 tours / minute
Refroidissement :	Eau



Stockage :

Air

Constitué de racks de bouteilles tampons de 10 m³ à 200 bars soit 680 M³ d'air disponible et d'un réservoir tampon basse pression de 1 500 litres sous 8 bars.



Autres gaz.

Equipements similaires qui assurent la conservation à 200 bars des autres gaz; oxygène et héliox 50/50.

Bien que travaillant à des pressions maximales de 10 bars, cette installation a été conçue en haute pression pour des raisons de stockage et de gain de place. Ceci permet de stocker une plus grande quantité de gaz sur une surface plus petite.



LES DIFFERENTS CIRCUITS DE FLUIDE

Deux circuits principaux :

1. Les circuits respiratoires servent à la distribution des gaz destinés à la ventilation.
2. Les circuits techniques sont destinés à mettre en œuvre les différents fluides servant à la bonne conduite des chambres de recompression.

Chaque chambre sera raccordée au pupitre de commande et aux différents réseaux de fluides de façon indépendante.

La conduite sera munie de vannes, installées de part et d'autre de la paroi permettant une double commande. Ainsi toute arrivée ou départ de fluide peut être isolé. De même chaque raccordement disposera d'un dispositif anti-squeeze évitant des risques d'obstructions tel un bout de drap.

Les arrivées d'air comprimé destinées à la mise en pression de la chambre seront pourvues de silencieux atténuant le bruit à la compression.

Les circuits respiratoires.

Ils sont constitués :

- D'un circuit oxygène permettant l'alimentation des inhalateurs et des respirateurs automatiques.
- D'un circuit d'air médical pour le fonctionnement du matériel, respirateur, aspirateur de mucosité...
- D'un circuit mélange pour l'inhalation, par exemple de l'héliox 50/50.
- D'un circuit déverseur qui revêt une importance toute particulière puisque pour des raisons de sécurité liées à la protection contre l'incendie, le taux d'oxygène régnant dans l'enceinte et limité à 25%. Il doit être revu à la baisse dans la norme à venir. Mesuré en permanence, un dépassement du seuil déclenche une alarme et nécessite un arrêt de l'alimentation en oxygène.

Pour éviter l'arrêt d'urgence en cas de dépassement du taux de 25%, les masques d'inhalation et les appareils de respiration sont connectés à des déverseurs.



Ce dispositif qui ressemble au détendeur Mistral, permet d'exhaler les gaz expirés à l'extérieur du caisson.

DEVERSEUR FIXE LB078 COMEX

Les circuits techniques.

Il sont principalement constitués par :

- Un circuit d'air gros débit permettant la pressurisation du caisson.
- Un circuit d'air alimenté par l'installation basse pression de ventilation automatique. Celui-ci permet de renouveler l'air de pressurisation de l'enceinte tout en maintenant la pression initialement choisi par l'opérateur (élimination CO₂, excès O₂).
- Un circuit d'analyse, sur celui-ci sont connectés les appareils de mesure de gaz (oxymètre).
- Un circuit d'échappement lent et régulé, il a pour vocation d'assurer une dépressurisation lente et progressive.
- Un circuit d'échappement rapide qui correspond à une mise à la pression ambiante quasi instantanée. Une telle possibilité peut paraître surprenante (risque de décompression explosive) mais son usage est réservé à l'extrême urgence d'un incendie non maîtrisable nécessitant l'évacuation immédiate.
- Un circuit de prise de pression relié au pupitre de commande, il transmet la pression interne aux différents éléments : manomètre, enregistreur à disque, enregistreur électronique.
- Un circuit d'alimentation en eau.
- Un circuit d'extinction d'incendie par aspersion.

- Un circuit de vide médical qui désormais est produit à l'intérieur du caisson à l'aide d'éjecteur à air comprimé (utilisation de l'effet Venturi).
- Un circuit d'évacuation des eaux usées.
- Les différents circuits d'alimentation électriques seront inférieurs à une tension de 50 volts.

PREVENTION DES INCENDIES EN MILIEU HYPERBARE

L'utilisation de telles installations expose les utilisateurs et les patients à certains risques qu'il est important de prévenir. En effet en 1997 deux accidents viennent endeuiller le monde de l'hyperbarie. Accident de Sheffield en Grande Bretagne et celui de Milan en Italie a fait onze morts.

L'atmosphère dans un caisson n'est pas considérée comme explosive, toutefois l'augmentation de la pression partielle d'O₂ et la présence de substances combustibles dans l'enceinte ne nécessiterait qu'un très faible apport d'énergie de l'ordre de l'étincelle pour débiter un incendie avec une vitesse de combustion très élevée. Il en résulte que toute inflammation même minime va se développer et transformer l'enceinte en brasier.

Les précautions contre les incendies

- Limitation du comburant (O₂) à un taux maximum de 25%. Les sondes de mesures d'O₂ doivent être remplacées tous les douze mois.
- Les matériaux constituant le caisson doivent être ininflammables et ignifugés.
- Le système électrique doit être en basse tension.
- Choix des matériels et des produits introduits dans la chambre.
Interdiction d'introduire des éléments combustibles comme les briquets, les allumettes ou l'alcool.
De même toute matière grasse est prohibée : brillantine, cambouis, casse croûte, chaussures grasses Une attention toute particulière doit être portée aux mobiliers de transport des patients : ils doivent être exempts de toute trace de graisse au niveau des roulements, seul l'usage de lubrifiants incombustibles est autorisé.
Il en va de même des pansements qui doivent être échangés contre des gazes sèches ou imbibées de solutions ininflammables.
Il est également interdit d'utiliser tout textile pouvant se charger d'électricité statique ; les papiers en grande quantité (journaux).
Il est bien sur interdit de fumer dans un caisson hyperbare.
- Les circuits transportant l'O₂ devront être exempt de toute trace de graisse non compatible.

Lutte contre l'incendie

Elle se fait par :

- Par extincteur mobile contenant de l'eau ou de la mousse. Ces extincteurs sont spécifiques car on y adjoint une bouteille de gaz comprimé, soit air, soit azote soit hélium. Celle-ci est munie d'un premier étage de détendeur permettant de réguler la pression de sortie.
- Par arrosage de la chambre - de type déluge - des cuves d'eau sont maintenues à une pression supérieure à celle du caisson, l'aspersion étant commandée de l'intérieur comme de l'extérieur par l'opérateur ou par le personnel soignant.
- Dépressurisation instantanée du caisson (cf. chapitre *les différents circuits de fluide*).
- La protection des patients et du personnel sera assurée par le maintien en place des masques qui seront dans ce cas alimentés en air comprimé et non plus en O₂ et d'une protection individuelle par couverture ignifugée.

TRAITEMENT DES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION

Ce chapitre est basé sur les études et textes réalisés par les spécialistes dans ce domaine, mais aussi sur les deux conférences Européennes de consensus sur la médecine hyperbare de Lille en 1994 et de Marseille en 1996 ayant comme sujet l'application de l'OHB à la plongée sous marine.

Le première conférence de Lille a eu pour objet d'identifier et de classifier les indications reconnues d'utilisation de l'OHB (oxygénothérapie hyperbare).

Le première indication recommande l'utilisation de l'OHB pour le traitement des accidents de décompression.

A l'issue de cette première conférence, une proposition a été faite de retenir la question spécifique du traitement de l'ADD comme thème principal de la future conférence qui a eu lieu à Marseille en 1996.

Nous allons dans un premier temps étudier les effets de l'O₂ à des pressions élevées.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE L'O₂ A PRESSION ELEVEE

L'OHB est une modalité d'administration de l'O₂ par voie respiratoire à une pression supérieure à la pression atmosphérique. L'utilisation des pressions d'O₂ très élevées permet de bénéficier des effets de l'O₂ qui n'existeraient pas à la pression atmosphérique ou seulement de façon modeste.

L'OHB est considéré comme un médicament avec ses contre-indications et ses précautions d'emplois. Les effets bénéfiques et néfastes de l'OHB passent par deux conséquences physiques de l'utilisation d'O₂ à pression élevée :

1. L'élévation de la pression hydrostatique
2. L'élévation de la pression d'O₂ dans les gaz respirés

L'élévation de la pression hydrostatique

Les conséquences de cette élévation sont physiques sur l'environnement et physiologiques sur l'organisme : accidents barotraumatiques, bio-chimiques, ADD, essoufflement ...

Les lois physiques sur les gaz nous enseignent que la masse volumique d'un gaz varie comme sa pression avec des conséquences sur la mécanique ventilatoire et sur les échanges thermiques par convection.

De même que le volume d'une masse de gaz varie à l'inverse de la pression, cette loi s'applique aux cavités d'un organisme. Enfin l'élévation de la pression totale augmente la pression partielle des gaz respirés entraînant leurs dissolutions dans l'organisme et l'apparition de phénomènes toxiques.

Conséquences ventilatoires :

La ventilation est la première étape de la fonction respiratoire, elle permet le renouvellement de l'air alvéolaire par un déplacement gazeux aux travers des voies aériennes.

Au repos, la vitesse de l'écoulement des fluides est basse, le débit est faible, il est dit laminaire et indépendant de la pression. La résistance à l'écoulement est proportionnelle au débit.

Au contraire, pendant l'effort la vitesse d'écoulement est élevée et turbulente, la résistance augmente comme la racine carrée de la masse volumique. Cette élévation de la masse volumique des gaz respirés est à l'origine d'une réduction des débits ventilatoires.

En effet l'augmentation de la pression intra-thoracique nécessaire pour vaincre cette résistance entraîne un écrasement des voies aériennes qui vient encore limiter le débit : c'est la compression dynamique des voies aériennes. Cette limitation de l'effort ventilatoire générera une charge de travail trop élevée qui conduira à une rétention alvéolaire de CO₂ débouchant sur un essoufflement.

Toxicité des gaz respirés

La toxicité d'un gaz obéit à une relation de dose - effet, elle se fera en fonction de la pression partielle et de la durée d'exposition.

- Toxicité aiguë : Respirer à des pressions élevées l'O₂ est toxique pour des durées d'exposition allant de 10 mn (pression 3,5 bars) à 7 heures (pression 1,7bar). La toxicité se manifeste par une crise convulsive appelée plus communément par les plongeurs « l'effet Paul Bert ».
- Toxicité chronique : Pour des temps d'exposition variant de 6 heures (à une pression de 3 bars) à 24 heures (pression de 1 bar) apparaît une inflammation alvéolaire pouvant évoluer vers un œdème.
- Toxicité de l'azote : A partir de 4 bars de pression partielle, le comportement s'altère par les effets narcotiques du gaz.
- Toxicité des polluants : Ils se rencontrent accidentellement dans certains gaz inhalés, la cause en est généralement la défaillance du matériel de production ou de distribution des gaz.
- Toxicité du CO₂ : En cas de taux qui augmenterait anormalement, nous serions en présence d'un essoufflement.

L'élévation de la pression d'O₂ dans les gaz respirés

Elle va induire une élévation des pressions dans le gaz alvéolaire et dans le plasma entraînant de nombreuses conséquences physiologiques.

Effet de l'OHB sur le transport sanguin de l'O₂ :

- Gaz alvéolaire et sanguin en OHB : l'air inhalé atteint les alvéoles pulmonaires ou la pression partielle d'O₂ est de 100 mm / Hg pour de l'air inspiré à pression atmosphérique. Elle évoluera à 2193 mm / Hg pour une ventilation en O₂ pur à 3 bars.

- Transport d'O₂ dans le sang : après la diffusion à travers la membrane alvéo-capillaire l'O₂ est véhiculé sous deux formes, soit lié à l'hémoglobine, soit dissous dans le plasma. Puis il est convoyé dans l'organisme via la circulation sanguine.
- Quantitativement, l'O₂ lié à l'hémoglobine est la plus importante, sa capacité de fixation est de 1,34 ml d'O₂ / g d'hémoglobine, soit pour un sang normal contenant 15 g d'hémoglobine / 100 ml une capacité de transport maximum de 20,1 ml d'O₂.
Au contraire, la quantité d'O₂ dissous dans le plasma est faible, de l'ordre de 0,285 ml / 100 ml de sang, ceci pour un sujet respirant de l'air à pression atmosphérique.
La quantité d'O₂ dissous dans le sang régie par la loi de Henry sera proportionnelle à la pression alvéolaire.

VARIATION DES QUANTITES D'O₂ DISSOUTES ET LIEES EN FONCTION DES AMBIANCES

	Air Ambiant	Oxygène pur		
Pression en bar	1	1	2,1	3,1
Pression partielle alvéolaire d'O ₂ (mmHg)	100	673	1 433	2 193
Pression partielle sanguine d'O ₂ (mmHg)	98	660	1 400	2 150
O ₂ Oxyhémoglobine (ml O ₂ / 100ml)	19,7	20,1	20,1	20,1
O ₂ Plasmatique (ml O ₂ / 100 ml)	0,285	1,88	3,8	6,1

Cette augmentation des pressions permettra de suppléer totalement au transport de l'O₂ lié à l'hémoglobine.

Effets hémodynamiques de l'OHB

L'O₂ hyperbare administré en thérapeutique induit des effets hémodynamiques tant au niveau central qu'au niveau de la micro circulation :

- Effet sur la fréquence cardiaque.
- Effet sur la vasoconstriction hyperoxique.
- Effet sur la pression artérielle

En conclusion, l'utilisation de la haute pression entraîne des effets :

- Bénéfiques, par une augmentation du transport de l'O₂ dissout dans l'organisme.
- Néfastes, par l'augmentation des pressions hydrostatiques.

CLASSIFICATION DES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION

Les accidents bénins : Type I

- *Les cutanés* : localisation sous cutanée de bulles de gaz. Incident ayant peu de lien avec la plongée loisir, plus souvent observé lors de plongées en atmosphère sèche et chaude. à ne pas confondre avec des signes cutanés localisés au niveau du thorax, de l'abdomen ou même de la face, dans ce cas les signes seraient précurseurs d'accidents plus graves de type II.

- *Les accidents ostéo-arthro musculaire ou bends*. Plusieurs hypothèses soit ;

La présence de bulles dans le liquide synovial gêne les glissements au niveau de l'articulation et générant des douleurs intenses.

Le dégagement gazeux est localisé dans les zones perfusées sous le périoste. (zone particulièrement sensible) L'étude de GUILLERM et MASUREL montre que des bulles intra-tendineuses se développaient au sein même de la structure des tendons. La dilatation limitée par leur nature tissulaire rendait les inflammations douloureuses voire bruyantes. (crissement)

Une autre étude japonaise relativement ancienne, menée post-mortem sur des plongeurs, montrerait un développement important de la maladie de décompression au sein même des cavités médullaires des os.

Ses différentes études et constatations peuvent se résumer en deux sous catégories :

Les arthro-musculaires, forme bénigne mais douloureuse.

Les atteintes osseuses pouvant évoluer vers l'ostéonécrose.

- *Le malaise général* : il s'agit de la sensation de fatigue générale intense qui ne serait pas en rapport avec les efforts réellement fournis pendant la plongée. Une asthénie, des céphalées voire des angoisses sont annonciatrices d'une aggravation tendant vers un accident neurologique beaucoup plus grave.

Les accidents sérieux : Type II

- *Les accidents vestibulaires* : Il peut s'agir de dégagement gazeux dans l'artère vestibulaire, celle-ci étant de type terminale avec absence de vaisseaux collatéraux. Ils prédisposent l'ischémie des tissus par la présence de manchons gazeux ou d'agrégat.

Une autre hypothèse serait celle d'un dégazage directement au sein des liquides labyrinthiques, ceux ci étant assimilables à des tissus de période courte, les conséquences seront variables selon l'importance du dégazage et sa localisation :

Le dégazage périlymphatique crée une compression du labyrinthe membraneux, douloureux mais sans séquelle objective après traitement.

Le dégazage endolymphatique détruit de façon irrémédiable le canal membraneux.

L'étude expérimentale de FRASER sur des singes montre les effets traumatiques assimilables à des « fractures » avec présence hémorragique. L'important reste de bien différencier cette atteinte d'un barotraumatisme.

➤ Les accidents neurologiques :

Respiratoires et cardiaques.

Ils résultent de la mauvaise élimination et de la production de bulles intravasculaires sur le versant veineux. La quantité importante de bulles va avoir tendance à emboliser la circulation au niveau des capillaires pulmonaires provoquant des gênes respiratoires (chokes).

Le processus sera le même au niveau des coronaires provoquant des désordres cardiaques.

Cérébraux : La cause est identique avec une localisation d'une ischémie unie ou bi-carotidienne causée par un aéro embolisme similaire à celui de la surpression pulmonaire sévère.

Vértébro-basilaire : Atteinte située au niveau du tronc cérébral.

➤ Les accidents médullaires.

Dans les accidents de type II, ce sont les plus fréquents. La théorie la plus ancienne expliquait les accidents par l'embolisation gazeuse de l'une des artères de la moelle - l'artère d'Adamkiewicz – Une autre possibilité serait l'obstruction pour une raison similaire d'une artère cervicale importante ou de l'artère du renflement lombaire.

De même, les artéioles intra-médullaires ont un caractère d'artère terminale sans suppléance avec pour conséquence en cas d'obstruction, une ischémie des territoires médullaires.

La principale hypothèse actuelle localiserait l'atteinte principale au niveau du système veineux épidural, ces ischémies auraient pour conséquence un dégazage au sein de la moelle osseuse susceptible de provoquer d'autres blocages vasculaires en cascades (travaux de Hallenbeck, Bove, Hills et James).

En conclusion, on notera que les processus impliqués dans les accidents neurologiques médullaires ne sont pas complètement élucidés et que de nombreux mécanismes peuvent coexister rendant le choix d'une thérapeutique difficile.

INTERET DU TRAITEMENT PAR RECOMPRESSION THERAPEUTIQUE.

Ce traitement a pour but de limiter l'hypoxie engendrée par les bulles naissantes au niveau tissulaire et veineux, par l'action conjointe de la pression (effet mécanique de diminution des bulles) et de l'action de l'oxygène (effet sur le métabolisme).

La diminution de la taille des bulles sera optimale approximativement à une pression de 4 à 6 bars - correspondant à une profondeur de 30 à 50 mètres - Ce qui permet la fragmentation et la remise en circulation des embolus gazeux de plus petite taille, libérant ainsi les vaisseaux collatéraux.

On limitera ainsi l'installation de la maladie de décompression.

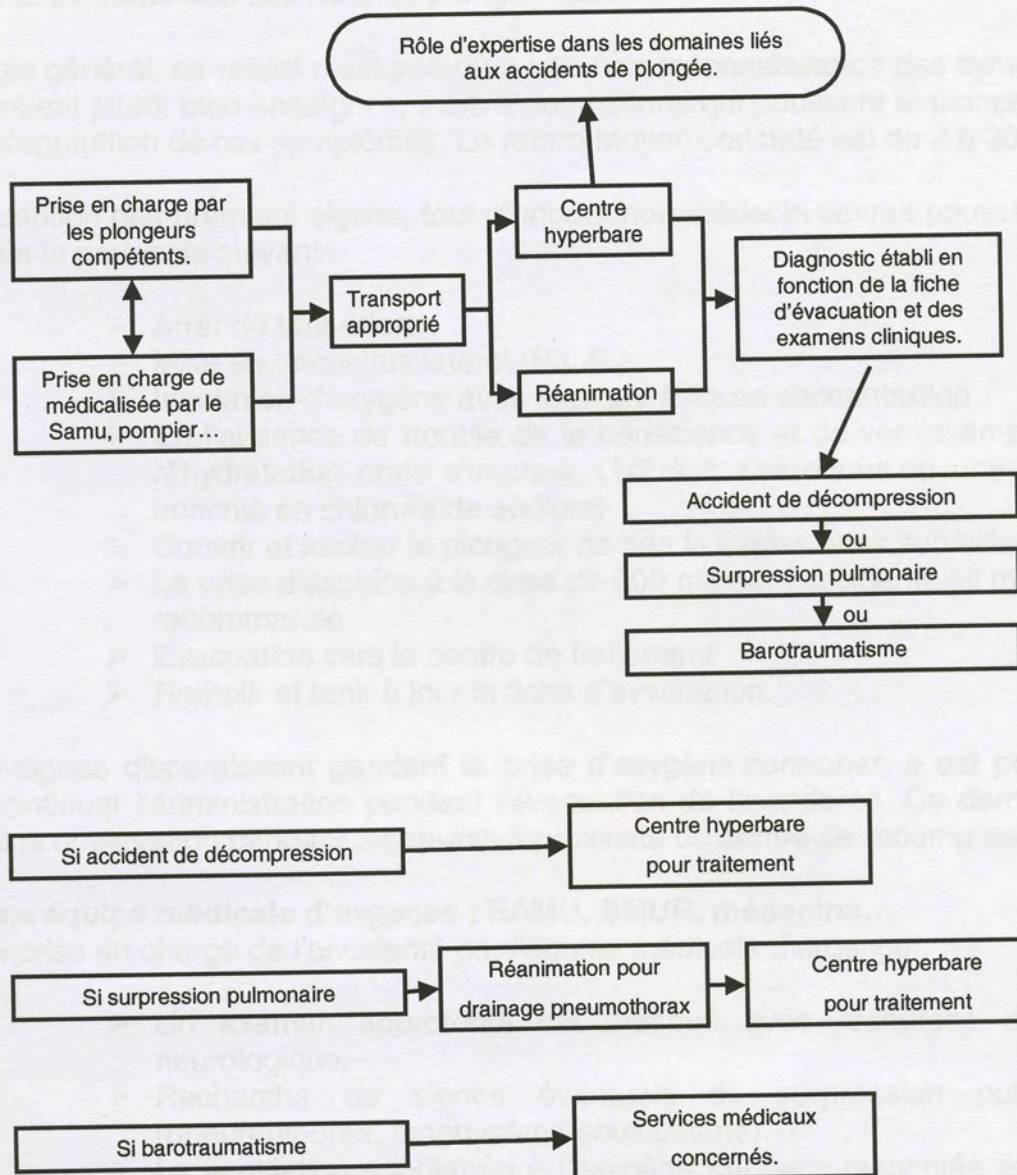
Les effets de l'oxygène vont accélérer le processus de désaturation en cours en augmentant le gradient soit une diminution notable de la tension d'azote et une élimination plus rapide par le filtre pulmonaire.

De même la dissolution d'oxygène dans l'organisme va maintenir à un niveau acceptable la vie cellulaire, en contenant les effets de nécroses et de sludge.

Cette compression à l'oxygène pur devra tenir compte des effets conjoint - Paul Bert et Lorrain Smith. On s'astreindra en milieu hyperbare hospitalier à ne pas dépasser la profondeur de 18 mètres à l'oxygène pur.

Au delà, pour des accidents nécessitant une compression plus importante, le personnel hospitalier utilisera des mélange gazeux différents comme l'héliox 50/50 ou éventuellement un nitrox.

SUIVI D'UN ACCIDENT DE PLONGEE



PRISE EN CHARGE PRE-HOSPITALIERE

Par les plongeurs et non professionnels de la médecine :

La communauté de spécialistes est unanime quant au caractère d'urgence que revêt la prise en charge pré-hospitalière, en soulignant toutefois un problème important : le trop tardif traitement des ADD de plongée loisir.

En règle général, ce retard n'est pas dû à une non reconnaissance des symptômes, qui seraient plutôt bien enseignés, mais à des raisons qui poussent le plongeur loisir à nier l'apparition de ces symptômes. Le retard moyen constaté est de 2 h 30.

A l'apparition des premiers signes, tout plongeur non médecin devrait pouvoir mettre en route le protocole suivant :

- Arrêt de tout effort
- Mise en décubitus latéral (P.L.S.)
- Inhalation d'oxygène avec masque à haute concentration
- En l'absence de trouble de la conscience et de vomissements une réhydratation orale s'impose. (1/2 à 1 litre d'eau ou une solution enrichie en chlorure de sodium)
- Couvrir et sécher le plongeur ne pas le laisser sans surveillance
- La prise d'aspirine à la dose de 500 mg par l'accidenté lui même est recommandé
- Evacuation vers le centre de traitement
- Remplir et tenir à jour la fiche d'évacuation.

Si les signes disparaissent pendant la prise d'oxygène normobar, il est préconisé d'en continuer l'administration pendant l'évacuation de l'accidenté. Ce dernier sera mis sous observation pendant 24 heures à proximité du centre de recompression.

Par une équipe médicale d'urgence : SAMU, SMUR, médecins...

Dès la prise en charge de l'accidenté par l'équipe médicale d'urgence.

- Un examen approfondi est pratiqué avec recherche d'atteinte neurologique.
- Recherche de signes éventuels de surpression pulmonaire (pneumothorax, emphysème sous cutané).
- La ventilation spontanée à l'oxygène pur sera respectée et en cas de nécessité, une ventilation contrôlée sera mise en place à l'aide d'un respirateur.
- Un facteur important dans cette phase du traitement est la correction de la volémie, en effet le plongeur en accident de plongée est soumis à une hémococoncentration accentuée par la déshydratation naturelle. L'urgentiste utilisera des solutions salées isotoniques sous perfusion avec prise de tension et prise de pouls.
- Certains urgentistes utiliseront des drogues complémentaires par voies veineuses comme des antiagrégants plaquettaires si ceux-ci n'ont pas déjà été administrés par voie orale.
A ce stade, le protocole de consensus ne préconise aucune autre prise médicamenteuse.

TRAITEMENTS MEDICAMENTEUX ET PROTOCOLE D'HYDRATATION AVANT OHB

Le personnel hospitalier en OHB va effectuer un nouveau bilan médical complet tout en continuant le remplissage vasculaire afin de limiter l'hypovolémie à l'aide des solutions précitées.

- Administration d'O₂ normobar à un débit de 15 l / mn d'une durée maximum de 6 heures si une attente est nécessaire avant compression.
- Ajout de toutes drogues nécessaires à la réanimation dans les cas nécessitant la mise en place d'une procédure d'urgence.
- D'autres drogues peuvent être utilisées de façons optionnelles :
 - Aspirine : 500mg si non déjà prescrite et non contre indiquée.
 - Lidocaïne : anesthésique permettant une régulation du rythme cardiaque.
 - Héparine : à dose très faible, anticoagulant.
 - Les glucocorticoïdes : pour réguler les oedèmes et limiter les blocages des sécrétions.
 - Les anti-radicalaires : limitent les effets de l'O₂ sur les cellules.

RECOMPRESSION THERAPEUTIQUE

Deux protocoles :

1. Table utilisant de fortes pressions d'exposition de 4 à 6 bars avec mélange héliox ou nitrox.
2. Table utilisant des pressions plus modérées, 2,8 bars avec inhalation d'oxygène pur.

Le développement du mécanisme bullaire primitif orienterait le traitement vers une recompression à pression élevée si le délai d'intervention est inférieur à une heure. En plongée loisir, ce délai est très souvent dépassé avec des conséquences importantes sur l'installation de la maladie de décompression.

Les modifications biochimiques ont déjà opéré et seul un apport massif d'oxygène semble être efficace.

En effet, Leich et Hallenbeck en 1985, effectuant des expériences sur les chiens et ce en utilisant de l'oxygène pur sous 2 bars, constatent de meilleurs résultats de récupérations rapides et complètes lors d'accidents médullaires. L'étude de Hyldegard met en évidence que les bulles se résorbent et disparaissent totalement sous une pression de 2,8 bars :

- 1 280 mn à l'air
- 66 mn à l'héliox 20/80
- 49 mn à l'oxygène pur

En Europe plusieurs types de tables sont utilisés. Elles sont basées sur les protocoles précédemment présentés (voir tables en annexe).

Quelques modèles de tables :

- US Navy 6 A : table autorisant des incursions en début de traitement à 6 bars. Le choix d'une profondeur importante d'incursion se justifie en cas d'atteinte centrale massive d'un aéro-embolisme (dû à une décompression explosive ou à une surpression pulmonaire).
- Table CX 30 : permet une compression à 4 bars au nitrox ou à l'héliox.
- Les tables US Navy 5 et 6 : sous oxygène pur à 2,8 bars.
- Tables B18 & C18 : française, mise en place par la marine nationale s'utilisent sous oxygène pur.
- Les tables CX 12, CX 18 C et CX 18 L sous oxygène pur.

Il est à noter que pour les tables à l'oxygène pur on prévoit des périodes de « Rinçage » à l'air toutes les 20 ou 25 mn.

Lors de la conférence de Marseille, les différentes stratégies utilisées et les propositions de traitements ont confirmé l'usage des tables précédemment citées avec certaines adaptations en fonction des choix fait par le médecin (voir tables en annexe).

- **Les accidents de type I** : la communauté d'hyperbaristes semble avoir trouvé un protocole commun pour l'utilisation des tables à mélange sur-oxygéné ou à l'oxygène pur sous de faibles pressions et de durées variables dépendant de l'importance de l'atteinte.
- **Les accidents de type II** : certains semblent différencier les neurologiques et les labyrinthiques.

Mises à part quelques exceptions, trois options semblent être retenues à ce jour :

1. L'application du protocole à pression modérée de 2 à 2,8 bars à l'O₂
2. L'application de protocole à des pressions plus importantes, 4 bars, utilisation de mélange de type nitrox ou héliox.
3. Le choix alternatif de l'un ou l'autre des protocoles en fonction de la sévérité de l'accident et du délai de prise en charge.

En cas de persistance des signes et malgré peu de statistiques issues de traitements spécifiques aux accidents de plongée, il sera proposé par analogie aux atteintes neurologiques ayant d'autres origines, un traitement qui alliera une rééducation fonctionnelle par kinésithérapie en alternance avec des séances d'OHB avec maximum de 10 séances, excepté en cas d'amélioration notable observée.

DEROULEMENT D'UNE SEANCE

Elle comprend trois phases :

1. La compression lente à 1 à 1,5 mètre par minute.
2. Une phase de palier bas où le patient respirera le mélange approprié.
3. Une décompression lente.

Pendant toute la séance, une surveillance permanente sera nécessaire afin de détecter tout signe annonciateur d'hyperoxie. La prévention pourra être renforcée par l'administration de drogues anti-convulsantes. A cela s'ajoute l'administration d'air toutes les 20 à 25 minutes (rinçage).

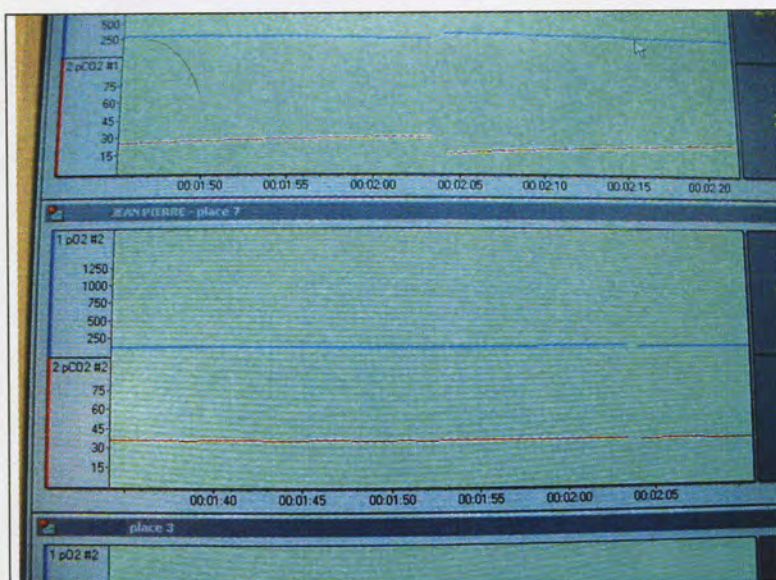
La prévention des barotraumatismes ne posent en règle général aucun problème au plongeur conscient, toutefois lors des cas d'inconscience et de comas, le personnel soignant assistera l'accidenté en provoquant des déglutitions. Dans les cas extrêmes une paracentèse sera effectuée.

Afin de pouvoir contrôler les constantes vitales ainsi que leur évolution durant la séance, un monitoring sera mis en place ;

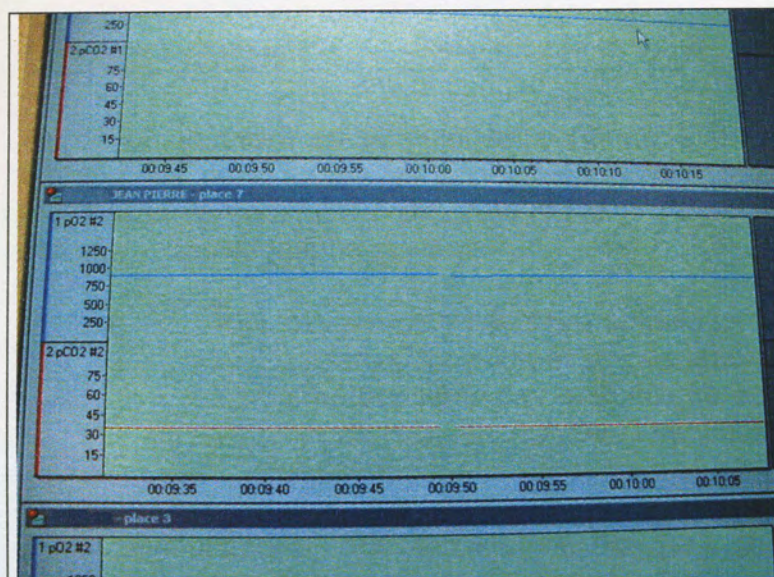
Electrocardiogramme, électroencéphalogramme, prise de pression sanguine, mesure de pression partielle O₂ et CO₂ artérielle ou veineuse et en général toute mesure nécessiter par l'état du patient.

L'assistance aux fonctions respiratoires sera assurée en cas d'atteinte pulmonaire. Dans ce cas, le patient sera intubé et ventilé par un appareil respirateur volumétrique qui sera adapté à une utilisation en milieu hyperbare.

De même, pour apprécier l'efficacité des échanges gazeux on pourra pratiquer un monitoring en continu de la pression d'O₂ transcutanée.



MONITORAGE PRESSION O₂ & CO₂ EN DEBUT DE SEANCE



MONITORAGE PRESSION O2 & CO2 EN FIN DE SEANCE

CONCLUSION

Le développement de la plongée continue à nécessiter la création de nouvelles installations dans toutes les zones fréquentées par les plongeurs. La recherche en hyperbarie va continuer à progresser : le professeur Mathieu en 2001 a proposé les champs d'investigations suivants :

- L'oxygénation tissulaire et cellulaire.
- La micro circulation et ses variations sous hyperoxie.
- Le métabolisme des radicaux libres oxygénés et leur conséquence.
- Les conséquences de l'hyperoxygénation sur le métabolisme cellulaire.

Il est évident que ces recherches ne sont pas uniquement destinées à la physiopathologie des accidents de plongée mais, à des affections diverses et variées où l'OHB est indiquée.

Toutefois, ces travaux seront bénéfiques à l'avancement des études spécifiques liées à la plongée. Une nouvelle conférence de consensus est prévue à Marseille en septembre 2004. Le thème principal sera - Le traitement des accidents bullaires, de plongée autonome à l'air et aux mélanges -

De même les installations hyperbares évoluent techniquement et sécuritairement, une norme est en cours de préparation.

Quant à l'enseignement théorique des plongeurs sur la prévention des accidents, il doit garder un caractère pratique avec des situations réalistes. Celles-ci auront pour but de diminuer les temps d'intervention et de renforcer l'efficacité des gestes - RIFAP - avec pour résultat une augmentation des chances de guérison totale.

L'approche de la transversalité de l'enseignement de la théorie semble être l'approche la plus efficace

BIBLIOGRAPHIE

PHYSIOLOGIE ET MEDECINE DE LA PLONGEE	B. BROUSSOLLE
TRAITE DE MEDECINE HYPERBARE	F. WATTEL D. MATHIEU
TRAVAUX EN MILIEU HYPERBARE	JOURNAL OFFICIEL
ELEMENTS DE MEDECINE DE LA PLONGEE	J. L. MELIET
LES ACCIDENTS DE PLONGEE - DIAGNOSTICS ET TRAITEMENTS	J. L. MELIET
LA PRESSION BAROMETRIQUE	PAUL BERT
QUELLES MODALITES ADOPTER POUR LA RECOMPRESSION INITIALE ?	E. BERGMAN
LES TRAITEMENTS MEDICAMENTEUX DANS LA PRISE EN CHARGE DES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION DE LA PLONGEE LOISIR : QUEL ROLE ?	J. WOLKIEWIEZ
L'OXYGENOTHERAPIE HYPERBARE	D. MATHIEU R. NEVIERE F. WATTEL
UN CAISSON : POURQUOI FAIRE ?	D. DAMIENS
PHYSIOPATHOLOGIE DES ACCIDENTS DE PLONGEE	SEYER
LA PLONGEE SOUS MARINE A L'AIR	P. FOSTER

ANNEXES

➔ Extrait de l'arrêté du 28/01/91 définissant les modalités de formation à la sécurité des personnels intervenant dans des opérations hyperbares.

➔ Décret N° 90-277 du 28 mars 1990 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.

➔ Tables

- U.S. Navy 6
- CX 12
- CX 18 Courte
- CX 18 Longue
- CX 30 Heliox
- CX 30 Nitrox

➔ Tableau de E. Bergman « Enquête sur les différentes stratégies utilisées en Europe avant la Conférence de consensus de 1996 »

➔ Liste des caissons civils et militaires

B. - Formation des hyperbaristes 1. MENTION C

1.1. Pour la classe 1

1.1.1. Formation générale correspondant à la profession médicale ou paramédicale pratiquée en hyperbarie.

1.1.2. Formation théorique spécifique.

- a) Réglementation: connaissance des réglementations applicables (hyperbarie, santé),
- b) Physique et physiologie de l'hyperbarie.
 - Connaissance des règles de physique applicables à l'hyperbarie.
 - Connaissance des effets de la pression sur l'homme et des mesures prises pour y faire face.
 - Connaissance parfaite de l'utilisation des tables de décompression applicables.
 - Connaissance des symptômes et procédures d'urgence correspondant aux accidents des séjours sous pression.
- c) Principes de la médecine hyperbare (indications principales).
- d) Matériels utilisés pour la médecine hyperbare.
 - Caissons d'O.H.B. (oxygénothérapie hyperbare), description, régies de sécurité, homologation.
 - Appareils respiratoires (patients/personnel).
 - Appareils médicaux et leur utilisation hyperbare (régies de sécurité).
 - Régies de lutte contre l'incendie à l'intérieur et à l'extérieur du caisson.
 - Critères de qualité de l'air comprimé et des mélanges (analyses).

1.1.3. Formation pratique.

- a) Préparation, transport, mise en place des patients.
- b) Utilisation des appareils respiratoires (patients et personnel).
- c) Conduite du caisson (compression, décompression, ventilation).
- d) Connaissance de la station de production d'air comprimé, circulation d'oxygène et des mélanges.
- e) Utilisation des tables thérapeutiques et décompression, y compris avec respirations d'oxygène pur.
- j) Surveillance des patients jusqu'à 4 bars.

1.2. Classe II

Mêmes objectifs que pour la classe 1 mais en plus surveillance de personnes comprimés jusqu'à 6 bars,

Compréhension de l'utilisation pour les patients des mélanges oxygène azote, et oxygène hélium.

1.3. Classe III

Outre la formation de la classe II et une expérience effective du travail dans cette classe:

1.3.1. Formation théorique.

a) Reprise de la théorie des séjours hyperbares avec complément pour la plongée aux mélanges synthétiques :

- constitution;
- méthodes de fabrication;
- analyses correspondantes;
- physiologie des fortes pressions (SNHP) ;
- symptômes du SNHP, maladie de la décompression.

b) Notions de décompression et plongée à saturation:

- connaissance de la méthode de plongée à saturation (procédures, paramètres)

;

- contrôles, principes des analyses et de la régénération d'atmosphère.

c) Description du matériel de centre hyperbare de simulation de plongée:

- caisson, régénération, production des gaz, analyseurs ;
- règles de sécurité contre l'incendie.

d) Matériel de recherche médicale et physiologie en hyperbarie.

DÉCRET N° 90-277 DU 28 MARS 1990
relatif à la protection
des travailleurs intervenant en milieu hyperbare

NOR : TEFT9003290D

(Journal officiel du 29 mars 1990)

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'équipement, du logement, des transports et de la mer, du ministre du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle et du ministre de l'agriculture et de la forêt,

Vu le code du travail, et notamment les articles L. 231-1, L. 231-2 et L. 231-3-1 ;

Vu le code de la sécurité sociale, et notamment l'article L. 461-2 ;

Vu le code rural, et notamment l'article 1170 ;

Vu la loi n° 85-542 du 22 mai 1985 modifiant le décret du 9 janvier 1852 sur l'exercice de la pêche maritime ;

Vu le décret n° 63 du 18 janvier 1943 modifié portant règlement d'administration publique sur les appareils à pression de gaz ;

Vu le décret n° 47-1592 du 23 août 1947 modifié portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les mesures particulières de sécurité relatives aux appareils de levage autres que les ascenseurs et les monte-charge ;

Vu le décret n° 65-48 du 8 janvier 1965 portant règlement d'administration publique pour l'exécution des dispositions du livre II du code du travail (titre II : Hygiène et sécurité des travailleurs) en ce qui concerne les mesures particulières de protection et de salubrité applicables aux établissements dont le personnel exécute des travaux du bâtiment, des travaux publics et tous autres travaux concernant les immeubles ;

Vu le décret n° 77-996 du 19 août 1977 pris pour l'exécution des dispositions du livre II, titre III, chapitre V (première partie : Législative), du code du travail en ce qui concerne les plans d'hygiène et de sécurité, les collèges interentreprises d'hygiène et de sécurité et la réalisation des voies et réseaux divers ;

Vu le décret n° 77-1321 du 29 novembre 1977 fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure ;

Vu le décret n° 79-709 du 7 août 1979 portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les mesures de sécurité applicables aux établissements agricoles utilisant des ascenseurs et monte-charge et certains autres appareils de levage ;

Vu le décret n° 81-183 du 24 février 1981 portant extension aux établissements agricoles des dispositions du décret du 8 janvier 1965 relatif aux mesures particulières de protection et de salubrité applicables aux établissements dont le personnel exécute des travaux du bâtiment, des travaux publics et tous les autres travaux concernant les immeubles ;

Vu le décret n° 82-150 du 10 février 1982 portant extension aux établissements agricoles des dispositions du décret n° 77-1321 du 29 novembre 1977 fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure ;

Vu le décret n° 82-397 du 11 mai 1982 relatif à l'organisation et au fonctionnement des services médicaux du travail en agriculture ;

Vu le décret n° 82-727 du 19 août 1982 portant extension aux chefs d'établissements agricoles mentionnés à l'article L. 231-1 du code du travail des dispositions des décrets n° 77-612 du 9 juin 1977 et n° 77-996 du 19 août 1977 ;

Vu l'avis de la Commission nationale d'hygiène et de sécurité du travail en agriculture en date du 6 juillet 1989 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels en date du 10 juillet 1989 ;

Le Conseil d'Etat (section sociale) entendu,

Décète :

TITRE I^{er}

CHAMP D'APPLICATION - DÉFINITIONS

Article 1^{er}

Les dispositions du présent décret sont applicables dans les établissements et sur les chantiers soumis aux dispositions de l'article L. 231-1 du code du travail dans lesquels des travailleurs sont appelés à intervenir à une pression supérieure à la pression atmosphérique locale.

Toutefois, pour les activités pour lesquelles la pression relative d'intervention demeure en permanence inférieure à 100 hectopascals (0,1 bar), seules les dispositions du titre III et des articles 2, 39, 40 et 41 du présent décret sont applicables.

Article 2

La pression d'intervention est la pression absolue au niveau des voies respiratoires du travailleur au moment où elle atteint sa valeur maximale pendant la durée de travail.

La pression relative d'intervention est la pression d'intervention diminuée de la pression atmosphérique locale.

TITRE II

**CONDITIONS D'ACCÈS
EN MILIEU HYPERBARE**

Article 3

I. - Les travaux en milieu hyperbare ne peuvent être effectués que par des travailleurs titulaires d'un certificat d'aptitude à l'hyperbarie approprié à la nature des opérations et détenteurs d'un livret individuel.

II. - Ce certificat d'aptitude indique l'une des classes ou sous-classes de travaux hyperbares auxquelles le travailleur a accès et mentionne l'activité qu'il est habilité à pratiquer en hyperbarie.

Les trois classes, définies en fonction de la pression de l'intervention, sont les suivantes :

- classe I pour une pression relative maximale n'excédant pas 4 000 hectopascals (4 bars) ;
- classe II pour une pression relative maximale n'excédant pas 6 000 hectopascals (6 bars) ;
- classe III pour une pression relative maximale supérieure à 6 000 hectopascals (6 bars).

La classe I comprend deux sous-classes :

- classe I A pour une pression relative maximale n'excédant pas 1 200 hectopascals (1,2 bar) ;
- classe I B pour une pression relative maximale supérieure à 1 200 hectopascals (1,2 bar).

Un arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer fixe la liste des mentions d'activité ainsi que les modalités d'obtention du certificat d'aptitude à l'hyperbarie et les conditions dans lesquelles est assurée la formation correspondant à chacune de ces mentions.

III. - Le livret individuel prévu au I ci-dessus est remis à tout travailleur titulaire du certificat d'aptitude à l'issue de sa formation initiale. Ce livret dont les caractéristiques et les

modalités de présentation sont définies par arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer doit comporter, outre l'indication de la classification et de la mention acquise par le travailleur, la date d'établissement de la dernière fiche d'aptitude médicale et l'avis d'aptitude qui en résulte, visés par le médecin du travail.

Article 4

Ne peuvent postuler au certificat d'aptitude à l'hyperbarie que les personnes âgées de dix-huit ans au moins et de quarante ans au plus. Un arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer fixe les conditions d'éventuelles dérogations pour certaines activités hyperbares (1).

TITRE III

GAZ RESPIRATOIRES

Article 5

Pour l'exécution des travaux en atmosphère hyperbare dans les établissements et chantiers visés à l'article L. 231-1 du code du travail, la respiration d'air comprimé est autorisée, conformément aux prescriptions des articles 7 et 10 ci-dessous, jusqu'à la pression relative de 6 000 hectopascals (6 bars).

Au-delà de 6 000 hectopascals (6 bars), des mélanges respiratoires spécifiques doivent être employés dans les conditions fixées au présent titre.

Article 6

L'air ou les mélanges respirés au cours de l'intervention doivent présenter :

a) S'agissant du gaz carbonique, une pression partielle inférieure à 10 hectopascals (10 millibars) ;

b) S'agissant de l'oxyde de carbone, une pression partielle inférieure à 5 pascals (0,05 millibar) ;

c) S'agissant de la vapeur d'eau, pour les expositions d'une durée supérieure à 24 heures, un degré hygrométrique compris entre 60 p. 100 et 80 p. 100 ;

d) S'agissant des vapeurs d'huile, une pression partielle exprimée en équivalent méthane inférieure à 0,5 hectopascal (0,5 millibar) et une concentration inférieure à 0,5 mg/m³ ;

e) S'agissant des poussières, une concentration maximale inférieure aux limites fixées à l'article R. 232-5-5 du code du travail ;

f) S'agissant des vapeurs et des gaz dangereux, notamment des solvants et produits de nettoyage, des pressions partielles inférieures à celles correspondant à la pression atmosphérique, aux valeurs limites d'expositions.

La masse volumique d'un mélange respiratoire ne doit pas excéder 9 grammes par litre à la pression d'utilisation sauf dérogation accordée, notamment pour des motifs de recherche scientifique, par arrêté du ministre intéressé.

Article 7

L'azote.

La pression partielle d'azote dans un mélange respiré doit être inférieure à 5 600 hectopascals (5,6 bars).

Article 8

L'oxygène.

I. - La respiration d'oxygène pur sous pression avec un appareil respiratoire individuel est réservée aux périodes de décompression conformément à des tables définies par arrêté des ministres chargés du travail et de l'agriculture ou aux périodes de traitement des accidents liés à l'hyperbarie.

II. - La pression partielle d'oxygène d'un mélange respiré ne doit pas être inférieure à 160 hectopascals (160 millibars).

III. - La pression partielle d'oxygène d'un mélange respiré ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

a) En période d'activités physiques, en dehors des phases de compression et de décompression et pour des durées continues d'exposition n'excédant pas respectivement 3, 4, 5, 6 et 8 heures : 1 600 hectopascals (1,6 bar), 1 400 hectopascals (1,4 bar), 1 200 hectopascals (1,2 bar), 1 000 hectopascals (1 bar) et 900 hectopascals (0,9 bar) ;

b) Lors de la phase de décompression en immersion, 1 600 hectopascals (1,6 bar) ;

(1) Cf. Arrêté du 20 août 1991, page ...

c) Lors de la phase de décompression au sec, 2 200 hectopascals (2,2 bars) pour une décompression d'une durée inférieure à 24 heures et 800 hectopascals (0,8 bar) pour une décompression d'une durée supérieure à 24 heures ;

d) Lors des phases de compression ou de repos à saturation, entre 300 hectopascals (0,3 bar) et 450 hectopascals (0,45 bar) ;

e) Lors d'une recompression d'urgence après un accident de décompression, 2 800 hectopascals (2,8 bars), sauf prescription médicale.

La pression partielle d'oxygène doit être évaluée avec une précision de 50 hectopascals (50 millibars).

La pression partielle de l'oxygène dans une enceinte hyperbare de travail ne doit jamais être supérieure à 25 p. 100 de la pression totale.

Article 9

Gaz diluants de l'oxygène.

Les conditions d'emploi et la concentration dans un gaz respiratoire des gaz diluants l'oxygène peuvent être fixées par un arrêté des ministres chargés du travail et de l'agriculture.

Article 10

Air et mélanges respiratoires préparés dans l'établissement ou sur le chantier.

L'air et les mélanges fournis par des compresseurs et destinés à la respiration hyperbare doivent être analysés après tout montage d'une installation nouvelle, puis au moins une fois par an, ainsi qu'après constatation d'une anomalie ou après toute réparation de l'installation.

Ces analyses devront permettre de vérifier la conformité avec les dispositions de l'article 6 ci-dessus.

L'aspiration des compresseurs doit se faire dans un endroit ne présentant pas de risque de pollution, notamment par des gaz d'échappement de moteur, des brouillards de vapeurs d'huile ou d'hydrocarbures, du gaz carbonique ou de l'oxyde de carbone.

En outre, pour les mélanges respiratoires préparés dans l'établissement, l'employeur doit vérifier la conformité de ceux-ci avec les dispositions des articles 7, 8 et 9.

Article 11

Mélanges respiratoires préparés hors de l'établissement ou du chantier.

Les mélanges destinés à la respiration hyperbare ne peuvent être mis sur le marché qu'accompagnés d'une fiche d'analyse et de garantie qui permette à l'employeur de vérifier la conformité avec les dispositions des articles 6, 7, 8 et 9 ci-dessus.

Article 12

Adaptation des mélanges respiratoires aux activités hyperbares.

L'employeur doit fournir les mélanges respiratoires adaptés, en composition et en température, à la pression de travail et des phases de compression, de décompression, de secours et de traitement éventuel.

Il doit en outre, avant utilisation, vérifier, par analyse, la conformité de la teneur en oxygène des mélanges avec les dispositions de l'article 8.

TITRE IV

ÉQUIPEMENT COLLECTIF

Article 13

Outre l'outillage spécifique adapté à la situation hyperbare et nécessaire aux travaux entrepris, l'équipement collectif comprend :

a) Les moyens d'accès, de séjour et de sortie de la situation d'hyperbarie ;

b) Les moyens de surveillance des travailleurs en situation d'hyperbarie ;

c) Les moyens de production, de transfert, de stockage, de distribution et de contrôle des gaz respiratoires ;

d) Les moyens de secours (réanimation, incendie, recompression).

Des arrêtés des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer peuvent préciser les spécifications techniques auxquelles, pour certaines situations hyperbares, devront satisfaire ces équipements.

Article 14

Un moyen d'accès adapté à la situation hyperbare, ou à l'immersion, doit être disponible pour permettre aux travailleurs d'être pressurisés conformément aux procédures décrites dans le manuel de procédures et de sécurité hyperbares prévu à l'article 29 et à une personne au moins de porter secours au personnel sous pression.

Un moyen de sortie de la situation hyperbare doit être en permanence disponible ; il doit permettre de décompresser et, s'il y a lieu, de sortir de l'eau, les travailleurs éventuellement blessés ou inconscients, ainsi que les personnes qui leur ont porté secours.

Article 15

Les moyens de surveillance.

Tout travailleur intervenant sous pression doit être surveillé à partir d'un poste de contrôle situé en un lieu soumis à la pression atmosphérique locale, regroupant les moyens de communication, d'alerte et de secours et les informations nécessaires sur la pression au niveau du lieu du travail, la nature des gaz respirés et les volumes des stocks de gaz disponibles.

Article 16

Appareils à pression.

I. - L'utilisation de disques de rupture pour la protection des enceintes pressurisées habitables est interdite. Cette protection doit être assurée au moyen d'une soupape de sécurité tarée.

En outre, une vanne à fermeture rapide, placée entre la soupape tarée et l'enceinte concernée, facilement accessible, maintenue ouverte et scellée par un fil plombé, doit être utilisée pour isoler cette soupape.

II. - Les dates d'épreuve hydraulique doivent être portées de façon apparente ; les codes de couleur normalisés doivent être utilisés pour les récipients de stockage ou les canalisations.

III. - La couleur des marques portées sur les récipients de stockage et les canalisations ainsi que les marques de conformité des raccords utilisés pour les circuits de distribution de gaz sont définies par arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer.

IV. - Les locaux dans lesquels sont entreposés les gaz sous pression doivent répondre aux spécifications de protection contre l'incendie fixées aux articles R. 233-14 à R. 233-41 du code du travail.

Article 17

L'usage des caissons monoplaces sans sas à personnel est interdit.

Article 18

Des arrêtés des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer peuvent fixer, selon leur usage ou leur destination, les prescriptions d'utilisation applicables aux enceintes pressurisées habitées, notamment aux caissons de recompression, aux caissons de saturation, aux chambres d'oxygénothérapie hyperbare, aux tourelles de plongées, aux sas à personnel des tunnels et aux caissons immergés de travaux en air comprimé.

Article 19

Les détendeurs destinés à ramener la pression du gaz d'un réservoir à la pression d'utilisation convenable doivent être maintenus en bon état de fonctionnement et faire l'objet d'un contrôle au moins une fois par an.

Lorsque la défaillance d'un détendeur peut entraîner la mise en dépression du personnel, le circuit de gaz correspondant doit être protégé par un clapet antiretour.

Article 20

Pour pallier toute défaillance de l'alimentation d'un appareil respiratoire ou d'une enceinte pressurisée habitée, une source de gaz de secours ou un compresseur avec un réservoir tampon doit être immédiatement disponible.

Article 21

Les tuyaux flexibles d'alimentation des appareils respiratoires ne peuvent être utilisés qu'à des pressions inférieures à la moitié de leur pression de service inscrite sur les tuyaux. La pression des tuyaux d'utilisation flexible doit être égale à la pression de service des autres éléments de l'installation.

Les raccords utilisés sur ces tuyaux flexibles ne doivent pas pouvoir se désaccoupler lorsqu'ils sont en pression.

L'ensemble des éléments de raccordement des tuyaux flexibles doit posséder une résistance à la traction au moins égale à celle des tuyaux flexibles eux-mêmes.

Article 22

Les compresseurs et appareils de transfert de gaz doivent être lubrifiés avec des produits ne dégageant pas de vapeurs dangereuses au sens des articles L. 231-6 et L. 231-7 du code du travail.

Un moyen de vérification doit permettre de décider du changement ou du nettoyage du dispositif d'épuration lorsqu'il est saturé.

Article 23

Moyens de secours.

Des moyens de premiers secours en nombre suffisant, comprenant au moins un inhalateur d'oxygène et une trousse d'urgence, doivent être disponibles sur le site.

L'employeur doit en outre s'assurer qu'il existe un caisson de recompression disponible en cas d'accident, correspondant au nombre de personnes intervenant simultanément sous pression, ainsi que le personnel qualifié pour le mettre en œuvre.

Le délai d'accès à ce caisson ne peut en aucun cas excéder deux heures ; des arrêtés des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer peuvent prévoir des délais inférieurs selon la nature de l'exposition au risque hyperbare.

Article 24

Risques d'incendie.

Toutes dispositions de prévention contre l'incendie doivent être prises à l'intérieur et à l'extérieur des enceintes.

Les moyens d'extinction intérieurs aux enceintes habitées doivent être efficaces en atmosphère pressurisée.

Les moyens d'extinction extérieurs aux enceintes pressurisées doivent tenir compte de la situation particulière des travailleurs sous pression, de la présence de gaz comprimé et éventuellement de la présence d'oxygène.

Des moyens de survie en atmosphère enfumée doivent être disponibles pour les travailleurs de conduite des enceintes habitées.

TITRE V

ÉQUIPEMENT INDIVIDUEL

Article 25

L'employeur doit fournir les vêtements de protection adaptés à la situation hyperbare concernée, les appareils respiratoires, les appareils respiratoires de secours et les accessoires appropriés aux méthodes d'intervention et de secours et, le cas échéant, un dispositif de réserve de gaz de secours.

Article 26

Les appareils respiratoires doivent fournir automatiquement l'air ou le mélange respiratoire, sans résistance excessive, à une pression qui correspond à celle du niveau où se trouve l'intervenant.

Article 27

Des arrêtés des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer peuvent spécifier, en fonction des différentes situations hyperbares, les caractéristiques minimales auxquelles devront répondre ces appareils.

TITRE VI

PROCÉDURES DE SÉCURITÉ

Article 28

I. - L'employeur doit établir et mettre à disposition de tout travailleur impliqué dans une opération de travaux hyperbares un manuel de procédures de sécurité en milieu hyperbare.

II. - Ce manuel doit définir les règles générales propres à l'établissement :

a) Les fonctions et les rôles respectifs des différentes personnes intervenant lors des opérations, en particulier ceux du chef d'opération prévu à l'article 30 ci-dessous, du surveillant, du personnel placé en milieu hyperbare pressurisé et du personnel de secours ;

b) Les équipements requis selon les méthodes d'intervention employées par l'entreprise et les vérifications devant être effectuées avant leur mise en œuvre ;

c) Les procédures retenues par l'employeur pour les diverses méthodes d'intervention notamment en ce qui concerne le choix des gaz, les tables de compression et de décompression, les procédures opérationnelles et de secours, la conduite à tenir devant les accidents liés à l'hyperbarie ;

d) Les règles de sécurité à observer au cours des différents types d'opérations ;

e) Les limitations de déplacements à bord d'aéronefs après les interventions hyperbares ;

f) Les éléments définissant un site et qui doivent être pris en compte lors du déroulement des opérations propres à chaque chantier et notamment la connaissance des lieux, la météorologie, les interférences avec d'autres opérations, la pression d'intervention, les moyens de secours extérieurs disponibles, les procédures d'alerte.

III. - Le manuel de sécurité hyperbare et ses modifications successives sont soumis à l'avis préalable du médecin du travail et à celui du comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ou à défaut aux délégués du personnel.

Il est en outre tenu à la disposition de l'inspecteur du travail qui peut mettre en demeure l'employeur de faire procéder à d'éventuelles modifications.

Article 29

L'employeur doit mettre à la disposition de tout travailleur impliqué dans une opération hyperbare un document de chantier définissant les modalités, les procédures normales et de secours de ladite opération.

Article 30

Toute intervention en milieu hyperbare doit être dirigée par un chef d'opération désigné par l'employeur et apte à la conduite des opérations en milieu hyperbare.

L'employeur doit remettre un exemplaire du manuel de procédures et de sécurité hyperbares au chef d'opération.

Le chef d'opération, conformément à ce manuel, prend sur le site et sous la responsabilité de l'employeur, toute mesure propre à assurer la sécurité des travailleurs intervenant sous pression.

Article 31

Tout travailleur intervenant sous pression doit être surveillé en permanence, jusqu'à son retour à la pression atmosphérique, par une personne compétente, présente au poste de contrôle défini à l'article 15 ci-dessus ; cette personne peut être, si la nature de l'intervention le permet, le chef d'opération visé à l'article 30 ci-dessus.

Par ailleurs, au moins une personne titulaire du certificat d'aptitude à l'hyperbarie doit être susceptible d'intervenir à tout moment en milieu hyperbare pour porter secours aux travailleurs sous pression ; un arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer peut toutefois définir les conditions dans lesquelles il peut être dérogé à tout ou partie de cette prescription et fixe, dans ces circonstances, les mesures d'effet équivalent propres à garantir la sécurité des travailleurs sous pression.

En tout état de cause, l'employeur est tenu d'informer sans délai l'inspecteur du travail des dérogations qu'il aura été amené à envisager en vertu du présent article ; il devra en outre faire connaître par écrit aux travailleurs concernés la nature des prescriptions d'effet équivalent propres à garantir leur sécurité.

Sur chaque site où est pratiqué un travail en hyperbarie, un membre du personnel au moins doit être spécialement formé pour donner les premiers secours en cas d'urgence et mettre en œuvre les moyens prévus à l'article 23 ci-dessus.

Lorsque le caisson de recompression n'est pas sur le site, l'employeur doit s'assurer que le personnel qualifié pour sa mise en œuvre est aussi disponible.

Article 32

La composition minimale des équipes engagées dans les opérations hyperbares, les limitations en durée et en fréquence des séjours sous pression, les modalités et procédures de compression, de décompression en conditions normales ou en cas d'accident, la durée d'exposition aux fortes pressions d'oxygène, les modalités de formation et les critères d'aptitudes des personnes prévues aux articles 30 et 31 ainsi que les conditions dans les-

quelles il peut être dérogé aux dispositions ainsi fixées sont définies par arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer.

TITRE VII

SURVEILLANCE MÉDICALE DU PERSONNEL

Article 33

I. - Un travailleur ne peut être affecté à des interventions en milieu hyperbare que si la fiche d'aptitude médicale établie en application de l'article R. 241-57 du code du travail ou de l'article 40 du décret du 11 mai 1982 susvisé, atteste qu'il ne présente pas de contre-indication médicale à ces interventions ; pour les personnes âgées de plus de quarante ans cette fiche est établie tous les six mois.

II. - Le travailleur ou l'employeur peut contester les mentions de cette fiche d'aptitude dans les quinze jours qui suivent sa délivrance.

La contestation est portée devant l'inspecteur du travail. Celui-ci statue après avis conforme du médecin inspecteur régional du travail qui peut faire pratiquer, aux frais de l'employeur, des examens complémentaires par les spécialistes de son choix.

III. - Sans préjudice des dispositions de l'article R. 241-51 du code du travail ou, s'il s'agit d'un travailleur agricole, de l'article 33 du décret du 11 mai 1982 susvisé, l'employeur est tenu de faire examiner par le médecin du travail tout travailleur ayant été victime d'un incident d'hyperbarie ou qui se déclare indisposé par le travail auquel il est affecté.

Article 34

Les examens médicaux pratiqués en exécution des dispositions de l'article précédent doivent comprendre un examen clinique général et des examens spécialisés complémentaires.

Ces examens sont à la charge de l'employeur.

Un arrêté des ministres chargés du travail, de l'agriculture et de la mer définit la recommandation aux médecins et la liste des examens médicaux complémentaires spécialisés.

Article 35

Un dossier médical spécial est tenu par le médecin du travail pour chaque travailleur affecté à des travaux en milieu hyperbare.

Mention de ce dossier doit être faite au dossier médical ordinaire de médecine du travail prévu à l'article R. 241-56 du code du travail, ou à l'article 39 du décret du 11 mai 1982 susvisé.

Ce dossier médical doit contenir :

1° Une fiche relative aux conditions de travail du travailleur, dans laquelle doivent être notamment mentionnés la nature du travail effectué en milieu hyperbare, la durée des périodes d'hyperbarie et les autres risques auxquels le travailleur peut être exposé ;

2° Les dates et les résultats des analyses et des examens médicaux pratiqués en application de l'article 33 ci-dessus, ainsi que les accidents survenus en cours de travail et les manifestations pathologiques.

L'ensemble du dossier médical doit être conservé pendant au moins vingt ans par le service médical du travail.

Article 36

L'employeur est tenu de prévoir des moyens de transport rapides pour permettre à un médecin de se rendre auprès des victimes d'accident.

L'employeur ou le chef d'opération doit avertir immédiatement le médecin du travail en cas d'accident.

TITRE VIII

DISPOSITIONS DIVERSES

Article 37

Le livret individuel ainsi que le certificat d'aptitude à l'hyperbarie, définis à l'article 3 ci-dessus, doivent être, pour chaque travailleur concerné, tenus à la disposition de l'inspecteur du travail et des agents du service de prévention de l'organisme compétent de sécurité sociale.

En outre, l'employeur doit présenter à toute demande de l'inspecteur du travail ou d'un agent du service de prévention de l'organisme compétent de sécurité sociale le manuel d'opé-

ration défini à l'article 28 ci-dessus ainsi que les feuilles d'intervention et les comptes rendus des essais et des vérifications pratiqués en application du présent décret.

Article 38

Doivent être affichés sur le site de l'intervention en milieu hyperbare :

- a) Le nom de la personne prévue à l'article 31 pour porter les premiers secours ;
- b) Le nom et l'adresse du médecin du travail et des secours médicaux spécialisés désignés par lui pour intervenir en cas d'accident ;
- c) L'adresse et les coordonnées téléphoniques du centre de recompression apte à intervenir en cas d'accident lié à l'hyperbarie ;
- d) L'adresse du service médical du travail où sont effectués les examens médicaux.

Article 39

En ce qui concerne les personnes exerçant la profession de marin, les attributions dévolues par le présent décret au médecin du travail sont exercées par le médecin des gens de mer, celles dévolues à l'inspecteur du travail par le chef de quartier des affaires maritimes, celles dévolues au médecin inspecteur du travail et de la main-d'œuvre par le médecin-chef régional des affaires maritimes et celles dévolues aux délégués du personnel par les délégués de bord.

Article 40

Les décrets n° 74-657 du 9 juillet 1974 et n° 74-725 du 11 juillet 1974 sont abrogés.

Les termes « Air comprimé - Travaux dans l'air comprimé » figurant au premier alinéa de l'article R. 234-9 du code du travail sont supprimés.

Article 41

Le présent décret entre en vigueur le premier jour du septième mois à compter de sa publication au *Journal officiel* de la République française.

Article 42

Le ministre de l'équipement, du logement, des transports et de la mer, le ministre du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle, le ministre de l'agriculture et de la forêt et le ministre délégué auprès du ministre de l'équipement, du logement, des transports et de la mer, chargé de la mer, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 28 mars 1990.

MICHEL ROCARD

Par le Premier ministre :

*Le ministre du travail, de l'emploi
et de la formation professionnelle,*

JEAN-PIERRE SOISSON

*Le ministre de l'équipement, du logement,
des transports et de la mer,*

MICHEL DELEBARRE

Le ministre de l'agriculture et de la forêt,

HENRI NALLET

*Le ministre délégué auprès du ministre
de l'équipement, du logement,
des transports et de la mer,
chargé de la mer,*

JACQUES MELLICK

TABLE THERAPEUTIQUE

Cx 12

ANNEXE 2

TABLE THERAPEUTIQUE

TRAITEMENT B : TABLE US NAVY 6 (SANS EXTENSION)

Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré	Temps total (minutes)
18	20	O2	20
	5	Air	25
	20	O2	45
	5	Air	50
	20	O2	70
	5	Air	75
18 à 9	30	O2	105
9	15	Air	120
	60	O2	180
	15	Air	195
	60	O2	255
9 à 0	30	O2	285

TABLE THERAPEUTIQUE

Cx 12

Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré		Temps total (minutes)
		Patient	Accompagnateur	
12	20	O ₂	Air	20
	5	Air	Air	25
	20	O ₂	Air	45
	5	Air	Air	50
	20	O ₂	Air	70
	5	Air	Air	75
	20	O ₂	Air	95
	5	Air	Air	100
12 à 0	24	O ₂	O ₂	124

TABLE THERAPEUTIQUE

Cx 18 C

Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré		Temps t_c (minutes)
		Patient	Accompagnateur	
18	20	O ₂	Air	20
	5	Air	Air	25
	20	O ₂	Air	45
	5	Air	Air	50
18 à 12	36	O ₂	Air	86
12	5	Air	Air	91
	20	O ₂	Air	111
	5	Air	Air	116
	20	O ₂	O ₂	136
	5	Air	Air	141
12 à 0	24	O ₂	O ₂	165

TABLE THERAPEUTIQUE

Cx 18 L

Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré		Temps total (minutes)
		Patient	Accompe- gnateur	
18	20	O ₂	Air	20
	5	Air	Air	25
	20	O ₂	Air	45
	5	Air	Air	50
	20	O ₂	Air	70
	5	Air	Air	75
18 à 12	36	O ₂	Air	111
12	10	Air	Air	121
	40	O ₂	Air	161
	10	Air	Air	171
	40	O ₂	Air	211
	10	Air	Air	221
	40	O ₂	O ₂	261
	5	Air	Air	266
12 à 0	24	O ₂	O ₂	290

TABLE THERAPEUTIQUE

TRAITEMENT A : TABLE COMEX 30 A L'HELIUM-OXYGENE

Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré	Temps total (minutes)
30	60	Hélium 50/50 O2	60
30 à 24	25	Hélium 50/50 O2	85
24	5	Air	90
	25	Hélium 50/50 O2	115
24 à 18	5	Air	120
	25	Hélium 50/50 O2	145
18	5	Air	150
	25	O2	175
	5	Air	180
	25	O2	205
18 à 12	5	Air	210
	25	O2	235
12	5	Air	240
	25	O2	265
	5	Air	270
	25	O2	295
	5	Air	300
	25	O2	325
	5	Air	330
	25	O2	355
	5	Air	360
	25	O2	385
	5	Air	390
	25	O2	415
	5	Air	420
12 à 0	30	O2 (A)	450

Table thérapeutique Cx 30			
Profondeurs (mètres)	Durées (minutes)	Gaz respiré	Temps total (minutes)
30	40	50/50	40
30 à 24	5 25	Air 50/50	45 70
24	5 25	Air 50/50	75 100
24 à 18	5 25	Air 50/50	105 130
18	5		135
	25	O ₂	160
	5 25	O ₂	165 190
18 à 12	5 25	O ₂	195 220
12	10		230
	45	O ₂	275
	10		285
	45	O ₂ (A)	330
	10		340
	45 10	O ₂ (A)	385 395
12 à 0	24	O ₂ (A)	419

La recompression s'effectuera le plus rapidement possible, en 2 ou 3 minutes (dans la mesure où le patient le supportera) sous respiration de 50/50 oxygène - azote, au masque, avec déverseur.
DES L'ARRIVÉE AU FOND LE TRAITEMENT MÉDICAL EST ENTREPRIS (OU POUR-SUIVI)

Hyperbaric Center Medical Director	DCS Type I	DCS Type II Neurological Acc.	DCS Type II Labyrinthine Acc.
Aberdeen (United Kingdom) ROSS	US NAVY 6 avec extension	US NAVY 6 avec extension, si échec, COMEX 30 (HELI-OX)	US NAVY 6 avec extension
Ajaccio (France) GRANDJEAN	COMEX 12 ou COMEX 18	Avant 12 ^e heure : table pression élevée (4 ATA) + PIO2 = 2,8 ATA Après 12 ^e heure : table pression modérée (3 ATA) + PIO2 = 2,4 ATA	
Arolsen (Germany) ALMELING, WELSLAU	US NAVY 6 avec modification	US NAVY 6 A si délai < 30 min	US NAVY 6 avec modification
Barcelone (Spain) DESOLA	US NAVY 5	US NAVY 6 avec modification au delà	US NAVY 6 ou COMEX 30 dans les cas graves
Basel (Switzerland) SCHMUTZ		Table 2,8 ATA, durée 4 heures	
Bremen (Germany) PEUSCH-DREYER	US NAVY 5/6	US NAVY 6 sauf si tableau neurologique sévère US NAVY 6 A (délai < 4 h)	COMEX 30 (HELI-OX)
Bruxelles (Belgium) GERMONPRE	US NAVY 6	US NAVY 6 ou COMEX 30 (HELI-OX)	
DAN EUROPE (Italy) MARONI	US NAVY 6	US NAVY 6	US NAVY 6 avec extension
Fuerteventura (Iles Canaries) BERMEO	US NAVY 5 ou COMEX 18	US NAVY 6 avec modification et extension	
Günlingen (Switzerland) MEYER	COMEX 12	2 heures à 100 % oxygène 3 à 4 fois par jour	
Kassel (Germany) ALMELING, WELSLAU	US NAVY 6 avec modification	US NAVY 6 avec modification ou COMEX 30 (HELI-OX)	
Kronshagen (Germany) BETTINGHAUSEN	US NAVY 5	US NAVY 6	
Marseille (France) Hôpital SALVATOR	US NAVY 5	Table 2 ATA 100 % oxygène de 2 à 6 heures	
Nice (France) WOLKIEWIEZ	COMEX 12 ou COMEX 18	Avec aéro-embolisme cérébral incursion à 6 ATA puis COMEX 30 Sans aéro-embolisme cérébral COMEX 30 Accident mineur ou vu tardivement (> 6 h) 2 ATA O2 4 à 6 h US NAVY 6 avec extension du palier à 1,9 ATA	
Palamos (Spain) PRAT	US NAVY 5	US NAVY 6 avec extension	
Toulon (France) Hôpital Font-Pré	US NAVY 5	Table 2 ATA 100 % oxygène de 2 à 6 heures	
Toulon Naval (France) THEOBALD	2 h à 2,2 ATA ou US NAVY 6	Avant la 12 ^e heure : US NAVY 6 ou D30 Après la 12 ^e heure : ? Tables suroxygénées	
Split (Yugoslavia) KOVAČEVIĆ		US NAVY 6 avec modification	
Zingonia (Italy) LONGONI	US NAVY 6	Table 2,8 ATA 100 % oxygène complétée en fonction de l'évolution par COMEX 30 (NITROX 50/50) ou table 6 ATA (NITROX 60/40)	

Tableau de E. Bergman

« Enquête sur les différentes stratégies utilisées en Europe avant la Conférence de consensus de 1996 »

LISTE DES CAISSON CIVILS

MANCHE - LE HAVRE

Hôpital Jacques Monod

Docteur NOUVEAU

BP 24 - 76083 LE HAVRE CEDEX

Tél : 02.32.73.32.06 poste 35 252

Fax : 02.32.73.32.41

ATLANTIQUE - BORDEAUX

Centre Hospitalier Pellegrin - Tripode

Professeur BENISSAN Service de Réanimation

Place Amélie Raba Léon

33076 BORDEAUX CEDEX

Tél : 05.56.79.49.24 / 05.56.79.49.04

Fax : 05.56.79.61.22

BREST

C.H.U. de la Cavale Blanche

Docteur COCHARD Unité de soins hyperbares

BOULEVARD Tanguy Prigent

29609 BREST CEDEX

Caisson : 02.98.34.70.98

Médecin : 02.98.34.70.99 - Fax: 02.98.34.78.49

MEDITERRANEE - AIX EN PROVENCE

Clinique Axiom

Docteur FREDENUCCI, Docteur REGGI, Docteur TRUCHOT, Docteur MARCY

Rue Alfred Capus

13100 AIX EN PROVENCE

Tél : 04.42.95.72.95 / 04.42.95.72.72

Fax : 04.95.29.84.85

AJACCIO

Centre Hospitalier de la Miséricorde

Docteur GRANDJEAN : Président de MEDSUBHYP

27 Avenue Impératrice Eugénie

20184 AJACCIO CEDEX

Tél: 04.95.29.91.93 / 04.95.29.91.94

Fax: 04.95.29.84.85

Email: mailto:b-grandjean@wanadoo.fr

MARSEILLE

Hôpital Salvator

Docteur BARTHELEMY

249, boulevard de Ste Marguerite

13009 MARSEILLE

Caisson : 04.91.74.49.96

Secrétariat : 04.91.74.49.44 - Fax : 04.91.74.62.56

Email : ABARTHELEMY@ap-hm.fr

Polyclinique Clairval

Docteurs AIMARD , BELNET, BERGMANN, JEAN

Service de Médecine Hyperbare

317 Boulevard du Redon

13009 MARSEILLE

Tél : 04.91.17.12.32 - Réanimation :

04.91.41.87.41

Fax : 04.91.17.11.48

Clinique Cardiovasculaire Valmante

Docteurs AMOROS, GALLET, MONIN

Service de Médecine Hyperbare

100 traverse de la Gouffone

Route de Cassis

13009 MARSEILLE

Tél: 04.91.17.18.65 / 04.91.17.19.61

Fax: 04.91.17.18.20

NICE

Hôpital Pasteur

Docteur LAPOUSSIÈRE

Sce de Médecine Hyperbare

30 Avenue de la Voie Romaine - BP 69

06002 NICE CEDEX

Tél : 04.92.03.77.72 - Fax : 04.92.03.85.58

Email : hyperbare@chu-nice.fr

PERPIGNAN

Clinique Saint Pierre

Docteurs DUKERS, MANYA, MARTINEZ

Centre Hyperbare

Rue Jean Gallia - BP 2118

66012 PERPIGNAN

Tél: 04.68.56.26.14 - Fax: 04.68.55.51.08 -

Email: OHB.Perpignan@wanadoo.fr

TOULON

Hôpital Font-Pré

Docteurs BERGMANN, DURAND-GASSELIN

1208, Avenue du Colonel Picot - BP 1412

83056 TOULON CEDEX

Tél : 04.94.61.80.97 / 04.94.61.80.99

Fax : 04.94.61.80.93

INTERIEUR - REGION PARISIENNE

Centre Médico Chirurgical de la Porte de PANTIN

Docteur CARON Service de Médecine Hyperbare

9 à 21 Sente des Dorées - 75019 PARIS

Tél : 01 44 84 54 44 / 01 44 84 53 52

Fax : 01.42.02.67.17

Email : caisson@cmcpp.com

Hôpital Raymond Poincaré

Professeur GAJDOS , Docteur ANNANER

Service de Réanimation

92380 GARCHES

Tél: 01.47.10.77.78 - Fax: 01.47.10.77.83

ANGERS

Centre Hospitalier Régional d'ANGERS

Professeur ALQUIER, Docteur SOUDAY

Service de Réanimation Médicale

4 Rue Larrey

49033 ANGERS CEDEX 1

Tél : 02.41.35.38.71 - Fax : 02.41.35.40.83

AVIGNON

Polyclinique Urbain V

Docteur ALBERTINI

Service de Médecine Hyperbare

Chemin du Pont des Deux Eaux

84000 AVIGNON

Tél : 04.90.81.33.00 - Fax:04.90.89.91.14

BESANCON

C.H.R.U Jean Minjot (caisson biplace)

Professeur CAPELLIER

Service de Réanimation Médicale

Boulevard Fleming

25000 BESANCON

Tél : 03.81.66.81.66 poste 677113

Fax : 03.81.66.80.37

LILLE

Hôpital Albert Calmette

Professeur Francis WATTEL : Email :

mdebrabant@chru-lille.fr

Professeur Daniel MATHIEU : Email :

dmathieu@chru-lille.fr

Centre Régional de Médecine Hyperbare

59037 LILLE CEDEX

Tél: 03.20.44.54.91 - Fax:03.20.44.50.94

LYON

Hôpital Edouard Herriot

Dr DELAFOSSE

Service de Réanimation Pavillon N

5 Place d'Arsonval

69437 LYON CEDEX 03

Tél: 04.72.11.00.31 - Fax: 04.72.11.10.96

NANCY

Hôpital Central

Professeur BOLLAERT , Docteur BOCQUET

Service de Réanimation

29 Avenue De Lattre de Tassigny

54035 NANCY CEDEX

Tél : 03.83.85.19.87 - 03.83.85.14.62

Fax: 03.83.85.26.22

REIMS

Hôpital Maison Blanche

Docteur JOURNE

Service de Médecine Hyperbare

45 rue Cognac Jay

51092 REIMS CEDEX

Tél: 03.26.18.48.23 / 03.26.06.07.08

Fax: 03.26.86.55.48

STRASBOURG

Hôpital de HautePierre

Professeur JAEGER, Docteur BILBAUT

Service de Réanimation Médicale

Avenue Molière

67098 STRASBOURG CEDEX

Tél: 03.88.12.79.17 - Fax: 03.88.12.79.08

TOULOUSE

C.H.U. Purpan

Professeur CATHALA

Unité de Soins Hyperbares

Place du Dr Baylac
31059 TOULOUSE CEDEX
Tél: 05.61.77.22.95 / 05.61.77.22.84
Fax: 05.61.77.76.70

OUTRE-MER - POLYNESIE FRANCAISE

Centre Hospitalier Territorial MAMAO
Docteurs SIMON, BETITO
Centre Hyperbare
BP 1640
98713 PAPEETE-TAHITI
Tél: (689) 46.62.62 - Fax: (689) 43.24.24

ILE DE LA REUNION

Centre Hospitalier de Saint Pierre
Docteur HARMS - Centre Hyperbare
Le Tampon - BP 350
97448 SAINT PIERRE
Tél: (262) 35.90.00 - Fax: (262) 35.90.77

GUADELOUPE

Centre Hospitalier de POINTE A PITRE Les Abymes
Docteur DAIJARDIN - Service de Réanimation
BP 465
97159 POINTE A PITRE
Tél: (590) 89.11.30 - Fax: (590) 83.29.66

MARTINIQUE

Centre Hospitalier
Hôpital de la Meynard
Docteur MEHDAOUI - Service de Réanimation
97261 FORT DE FRANCE CEDEX
Tél: (596) 55.23.46 - Fax: (596) 75.50.60

LES CAISSONS MILITAIRES

ATLANTIQUE - BREST

Centre d'expertises médicales du personnel plongeur de la Marine en Atlantique
29240 BREST NAVAL
Secrétariat : 02.98.22.24.46
Médecin : 02.98.22.26.00
Caisson : 02.98.22.01.03 Fax: 02.98.22.95.90

MEDITERRANEE

Hôpital d'Instruction des Armées STE ANNE
Professeur CANTAIS
S.U.S.I (Service d'Urgence et de Soins Intensifs)
83800 TOULON NAVAL
Tél: 04.94.09.91.50 / 04.94.09.92.46 (jour)
04.94.09.92.78 (nuit) - Fax: 04.94.09.96.98

INTERIEUR REGION PARISIENNE

Hôpital d'Instruction des Armées du VAL DE GRACE
Professeur BRINQUIN
Service de Réanimation
74 Boulevard de Port Royal
75013 PARIS
Tél: 01.40.51.45.11 ou 01.40.51.45.09 - Fax: 01.40.51.46.08

METZ

Hôpital d'Instruction des Armées LEGUEST
Professeur PITTI
Service de Médecine Hyperbare
27 Avenue des Plantières
57998 METZ ARMEES
Tél: 03.87.56.22.85 - Fax : 03.87.56.47.69

*Source : Société de physiologie et de médecine subaquatique et hyperbare de la langue française
- MEDSUBHYP*