

PROCEDURE PREVENTION 8-7

**MANUEL DE SECURITE DES TRAVAUX HYPERBARES
MENTION D**

Révision	Date	Synthèse des modifications
C	24/07/2020	Mise à jour suite ajout § 10.2.7 « Intervention initiale ou successives »
B	05/09/2019	Mise à jour suite aux recommandations apportées par Dr P. Barré
A	11/04/2019	1° version du manuel.

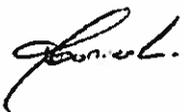
Rédaction	Vérification	Approbation
M. L. MOUNIER Responsable Prévention Signature : 	M. E. LEMONNIER Directeur Prévention Signature 	M. L. THEVENOT Directeur Division Grands Travaux Souterrains Signature : 
Diffusion Direction et chargés sécurité des chantiers Eiffage GC Grands Travaux Souterrains		

Table des matières

1. Introduction	5
1.1. Objet	5
1.2. Champs d'application	5
2. Lois, décrets et codes applicables	6
2.1. Réglementations hyperbares	6
2.2. Réglementations relatives aux équipements sous pression (SAS, Caisson de sauvegarde)	6
2.3. Appareils et accessoires de levage	6
3. Environnement administratif	6
3.1. Livret individuel de plongée	6
3.2. Certificat d'aptitude à l'hyperbarie (CAH)	7
3.3. Surveillance médicale renforcée	8
3.4. Manuel de procédure et de sécurité hyperbare.....	8
3.5. Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé - PGCSPS.....	8
3.6. Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS)	8
3.7. Fiche de sécurité hyperbare	9
4. Certification hyperbare	9
4.1. Arrêté du 29 Septembre 2017 applicable au 1er Janvier 2020	9
5. Rôles, compétences et responsabilités	9
5.1. Composition, rôles et fonctions de l'équipe hyperbare.....	9
5.2. Les fonctions connexes.....	11
5.3. Organisation	12
6. Choix des matériels.....	12
6.1. Matériel de premiers secours.....	12
6.2. Extincteur hyperbare.....	13
6.3. Caisson de recompression de sauvegarde (CRS)	13
6.4. Sas intégré au tunnelier.....	14
7. Choix des gaz respirables	15
7.1. Fourniture d'air comprimé	15
7.2. Mélanges.....	15
8. Analyse des risques physiologiques	16
8.1. Les risques liés à l'hyperbarie	16
8.2. Conséquences physiologiques de la vie en hyperbarie.....	22
8.3. Consommation desgaz	24
8.4. Les échanges des gaz à l'interface gaz / liquide	24
8.5. Conséquences techniques desgaz sous pression	26
8.6. Évacuation	26
8.7. Vol et montée en altitude après une intervention	26
8.8. Durée.....	26
9. Analyse des risques Techniques.....	27
10. Méthodes d'intervention et d'exécution des travaux	27
10.1. Procédures opérationnelles	27
10.2. Mise en œuvre d'une intervention hyperbare	34
11. Procédures d'urgence	37
11.1. Urgences spécifiques à l'hyperbarie.....	37
11.2. Tubiste en situation dangereuse dû à un danger dans le milieu hyperbare	37
11.3. Procédures de rattrapage.....	39

12. Contenu du PPSPS – Interventions en milieu hyperbare	40
12.1. Partie technique	40
12.2. Procédures spécifiques du chantier	40
12.3. Procédures d'urgence	40
13. Vigilance particulière concernant les plongées de Classe 2 (> 3bars)	41
13.1. Risques liés aux plongées au-delà de 3 bars	41
13.2. Sélection des tubistes	41
14. Références.....	42
15. Annexes.....	42
Annexe 1 : Notice de postes – Indice B	42
Annexe 2 : Fiches de Sécurité	42
Annexe 3 : Fiches de Procédures d'urgence en milieu hyperbare.....	42
Annexe 4 : Annexe 5 du Bulletin Officiel du 30 janv. 2013 « Procédures d'intervention en air comprimé sans immersion effectuées dans le cadre de la mention D ».....	42

Nota :

Les corrections apportées par le Dr Barré dans ce manuel par rapport à l'indice A sont surlignées en **jaune**.

Les corrections apportées suite à l'expertise de l'entreprise Nostra par rapport à l'indice B sont surlignées en **vert**.

1. Introduction

1.1. Objet

Le présent Manuel définit les règles de sécurité à respecter relatives aux travaux en milieu hyperbare en atmosphère sèche.

Le milieu hyperbare est défini par la réglementation comme un milieu dans lequel les travailleurs sont appelés à intervenir à une pression relative supérieure à la pression ambiante (> 100 hPa).

1.2. Champs d'application

Tunneliers

Avec les tunneliers, le creusement est en principe conduit sans intervention humaine sous pression.

Ces interventions sont réservées à des inspections du terrain ou de la machine, pour entretien ou réparation.

Lors des interventions en terrain meuble, l'air comprimé est utilisé soit pour chasser l'eau de la nappe phréatique en contrebalançant la pression hydrostatique par une pression d'air équivalente, soit pour maintenir le terrain par une contre pression comme celle d'une chambre à air dans un pneumatique. Ces deux objectifs peuvent être simultanés.

Ouvrages creusés par méthodes conventionnelles (traditionnelles)

Le creusement conventionnel (ou traditionnel) peut être défini comme la construction d'ouvertures souterraines d'une quelconque forme, suivant un processus cyclique de construction comprenant les étapes suivantes (exemple : galeries confinées, rameaux, ...) :

- Excavation, selon des méthodes de terrassement à l'aide d'excavateurs mécaniques basiques
- Évacuation des déblais (marinage)
- Mise en place des éléments de soutènement tels que:
 - Cintres en acier ou cintres réticulés
 - Boulons d'ancrage
 - Béton projeté ou coulé sur place

De la même manière que lors d'opérations réalisés à l'aide de tunneliers, lors des interventions en terrain meuble, l'air comprimé est utilisé soit pour chasser l'eau de la nappe phréatique en contrebalançant la pression hydrostatique par une pression d'air équivalente, soit pour maintenir le terrain par une contre pression comme celle d'une chambre à air dans un pneumatique. Ces deux objectifs pouvant être simultanés.

Personnes concernées :

- Le personnel Eiffage, volontaire et affecté à ses postes, intervenant dans un projet de tunnelier ou travaux annexes (galeries confinées, rameaux,...) en France, nécessitant des interventions en milieux hyperbares.
- Toute personne extérieure à Eiffage intervenant en milieu hyperbare sur un projet de tunnelier ou travaux annexes (galeries confinées, rameaux,...) et placé sous le contrôle d'Eiffage. Cependant, ces derniers devront transmettre leur propre manuel et la preuve de leur certification hyperbare à la direction du projet Eiffage. Sont concernés les sous-traitants ou prestataires de service et les partenaires d'un groupement d'entreprise.

Ces travaux impliquent pour le personnel concerné d'être :

- Titulaire du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie mention D
- Titulaire du Certificat Médical d'Aptitude d'interventions en milieux hyperbares par un médecin hyperbariste et médecin du travail
- Titulaire du Brevet de Sauveteur Secouriste du Travail pour 60% du personnel à minima (au minimum 2 par équipe).

Modes de plongée concernées

Sont concernées, les plongées en milieu sec jusqu'à une pression maximale relative de **1.2 bars (Mention D - classe 0)**, **3 bars** (Mention D - Classe 1) ou **5 bars** (Mention D - Classe 2). Au-delà de 5 bars une réflexion sera à examiner sur la capacité propre de l'entreprise à réaliser les travaux ou sur l'utilisation d'un prestataire extérieur certifié (Mention D - Classe 3).

2. Lois, décrets et codes applicables

2.1. Réglementations hyperbares

- **Décret 2011-45 du 11 janvier 2011 consolidé au 27 février 2016**, relatif à la protection des travailleurs intervenants en milieu hyperbare et ses arrêtés.
- **Décret 90-277 du 28 mars 1990 consolidé au 21 janvier 2016**, relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare et ses arrêtés.
- **Arrêté du 29 septembre 2017**, relatif à la certification des entreprises réalisant des travaux hyperbares.
- **Arrêté du 12 décembre 2016**, définissant les modalités de formation à la sécurité des travailleurs exposés aux risques hyperbares.
- **Norme NF EN 12110 du 4 Juillet 2014**, relative aux machines pour la construction de tunnels – SAS de transfert – Prescriptions de sécurité.
- **Norme NF EN 16191 du 9 Aout 2014**, relative aux tunneliers – Prescriptions de sécurité.
- **Arrêté du 15 Mai 1992** – Table de décompression.

2.2. Réglementations relatives aux équipements sous pression (SAS, Caisson de sauvegarde)

- **Décret 99-1046 du 13/12/1999** modifié relatif aux équipements sous pression.
- **Décret 2001-386 du 03/05/2001** modifié relatif aux équipements sous pression transportables.
- **Arrêté du 15/03/2000** relatif à l'exploitation des équipements sous pression.
- **Arrêté du 03/05/2004** relatif à l'exploitation des récipients sous pression transportables.
- **Arrêté du 25 juin 2012** portant modification de l'arrêté du 3 mai 2004 relatif à l'exploitation des récipients sous pression transportables.
- **Arrêté ministériel du 20/11/2017** relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples (applicable depuis le 01/01/2018 ; succède à l'AM du 15/03/2000).
- Avis de la commission centrale des appareils à pression en date du 15/03/2012.

2.3. Appareils et accessoires de levage

- **Arrêté du 1^{er} mars 2004** relatif aux vérifications des appareils et accessoires de levage

3. Environnement administratif

3.1. Livret individuel de plongée

Chaque plongeur doit posséder un livret individuel de plongée.

Ce livret, est établi par **le centre de formation.**

Le titulaire tient à jour en faisant remplir par le chef de SAS le décompte et les spécialités de ses plongées et fait viser son livret par le **Chef d'Opération Hyperbare.**

3.2. Certificat d'aptitude à l'hyperbarie (CAH)

Tout **hyperbariste** exerçant dans le cadre professionnel doit être titulaire du **Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie**. Il est rappelé que les différents diplômes ou « niveaux » décernés par la confédération mondiale des activités subaquatiques (CMAS), par des fédérations nationales ou des organismes certifiés n'ont pas de valeur légale pour les interventions et travaux en plongée.

Le CAH est délivré **par le centre de formation qui a effectué la formation** à l'issue d'un stage **organisé par des organismes certifiés pour effectuer cette formation**

L'organisme de formation certifié détermine pour les personnels ayant eu une formation antérieure qu'elle est la formation complémentaire nécessaire pour obtenir son CAH

La validité du CAH est de **5 ans**.

Elle peut être prorogée, par périodes successives de cinq ans par un organisme certifié.

Tout intervenant appelé à plonger doit posséder le certificat d'aptitude **mention D**, correspondant à la profondeur d'intervention.

3.2.1. Les mentions

Les hyperbaristes sont titulaires d'une mention selon le type d'activité hyperbare pour laquelle ils ont reçu une formation spécifique :

- Mention **A** : Scaphandriers,
- Mention **B** : Autres activités subaquatiques à l'air (reportages, activités scientifiques...)
- Mention **C** : Interventions médicales et paramédicales pratiquées en hyperbare
- Mention **D** : **Interventions en atmosphère sèche**

Les personnels intervenants sur les chantiers d'Eiffage seront titulaires du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie **Mention D**.

3.2.2. Les classes

Les hyperbaristes sont titulaires d'une classe selon la pression maximale pour laquelle ils ont reçu une formation et une certification. Dans le cas présent, nous ne traiterons que des **pressions relatives** (à ne pas confondre avec les pressions absolues).

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Intervention à la pression de ::	0 à 1.2 bar	1.2 à 3 bars	3 à 5 bars	Au-delà de 5 bars

Les personnels intervenants sur les chantiers d'Eiffage seront titulaires du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie Mention D – Classe 0 pour les travaux sous une pression relative <1.2 bars, classe 1 pour une pression comprise entre 1.2 et 3 bars, classe 2 si la pression est supérieure à 3 bars.

À noter : Article R4461-49 (créé par Décret n°2011-45 du 11 janvier 2011 - art. 1)

Dans le cas de la survenance d'un événement imprévu nécessitant la modification ponctuelle de l'organisation de travail initialement définie, l'employeur peut demander au travailleur de déroger aux pressions maximales autorisées par son certificat d'aptitude à l'hyperbarie, sous réserve de mettre en œuvre les mesures de sécurité nécessaires telles que définies au 3° de l'article R. 4461-7.

Il consigne cette intervention dans le livret individuel hyperbare du travailleur concerné.

Ce travailleur, qui accepte cette intervention, ne peut être conduit à dépasser les valeurs de pression relative maximale suivantes :

- 1° Pour la classe I : 4 000 hectopascals ;
- 2° Pour la classe II : 6 000 hectopascals.

Le refus ne peut être constitutif d'une faute du salarié entraînant une sanction disciplinaire.

3.3. Surveillance médicale renforcée

Une surveillance médicale spécifique pour les personnels **hyperbaristes** est exercée par un médecin **hyperbariste**.

La périodicité des examens est de **12 mois**.

Un dossier médical est constitué pour chaque plongeur par le médecin. Il comprend : fiche individuelle et observations sur les conditions de travail, date et résultats des examens, accidents et pathologies (liés ou non à l'activité hyperbare).

L'employeur est tenu de faire examiner par le médecin **hyperbare** tout plongeur ayant été victime d'un accident hyperbare. Il informe également le médecin de tout arrêt ou accident. Le médecin hyperbare définira l'incidence sur la qualification en plongée de l'individu. Le certificat médical délivré après chaque examen mentionne la classe d'aptitude et, le cas échéant, des recommandations ou limites particulières.

Aucun personnel d'Eiffage ou de toutes entreprises sous son contrôle administratif ne peut être autorisé à plonger s'il n'est pas à jour de visite médicale. Les plongeurs extérieurs à Eiffage intervenant sur un projet de tunnelier à titre professionnel doivent pouvoir faire état d'un certificat médical d'aptitude à l'hyperbarie validé délivré par le médecin de prévention de leur administration ou par le médecin du travail de leur entreprise, conforme aux articles R4624-25, R4624-26 et R4624-27 du code du travail.

Attention de veiller à ce que le prestataire scaphandriers respecte cette obligation de visite médicale du travail qui doit être délivrée au nom de l'employeur de ce scaphandrier (ETT ou entreprise sous-traitante)

3.4. Manuel de procédure et de sécurité hyperbare

C'est le présent document, rédigé pour Eiffage Génie Civil, soumis pour avis au CHSCT et au médecin du travail. Ce document réunit les règles de sécurité applicables pour les interventions hyperbares en milieu sec. Ce manuel est complété, en phase projet, par le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) qui regroupe les procédures opérationnelles détaillées.

3.5. Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé - PGCSPS

Le PGCSPS définit des mesures destinées à prévenir les risques découlant des interventions successives ou simultanées sur le chantier. Etabli dès la phase de conception de l'opération, il doit être tenu à jour et adapté à l'évolution du chantier. Il est joint aux dossiers d'appel d'offre.

Pour rappel :

- Etabli en concertation avec la maîtrise d'œuvre par le coordonnateur SPS dès le début de la phase de conception à partir des éléments recueillis sur le site de la construction ou fournis par le maître d'ouvrage
- Joint au dossier de consultation des entreprises
- Mis à jour pendant toute la durée de l'opération
- Mis à disposition de tous les acteurs du projet
- Contient à la fois des préconisations techniques et organisationnelles pour prévenir les risques sur le chantier

3.6. Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS)

Le PPSPS permet à l'entreprise de préciser, en tenant compte du PGCSPS, les mesures spécifiques qu'il prend pour prévenir les risques liés à l'environnement du chantier, à des travaux dangereux réalisés par d'autres entreprises ou à ceux résultant de ses propres travaux, auxquels se trouveraient exposés ses salariés comme ceux des autres entreprises.

Pour rappel :

- Rédigé par chaque entreprise (y compris les sous-traitants) avant son intervention sur le chantier
- Document réalisé en intégrant les prescriptions du PGCSPS
- Disponible sur chantier (le PPSPS du gros œuvre ou du lot principal doit être communiqué à l'inspection du travail, aux services prévention des organismes de sécurité sociale et à l'OPPBTB)
- Consultable par les membres du CISSCT, du **CSE** (ou à défaut par les délégués du personnel) et par le médecin du travail.

3.7. Fiche de sécurité hyperbare

Document rédigé à l'occasion de chaque intervention (modèle en **Annexe 2**) et qui indique :

- Le nom des personnes impliquées aux fonctions clés,
- Les renseignements sur le lieu, la date et les horaires d'intervention,
- Le type de travail effectué,
- Les caractéristiques du profil de décompression suivi,
- La table de décompression correspondant à la pression et à la procédure de décompression retenue (air ou oxygène).

Chaque feuille est signée par le chef de Sas.

Il est **nécessaire** d'archiver les fiches de sécurité hyperbare **pendant 20 ans**.

4. Certification hyperbare

4.1. Arrêté du 29 Septembre 2017 applicable au 1er Janvier 2020

Le CPH est le garant de cette certification et il travaille de pair avec les COH des différents projets pour obtenir cette certification.

A partir du 1er Janvier 2020, les interventions hyperbares ne seront possibles que si Eiffage Génie Civil est certifié.

De l'absence ou de la mise en demeure de la certification par l'organisme externe résultera l'impossibilité de travailler en hyperbare jusqu'à la levée des anomalies et la récupération de la certification.

5. Rôles, compétences et responsabilités

Les équipes réalisant des travaux en milieu hyperbare sont constituées d'au moins trois personnes entre lesquelles sont réparties les cinq fonctions suivantes :

5.1. Composition, rôles et fonctions de l'équipe hyperbare

- Les équipes sont constituées pour chaque opération sous l'autorité du Directeur de travaux en charge des opérations hyperbares.
- La formation est assurée par un organismes accrédité.
- Les membres de l'équipe intervenant en atmosphère hyperbare sont considérés comme aptes si elles détiennent le CAH valide et si elles ont été considérées comme aptes médicalement par le Médecin du travail et le Médecin hyperbare.
- Le nombre minimum d'intervenants en milieu hyperbare est de **3 tubistes** dont à minima 2 doivent être SST **et/ou formé à la mise en œuvre de l'oxygénothérapie**.
- Les interventions ou décompressions à une seule personne sont strictement interdites.
- L'équipe d'intervention se compose aussi de personnes non pressurisées dont le Chef d'Opération Hyperbare et le Chef de Sas. Ils sont tous désignés nominativement sur la fiche de sécurité hyperbare.

5.1.1. Le Chef d'Opération Hyperbare (COH)

C'est la personne désignée par le Directeur des travaux du projet pour diriger les opérations hyperbares. Il doit être apte à s'acquitter de la mission de Chef d'Opération Hyperbare, il doit bénéficier d'une formation appropriée.

Le COH :

- Peut participer à d'autres activités sur le chantier mais il doit être en permanence sur site et se rendre disponible immédiatement en cas d'urgence pour conduire les opérations hyperbares.
- Doit avoir une très bonne connaissance en hyperbarie (exemple : formation COH dispensée par l'INPP) et des procédures d'interventions normales et de secours. A partir des listes des personnes habilitées, il désigne les personnels intervenant dans une opération (nombre, secours...) et signe la fiche de sécurité hyperbare. Il n'est pas nécessairement apte médicalement aux travaux hyperbares **ni nécessairement titulaire d'un CAH**.
- Est chargé de s'assurer de la mise en œuvre des mesures de prévention des risques prévues dans le manuel de sécurité des travaux hyperbares et de la coordination de l'équipe.

- S'assure que les méthodes et conditions d'intervention sont consignées sur le livret individuel hyperbare de chaque travailleur.
- A un rôle de suivi des tubistes **post-intervention** en cas de complication médicale d'un tubiste (jusqu'à **24h** après intervention).
- Assure la liaison entre l'équipe plongée et les services extérieurs de secours.
- Peut occuper la fonction de Chef de Sas. **Dans ce cas doit rester impérativement à côté du sas.**

D'autres COH peuvent être désignés au besoin du chantier pour couvrir des plages horaires plus larges. Chaque COH assure alors la transmission des consignes entre postes.

5.1.2. Le chef de Sas / **Surveillant**

La désignation du chef de Sas est faite par le COH, il est indispensable que la personne désignée ait bénéficié d'une formation appropriée et d'une information écrite sur les conditions techniques et de sécurité de l'opération (utilisation des caissons, test de décompression). Des exercices de simulation de décompression peuvent être mis en place. Il doit avoir une très bonne connaissance des procédures d'intervention de secours.

Le Chef de Sas :

- Est le surveillant des opérations hyperbares, il ne peut exercer d'autres activités jusqu'à la fin de l'opération. (Il peut être COH le cas échéant).
- Ne peut avoir la charge que d'un Sas à la fois.
- S'assure que les hyperbaristes sont aptes à intervenir.
- Détient l'autorité sur toute personne se trouvant en situation hyperbare quel que soit le niveau hiérarchique de cette personne.
- Effectue la mise en compression et la décompression du personnel ainsi que la ventilation du sas et de la chambre de coupe. Il gère les paramètres du milieu hyperbare. Il reste en communication avec tous les intervenants.
- Manipule le sas personnel depuis l'extérieur du sas. Il surveille les opérations et assure la ventilation du sas.
- N'est pas nécessairement médicalement apte aux travaux hyperbares **ni titulaire du CAH.**

5.1.3. Le chef d'équipe opérateur hyperbariste ou chef tubiste

- A minima titulaire du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie (CAH) **mention D - classe 1** (éventuellement classe 2 si la pression est égale ou supérieure à 3 bars) associé à la visite médicale adaptée à ce poste de travail.
- Il doit avoir une très bonne connaissance des procédures d'intervention des travaux et de secours.
- Il connaît la mission qu'il doit accomplir pendant la plongée et dirige l'équipe de tubiste en ce sens.

5.1.4. L'opérateur hyperbariste ou tubiste

- A minima titulaire du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie (CAH) **mention D - classe 1** (éventuellement classe 2 si la pression est égale ou supérieure à 3 bars) associé à la visite médicale adaptée à ce poste de travail.
- Il réalise les tâches dans le milieu hyperbare dans le respect des procédures d'intervention.
- Il veille à sa sécurité lors de ses activités et à celles de ses collègues.

5.1.5. L'hyperbariste de secours

C'est un hyperbariste, désigné par le Chef d'Opération Hyperbare, disponible pour porter secours aux hyperbaristes pressurisés sur ordre du Chef de Sas. Il doit maîtriser les procédures d'urgence du projet et du présent manuel.

Tous les hyperbaristes de secours doivent être Sauveteur Secouriste du Travail (SST) **et/ou formé à la mise en œuvre de l'oxygénothérapie.**

Il doit pouvoir intervenir immédiatement.

5.2. Les fonctions connexes

Hors site, le COH peut être appuyé dans ses fonctions par le médecin hyperbare, le médecin du travail et le Conseiller à la Prévention Hyperbare (CPH).

5.2.1. Le conseiller à la prévention Hyperbare (CPH)

- Le conseiller à la prévention hyperbare est désigné par le Directeur de division pour assurer un rôle de conseil et de contrôle.
- Il participe à l'évaluation des risques du projet, à la mise en œuvre de toutes les mesures propres à assurer la santé et la sécurité des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.
- Il contribue à l'amélioration continue de la prévention des risques à partir de l'analyse des situations de travail.
- Il est titulaire à minima d'un CAH **mention D - classe 1** (éventuellement classe **2** si la pression est égale ou supérieure à 3 bars).

5.2.2. Le personnel opérateur CRS (Caisson de Recompression de Sauvegarde)

Pour les projets nécessitant des plongées à une pression supérieure à **1.8 bars** (Valeur provenant du décret de 1990), le chantier devra se munir d'un Caisson de Recompression de Sauvegarde (CRS)

Les opérateurs sont formés lors de la formation au CAH à l'utilisation de ces caissons spéciaux.

Les caissons de recompression de sauvegarde comportent autant de places que d'opérateurs en intervention plus un accompagnant médical. Ils doivent être en nombre suffisant pour couvrir les postes de plongées (astreinte).

5.2.3. Le personnel assistant CRS ou personnel médical hyperbare

Personnel extérieur à l'entreprise ayant des compétences médicales.

Il rentrera dans le caisson de recompression de sauvegarde pour accompagner le blessé.

5.2.4. Le médecin référent hyperbare

Un médecin hyperbare doit être désigné en préalable aux travaux hyperbares à réaliser.

Celui-ci sera contacté en cas d'accident de décompression d'un individu et de la nécessité de le recomprimer dans un caisson de recompression de sauvegarde spécifique au chantier ou celui d'un centre médical hyperbare disponible à proximité du chantier.

Avant chaque démarrage de travaux, il est nécessaire de s'assurer de sa disponibilité en cas d'urgence.

Il est aussi un conseiller du COH dans la mise en place des procédures hyperbares et des traitements des accidents hyperbares.

5.2.5. L'infirmier(e) hyperbare

Personnel médical titulaire du **CAH mention C**. Il/elle est capable de plonger avec une victime, de réaliser un diagnostic infirmier et peut effectuer **certains** des soins médicaux. Il suit les instructions du médecin référent hyperbare et assure la liaison avec les autres intervenants sur le chantier.

L'infirmier(e) hyperbare est présent en fonction de l'évaluation des risques pour pouvoir démarrer une intervention en milieu hyperbare.

Il/Elle doit pouvoir intervenir immédiatement.

5.3. Organisation



Rappel : Les interventions ou décompressions à une seule personne sont strictement interdites.

6. Choix des matériels

6.1. Matériel de premiers secours

6.1.1. Trousse de secours SST

La trousse de secours doit être stockée à l'abri de la lumière et de l'humidité et à température moyenne. Elle doit être complétée après chaque utilisation et vérifiée **chaque semaine** afin de s'assurer que les variations de pression n'ont pas endommagé les emballages et qu'ils n'ont pas pris l'eau.

Il est préconisé d'avoir au moins 2 trousse sur site. Une à disposition prêt des Sas hyperbares sur le tunnelier et une en stock dans le bureau du COH. Seul le personnel habilité peut l'utiliser.

Matériel utilisable par un non-médecin	
Embout de bouche à bouche	Eviter le contact avec la victime lors d'un bouche à bouche notamment en cas de vomissements, améliore l'hygiène.
Couverture de survie	Evite le refroidissement du blessé, attention au coup de chaleur en zone chaude.
Coussin hémostatique d'urgence	Facilite la compression de la zone qui saigne en cas d'hémorragie. Eviter de déplacer le premier coussin directement en contact avec la plaie ; ajouter d'autres coussins au-dessus si la plaie saigne abondamment.
Compresse stériles 10x10 sachets unitaires	A utiliser pour faire un pansement ou nettoyer une plaie Proscrire le coton qui laisse des fils dans la plaie
Bande élastique de contention	Maintient un pansement, un coussin hémostatique d'urgence.
Rouleau de micropore	Maintient un pansement
Pansements stériles 6x6 cm	
Pansements stériles 10x8 cm	
Pansements stériles 20x10 cm	
Pansements petites plaies	
Bande type Elastoplaste	Bande de contention cohésive (maintien des pansements ; entorses; tendinites)
Lingettes imprégnées	
Bandes 6-10 cm	
Sucre	Utilisé en cas de petit malaise en sortie de caisson, souvent d'origine hypoglycémique. Appeler un médecin si les syndromes persistent.

Point de vigilance : Lors de l'utilisation de produit en bouteille en milieu hyperbare, veiller à bien déboucher pendant la décompression.

Si la bouteille est pleine elle peut rester fermée à la compression ou à la décompression, le peu d'air à l'intérieur ne provoquera pas beaucoup de modification du volume, par contre si elle a été ouverte, il faut bien la laisser décapuchonnée.

Stocker une réserve d'eau minérale en bouteille et une civière.

6.1.2. Défibrillateur (DAE)

Un défibrillateur automatisé externe (DAE) est un appareil qui analyse le rythme cardiaque et décide si un choc électrique doit être délivré pour rétablir l'activité du cœur. Il peut être utilisé par toute personne mais il est préférable d'être formé (formation inférieure à 1/2 journée).

L'utilisation des défibrillateurs en milieu hyperbare nécessite une conception spécifique ; le risque est lié à la possibilité d'incendie provoqué par l'arc voltaïque qu'on détermine sur les plaques-électrodes. En conséquence, seuls les défibrillateurs hyperbares sont autorisés à l'intérieur des sas.



Le défibrillateur est stocké dans un endroit très aisément accessible et bien signalé, dans un boîtier mural protégé de l'empoussièrement, de l'humidité, des fortes chaleurs ou des grands froids.

Il est signalé par un pictogramme spécifique.

Le tunnelier est un milieu humide. Il convient de prévoir un tapis isolant d'électricien pour l'utilisation du défibrillateur.

Le COH doit veiller au suivi des contrôles techniques des défibrillateurs (Article R5212-25 du Code de la santé publique). Il doit faire appel à la maintenance en cas de témoin d'autotest indiquant une potentielle anomalie, d'électrodes périmées, de problème de batterie ou d'une dégradation de l'état extérieur de l'appareil.

6.2. Extincteur hyperbare

Moyen de lutte contre l'incendie spécifique équipé d'une cartouche annexe permettant d'élever la pression de sortie de l'agent extincteur (eau + additif) compatible avec la situation de confinement hyperbare.

Le nombre d'extincteurs hyperbares à disposition doit être défini en fonction du nombre de compartiments hyperbares.

Périodicité de vérification des extincteurs :

- Contrôle visuel **semestrielle** de la présence, de l'accessibilité et de l'état extérieur
- Inspection **trimestrielle** des scellés et des étiquettes
- Vérification générale périodique **annuelle**
- Maintenance approfondie tous les 5 ans.

6.3. Caisson de recompression de sauvegarde (CRS)

Caisson de recompression permettant de conduire les procédures de recompression en cas de symptômes d'accident de décompression.

Ce caisson est nécessaire dès lors que le médecin hyperbare estime que le type d'activité ou la situation d'éloignement limitent l'efficacité des secours conventionnels. Cependant, il y a lieu de considérer que le rapport bénéfice risque ne soit pas en faveur d'un transfert vers un centre hyperbare hospitalier disposant d'une chambre de réanimation.

Un tel caisson est obligatoire sur le site des tunnels lorsque des interventions sont entreprises à des pressions dépassant 1,8 bar.

Le caisson doit être adapté à la pression maximale utilisée. Il existe trois types de CRS (12, 18 et 30 m)

La victime d'un accident hyperbare doit être recomprimée le plus rapidement possible, au maximum dans l'heure qui suit l'accident si la durée totale des paliers est supérieure à 15 minutes, dans les 2 heures lorsqu'elle est inférieure à 15 minutes. Aussi faut-il bien prendre soin d'étudier l'emplacement du caisson sur le chantier, son accès et le temps pour y parvenir, surtout une fois le tunnelier à plusieurs kilomètres.

Il est aussi souhaitable de ne pas effectuer d'opérations dans la galerie simultanément à une plongée afin de ne pas ralentir l'évacuation d'une victime vers le caisson ou autre.

Les CRS sont soumis à réglementation. Une vérification générale périodique doit être réalisée par un organisme accrédité extérieur **annuellement**.

L'utilisation d'un caisson de recompression de sauvegarde ne peut être envisagé que :

- Si le caisson comporte un SAS
- Si le caisson permet de traiter simultanément le nombre de personnes intervenant sous pression plus un accompagnant.
- Si une équipe formée est mise à disposition et est composée d'au moins trois personnes dont un chef d'opération hyperbare et deux opérateurs autorisés à intervenir en milieu hyperbare

Une **procédure de contact médical** après plongée sera impérativement rédigée par le site et transmise à tout plongeur afin de les informer des moyens de secours les plus proches de leur domicile.

6.4. Sas

6.4.1. SAS à personnel

C'est un équipement permettant le transfert des tubistes entre la partie à pression atmosphérique dans le bouclier et la chambre de travail pressurisée.

Le sas à personnel comprend deux chambres de mise en pression, séparées par des portes autoclaves : la chambre principale et la chambre de transfert. Il est obligatoirement distinct du sas à matériel.

Le sas à personnel est équipé d'un détecteur de gaz.

Le sas peut être équipé de masques inhalateurs associés à un déverseur afin de réaliser les décompressions à l'oxygène.

La configuration du sas doit prendre en compte le nombre de tubistes minimum à intervenir lors d'une opération hyperbare (3 personnes) et une place supplémentaire en cas d'intervention de l'hyperbariste de secours. Le nombre maximum de personnes doit être inscrit sur le sas de transfert.

Le COH et/ou le chef de Sas veille à ce qu'aucune source d'ignition ni de matière grasse ne soit introduite dans le sas.

6.4.2. SAS à Matériel

Le type de SAS a été défini par Eiffage Génie Civil lors de la construction du tunnelier, en conformité avec la réglementation en vigueur au moment de la conception de la machine.

L'analyse des risques et les conditions d'emploi du Sas à matériel font partie du PPSPS de chaque chantier et correspondent à chaque machine.

Il est issu de la notice d'utilisation du tunnelier, fascicule spécifique « Utilisation du sas ».

6.4.3. Procédure d'utilisation

La procédure d'utilisation dépend de la conception des sas.

Elle est définie dans une procédure d'exécution propre à chaque chantier. Elle doit comporter à minima les éléments suivants :

- Les vérifications préalables aux accès ;
- Le mode d'accès ;
- La description des installations de ventilation et leur fonctionnement ;
- Les prescriptions techniques du fabricant prévues dans la notice d'instruction ;
- Les risques résiduels fournis par le fabricant et les mesures de prévention complémentaires à mettre en œuvre ;
- Les exigences propres au chantier.

7. Choix des gaz respirables

7.1. Fourniture d'air comprimé

7.1.1. Qualité

L'air respirable sous pression est défini dans le décret n°2011-45 du 11/01/2011 (consolidé au **21 janvier 2016**):

- Lieu d'aspiration éloigné de toute pollution, en particulier des moteurs, quelle que soit la direction ou la force du vent;
- Filtration des polluants apportés par le compresseur (éventuellement teneur en vapeur d'huile inférieure à 0,5mg/m³);
- Vérification de la qualité par analyse à la mise en route du chantier, une fois par an et/ou en cas de suspicion :
 - Recherche des vapeurs d'huile, des poussières et de l'oxyde de carbone,
 - Filtration des poussières résultant éventuellement des canalisations, en particulier lors de la mise en route de l'installation ou de nouvelles sections de tuyauterie,
 - Surveillance des canalisations galvanisées

Les résultats doivent être écrits et consignés dans un **registre spécifique**.

Outre la fourniture principale d'air comprimé, une source d'air comprimé de secours, indépendante et équivalente en débit, doit être disponible. Le passage en mode secours doit entraîner la décision d'interruption des travaux hyperbares et déclencher la procédure de sortie des personnes travaillant sous pression.

QUALITE DE L'AIR COMPRIME	
CONSTITUANTS	LIMITES
Oxygène	NA (Maximum, 0,25%)
Azote	Pp = 5,6 bar
Gaz Carbonique: CO2	Pp= 10 hPa = 10 mbar
Oxyde de carbone	Pp = 3 Pa = 0,03 mbar
Vapeur d'Huile	Pp = 0,5 hPa = 0,5 mbar
Vapeur d'eau	Sans importance physiologique, corrosion uniquement. Pour des expositions > 24h : le degré d'hygrométrie doit être compris entre 60 et 80%, 50g/m ³
Poussières	Concentration maximale inférieure aux limites fixées par l'article R.235-5-5 du Code du Travail.
Odeurs	Pas d'odeur significative

La régulation de l'air comprimé dans la chambre de travail est faite par des vannes de régulation pneumatique type Samson.

7.2. Mélanges

Néant

8. Analyse des risques physiologiques

8.1. Les risques liés à l'hyperbarie

8.1.1. Les barotraumatismes ou accidents mécaniques

8.1.1.1. Les barotraumatismes pulmonaires

Fiche réflexes en [Annexe 3](#)

Les accidents dus aux surpressions pulmonaires sont extrêmement graves, parfois mortels. Ils s'observent notamment chez les plongeurs débutants et se produisent lors de la remontée à glotte fermée, lorsque la pression diminue, les volumes gazeux pulmonaires se dilatent, pouvant entraîner une déchirure pulmonaire, un pneumothorax, jusqu'à des embolies gazeuses susceptibles de provoquer des troubles neurologiques graves (hémiparésie, perte de connaissance...).

Prévention

La surpression pulmonaire est grave, mais sauf exception, c'est l'accident de plongée le plus facile à éviter, **il reste exceptionnel en hyperbarie sèche** :

- Respecter à la lettre les tables de décompression et les vitesses requises (0,3 bar / min).
- Ne pas pratiquer de manœuvre de Valsalva pendant la décompression.

8.1.1.2. Les barotraumatismes de l'oreille moyenne

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Ils sont liés à une mauvaise équilibration des pressions de part et d'autre du tympan, en raison d'une mauvaise perméabilité de la trompe d'Eustache, entraînant douleurs, bourdonnements et vertiges, surdité discrète, voire perforation tympanique (douleurs et otites constituent une inaptitude temporaire aux travaux en milieu hyperbare).

Prévention

Les moyens d'éviter ces accidents sont le fait du **de l'hyperbariste** lui-même. Ils doivent être parfaitement connus et appliqués strictement:

- Ne pas plonger avec une rhinite ou toute autre affection inflammatoire des voies aériennes supérieures,
- Le plongeur doit commencer à équilibrer ses oreilles dès le début de la compression, sans attendre qu'une gêne se fasse sentir. Pour cela, il est conseillé d'effectuer des manœuvres d'équilibration active de la caisse du tympan,
- Manœuvre de Valsalva avec création d'une surpression relative dans l'ensemble de l'appareil respiratoire qui force l'orifice pharyngé de la trompe,
- Béance tubaire volontaire chez certains **hyperbariste** particulièrement entraînés,

Si malgré ces précautions, l'équilibration se fait mal, le **hyperbariste** doit arrêter la compression et même si nécessaire réduire légèrement la pression jusqu'à ce que ses oreilles s'équilibrent.

8.1.1.3. Les barotraumatismes de l'oreille interne

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

On appelle accident de l'oreille interne un ensemble de troubles apparaissant pendant ou après une plongée qui se manifeste par un ou plusieurs signes : surdité, acouphènes, vertiges accompagnés de douleurs auriculaires, nausées ou vomissements, **nystagmus**. Ses troubles sont causés par une atteinte aiguë de l'organe de l'audition et/ou de l'équilibration.

Prévention

Les règles sont **IMPERATIVES** :

- Ne jamais plonger avec une perforation tympanique,
- Ne pas plonger en cas d'inflammation des voies aériennes supérieures,
- Ne pas pratiquer la manœuvre de Valsalva trop violemment,
- Ne pas pratiquer de compression trop rapide jusqu'à 1 ou 1.5 bars
- Noter avec précision la profondeur atteinte lors des plongées et respecter la vitesse de décompression et les paliers réglementaires,
- Enfin et surtout, il est important de faire comprendre au **plongeur l'hyperbariste** de signaler à son médecin tout incident ou accident cochléo-vestibulaire, même minime, car les conséquences en sont imprévisibles.

8.1.1.4. Les barotraumatismes des sinus

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Ils sont dus à un mauvais équilibrage des pressions entre les sinus de la face et l'air ambiant situé dans les fosses nasales. Le plus souvent, il s'agit d'un simple rhume ou rhino-pharyngite. L'augmentation de la pression ambiante entraîne alors une dépression relative à l'intérieur des cavités sinusiennes. Le symptôme, souvent bruyant, est inauguré par une douleur violente, en coup de poignard, dans la région du sinus atteint. Elle survient à la compression et cède dès que le **plongeur l'hyperbariste** décomprime. Plus rarement, la douleur survient à la décompression.

Prévention

Le traitement préventif éventuel reposera sur la chirurgie : correction des déviations de cloison, ablation de polypes, etc.

8.1.1.5. Les barotraumatismes dentaires

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Les douleurs sont déclenchées par les variations de pression. La dent douloureuse est presque toujours une dent cariée obturée par pansement ou amalgame de façon imparfaite. Il existe une petite bulle d'air sous l'obturation, au contact de la pulpe. Lorsque la pression **diminue, l'air qui a pu rentrer pendant la phase de compression, va se dilater et diffuser vers la pulpe, d'où douleur ou dans certains cas fracturer la dent.**

Prévention

Enlever l'amalgame ou le pansement défectueux et les remplacer correctement. **Faire un suivi dentaire avant de faire de l'hyperbarie**

8.1.2. Les accidents de décompression (ADD) ou accidents biophysiques – Type 1 : accidents bénins

8.1.2.1. Généralités

Terme générique recouvrant les conséquences d'une décompression mal adaptée à la situation hyperbare à laquelle la victime a été exposée. Les symptômes sont liés à l'apparition de bulles de gaz disséminées dans l'organisme et peuvent concerner des organes divers (peau, articulation, système nerveux central, moelle épinière, oreille interne, sphère cardio-pulmonaire...).

Il est essentiel de se faire soigner dès la découverte de quelques sensations anormales consécutives à une exposition hyperbare. Tout symptôme apparaissant après un séjour hyperbare est jusqu'à preuve du contraire lié à l'hyperbarie. Demander avis médical.

Prévention

La prévention découle directement des phénomènes physiologiques. Les règles simples doivent être inculquées dès le début de l'apprentissage **de l'hyperbariste** et demeurer présentes à son esprit :

- Respecter la vitesse de décompression et les paliers de la table de décompression du ministère du travail (arrêté du 15 mai 1992),
- Ne pas plonger en état de fatigue physique ou psychologique,
- Ne pas effectuer plus de deux plongées par période de 24 heures,
- Ne pas plonger à jeun, ni après un repas riche en graisses. S'interdire toute boisson alcoolisée avant de plonger, **pas même la veille,**
- Cesser le travail au moins trois minutes avant la fin du temps prévu de séjour. **Le chef de sas doit rappeler au personnel de se replier dans le sas avant la fin du temps de travail**
- Pas d'effort après un séjour hyperbare, remonté du puit avec ascenseur
- Pas de vol en avion dans les 24 heures qui suit un séjour hyperbare
- Rester à proximité du chantier dans les 4 heures après un séjour hyperbare et préparer le caisson de recompression urgence à une utilisation : chauffage ou climatisation, bouteilles branchées, check liste faite
- **Respecter une pause de 2 jours par semaine sans hyperbarie**
- Se protéger du froid lors de la décompression

8.1.2.2. Articulations ou Bends

Fiche réflexes en **annexe 3**

C'est le plus fréquent des accidents de décompression **en hyperbarie**. C'est une douleur autour ou dans une articulation, qui peut être due à la formation de bulles au niveau des tendons, des muscles, de la membrane synoviale et de l'os. C'est dans ce dernier cas que l'évolution vers l'ostéonécrose dysbarique est à redouter. La localisation est très diverse (épaules, coudes, genoux, chevilles...).

Les articulations qui ont travaillé en plongée sont le plus souvent celles qui sont atteintes.

8.1.2.3. Accidents cutanés : « puces » ou/et « moutons »

Fiche réflexes en **annexe 3**

Accidents bénins particulièrement fréquents lors d'une décompression à sec. Ils entraînent des démangeaisons et parfois des plaques rouges. Ils sont bénins, mais nécessitent d'être signalés au chef d'opération hyperbare.

8.1.3. Les accidents de décompression (ADD) ou accidents biophysiques – Type 2 : accidents graves

8.1.3.1. Accident neurologique cérébral

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Ce type d'accident se traduit par une paralysie et/ou des fourmillements dans une partie ou la totalité d'un hémicorps (hémiplégie), ou des troubles de la conscience.

Cet accident est considéré comme secondaire à la présence de bulles de gaz inerte dans la circulation artérielle qui vont migrer directement du cœur droit vers le cœur gauche, puis vers la circulation cérébrale. Elles sont secondaires le plus souvent à une décompression mal effectuée, ce qui est exceptionnel en milieu professionnel.

8.1.3.2. Accident neurologique médullaire

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Ce type d'accident se traduit par une paralysie et/ou des fourmillements des membres supérieurs et/ou inférieurs (tétraplégie). Il a été démontré que l'origine de l'accident est veineuse, par obstruction des veines épidurales (veines situées autour de la moelle épinière) par des bulles de gaz inerte produites au cours de la décompression.

L'attention doit être attirée devant une douleur au niveau de la colonne vertébrale, une impossibilité d'uriner, une sensation de picotement des membres surtout inférieurs, une sensation de ne plus sentir sa peau qui a un aspect de cuir au toucher, et surtout une diminution de la force musculaire et le fait de ne plus pouvoir tenir sur ses jambes.

Cet accident peut prendre des formes très variées, il est donc indispensable de les évoquer devant le moindre des symptômes indiqués ci-dessus.

Point de vigilance : attention à ne pas camoufler les symptômes avec la préconisation de l'aspirine.

8.1.3.3. Accident cochléo-vestibulaire de décompression

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

A redouter en cas de vertige, de sifflements ou de bourdonnements d'oreille, ou de sensation de ne plus entendre d'une oreille, et apparaissant après la décompression, ces accidents sont dus à la présence de gaz inerte dans les liquides de l'appareil de l'équilibre ou de l'audition.

8.1.4. Accidents biochimiques – Toxicité des gaz

La toxicité des gaz dépend de la pression partielle sous laquelle ils sont respirés. A concentration constante leur toxicité s'accroît avec la pression totale.

Exemple : un gaz contenant 0,5 % de CO₂ est parfaitement respirable à pression atmosphérique. (PCO₂ = 5 mbar ou 5 hPa)

Il atteint la limite légale (10 hPa ou 10 mb) à 2 bars car : PCO₂ = 0,5 x 2 = 0,010 bar = 10 mbar = 10 hPa

Bien définir les valeurs et les mesures avec les instruments présents sur place.

D'autres risques liés aux différents produits injectés dans le terrain sont aussi à prendre en compte (mousse, bentonite, etc.).

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité (FDS) des produits concernés.

8.1.4.1. L'hyperoxie ou intoxication aiguë par l'oxygène

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Elle est due à un excès d'apport en oxygène. Avec une PpO_2 trop élevée qui varie : 1,2 bar lors de palier, 2,8 bars lors d'un traitement dans un caisson de recompression d'urgence. Elle peut se produire si vous utilisez l'oxygène au palier ou des mélanges suroxygénés.

Respiré sous une pression élevée, l'oxygène est un gaz toxique dont les effets se manifestent après un certain temps de latence, inversement proportionnel à la pression à laquelle il est respiré.

On observe aucun effet toxique quel que soit le temps si l'oxygène est respiré sous une pression partielle inférieure à 0,4 ATA.

Entre 0.6 et 1.6 ATA, le temps nécessaire pour l'apparition des phénomènes toxiques est long (plusieurs heures) : on parle de toxicité chronique (pour $PpO_2 > 500$ mbar).

Au-delà de 1.7 ATA, le temps de latence diminue très rapidement : on parle de toxicité aiguë (pour 1400 mbar). Les symptômes disparaissent si la PpO_2 diminue à des valeurs normoxiques.

Il y a deux effets possibles de l'hyperoxie : l'effet **Lorrain Smith** et l'effet **Paul Bert**.

L'effet Lorrain Smith

Après un séjour de plus de deux heures à une Pression partielle $PpO_2 > 0.5$ bar, il y a un risque d'inflammation du surfactant, des alvéoles pulmonaires puis une possible apparition d'un œdème aigu du poumon.

Signes avant-coureurs : face rose, difficultés respiratoires, toux, brûlures pulmonaires.

L'effet Paul Bert

Les radicaux libres provoquent une altération fonctionnelle des cellules nerveuses et déclenchent des accidents neurotoxiques. On peut constater un raidissement de la personne atteinte (forme épileptique).

Signes avant-coureurs : tachycardie, nystagmus, spasmes, nausées, anxiété, confusion, troubles de la vue. Cet accident se déroule plus généralement en trois phases :

- Phase **tonique** : de 30 secondes à 2 minutes, pendant laquelle surviennent des contractions musculaires généralisées, un arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance. Dans le premier cas, la glotte de la victime se bloque par raidissement. Dès lors, Il ne faut surtout pas remonter la victime avant qu'elle ait repris conscience sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire.
- Phase **clonique** : de 2 à 3 minutes, pendant laquelle ont lieu des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière. On peut alors remonter la victime en restant particulièrement vigilant sur son expiration.
- Phase **post-convulsive** : de 5 à 302 minutes avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation.

Ces 3 phases perdureront tant que la PpO_2 ne sera pas ramenée à une pression correcte.

Prévention

Quand l'utilisation des tables à oxygène est obligatoire, respecter les temps d'inhalation.

On veillera à laisser les hyperbaristes respirer de l'air 10 minutes toutes les heures ou 5 minutes toutes les 25 minutes, selon le protocole utilisé.

8.1.4.2. L'hypoxie, ou manque d'oxygène

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

C'est un risque exceptionnel, chez le plongeur il peut être dû à l'utilisation de mélanges synthétiques non adaptés avec la profondeur. Elle est potentiellement très dangereuse en raison de la perte de connaissance qu'elle entraîne.

Prévention

La prévention de l'hypoxie passe par une bonne connaissance du matériel et son utilisation conformément aux règles de sécurité établies. **Il faut que la PpO_2 ne descende pas en dessous de 0,10 bar.**

8.1.4.3. La narcose à l'azote

Fiche réflexes en [annexe 5.11](#)

Aussi appelé « ivresse des grandes profondeurs » car elle apparaît surtout à partir de **4 bars**, et peut devenir gênante à partir de **5 bars**. C'est **un des** facteur limitant la plongée profonde à l'air comprimé, limité en France pour cette raison.

Cette ivresse commence par une ébriété mais peut entraîner, comme pour celle due à l'alcool, des modifications du comportement qui finissent par mettre en cause la qualité du travail et la sécurité des personnes.

Pour des travaux au-delà de 3 bars, la préparation du travail ne doit laisser place à aucune improvisation sous pression et la tâche doit être simplifiée au maximum, éventuellement répétée à l'avance et suivie de près par le chef de sas.

Pour un individu donné (susceptibilité individuelle), l'apparition des troubles narcotiques varie en fonction de sa forme physique et psychique, de son état de fatigue, du stress, de l'âge et des conditions de plongée. L'anxiété, les compressions rapides et répétées, l'ingestion d'alcool et l'hypercapnie potentialisent la narcose.

8.1.4.4. L'intoxication au CO

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Elle est due le plus souvent à une pollution du mélange respiratoire par les gaz d'échappement du compresseur et peut conduire à des troubles de la conscience et des séquelles neurologiques graves.

Le monoxyde de carbone a une affinité beaucoup plus grande que l'oxygène pour l'hémoglobine, cependant en présence de fortes pressions partielles d'oxygène, en particulier en hyperbarie, la toxicité de l'oxyde de carbone se trouve diminuée.

Prévention

Contrôle de la qualité de l'air :

Des kits comprenant une pompe manuelle et des tubes réactifs colorimétriques permettent d'effectuer des dosages sur les lieux même du gonflage (matériel type Dräger). De façon générale, éviter d'aspirer par le compresseur les gaz d'échappement des moteurs thermiques.

Pendant **le séjour sous pression**, assurer un contrôle permanent de la ventilation.

8.1.4.5. Hypercapnie ou intoxication au CO₂.

Fiche réflexes en [annexe 3](#)

Elle se manifeste au début par des céphalées, une rougeur du visage, une respiration rapide comme un essoufflement.

Le tableau ci-dessous indique les effets toxiques potentiels d'un mélange contenant du gaz carbonique à diverses concentrations respirées à la pression atmosphérique.

TOXICITE DU GAZ CARBONIQUE		
CONCENTRATION Pression Atmosphérique	PRESSION PARTIELLE (hPa)	OBSERVATIONS
0 à 1 %	0 à 10	Pas d'effet
1 à 2 %	10 à 20	Effets très faibles Ventilation accrue
2 à 3 %	20 à 30	Inconfort respiratoire, ventilation accrue en particulier pendant le travail.
de 3 % à 5 %	de 30 à 50	Hyperventilation, bouffées de chaleur, Maux de tête au retour à PCO ₂ normal.
De 5% à 8%	de 50 à 80	Dyspnée, maux de tête, Perte de connaissance possible.
De 8% à 10 %	De 80 à 100	Nausées, vomissements, somnolence
> 10 %	> 100	Insuffisance respiratoire Phase de coma, mort

La valeur limite de concentration en gaz carbonique entre la pression atmosphérique et 4 bars (5 bars absolus) est de 1 % à 0,2 %.

Prévention

Contrôle de la qualité de l'air.

Des kits comprenant une pompe manuelle et des tubes réactifs colorimétriques permettent d'effectuer des dosages sur les lieux même du gonflage (matériel type Dräger). De façon générale, éviter d'aspirer par le compresseur les gaz d'échappement des moteurs thermiques.

Pendant la plongée, assurer un contrôle permanent de la ventilation.

Afficher sur les caissons les limites en Pp CO₂ et non en % (si l'analyseur CO₂ donne un %, rajouter un abaque en fonction de la pression.

8.2. Conséquences physiologiques de la vie en hyperbarie

Pour les pressions modérées (jusqu'à 4 bars) les effets principaux sont limités :

- Aux changements de température des gaz, liés aux variations de pression.
- Aux variations de volume des gaz lors des compressions et décompressions.
- A la limitation de la ventilation pulmonaire
- A l'usage des tables de décompression pour des séjours longs à des pressions au-delà de 0,75 bar
- A la densité de l'air qui accentue les effets de la toxicité des gaz et la narcose

Variations de la température

La compression entraîne un échauffement des gaz. En général, lors des travaux hyperbares en tunnel jusque vers 3,5 bars, les variations de pression sont relativement lentes (vitesse de compression inférieure à 3 bar/min) et cet échauffement est perçu par les opérateurs mais n'entraîne pas le besoin de protection particulière. Envisager cependant un dispositif d'aspersion d'eau pour asperger les tubistes.

Lors de la décompression, les variations de température peuvent atteindre une dizaine de degrés C°, mais en se refroidissant le gaz saturé de vapeur d'eau forme un brouillard visible dans le caisson et la sensation de froid s'en trouve renforcée du fait des échanges thermiques liés à ce brouillard. En cas de décompression rapide (1 bar/min) la visibilité dans le sas peut se trouver très réduite.

Aucune autre précaution particulière n'est cependant requise que de disposer de vêtements secs assurant le confort thermique pendant cette courte période correspondant, pour des décompressions depuis 4 bars, à des durées de 6 minutes environ.

Si les vêtements de travail portés dans la chambre de travail sont mouillés, il faut les retirer pour porter des vêtements secs, dans le Sas de Transfert.

Si, avant la décompression, la température dans le sas est habituellement basse, des vêtements chauds peuvent être nécessaires.

Variations de volume

Les variations de volume, principalement lors des compressions, constituent le risque principal des interventions hyperbares dès les faibles pressions. Ce risque se manifeste au niveau des oreilles qui, soumises à une compression, doivent être équilibrées par une manœuvre volontaire dite de Valsalva (cf. chapitre 10.1.1.1) dont la pratique est apprise lors de la visite médicale précédant le premier accès à l'hyperbarie.

Mécanismes

La caisse du tympan constitue un volume de gaz communiquant avec l'extérieur uniquement par la trompe d'Eustache et qui forme un clapet de non-retour laissant passer le gaz spontanément dans le sens oreille- fosse nasale seulement.

Lors de la compression, la manœuvre d'équilibrage consiste à ouvrir "mécaniquement" ce clapet pour permettre l'équilibration. A la décompression le gaz s'échappe spontanément.

En cas d'inflammation, due par exemple à un rhume, la manœuvre volontaire peut s'avérer impossible, elle peut aussi entraîner une contamination de l'oreille moyenne et amorcer une otite aiguë.

L'absence d'équilibration entraîne un barotraumatisme plus ou moins grave résultant de la distension, ou de la rupture du tympan. Toute douleur persistante à l'oreille, à la suite des interventions hyperbares, mérite une visite chez un Médecin ORL.

En pratique

Dès qu'une pression différentielle est perçue, il convient de pratiquer une équilibration et de l'obtenir. Plus le "retard" à l'équilibration sera grand, plus elle sera difficile à obtenir. Il ne faut pas forcer mais plutôt faire redescendre un peu la pression, équilibrer puis recommencer la compression lentement.

C'est pour cette raison qu'il est recommandé de faire pratiquer la compression directement par le personnel se trouvant dans le sas car il lui est facile de communiquer et d'adapter la vitesse de compression pour permettre à celui qui équilibre ses oreilles le plus difficilement d'y parvenir.

Un autre risque, faible, existe au niveau des sinus (cavités dans les os de la face) qui sont normalement en communication libre avec l'extérieur et leur équilibration est spontanée. Certaines anatomies ne permettent pas cette équilibration et c'est une inaptitude définitive décelée à la visite initiale. Certaines inflammations ORL limitent, temporairement, cette équilibration et il peut en résulter une inaptitude provisoire.

Il n'existe pas de manœuvre ou de procédure d'équilibration sinusale forcée. Une douleur au sinus doit toujours entraîner l'arrêt de la pressurisation et l'abandon de l'intervention pour le tubiste concerné, éventuellement une visite ORL permettra de confirmer l'aptitude.

8.3. Consommation des gaz

8.3.1. Calcul des volumes de ventilation

Le volume de ventilation recommandé pour une chambre de travail (choisi pour être homogène avec les obligations de ventilation en galerie à pression atmosphérique) est :

50 m³/h/personne (mesuré à la pression régnant dans la chambre de travail).

Le facteur important est en effet le volume ventilé à la pression de la chambre. L'objectif étant la qualité de l'atmosphère, l'indicateur retenu sera la pression partielle de gaz carbonique, plutôt que la valeur effective de la ventilation, souvent difficile à évaluer du fait des pertes dans le terrain.

Par ailleurs, l'efficacité de la ventilation dépend beaucoup de la répartition du courant d'air frais dans l'enceinte.

Pour maintenir une consommation d'oxygène et production de gaz carbonique atmosphère de qualité (% O₂ et P_{CO2} < 10 mb) dans l'enceinte et dans le sas, les débits de ventilation seront établis à environ 50 m³/h/pers. environ.

Le contrôle par analyse confirmera que P_{CO2} reste inférieur à 10 mb. (§ art. R4461-17)

8.3.2. Consommation d'oxygène et production de gaz carbonique

Situation de confinement

Depuis 1878, on sait qu'un séjour prolongé en milieu strictement confiné peut-être mortel et que c'est aussi bien le manque d'oxygène que l'intoxication au gaz carbonique qui en sont responsables.

La consommation d'O₂ pendant la décompression et de l'air au masque en cas d'atmosphère contaminée est de **500ml/mn pour l'oxygène et de 10l/mn d'air** au repos à pression atmosphérique.

La pression partielle de gaz carbonique est un bon paramètre de surveillance du confinement des enceintes habitées pressurisées. La valeur limite réglementaire pour les tubistes est de P_{CO2} = 10 mb. On s'efforcera donc de rester toujours en dessous de cette valeur en adaptant éventuellement le débit de ventilation.

Type de matériel requis

La mesure peut être réalisée en concentration sur un analyseur placé à l'extérieur et, dans ce cas, il faut effectuer le calcul de la pression partielle ou bien utiliser un analyseur à tube coloré à l'intérieur. Dans ce cas, la lecture des pressions partielles est directe bien que les graduations soient inscrites en %. La lecture de 1 % signifie 10 mbar, c'est la limite réglementaire.

8.4. Les échanges des gaz à l'interface gaz / liquide

8.4.1. Dissolution des gaz dans un liquide

Aspect statique

La dissolution des gaz dans les liquides est un phénomène thermodynamique complexe. Un équilibre entre les gaz dissous et le liquide se forme. Les molécules de gaz sont dissoutes dans le liquide, sans interaction avec celui-ci, jusqu'à ce que le liquide soit saturé par le gaz dissous. Cet équilibre est appelé saturation du liquide par le gaz dissous.

Les facteurs qui influent sur la quantité de gaz correspondant à cet équilibre sont :

- La pression du gaz surmontant le liquide
- La température
- La nature du gaz et du liquide.

L'azote est inerte et va tendre vers un équilibre. L'oxygène réagit chimiquement avec les liquides de l'organisme (globules, cellules...). Le gaz carbonique réagit chimiquement avec le plasma. Il n'est pas concerné ici, et de plus, les pressions partielles de gaz carbonique auxquelles sont soumis les organismes sont toujours faibles (PCO₂ < 10 mb).

8.4.2. Élimination des gaz dissous

La désaturation en gaz d'un liquide d'un organisme humain ne s'effectue pas selon la même forme que la saturation; cela est dû au fait que les différentes parties du corps (appelées compartiments) ne se saturent pas de la même manière.

A l'issue d'un court séjour sous pression, l'état de saturation des différents compartiments a été évalué par le calcul. On a déterminé pour chaque compartiment à partir de quelle pression décroissante, la sursaturation qui apparaît atteint la limite acceptable déterminée expérimentalement.

Pour limiter l'apparition des bulles ou en minimiser les conséquences, il a été fixé empiriquement au cours des essais des tables de décompression, des valeurs maximales de sursaturation qu'il convient de ne pas dépasser. Des paliers observés successivement permettent d'attendre que les sursaturations décroissent jusqu'à ce que la pression du palier suivant soit acceptable pour tous les compartiments.

Ces principes ont permis l'établissement des tables de décompression présentées dans l'arrêté du 15 mai 1992 et fournit en **Annexe 2**

Lorsque la pression atmosphérique est atteinte, l'azote continue à s'éliminer pendant une douzaine d'heures, intervalle pendant lequel **une nouvelle intervention devra tenir compte de cet azote résiduel**, pour le choix de la table de décompression à utiliser. Ces interventions, proches les unes des autres dans le temps, sont dites "successives".

L'élimination de l'azote résiduel après retour à pression atmosphérique a plusieurs conséquences pour les travaux hyperbares en tunnels :

- Une nouvelle intervention ne peut être réalisée avec la même procédure de décompression pendant 12 heures.
- Il ne faut pas diminuer la pression pendant un délai qui peut atteindre 12 heures donc pas de vol en avion sans précaution.
- La survenue d'un accident de décompression est encore possible pendant les premières heures après retour à la pression atmosphérique. Il faut maintenir la disponibilité des secours.

Cas particuliers : rôle de la respiration d'oxygène pur pendant les décompressions

Lorsque, pendant les paliers, on respire de l'oxygène pur (dans les limites acceptables de l'hyperoxie), l'azote s'élimine beaucoup plus vite et on observe un effet pharmacologique positif de l'oxygène. La qualité de la décompression est améliorée. Ce phénomène constitue le fondement des procédures de décompression avec respiration d'oxygène pur et des traitements des accidents de décompression.

8.4.3. Choix des tables de décompression

Publiées par le ministère du travail dans l'arrêté du 15 mai 1992, elles ont été appliquées jusqu'en 2012.

Elles ont été republiées dans le Bulletin officiel du ministère du travail du 30 janvier 2013. Ces tables ont montré leur efficacité au cours de leur application.

Les tables de décompression à utiliser sur le chantier:

- Tables mention D Standard
- Tables mention D, Oxygène (avec respiration d'oxygène pur à partir du palier de 0,9 bar)
- Tables de rattrapage (air et oxygène)
- Tables thérapeutiques

Elles figurent en **annexe 3**.

Dans certaines situations particulières, par exemple dépassement du temps des paliers ou dépassement des pressions standard, il peut s'avérer nécessaire de faire appel à des experts pour créer de nouvelles tables. Ces tables devraient être validées par un organisme extérieur habilité (arrêté en cours de rédaction au Ministère du Travail).

8.5. Conséquences techniques des gaz sous pression

Le bruit

Les gaz, en se détendant dans les enceintes hyperbares et à l'extérieur, sont générateurs de bruits intenses qui nécessitent des mesures de protection particulières.

- Les échappements des gaz doivent être munis d'un silencieux efficace pour réduire le niveau de bruit en dessous de 85 dB (A).
- Les silencieux peuvent être des diffuseurs en métal fritté ou des pots de détente équivalents à des pots d'échappement.
- Parfois, du fait des volumes ventilés dans les chambres de travail, le niveau sonore peut être une gêne considérable aux communications entre les membres des équipes à l'intérieur et à l'extérieur. Le choix d'un équipement adapté type écouteur/micro peut s'avérer utile dans certaines circonstances.

Point de vigilance : Des protections auditives peuvent être portées mais elles ne doivent pas être des bouchons du conduit auditif, qui ne laissent pas accès au gaz jusqu'au tympan. **Seuls des écouteurs "coquilles" sont acceptables en hyperbarie.**

8.6. Évacuation

Du fait de la nécessité d'effectuer des décompressions avec palier, l'évacuation en cas d'urgence (éboulement, inondation, incendie, pollution de l'atmosphère, accident du travail) peut s'avérer délicate et doit être conduite par des personnes spécialisées, connaissant les problèmes liés aux séjours sous pression et dirigées par le COH.

Les **procédures d'évacuation** peuvent être préparées avec le SAMU ou/et les sapeurs-pompiers.

8.7. Vol et montée en altitude après une intervention

Le délai à observer, à l'issue d'une intervention hyperbare, avant de réaliser un vol aérien ou une montée en altitude, est donné, en fonction des différents types d'interventions et des variations possibles de la pression ou de l'altitude, par le tableau suivant :

Variation de la pression ou de l'altitude

Type d'intervention	Supérieur à 500m	Supérieure à 2600 m ou vol en avion commercial (environ 250 hectopascals)
<i>Air comprimé sans palier</i>	2 heures	4 heures
<i>Air comprimé avec paliers ou mélange suroxygéné avec paliers</i>	12 heures	12 heures
<i>Interventions à pression supérieure à 5000 hPa et aux mélanges gazeux autres que l'air et le nitrox</i>	12 heures	12 heures
<i>Recompression d'urgence</i>	24 heures	48 heures

En cas de symptômes d'accident de décompression ou de plongées non conformes sans possibilité de réaliser la procédure de rattrapage, les secours sont déclenchés et un médecin compétent est alerté.

8.8. Durée

Les durées de séjour hyperbare sont courtes. En cas de travaux longs ou effectués à une pression supérieure à 0,75 bar, la durée journalière d'exposition, temps de compression et de décompression inclus, doit rester inférieure à **6 heures**.

Pour les travaux à faible pression (jusqu'à 0,75 bar) il n'y a pratiquement aucune restriction sur le nombre et la durée des interventions sous pression (8 heures / jour).

Cependant toutes les autres précautions doivent être respectées.

Les plongées dites successives sont abordées au §10.2.7 Intervention initiale ou successive.

9. Analyse des risques Techniques

Les interventions humaines dans l'air comprimé utilisé en travaux souterrain présentent des risques spécifiques pour lesquels une stratégie de sécurité est nécessaire.

Outre les risques généraux rencontrés sur les chantiers en tunnel, il existe des risques techniques directement liés au matériel mis en œuvre et des risques physiologiques conséquences du séjour de l'homme dans l'air comprimé.

Pour faire face à chacun de ces risques, des mesures de sécurité particulières doivent être prises.

Cette analyse des risques devra être reprise sur chaque chantier sous forme **d'additif au PPSPS** en fonction des spécificités rencontrées (matériel, milieu, pressions de travail...).

Mesures préventives importantes

Pendant une intervention hyperbare, en cas d'évacuation d'urgence et pour faciliter l'évacuation des hyperbaristes après une plongée :

- Pas d'opération de maintenances diverses ou autres obstructions dans le tunnel ;
- Le véhicule du personnel doit être dédié à la logistique des interventions hyperbares ;
- L'ascenseur dans le puits d'accès au tunnel doit être opérationnel ;
- Pour limiter le risque incendie, interdire tous travaux par point chaud en hyperbare, sur le tunnelier ou dans la galerie du tunnel, sauf cas exceptionnel :
 - En milieu hyperbare avec une procédure spécifique (découpage / soudure à l'ARCAIR) ;
 - Sur le tunnelier et dans le tunnel, à un endroit identifié et sécurisé à cet effet.

10. Méthodes d'intervention et d'exécution des travaux

Dans les tunneliers, la seule méthode d'intervention consiste à intervenir sous air comprimé.

En travaux conventionnel (traditionnelles) cette méthode peut également être nécessaire.

Cette méthode consiste à placer les opérateurs sous compression, puis exécuter les travaux en atmosphère hyperbare et de procéder à la sortie par décompression progressive et contrôlée.

10.1. Procédures opérationnelles

10.1.1. Compression

La compression doit être effectuée de telle sorte que toutes les personnes comprimées puissent équilibrer correctement leurs oreilles. **La vitesse de compression ne doit pas excéder 3 bars/min**. La compression est normalement conduite de l'intérieur du sas de transfert par l'un des hyperbaristes intervenant (de préférence par celui qui a des difficultés pour équilibrer).

Toute personne n'équilibrant pas correctement ses oreilles doit bénéficier d'un arrêt immédiat de la compression et d'une baisse de pression éliminant la gêne et jusqu'à l'équilibration correcte. La compression peut alors reprendre, éventuellement plus lentement.

Au cas où cette équilibration s'avérerait impossible ou s'il s'agit de douleur sinusale, la personne concernée doit être décomprimée et doit renoncer à l'intervention. Cependant, cette personne ne pourra pas être décomprimée seule.

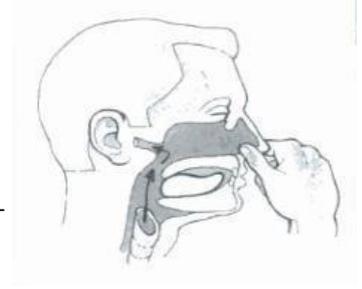
Les conditions d'utilisation des manœuvres d'équilibration sont précisées ci-après

10.1.1.1. Manœuvre de Valsalva

Manœuvre que l'on peut pratiquer lors des compressions et qui consiste, en se bouchant le nez et en expirant, à créer une surpression dans les fosses nasales pour permettre d'équilibrer la pression de part et d'autre des tympans.

Cette manœuvre doit être faite progressivement et sans forcer et surtout pas en phase de décompression, ni violemment.

Lors de la compression en sas, il est préférable que le plongeur en charge de l'opération effectuée lui-même la compression afin de s'assurer que cette phase se réalise de la façon la plus douce possible pour chaque hyperbariste.



10.1.1.2. Manœuvre de Frenzel

Utilisée principalement par les pilotes d'avion de chasse, elle est basée sur la contraction des muscles de la langue qui est refoulée en haut et en arrière du palais, faisant passer l'air du pharynx vers la trompe d'Eustache, le nez étant pincé.

Les méthodes passives d'équilibrage sont idéales car non traumatisantes. Elles maintiennent la trompe ouverte sans hyperpression.

10.1.1.3. Béance tubaire volontaire

Elle nécessite une contraction volontaire des muscles du voile du palais, ce qui nécessite un apprentissage délicat. On peut s'y entraîner en reproduisant au niveau du palais bouche fermée, les mouvements effectués par le voile du palais lors du bâillement, bouche ouverte. Un bâillement bouche ouverte peut permettre également d'ouvrir la trompe d'Eustache.

10.1.2. Séjour sous pression

Configuration des portes

Les portes d'accès entre le sas et la chambre de travail et entre la chambre de travail et la chambre d'abattage doivent rester ouvertes, pour un repli éventuel de l'équipe dans le sas en cas d'inondation ou d'éboulement.

Maintien de l'atmosphère respirable

Compte tenu des pertes d'air dans le terrain, la ventilation de la chambre de travail est en général largement supérieure aux besoins, pourvu que l'air de pressurisation ait les qualités prévues.

Si la perte dans le terrain est faible, ou en cas de pollution importante résultant des travaux, une ventilation doit être établie. Si besoin, un cône d'aspiration sera ajouté au site de production de la pollution (soudage ou découpage). Le débit sera calculé pour éliminer les fumées produites. Le gaz d'échappement doit aussi être conduit vers la ventilation du tunnelier lui-même.

Par ailleurs, pendant l'intervention, lorsque la porte du sas est ouverte, il convient de laisser une ventilation faible dans le sas. Cet air s'échappe vers la chambre de travail et peut éviter un retour de pollution de la chambre de travail vers le sas (la chambre du personnel qui constitue la zone de repli doit préserver une atmosphère saine).

Il est recommandé **et parfois indispensable** d'avoir un ou plusieurs détecteurs à gaz (Oxygène O₂ et gaz toxique CO, CO₂, CH₄, H₂S) pendant les plongées assurant une alerte sonore des opérateurs en cas d'insuffisance ou de présence de gaz nécessitant un repli de l'équipe d'intervention.

Si des paliers de décompression sont nécessaires, le débit de ventilation du sas sera établi selon les mêmes critères.

Tableau - ventilation pendant les paliers

PRESSION (bar)	DEBITS VENTILES MINIMUM (Nm ³ /h)	
	2 TUBISTES	3 TUBISTES
0,3	8	12
0,6	10	15
0,9	12	18
1,2	14	21

Ces valeurs sont des minimas applicables, que la respiration soit de l'air ou de l'oxygène au masque, elles correspondent à un débit de 3 Nm³/h/personne (50l/mn/pers), mesuré à la pression du sas.

Les débits de ventilation minimum figurant dans le tableau sont exprimés en Nm³/h, donc mesurés à la pression atmosphérique (débitmètre sur échappement de la ventilation).

Tableau - Taux maximum de Co₂ admissible règlementairement

PRESSION	MANOMETRE (bar)	TAUX CO ₂ DANS L'AIR P _{CO2} = 10 mb	
		ppm	RESPIRE %
	0,3	7700	0,77
	0,6	6250	0,62
	0,9	5250	0,52
	1,0	5000	0,50
	1,1	4750	0,47
	1,2	4500	0,45
	1,4	4350	0,43
	1,5	4000	0,40
	1,7	3700	0,37
	1,9	3450	0,35

(Suite du tableau page suivante)



PRESSION	MANOMETRE (bar)	CO ₂ DANS L'AIR P _{CO2} = 10 mb	
		TAUX ppm	RESPIRE %
2,1		3230	0,32
2,4		2950	0,29
2,7		2700	0,27
2,8		2630	0,26
2,9		2560	0,25
3,0		2500	0,25
3,1		2440	0,24
3,2		2380	0,24
3,3		2330	0,23
3,4		2270	0,23
3,5		2220	0,22
3,6		2150	0,21
3,7		2120	0,21
3,8		2080	0,20
3,9		2040	0,20

Ces valeurs correspondent à P_{CO2} = 0,010 bar. Un taux aussi faible que possible sera maintenu en particulier dans l'air d'alimentation de la ventilation du sas. Par exemple 2 000 ppm (0,2 %) au plus pour toutes les pressions ou encore 5 000 ppm (0,5 %) lors des paliers à 0,9 bars et moins.

Ces valeurs sont des concentrations lues directement sur l'analyseur de gaz carbonique extérieur au sas (c'est à dire sur un prélèvement de gaz détendu).

Il est rappelé que la lecture sur l'analyseur à tubes colorimétriques se fait directement, si le prélèvement a été réalisé sous pression, et que la limite acceptable est alors la marque 1% (qui correspond à une pression partielle de 10 mb).

Tableau - Taux maximum de co admissible règlementairement

PRESSION MANOMETRE (bar)	TAUX MAXIMUM DE CO DANS L'AIR RESPIRE Exprimé en ppm ($P_{CO} = 0.05 \text{ mb}$)
0,3	38
0,6	31
0,9	26
1,0	25
1,1	23
1,3	22
1,5	20
1,7	18
1,9	17
2,1	16
2,4	15
2,7	13
2,8	13
2,9	12
3,0	12
3,1	12
3,2	11
3,3	11
3,4	11
3,5	11
3,6	10
3,7	10
3,8	10
3,9	10

Ces valeurs correspondent à $PCO = 0,050 \text{ bar}$. Il faut maintenir dans l'air respiré une valeur très inférieure, par exemple 5 fois moins.

Ces valeurs sont celles qui apparaissent sur l'analyseur de CO extérieur au sas et calibré en ppm.

Il est rappelé que la lecture sur l'analyseur à tubes colorimétriques se fait directement, si le prélèvement a été réalisé sous pression, et que la limite acceptable est alors la marque 50ppm (qui correspond à une pression partielle de $50 \mu\text{b}$).

10.1.3. Décompression

Les tables de décompression pour intervention en air comprimé sans immersion (Tables Air Standard **mention D** et tables air/oxy **mention D**) indiquent les profils de décompression à respecter en fonction des paramètres de l'intervention (pression atteinte, durée d'intervention, gaz respiré aux paliers).

Dans le cas où les conditions d'intervention sont pénibles ou que le travail fourni a été très intense, et pour procurer à l'intervenant une marge de sécurité supplémentaire, on utilisera le temps d'intervention immédiatement supérieur disponible dans la table.

10.1.4. Sélection de la table de décompression

Il s'agit du temps, en minutes, compris entre le début de la pressurisation dans le sas et le début de la décompression.

Les temps sont exprimés en heures et minutes (00h00). Pour tout événement relatif à une intervention donnée, les temps seront relevés à l'aide d'une seule et même montre.

Les tables de décompression à utiliser sont publiées par le Ministère du Travail (Bulletin officiel du Ministère du travail du 30 janvier 2013) et sont reportées sur les feuilles d'intervention hyperbares correspondant à chaque gamme de pression.

Lorsque le temps d'intervention ou la valeur de la pression ne correspondent pas exactement à ceux définis dans les tables, il convient alors de sélectionner une table dont la pression soit égale ou immédiatement supérieure à la pression réelle de l'intervention et de choisir dans cette table le temps égal ou immédiatement supérieur au temps réel d'intervention.

Nota : En cas de dépassement du temps de travail maximum autorisé, la table de rattrapage correspondante sera utilisée.

La qualité de l'air doit être maintenue dans les conditions identiques fixées dans ce manuel.

10.1.5. Décompression vers le premier palier

En début de décompression, l'intervenant est décomprimé jusqu'à la pression du premier palier ou jusqu'à la pression atmosphérique. Cette décompression doit s'accomplir à une vitesse maximale de 1 bar/min.

La vitesse correspondant au temps de décompression figurant dans la table est de 0,3 bar/min :

On prendra la vitesse de $V = 0,3$ bar/min.

En cas de décalage sur le premier palier :

- En avance sur le palier : on intégrera le temps d'avance au temps du palier (exemple : si le temps de descente au palier était de 3 min mais réalisé en 2 min 30, on intégrera 30 secondes de plus au temps du palier)
- En retard sur le palier : le temps du palier reste inchangé

10.1.6. Durée des paliers de décompression

Le temps du palier commence dès l'arrivée de l'intervenant à la pression de ce palier. Les temps des paliers de décompression sont indiqués dans la table. La dernière minute du temps de palier est utilisée pour décompresser vers le palier suivant ou le retour à la pression atmosphérique.

10.1.7. Paliers à l'oxygène

Lors d'une décompression à l'oxygène, la respiration d'oxygène pur au masque permet d'accélérer l'élimination des gaz inertes (comme l'azote) et donc de réduire les temps de décompression.

La conduite des paliers à l'oxygène à partir de 0,9 bar permet de réduire la durée des paliers et d'accroître la qualité de la décompression.

Des précautions de propreté doivent être prises afin d'éviter tout contact de matières grasses avec l'équipement servant à la distribution de l'oxygène dans le sas, en particulier les masques respiratoires.

La contamination éventuelle de l'atmosphère du sas par de l'oxygène résultant de fuites des masques doit être évitée et contrôlée avec l'analyseur d'oxygène situé à l'extérieur et qui ne doit jamais indiquer **plus de 23 %** (seuil d'alarme). Le contrôle de cette contamination potentielle permet d'ajuster le débit de ventilation.

Lorsque les masques sont des détendeurs alimentés par le système "cyclo-flow" Lama, les masques ne peuvent en principe pas fuir vers le sas ; s'ils ne sont pas étanches sur le visage, c'est de l'air du caisson qui est déversé.

Il est recommandé d'avoir une analyse continue de l'oxygène sur la ligne d'alimentation.

La table indique des paliers à partir de 0,9 b et jusqu'à 0,3 b, le palier de 0,3 b a été cumulé avec celui de 0,6 b et est donc entièrement effectué à cette pression. Cette manière d'utiliser les tables est intégrée dans la feuille d'intervention.

Les durées continues d'exposition à l'oxygène pur sous pression doivent être interrompues par des périodes de respiration d'air de 5 minutes toutes les 25 minutes. Il faut respecter les 25/5 indépendamment de la remontée au palier suivant. Le rythme qui en résulte est donc 25 min. de respiration d'oxygène suivi de 5 min. de respiration d'air de l'ambiance du sas. Ces interruptions figurent en petits caractères sur les feuilles d'intervention hyperbares. Cette procédure permet de retarder l'effet "toxicité pulmonaire" suite à la respiration d'oxygène pur (Effet Paul Bert).

Les tables de décompression avec paliers à l'oxygène sont bien adaptées aux interventions à l'air longues ou à des pressions supérieures à 2,5 bars.

Exemple :

TABLEAIR/MENTIOND/OXY					PRESSION:2.1bar	
DUREE DE TRAVAIL	DECOMP AU 1 ^{er} PALIER	AIR 1.2 bar	OXY 0.9 bar	OXY 0.6 bar	DUREE DECOMP.	DUREE INTERV.
0h 45	6 min			10	16 min	1h 01
1h 00	4 min		5	10	19 min	1h 19
1h 30	4 min		10	15 (5) 5	39 min	2h 09
2h 00	4 min		15	10 (5) 20	54 min	2h 54
2h 30	4 min		20	5 (5) 25 (5) 15	79 min	3h 49
3h 00	4 min		25	(5) 25 (5) 25 (5) 5	99 min	4h 39
3h 30	3 min	3	25 (5) 5	20 (5) 25 (5) 25	121 min	5h 31
A	B	C	D	E	F	G

ATTENTION :

Palier à l'oxygène, toutes les 25 min. effectuer 5 min. à l'air, indiqué entre parenthèse, (Temps compris dans la colonne durée de décompression)

A: Temps depuis le début de la compression jusqu'au début de la décompression.

B: Temps pour se décompresser jusqu'au 1er palier (Pour A = 3 h 30, le 1er palier est à 1,2 bar colonne C)

C: Palier en respirant l'air ambiant (pour exposition de 3 h 30 seulement)

Det E: Pendant ces paliers il peut être nécessaire d'interrompre la respiration d'oxygène pendant 5 minutes sur la base d'un rythme 25/5.

F: Durée totale de décompression correspond au temps total nécessaire y compris les interruptions à l'air.

10.1.8. Suivi de la décompression

L'observation stricte des procédures de décompression est la base de la sécurité. Un bon enregistrement des paramètres de l'intervention permet le suivi correct de ces procédures de décompression.

La fiche de sécurité hyperbare est utilisée à cet effet par le chef de sas.

Cette fiche n'a pas à être « remise au propre » en fin de plongée.

D'autre part pendant toute l'intervention hyperbare, les pressions de chaque enceinte du sas de transfert sont enregistrées.

Surveillance après une décompression

Les symptômes d'accidents de décompression, lorsqu'ils apparaissent, se produisent généralement entre **0 min** et 4 h après le retour à la pression atmosphérique, mais certains sont apparus après un délai supérieur à **12 heures**.

La surveillance doit être maintenue pendant environ douze heures après le retour à la pression atmosphérique.

Pendant les 4 heures suivants une intervention, les tubistes peuvent avoir une activité normale. Cependant ils doivent éviter les activités physiques soutenues telles que montée d'escalier **et en particulier la remonté du puit**, course, ping-pong, gymnastique.

Précautions après une intervention hyperbare	Délai minimum
Suivi sur site (à proximité du CRS)	2h
Pas d'efforts inconsidérés	4h
Pas de plongées (Bouteille)	12h
Pas de plongée en apnée	12h
Pas d'avion / Pas de montagne	12h

Une information écrite sera donnée en fin d'intervention à chaque tubiste.

Ceux-ci devront la conserver sur eux **durant 24h** afin, si nécessaire, que les secours puissent être informés de la situation d'urgence.

10.1.9. Caisson de Recompression de Sauvegarde

Rappel : Présence du Caisson obligatoire sur site si la pression d'intervention est supérieure à **1,8 bars**.

Avant toute intervention en caisson de recompression de sauvegarde, une check-list doit être complétée en tenant compte des quantités de gaz de traitement pour pouvoir appliquer la table de traitement la plus longue.

Dans tous les cas, le délai d'accès au caisson dès l'apparition d'un symptôme d'accident de décompression est imposé :

- Quand la durée des paliers est inférieure à 15 minutes : 2 heures
- Quand la durée des paliers est supérieure à 15 minutes : 1 heure

10.2. Mise en œuvre d'une intervention hyperbare

10.2.1. Avant une intervention

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Une fiche de renseignements en cas d'opération hyperbare doit être communiquée aux organismes de secours à minima **24 heures avant** l'intervention.

Cette fiche doit contenir les détails sur l'intervention hyperbare :

- La date, le lieu, la pression,
- Les noms des intervenants,
- Le type de travaux effectués,
- Les horaires de plongée prévue,
- La procédure de décompression utilisée (table de décompression air mention D standard),
- La nature des gaz respirés (air uniquement ou oxygène)

10.2.2. Établissement de la fiche de sécurité hyperbare

Un(e) infirmier(e) hyperbare doit être présent sur site pendant les interventions hyperbares.

Il/Elle doit pouvoir intervenir immédiatement.

Désignation des personnes par le chef d'opération hyperbare

- Chef de sas
- Tubistes (éventuellement chef d'équipe)
- Tubiste secours disponible
- Vérification de l'aptitude à plonger des tubistes le jour de l'intervention

Définition de la mission

- Vérification de l'outillage
- Tâches individuelles

Vérifications des paramètres

- Pression de la chambre de travail
- Vérification de la stabilité du terrain et de la pression
- Débit du compresseur et pression des alimentations en air comprimé
- Fonctionnement du compresseur secours

Vérification du sas

- Disposition des vannes
- Propreté des joints de portes
- Liste de vérification
- Quantité de gaz (principale, secours, urgence)
- Caisson de recompression d'urgence et gaz associés

Vérification des activités pouvant interférer avec les travaux hyperbares prévus

- Consignations éventuelles, avertir les personnes concernées.

Accord du chef d'opération hyperbare pour débiter

10.2.3. Compression

- Conduite de la compression par le chef d'équipe tubiste avec la vanne intérieure (ou par l'hyperbariste qui a des difficultés à équilibrer).
- Il vérifie que tous les tubistes équilibrent leurs oreilles.
- Vitesse de compression 3 bars/minute environ.
- Surveillance extérieure par le chef de sas.
- Possibilité de compression par le chef de SAS si nécessaire

10.2.4. Travaux

- Ouverture de la porte pour accès à la chambre de travail.
- Ventilation de la chambre 50 m³ / heure /personne selon fuites dans le terrain.
- Sécuriser l'accès à la zone de travail (vérification de la stabilité de la voute / terrain)
- Réalisation des travaux prévus.
- Suivi de l'équilibrage, de la pression et du temps
- Moyen de communication continu opérationnel entre les tubistes et le chef de SAS

10.2.5. Décompression

Les Hyperbaristes (tubistes) retournent dans le sas, ferment la porte de la chambre de travail et la verrouillent. Vitesse de décompression 0,3 bar/min :

- soit jusqu'à la pression atmosphérique,
- soit jusqu'au premier palier, si un tel palier doit être effectué. Cette décompression est conduite par le chef de SAS.

Les décompressions se font à partir de « tables de décompression » (annexe 2).

- Après décompression jusqu'à la pression atmosphérique, équilibrage des pressions et sortie des tubistes.
- Si un palier est à effectuer sur respiration d'air : il suffit alors de chronométrer la durée avant de passer au palier suivant ou à la pression atmosphérique.
- Si un palier doit être effectué sur respiration d'oxygène : il convient de vérifier que l'analyseur d'oxygène est en route, d'alimenter et de prendre les masques respiratoires.
- Le chronométrage de la durée du palier commence lorsque tous les tubistes concernés respirent de l'oxygène. Voir pour ces opérations le manuel d'utilisation du sas.
- Si la durée de respiration d'oxygène pur excède 25 minutes, les masques doivent être retirés chaque 25 minute pour respirer l'air ambiant du caisson pendant 5 minutes. Ces temps de respiration d'air sont prévus dans la durée des paliers.
- L'alarme de l'analyseur d'oxygène doit être située à 23 % ; la mesure est effectuée à pression atmosphérique sur une fuite continue prélevée dans l'atmosphère du sas.

10.2.6. Limitation des activités après la sortie

Après le retour à la pression atmosphérique, le dégazage de l'organisme n'étant pas terminé, en particulier si la décompression a donné lieu à un ou des paliers de décompression, il convient de respecter les règles décrites dans ce manuel.

10.2.7. Intervention initiale ou successive

Source : Annexe 5 du Bulletin Officiel du 30 janv. 2013 « Procédures d'intervention en air comprimé sans immersion effectuées dans le cadre de la mention D »

L'intervalle de temps après intervention est le temps passé en surface par un intervenant entre deux interventions. Il est décompté à partir du moment où la personne a terminé sa décompression jusqu'à celui où elle commence une nouvelle pressurisation.

Une intervention est dite « initiale » si aucun séjour sous pression n'a été effectué pendant les 12 heures qui précèdent cette intervention.

Une intervention « successive » est une intervention dont l'intervalle de temps en surface est inférieur à 12 heures : **une telle intervention n'est autorisée que si la pression n'excède à aucun moment la valeur de 2 100 hPa (2,1 bar).**

Si la plus forte pression d'exposition est supérieure à 750 hPa (0,75 bar) une seule intervention successive par période de 12 heures est possible et l'intervalle de temps avant une nouvelle intervention doit alors être supérieure à 12 heures.

La décompression après une intervention successive nécessite **une procédure particulière.**

Cette décompression doit être conduite en prenant pour temps de travail la somme des temps de travail de la première et de la deuxième intervention, supposées à la même pression. Si les deux interventions n'ont pas lieu à la même pression, il convient alors d'utiliser la pression la plus grande atteinte à l'occasion des deux interventions ou d'appliquer éventuellement la méthode de calcul pour les plongées à niveaux multiples.

11. Procédures d'urgence

Les scénarios d'urgence en milieu hyperbare sont composés de 2 catégories :

- Les urgences spécifiques à l'hyperbarie qui regroupent :
 - Les accidents mécaniques ou barotraumatismes
 - Les accidents biophysiques ou accidents de décompression
 - Les accidents biochimiques ou la toxicité des gaz
- Les urgences non-spécifiques qui regroupent :
 - Les blessures
 - La perte de confinement
 - L'éboulement
 - Les incendies
 - La toxicité des gaz venant du terrain
 - La perte de conscience

11.1. Urgences spécifiques à l'hyperbarie

Les risques liés aux accidents hyperbares, leurs symptômes, leurs traitements et leur prévention sont développés dans le **chapitre 8** du présent manuel de sécurité hyperbare.

Sauf non-respect des tables de décompression, ce genre d'accident est rare. Cependant, l'accident de surpression pulmonaire peut se produire lors d'une décompression rapide des tubistes à la suite d'un incident mécanique, d'une panne d'air, d'une situation d'urgence type incendie nécessitant de ne pas effectuer les paliers, etc.

Devant l'urgence de la situation, le problème d'équilibration de l'oreille moyenne est secondaire. L'otite barotraumatique voire la rupture tympanique sera secondaire par rapport au bénéfice d'une recompression.

11.2. Tubiste en situation dangereuse dû à un danger dans le milieu hyperbare

11.2.1. Les blessures

En cas de blessure, les premiers soins peuvent être donnés en hyperbare par un sauveteur secouriste du travail (SST) et/ou l'infirmier hyperbare **et/ou personnel formé à la mise en œuvre de l'oxygénothérapie**. La trousse de secours hyperbare doit être à disposition dans le sas personnel ou à proximité du chef de sas pour pouvoir la transmettre rapidement par le caisson dans le milieu hyperbare.

Une blessure, même bénigne, peut être contraignante du fait de l'environnement du travailleur et de l'impossibilité d'évacuer une victime rapidement. La procédure de décompression doit prendre en compte l'état de la victime, les paramètres de l'intervention et l'urgence de la situation.

En cas de blessure d'un tubiste, tous les tubistes doivent être rapatriés vers le sas et la décompression vers le premier palier effectué au plus vite, cela va permettre de limiter les temps de paliers ultérieurs et au secouriste d'atteindre plus rapidement le blessé. Sauf dans le cas exceptionnel où l'état de santé du blessé, s'aggraverait lors de la décompression en lien le plus souvent avec une blessure thoracique, il faudra interrompre la décompression voire recomprimer le blessé à la pression initiale. Ce cas exceptionnel serait en lien avec un pneumothorax qui devra être exsufflé par un médecin.

La décision d'une décompression accélérée d'urgence revient au chef d'opérations hyperbares (COH) en consultation avec le médecin référent hyperbare.

11.2.2. La perte de confinement

En cas de perte de confinement, les tubistes doivent se réfugier dans le sas personnel le plus rapidement possible. La porte du sas fermée, le chef de sas pourra entamer la décompression de l'équipe d'intervention en prenant en compte la perte de pression (table de rattrapage). Contacter le médecin référent hyperbare afin de conseiller sur une éventuelle recompression des tubistes.

11.2.3. L'éboulement

Le problème d'éboulement ou d'effondrement du terrain dans la chambre d'abattage pendant une intervention hyperbare nécessite une attention particulière car s'il survient avec des tubistes dans la chambre, cela peut leur être fatal.

Pour prévenir ces accidents aux conséquences dramatiques, il faut :

- Une excellente connaissance de la géologie du terrain et favoriser les interventions dans des terrains qui se tiennent, solides ou argileux.
- Appliquer des coefficients de sécurité à la pression de confinement nécessaire à la bonne tenue du terrain
- Faire un « cake » * avant chaque intervention hyperbare
- La première mission des tubistes lorsqu'ils pénètrent dans la chambre d'abattage est de vérifier la bonne tenue du terrain en voute et en partie haute de la roue de coupe.

* Le « cake » est une technique qui consiste, avant une intervention hyperbare, à substituer le marinage dans la chambre d'abattage par de la bentonite afin d'étanchéfier le terrain.

11.2.4. Les incendies

Le risque incendie en situation hyperbare même jusqu'à 4 bars mérite une attention très particulière pour deux raisons :

- L'inflammabilité et la vitesse de combustion sont accrues du fait de l'accroissement de la pression partielle d'oxygène résultant de la situation de compression de l'air.
- Du fait du confinement, il est impossible de s'échapper rapidement et les conséquences d'un incendie sont encore plus graves qu'à la pression atmosphérique.

L'élévation de température fait croître la pression rapidement, même après ouverture des vannes de décompression, les gaz toxiques sont aussi comprimés et leur toxicité croît avec la pression, l'efficacité des extincteurs est sensiblement diminuée et les produits d'extinction eux-mêmes doivent avoir été choisis pour qu'ils ne participent pas à la toxicité de l'atmosphère. Il en va de même pour les peintures qui revêtent les SAS et tous les composants des SAS.

Les seules mesures réellement efficaces sont préventives. Il faut être vigilant :

- Au moment de la construction des équipements électriques ;
- Au moment de la construction du système d'oxygène et l'étanchéité des masques ;
- Dans l'utilisation d'outillage sous pression (en particulier soudure et découpage) ; La soudure ou le découpage en hyperbarie nécessite de dégraisser préalablement la zone de travail et avoir un opérateur avec un extincteur à la main pour stopper tout début de combustion
- Dans l'interdiction d'introduire sous pression des produits inflammables (la plupart des graisses, les briquets, allumettes etc.).

11.2.5. La toxicité des gaz venant du terrain

En cas d'odeur anormale venant du terrain (essence ou hydrocarbures, odeur de putréfaction...), il convient en premier lieu de ne pas accéder à la chambre de travail et de refermer la porte. Puis le pilote du tunnelier procède à une ventilation de la chambre de travail et le chef de sas lance une ventilation du sas personnel.

Ensuite une nouvelle tentative est effectuée, la ventilation est orientée en maintenant un débit d'air permanent du sas vers la chambre de travail par le circuit de compression/ventilation du sas.

Si l'odeur persiste ou si des symptômes se manifestent, il faut abandonner l'intervention et décompresser l'équipe. Une analyse doit être pratiquée pour déterminer la nature du polluant, des masques de protection individuelle normalisés peuvent être utilisés tel que ceux à pression atmosphérique pour des pressions inférieures à 1,2 bar.

Pour les pressions supérieures, il faut envisager des masques alimentés en air pur à partir du circuit air du sas.

11.2.6. Perte de conscience

Dans cette situation il faut agir rapidement, alerter les secours immédiatement.

11.2.6.1. Victime inconsciente qui ventile

Assurer selon les principes du secourisme le dégagement des voies respiratoires : libération des voies aériennes et position latérale de sécurité.

11.2.6.2. Victime en arrêt cardio-respiratoire

Pratiquer le massage cardiaque externe et le bouche à bouche

Puis, si la victime ventile, informer le médecin hyperbare avant de commencer la décompression.

Si un tubiste est victime d'un arrêt cardio circulatoire tous les tubistes doivent être rapatriés vers le sas et la décompression vers le premier palier effectué au plus vite, cela va permettre de limiter les temps de paliers ultérieurs et au secouriste d'atteindre plus rapidement le blessé. Puis informer le médecin hyperbare

Il est possible d'effectuer un choc électrique avec un défibrillateur en cas de besoin, certains appareils peuvent être utilisés en hyperbarie jusqu'à deux bars tel que le modèle suivant : **HAUX-LIFE-SUPPORT GmbH**

11.2.7. Remontée anormale

A remplir en cas de (exemples):

- Interruption de paliers
- Remontée rapide
- Remontée lente
- Remontée avec essoufflement

11.2.8. Tubistes en situation dangereuse dû à un danger extérieur au milieu hyperbare

Incident ou accident survenant à l'extérieur du milieu hyperbare (incendie, éboulement dans le tunnel, panne des dispositifs extérieurs, malaise du chef de sas)

11.3. Procédures de rattrapage

Les personnes intervenant sous pression doivent toujours disposer d'une table de rattrapage en cas de dépassement du temps de travail prévu, toxicité de l'oxygène, oubli ou non-respect de la profondeur des paliers, manque d'oxygène pendant la décompression, etc.

Pour cette raison, pour chacune des pressions, le dernier temps est présenté séparément et ne figure pas sur les feuilles d'intervention.

Ces tables pour une durée supplémentaire à chaque pression sont dans les documents du chef de sas. Toute utilisation de ces tables doit donner lieu à un court rapport du chef de sas expliquant pour quelle raison la table prévue n'a pu être respectée.

Ces tables peuvent éventuellement être utilisées pour accroître la sécurité si le travail a été intense mais que la durée d'intervention est inférieure à l'avant-dernière durée disponible dans la table normale.

Il existe des tables de rattrapage pour les interventions suivies de décompression à l'air ou à l'oxygène.

Dans le cas où les paliers n'ont pu être effectués pour un motif sérieux, il est nécessaire de recomprimer au plus vite les tubistes sur la table de recompression d'urgence à 1,2 bar dans le caisson de recompression d'urgence si aucun tubiste ne présente de symptômes, si des symptômes sont présents utiliser la table adaptée aux symptômes présentés.

12. Contenu du PPSPS – Interventions en milieu hyperbare

12.1. Partie technique

Le plan particulier de sécurité et de prévention de la santé (PPSPS) s'appuie sur le PGCSPPS et sur le Manuel de Sécurité des Travaux Hyperbares disponible sur le chantier et dans lequel figurent l'analyse des risques, les règles de sécurité spécifiques applicables et les consignes générales de sécurité.

Éléments en prendre en compte à minima lors des opérations hyperbares :

- **Conditions d'accessibilité** : les opérateurs peuvent être gênés par les conditions de déplacement dans la tête du tunnelier; cela peut éventuellement conduire à une limitation du temps des travaux
- **Température** : les ressentis thermiques peuvent modifier les conditions de travail et de consommation énergétiques
- **Phase** (compression / décompression) : selon les tables de décompression
- **Caractéristiques des lieux** (nature du sol, présence d'eau, profondeur, milieu polluée, bentonite...) : les caractéristiques des lieux peuvent générer des conditions particulières de travail et des mesures de prévention spécifiques (cf.PPSPS)
- **Interférence avec d'autres opérations** : il est interdit de pratiquer des travaux simultanés dans la zone hyperbare
- **Pression relative** : Si les travaux sont réalisés en altitude, les tables de décompression doivent être adaptées.
- Présence de **munitions** de guerre enterrées : dans les terrains remaniés et dans les zones de recouvrement faibles, des munitions de guerre enterrées peuvent être présentes.

12.2. Procédures spécifiques du chantier

- Limite des pressions prévues,
- Risques particuliers liés à la nature du terrain :
 - Inondation,
 - Eboulement,
 - Gaz toxiques ...
- Limites sur le nombre de personnes admises dans le sas ;
- Schéma du sas et nomenclature des vannes à utiliser pour sa mise en œuvre, à extraire du manuel d'utilisation du sas.
- Type de travaux effectués sous pression et procédures particulières éventuelles :
 - Abattage, élimination des blocs ...
 - Réparation et entretien du tunnelier ...
 - Soudure et découpage
- Feuilles d'intervention hyperbare avec les tables de décompression applicables

12.3. Procédures d'urgence

- Coordonnées des secours hyperbares
 - Médecin référent hyperbare et infirmier hyperbariste
 - Centre hyperbare à contacter
 - Les secouristes
- Moyens de réanimation (ensemble pour oxygénothérapie) et utilisation par secouriste du chantier :
 - Lieu de stockage,
 - Personnes qualifiées pour leur mise en œuvre,
 - Mode d'emploi du caisson de recompression d'urgence s'il est prévu sur le chantier.
- Conduite à tenir simplifiées.

13. Vigilance particulière concernant les plongées de Classe 2 (> 3bars)

13.1. Risques liés aux plongées au-delà de 3 bars

Au-delà de 3 bars, les risques sont les mêmes que ceux de la classe 1 mais la probabilité d'un accident de travail spécifique ou non à l'hyperbare est plus grand.

- La densité des gaz rend la respiration plus difficile ;
- Le risque de narcose à l'azote est grand même pour le tubiste expérimenté ;
- Les accidents de décompression de type 2 sont augmentés ;
- Le risque d'accident médullaire et neurologique est augmenté ;
- La concentration du tubiste est affectée.

Lors de la décompression, les paliers sont plus longs, donc les temps de respiration à l'oxygène sont allongés ce qui augmente le risque d'hyperoxie.

Une attention particulière doit être portée au monitoring de la ventilation. **Le CO2 est toxique au-delà d'une teneur supérieure à 0,01 bar**

13.2. Sélection des tubistes

Tous les tubistes en classe 1 ne sont pas forcément aptes pour être tubiste en classe 2. Au-delà de 3 bars, il faut spécialiser les tubistes. Aussi, il est préférable de sélectionner les opérateurs hyperbares pouvant intervenir au-delà de 3 bars parmi les tubistes de classe 1.

Pour être classe 2, il faut également une aptitude médicale classe 2

Évaluer les tubistes de classe 1 lors des opérations de 2 à 3 bars et ne garder que les meilleurs suivant :

- Leur comportement et leur rigueur ;
- Leurs expériences et leurs compétences ;
- Leur maîtrise des techniques d'ouverture tubaire ;
- Leur connaissance des risques hyperbare ;
- Leur maîtrise des procédures normales et de secours.

Entreprises extérieures et partenaires en groupement

Rappel : Les entreprises partenaires d'Eiffage dans un groupement, nos prestataires de service, ainsi que les agences d'intérim qui ont du personnel susceptible de travailler en milieu hyperbare sur l'un de nos projets doivent impérativement être en possession d'une certification en cours de validité **et d'une aptitude établie par le médecin du travail de leur entreprise.**

Le COH et le CPH sont les garants de cette application.

14. Références

Documents utilisés comme source pour la rédaction de ce manuel, en plus des lois et décrets :

- DGSCGC, Un code européen de bonne pratique pour l'oxygénothérapie hyperbare, 2004
- OPPBTP, Premiers soins et évacuation des blessés en travaux souterrains, 2010
- CARSAT Rhône-Alpes, Guide de bonnes pratiques pour la sécurité et la protection de la santé lors de travaux souterrain, Septembre 2013
- OPPBTP, Prévention des risques hyperbares, Septembre 2013
- Direction des Sapeurs-Pompiers, Annexe I, II et III du référentiel : Emplois Activités Compétences
- « Interventions, secours et sécurité en milieu aquatique et hyperbare », Mars 2014
- INRS, Prise en charge des travailleurs intervenant en conditions hyperbares, Juillet 2016
- DRASSM, Manuel des procédures de sécurité en milieu hyperbare applicables aux activités placées sous le contrôle du DRASSM, 2016 (Rédaction contrôlée par Philippe Barré)
- George GOURDON, Support de formation chef d'opération hyperbare, 2016
- Jean-claude LE PECHON et Georges GOURDON, Travaux en air comprimé histoire et évolution depuis 1987, Décembre 2017
- Jean-Claude LE PECHON, Les travaux hyperbare mention D, Mars 2018
- Marie Christine MICHEL – Référente Travaux hyperbares

Sites internet consultés comme source pour la rédaction de ce manuel:

- www.inpp.org – Site consulté courant Janvier 2019
- www.medsubhyp.com – Site consulté courant Janvier 2019
- www.ffessm.fr – Site consulté courant Janvier 2019
- www.jclp-hyperbarie.fr – Site consulté courant Janvier 2019
- www.hyperbarie.com – Site consulté courant Janvier 2019
- <https://travail-emploi.gouv.fr/demarches-ressources-documentaires/documentation-et-publications-officielles/bulletin-officiel-2000-a-2014/article/bulletin-officiel-no-2013-01-du-30-janvier-2013>

15. Annexes

Annexe 1 : Notice de Postes – Indice B

Annexe 2 : Fiches de Sécurité – Indice A

Annexe 3 : Fiches de Procédures d'urgence en milieu hyperbare – Indice A

Annexe 4 : Annexe 5 du Bulletin Officiel du 30 janv. 2013 « Procédures d'intervention en air comprimé sans immersion effectuées dans le cadre de la mention D »