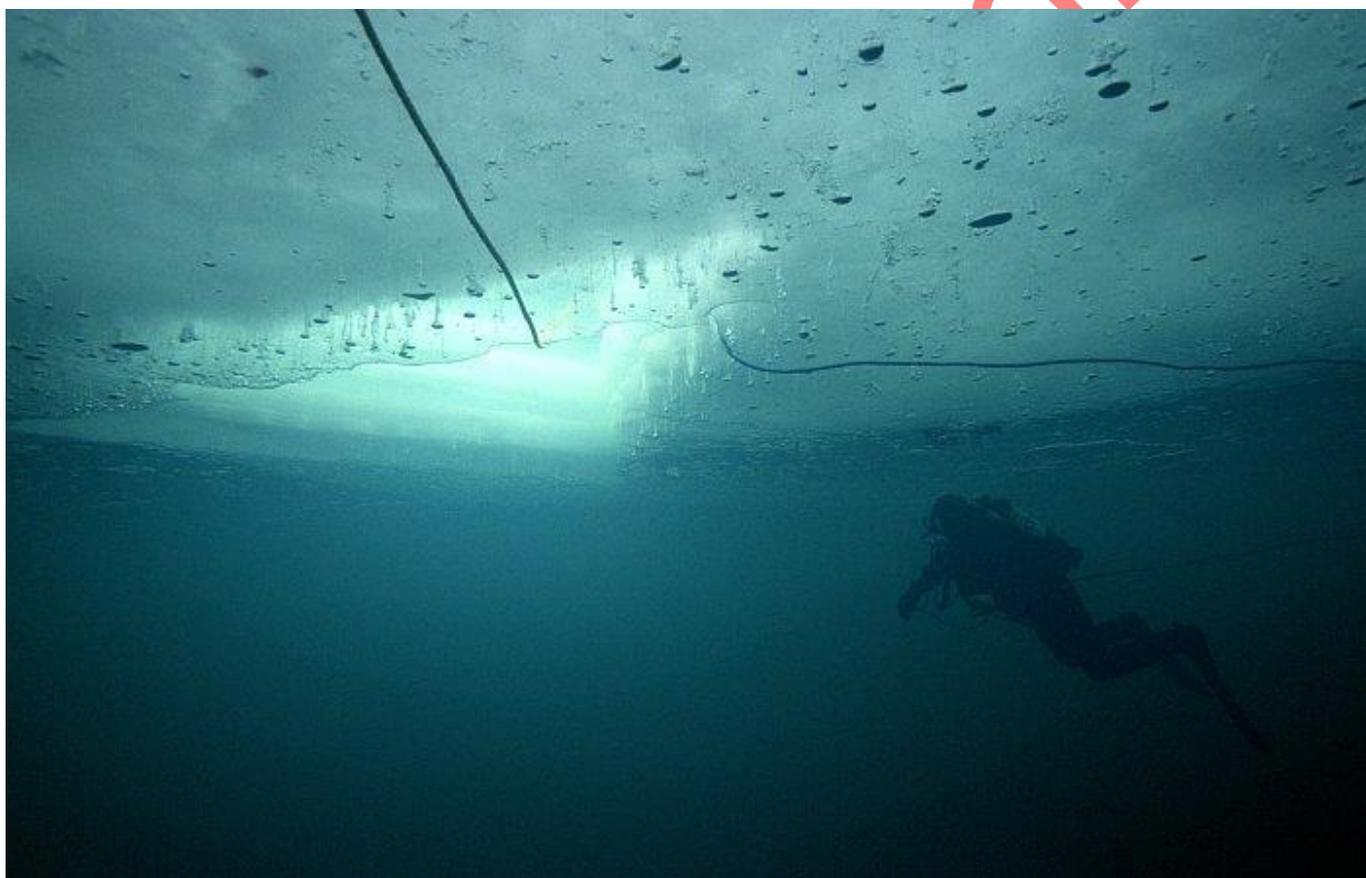




LA PLONGEE SOUS GLACE

JEAN-CLAUDE TAYMANS

droit





AVERTISSEMENTS

La plongée est une activité à risque. Elle ne peut être pratiquée que par des personnes correctement formées, bien entraînées et en bonnes conditions physiques et mentales. Le non-respect des règles peut conduire à des blessures graves, des invalidités permanentes ou à la mort. Il vous incombe personnellement d'en évaluer les risques. Ne comptez pas sur les données de cet ouvrage pour garantir votre sécurité. Avant d'entrer dans l'eau, vous devez exercer votre propre jugement quant aux dangers et difficultés que vous allez rencontrer. A vous de faire une évaluation réaliste des conditions de plongée, de la difficulté du site et de votre condition physique !

Ce livre ne remplace pas la formation et n'est pas un substitut à un encadrement professionnel.

L'auteur n'assume dès lors aucune responsabilité quant aux données et informations publiées dans cet ouvrage. L'auteur ainsi que l'éditeur ne peuvent encourir aucune responsabilité, légale ou contractuelle, pour les dommages éventuels encourus en raison de l'utilisation de cet ouvrage.

LA PLONGÉE SOUS GLACE, EST UNE ACTIVITÉ À TRÈS HAUT RISQUE. ELLE NE PEUT S'ENVISAGER QU'AVEC UN ENCADREMENT ET UNE PRÉPARATION PARTICULIÈREMENT STRICTE.

Photo de couverture

Photographe : Ttsalo

Licence : CC-BY-SA

Source : Wikipédia

Toute reproduction d'un extrait quelconque de cet ouvrage, par quelque procédé que ce soit, notamment par photocopie, imprimerie, microfilm est interdite sans l'autorisation de l'auteur.

Copyright © Jean-Claude Taymans, tous droits réservés

2 Rue Mouzin – 7390 Wasmuël – Belgique

jctdive@gmail.com

D'avril 2015\Jean-Claude Taymans : Editeur

ISBN 978-2-930747-12-5



« Prudence et plaisir. Prudence car s'immerger sous plusieurs cm de glace n'est jamais anodin. Ici pas de narcose ou de plafond virtuel de la décompression, mais un plafond bien réel, solide, et redoutable. Mais du plaisir aussi, de voir les rayons du soleil ou du HID¹ glisser sur la glace, d'évoluer dans un monde de miroirs et de reflets. Pourquoi s'en priver ? »

Stéphane SIMONET, mars 2007.

¹ Note de l'Auteur : Comprendre « Phare de plongée »



SOMMAIRE

TABLEAU DES MISES À JOUR ET MODIFICATIONS.	6
1. INTRODUCTION	7
1.1. DÉFINITION.....	7
1.1.1 <i>La glace de mer</i>	7
1.2. POURQUOI PLONGER SOUS LA GLACE ?	7
2. LE MILIEU NATUREL	7
2.1. FORMATION DE LA GLACE	7
2.2. LA QUALITÉ DE LA GLACE.....	8
2.3. SOLIDITÉ ET RISQUES DE RUPTURE DE LA GLACE	8
2.4. ÉPAISSEUR MINIMUM DE LA COUCHE DE GLACE	8
2.4.1. <i>Épaisseur minimum de la glace pour pratiquer la plongée sous-marine</i>	9
2.5. MESURE DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE GLACE	9
2.5.1 <i>Mesures de précautions</i>	10
2.5.2. <i>Conduite à tenir en cas chute dans un trou dans la glace</i>	10
3. LES DANGERS DE LA PLONGÉE SOUS LA GLACE	10
3.1. LA GESTION DU STRESS	10
3.1.1. <i>Conduite à tenir en cas d'anxiété</i>	10
3.2. LA PERTE D'ORIENTATION	11
3.2.1. <i>Que faire si vous êtes perdu sous la glace ?</i>	11
3.2.2. <i>Recherche d'un plongeur perdu sous la glace</i>	12
3.2.3. <i>Perte du compagnon de plongée</i>	13
3.3. LES EFFETS DU FROID SUR L'ORGANISME	14
3.3.1. <i>La température ressentie</i>	14
3.3.2. <i>L'hypothermie</i>	15
3.3.3. <i>Les brûlures froides</i>	15
3.3.4. <i>Prévention de l'hypothermie et des brûlures froides</i>	16
3.4. GIVRAGE DU DÉTENDEUR.....	17
3.4.1. <i>Mécanisme</i>	17
3.4.2. <i>Facteurs favorisant les risques de givrage du détendeur</i>	18
3.4.3. <i>Facteurs réduisant les risques de givrage du détendeur</i>	18
3.4.4. <i>Conduite à tenir en cas de givrage du détendeur</i>	19
3.5. GONFLAGE INTÉMPÊSTIF DE LA COMBI, DU GILET OU PERTE DU LESTAGE	19
3.6. EMMÊLEMENT DANS UN FIL D'ARIANE.....	19
3.6.1 <i>Dégagement du fil d'Ariane</i>	20
4. NOTIONS DE « WHAT-IF » ET PRINCIPES DE REDONDANCE	22
4.1. NOTION DE « WHAT-IF »	22
4.2. LES REDONDANCES	22
4.2.1. <i>La philosophie de la « tranche d'emmental »</i>	22
4.2.2. <i>La redondance</i>	22
5. EQUIPEMENTS SPÉCIFIQUES POUR LA PLONGÉE SOUS LA GLACE	24



5.1. L'ÉQUIPEMENT COLLECTIF.....	24
5.1.1. <i>Tarière à glace</i>	24
5.1.2. <i>Scie à chaîne ou tronçonneuse</i>	24
5.1.3. <i>Broches à glace</i>	24
5.1.4. <i>Ligne de vie</i>	24
5.1.5. <i>Piquets et bandes de signalisation</i>	25
5.1.6. <i>Echelles</i>	25
5.1.7. <i>Palettes</i>	25
5.1.8. <i>Tentes et abris</i>	25
5.1.9. <i>Les dragonnes</i>	25
5.1.10. <i>Equipements divers</i>	25
5.2. L'ÉQUIPEMENT INDIVIDUEL.	26
5.2.1. <i>Les bouteilles</i>	26
5.2.2. <i>Les détendeurs</i>	27
5.2.3. <i>Le gilet</i>	27
5.2.4. <i>Le lestage</i>	27
5.2.5. <i>Les protections thermiques</i>	27
5.2.6. <i>Le masque facial</i>	28
5.2.7. <i>Les mousquetons</i>	28
5.2.8. <i>Les casques</i>	28
5.2.9. <i>Le fil d'Ariane et les dévidoirs</i>	28
5.2.10. <i>Les outils coupants</i>	29
5.2.11. <i>Matériel divers</i>	29
6. PRÉPARATION ET AMÉNAGEMENT DE LA ZONE DE PLONGÉE.	30
6.1. <i>DE QUELLE FORME ET DE QUELLE DIMENSION DOIT ÊTRE LE TROU ?</i>	32
7. BRIEFING ET LE RÔLE DES PARTICIPANTS.....	33
7.1. <i>RÔLE RESPECTIFS DES PARTICIPANTS</i>	33
7.1.1. <i>Rôle du « directeur de plongée »</i>	33
7.1.2. <i>Rôle du « Tender Man »</i>	33
7.1.3. <i>Rôle de l'équipe de sécurité</i>	33
8. TECHNIQUES D'ENGAGEMENT SOUS LA GLACE.....	34
8.1. <i>PRÉAMBULE : RAPPEL DU CALCUL DE LA CONSOMMATION</i>	34
8.1.1. <i>Règle des tiers</i>	34
8.2. <i>SIGNAUX DE PLONGÉE AVEC LA LIGNE DE VIE.</i>	34
8.2.1. <i>Signaux entre plongeurs en immersion</i>	34
8.2.2. <i>Signaux du plongeur vers le « Tender Man »</i>	35
8.2.3. <i>Signaux du « Tender Man » vers le plongeur</i>	35
8.3. <i>LES TECHNIQUES D'ENGAGEMENT SOUS LA GLACE</i>	35
8.3.1. <i>Méthode dite du « circuit »</i>	35
8.3.2. <i>Méthode dite des « trois trous »</i>	35
8.3.3. <i>Méthode dite de la « ligne de vie »</i>	36
8.3.4. <i>Méthode dite du « fil d'Ariane »</i>	37
8.3.5. <i>Comparaison des méthodes</i>	38



8.3.6. Plongée parmi les blocs de glace38

9. SÉCURISATION DES TROUS APRÈS LA PLONGÉE. 39

10. ANALYSE DES RISQUES. 40

10.1. DÉFINITIONS41

10.2. MÉTHODE KINNEY41

10.2.1 Tableaux des facteurs G, E et P.....42

10.2.2 Tableaux de l'évaluation du « Risque » (Rk)43

10.3. APPLICATION DE LA MÉTHODE KINNEY.....43

TABLEAU DES MISES A JOUR ET MODIFICATIONS.

Version	Date	Remarques
Vers.1	Avril 2015	Original
Vers. 2.0	Mars 2024	Analyse de risque,



1. INTRODUCTION

1.1. Définition

La plongée sous glace est une forme particulière de plongée sous plafond. Elle s'effectue sous une surface gelée qui ne permet pas le retour direct en surface. Généralement elle se pratique en lacs, carrières, gravières mais également en mer. Le plus souvent, elle se pratique à faible profondeur : juste sous la couche de glace.

1.1.1 La glace de mer

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)² a défini, en 1970, la « glace de mer » comme étant les glaces trouvées en mer et qui résultent de la congélation de l'eau de mer. Ce qui exclut les glaces détachées des calottes glaciaires (iceberg...).

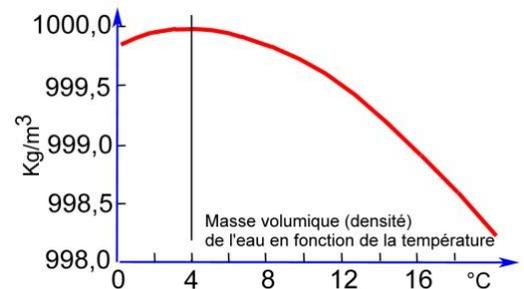
1.2. Pourquoi plonger sous la glace ?

Les motivations peuvent être aussi multiples que variées :

- Curiosité naturelle ;
- Esprit d'aventure ;
- Améliorer ses connaissances ;
- Les effets de lumière sous la glace ;
- Faire des plongées qui sortent des « sentiers battus » ;
- Photographie et vidéo.

2. LE MILIEU NATUREL

L'eau est un fluide remarquable, qui présente la particularité d'avoir sa densité maximale à 4°C³ : on parle d'anomalie dilatométrique ! Cette particularité permet à la glace de se former en surface et non pas au sein même du liquide⁴. En effet, il n'y a plus de convection vers le bas lorsque les eaux froides de surface descendent en dessous de 4 °C. Ce phénomène empêche le refroidissement des eaux profondes. Il y a donc une inversion de la stratification thermique entre l'été et l'hiver, néanmoins les eaux profondes restent relativement isothermes.



2.1. Formation de la glace

Été	Glacé	Hiver
10°C		0°C
7°C		1°C
6°C		2°C
5°C		3°C
4°C		4°C

La stratification thermique

En hiver, l'eau de surface se refroidit au contact de l'air. La couche d'eau supérieure devient plus dense que les couches du fond, ce qui engendre un mouvement de convection. De proche en proche, toute la colonne d'eau se refroidit jusqu'à la température de 4°C : température à laquelle l'eau a sa densité maximale. En dessous de cette température la couche d'eau superficielle perd de sa densité et reste en surface. Si des pertes de chaleur supplémentaires

² L'OMM est l'institution spécialisée des Nations Unies qui fait autorité en ce qui concerne l'état, le comportement de l'atmosphère et son interaction avec les océans.

³ Pour de l'eau pure

⁴ Sans cette particularité, il n'y aurait pas de vie sur terre !



se produisent, des cristaux de glace vont se former autour des noyaux de congélation. Ceux-ci vont finir par s'agglomérer pour former une couche de glace.

2.2. La qualité de la glace

Pour la sécurité, il est très important de pouvoir estimer la qualité de la glace. A épaisseur identique, le risque de rupture est largement conditionné par la qualité de la glace. Il faut effectuer un carottage pour vérifier l'épaisseur et la qualité de la glace. La qualité de la glace peut s'estimer en fonction de la couleur de la carotte.

Couleur de la glace	
Bleu pâle (Bon)	La glace est dense et compacte, c'est le type de glace le plus solide. Très sécuritaire.
Blanc opaque (Se méfier)	C'est de la neige saturée d'eau gelée à la surface de la glace. Cette couche contient un % d'air relativement important, sa solidité en fonction de la densité. On peut considérer que la solidité est <u>moitié moins importante</u> que celle de la glace bleu pâle.
Gris (A proscrire)	Cette couleur indique la présence d'eau due au dégel. Ce type de glace est <u>instable et potentiellement dangereux</u> .

2.3. Solidité et risques de rupture de la glace

La solidité de la glace dépend d'un ensemble de paramètres tels que : l'épaisseur ; la température de la glace ; la concentration en sel. On peut dire que :

- Généralement plus la glace est épaisse plus elle est solide.
- A épaisseur égale :
 - La glace formée par l'eau de mer est moins solide que la glace formée par de l'eau douce.
 - La glace proche de son point de fusion sera moins solide que de la glace à une température plus basse.
- Une couche de glace qui présente des fissures ou des trous aura plus tendance à ce rompre qu'une couche de glace uniforme.
- Sur un plan d'eau, la couche de glace est rarement uniforme. Le plus généralement l'épaisseur est moindre au centre de l'étendue d'eau.
- Les basses températures augmentent la résistance de glace, celle-ci augmente jusqu'à la température de -18°C puis reste stable
- Une brusque et rapide chute de température peut créer des tensions dans la glace et la fragiliser.
- Erosion de la glace, due à la présence de sources.

2.4. Epaisseur minimum de la couche de glace

Pour une glace saine, bleue pâle, ne présentant ni fissures ni trous le « Department of Transportation » du Canada préconise la relation de « Gold » pour déterminer la charge portante. Cette relation empirique permet de déterminer la charge portante pour une charge



concentrée en fonction de l'épaisseur de la glace. Pour des charges inférieures à 5000 kg, les prescriptions de l'IHSA⁵ sont plus sécurisantes.

$$P = 4H^2$$

Avec : P = Charge maximum en Kg.
H = Epaisseur de la glace en cm.

Tableau de l'IHSA (résumé)

Epaisseur	Activité
Inférieur à 7 cm	Ne pas circuler sur la glace
10 cm	Pêche, marche, ski de fond
18 cm	Circulation en motoneige ou un VTT (max 500 kg)
38 cm	Circulation en voiture 4x4, camionnette (max 3500 kg)

Pour une glace de moins bonne qualité, blanche ou grise il convient de multiplier par 1,6 et 2 l'épaisseur obtenue par cette formule ou le tableau.

2.4.1. Epaisseur minimum de la glace pour pratiquer la plongée sous-marine

Le tableau du chapitre précédent est établi pour une couche de glace ne présentant ni trous, ni fissures. Pour la pratique de notre sport de nombreux trous sont pratiqués : trou de mise à l'eau ; trous de réchappes... Les abords des trous sont des zones de concentration de contraintes et les trous, de ce fait, sont des amorces de ruptures. A cause de cette fragilisation : il faut prévoir une épaisseur de glace plus importante que celle du tableau, pour pouvoir plonger en toute sécurité. La forme des trous est aussi importante. Un trou circulaire sera moins dommageable pour la résistance de la glace qu'un trou carré ou triangulaire de même dimension.

Les plongeurs suisses et russes, qui ne sont pas des novices, en la matière préconisent les épaisseurs minimum suivantes.

Epaisseur	Type de glace
12 cm	Eau douce
30 cm	Eau de mer

2.5. Mesure de l'épaisseur de la couche de glace

Pour mesurer l'épaisseur de la glace, le plus facile est de faire un trou avec une tarière et mesurer directement l'épaisseur de la couche avec un mètre. Si on ne dispose pas d'une tarière, il est toujours possible de découper une tranche à l'aide d'une scie à chaîne et remonter la galette ainsi obtenue. Il est très facile de sortir la galette du trou : il suffit de taper du pied de manière qu'elle s'enfonce dans l'eau et la rattraper lorsqu'elle remonte, de préférence avec une pince à glace !

⁵ Infrastructure Health and Safety Association - Canada



2.5.1 Mesures de précautions

Il convient d'assurer la sécurité des personnes qui vont procéder à la mesure de l'épaisseur de la couche de glace. Cette opération ne peut jamais être entreprise par une seule personne. La personne qui procède au carottage doit porter un harnais avec une longue. Celle-ci permet à l'équipe de sécurité de le ramener sur le bord en cas de rupture de la couche de glace. L'équipe de sécurité doit de préférence se trouver sur le bord. Si ce n'est pas possible, elle doit être sur une zone de glace testée et offrant toutes les garanties de sécurité et à au moins 10 m de la personne chargée du carottage.

2.5.2. Conduite à tenir en cas chute dans un trou dans la glace

L'important est de ne pas paniquer, l'air emprisonné dans les vêtements vous empêchera de couler !

1. Faîtes face à la direction d'où vous êtes venu.
2. Mettez vos mains ainsi que vos avant-bras à plat sur la glace non brisée.
3. Mettez-vous à l'horizontale.
4. Battez des pieds et poussez de manière à vous retrouver sur la glace à plat ventre. **SURTOUT, NE VOUS RELEVEZ PAS.**
5. Éloignez-vous du trou et rejoignez le bord en roulant sur vous-même ou en rampant.

3. LES DANGERS DE LA PLONGEE SOUS LA GLACE

En premier lieu, on pense bien entendu au danger de se perdre sous la glace et de ne pas retrouver le point de sortie. Il existe d'autres dangers qu'ils convient de ne pas négliger comme : l'hypothermie, le givrage du détendeur avec perte importante de gaz respiratoire...

3.1. La gestion du stress

La plongée sous glace est sensiblement plus stressante qu'une plongée le long d'un tombant.

3.1.1. Conduite à tenir en cas d'anxiété

1. Prévenir ses compagnons de plongée.
2. S'arrêter, réfléchir et se raisonner.
3. S'efforcer d'avoir une respiration calme, profonde (bien expirer) et régulière.
4. Si le problème persiste : interrompre la plongée.
5. **Sortir de l'eau le plus rapidement possible, éventuellement par un trou de secours. On ne poursuit JAMAIS une plongée sous glace s'il y a eu un « coup d'anxiété ».**



3.2. La perte d'orientation

SE PERDRE SOUS LA GLACE ÉQUIVAUT PRATIQUEMENT À UNE CONDAMNATION À MORT !
TOUT DOIT ÊTRE MIS EN ŒUVRE POUR QUE CELA N'ARRIVE PAS.

Contrairement à la plongée souterraine, il n'existe aucun point de repère sous la glace. L'utilisation du compas pour retrouver le trou est tout à fait aléatoire et présente de ce fait un risque inacceptable. Perdu sous la glace, il est tout à fait illusoire de vouloir :

1. Sortir de l'eau par ses propres moyens en dehors des trous prévus à cet effet
2. Faire un trou dans la glace en tapant avec les bouteilles ;
3. Faire un trou dans la glace de plus de 3 cm avec ou sans appuis ;
4. Faire un trou à l'aide de son couteau pour passer un tuba⁶, sans point d'appui ;

La prévention est la seule manière de se prémunir contre ce risque, il faut impérativement respecter strictement les règles d'engagement sous la glace (cfr chapitre 3.7).

3.2.1. Que faire si vous êtes perdu sous la glace ?

La conduite à tenir doit être sans équivoque et clairement débattue lors du briefing. Il faut définir la durée de la plongée avec l'équipe de surface, un dépassement de 5 minutes engendre les procédures de recherche. La conduite à tenir dépend aussi du mode d'engagement sur la glace.

Il ne faut surtout pas céder à la panique ! Celle-ci risque d'augmenter votre débit ventilatoire et provoquer le givrage du détendeur.

3.2.1.1. Trou unique, engagement des plongeurs avec « ligne de vie » ou dévidoir.

L'équipe de sécurité doit s'assurer régulièrement, à l'aide des signaux de communication par corde de la bonne forme du plongeur. En cas de non réponse, ils doivent immédiatement tirer le plongeur vers le trou. Si pour une raison quelconque le plongeur s'est détaché, ils doivent immédiatement commencer les procédures de recherche. Pour le plongeur perdu, la fausse bonne idée est de rejoindre le bord, car la couche de glace y est plus épaisse et l'extraction plus difficile. La conduite la plus rationnelle est la suivante :

1. Remonter jusqu'à la couche de glace.
2. Se mettre en flottabilité positive.
3. Maintenir la position et éviter de dériver. Cela peut facilement se réaliser en plantant la pointe du couteau dans la glace.
4. Placer sa lampe contre la glace. Cela facilite le repérage à partir de la surface, pour autant que la couche de glace ne soit pas trop épaisse et qu'il n'y a pas de neige.
5. Attendre le plongeur de secours.

3.2.1.2. Système à trois trous

Pour retrouver un point de sortie dans cette configuration, il suffit de nager dans n'importe quelle direction pour retrouver un fil d'Ariane. **Il faut bien sûr que la plongée se déroule DANS le triangle formé par les trois trous !**

⁶ L'anecdote des plongeurs perdus et sauvés en ayant fait un trou de passage pour le tuba, relève plus de la légende urbaine que de cas concrets et vérifiés !



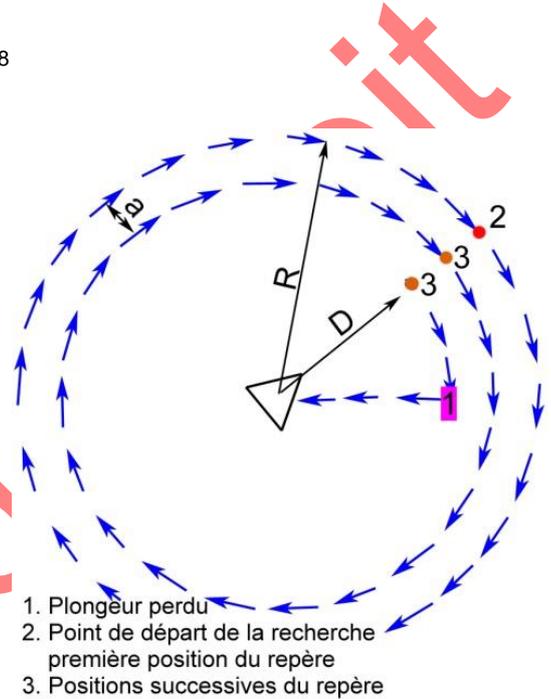
3.2.2. Recherche d'un plongeur perdu sous la glace

Plusieurs techniques sont possibles, rien n'empêche de les utiliser complémentaires, mais en tout état de cause dès qu'on se rend compte qu'un plongeur est perdu il faut entamer les recherches immédiatement. Si la glace est suffisamment transparente, une équipe terrestre peut repérer le plongeur perdu et guider le plongeur de secours ou le cas échéant faire un trou⁷ pour sortir le plongeur en détresse.

3.2.2.1. Méthode dite « de la chèvre »

Cette la méthode est préconisée par l'US Navy⁸

1. Le responsable de l'équipe de sécurité doit rappeler immédiatement tous les autres plongeurs.
2. L'équipe de surface doit estimer l'emplacement probable du plongeur perdu (longueur et direction de la ligne de vie...)
3. Le plongeur de secours nage directement sous la couche de glace dans la direction (D) présumé du plongeur perdu et à une distance (R) double de la distance estimée de la position présumée du plongeur perdu. Si la longueur de la ligne de vie est suffisamment longue, celle-ci viendra nécessairement buter contre le plongeur perdu...
4. En maintenant sa ligne de vie tendue, le plongeur de secours effectue des cercles concentriques en se rapprochant du point de sortie. L'incrément (a) doit être déterminé en fonction de la visibilité : Trop faible, il accroît le temps de la recherche et trop grand le plongeur de secours risque de ne pas voir le plongeur perdu.
5. Lorsque le plongeur perdu est retrouvé, le plongeur de secours le ramène le plus rapidement possible vers le trou de sortie.
6. Si la recherche n'a donné aucun résultat, on recommence l'opération à partir des trous d'urgences, en commençant par le plus probable.



3.2.2.2. Les moyens électroniques

Les moyens électroniques sont des moyens complémentaires, pouvant faciliter la recherche d'un plongeur perdu et notamment pour estimer d'une manière précise sa position. Il existe de deux types : les DVA qui sont à utiliser en surface et les sondeurs à main, du type « Plastimo », qui s'utilisent exclusivement en immersion.

⁷ Le trou triangulaire est le plus rapide à exécuter.

⁸ Cfr. chapitre 11 du manuel de l'US Navy



3.2.2.2.1. Le Détecteur de Victimes d'Avalanches

Un moyen plus technique, quoique peu usité, consiste à tirer parti de la technologie des DVA⁹ (Détecteur de Victimes d'Avalanches). Le signal passe sans problème au travers de la couche de glace. Le plongeur porte sous sa combi étanche un appareil en mode « Emetteur » et l'équipe de surface possède un appareil en mode « Récepteur ». Ce système présente l'avantage de connaître pratiquement en temps réel la position du plongeur en immersion ET de le suivre tout le long de son parcours !



L'appareil émet ou détecte à chaque seconde un signal radio à 457 kHz. Ce signal est spécifique et mondial depuis 1986. Il traverse assez bien les milieux aqueux, mais est d'une portée limitée à environ 80 mètres. Son utilisation demande un peu d'entraînement. Il vaut mieux choisir un appareil simple, mais qui indique la direction et la distance du signal reçu.

3.2.2.2.2. Les sondeurs à main

Le plus connu des « sondeurs à main », pouvant être immergé est le « Plastimo ECHOTEST II », il permet de trouver des objets dans un rayon de 70m. Pour trouver un plongeur perdu sous la glace : il suffit de s'immerger, juste en dessous de la couche de glace, de tourner lentement sur soi même en tenant l'appareil devant soi. L'appareil va indiquer la distance du plongeur, qui se trouve dans le prolongement de l'axe du sondeur. Toutefois, il est à noter que cet appareil ne présente pas une fiabilité absolue dans la recherche d'un plongeur disparu, car il peut tout aussi bien détecter le bord ou un rocher.



3.2.3. Perte du compagnon de plongée.

C'est potentiellement très grave, mais très peu courant si l'utilisation de la dragonne est correcte ! Le plus important est de ne pas céder à la panique ! Si après une minute on ne l'a pas retrouvé, en regardant autour de soi :

1. On marque l'endroit où l'on s'est aperçu de la perte à l'aide d'une broche à glace qui est facilement différentiable des autres (bout de plastique coloré par exemple).
2. On prévient immédiatement les secours pour organiser la recherche, chaque minute compte !
3. On entame une recherche circulaire, au dévidoir, à partir de la broche de repérage.

EN AUCUN CAS ON N'ENTAME DES RECHERCHES SEUL ET JAMAIS ON ABANDONNE LE FIL D'ARIANE SANS UTILISATION D'UN DEVIDOIR.

⁹ Cet appareil est aussi désigné, dans le langage commun, sous le nom d'ARVA qui est une marque déposée.



3.3. Les effets du froid sur l'organisme

Le froid rend manipulations de l'équipement plus difficile, car il réduit : la sensibilité, la dextérité et la force des doigts. La perte de force et de dextérité est de l'ordre de 2 à 4% pour un degré de perte de chaleur au niveau de la main. Sous la glace, il n'est pas exclu de perdre 30 à 50% de sa dextérité et de sa force manuelle. Perte qui peut rendre difficile, voire impossible, la manipulation des inflateurs et des purges. L'inconfort lié aux basses températures réduit également la vigilance mentale. La sensation de froid est provoquée par le flux thermique, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui passe à travers la surface de votre peau pour en sortir. Le flux thermique est fonction de la température mais aussi du vent. Pour quantifier les effets du vent la notion la notion de « Température ressentie » est utilisée par de nombreux services météorologiques.

3.3.1. La température ressentie

La température ressentie (T_R) est une indication de l'impression physiologique de chaud ou de froid ressentie par le corps humain. Elle combine : la température, l'humidité relative et la circulation d'air. Elle se détermine empiriquement en comparant les conditions météorologiques avec la température qu'il faudrait atteindre dans des conditions normale d'humidité et par vent calme de façon que le corps ressentie la même impression. La formule empirique la plus souvent retenue dans les régions tempérées est la suivante :

$$T_R = 13,12 + 0,6215t_c - 11,37V^{0,16} + 0,3965t_cV^{0,16}$$

Avec : T_R = température ressentie en °C
 t_c = température de l'air, mesurée sous abri en °C
 V = vitesse du vent en km/h

De cette relation on peut tirer le tableau suivant :

Vent			Température de l'air sous abri °C													
km/h	m/s	Beaufort	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20
5	1.4	1	5	3	1	-2	-4	-6	-8	-11	-13	-15	-17	-20	-22	-24
10	2.8	2	4	1	-1	-3	-6	-8	-10	-13	-15	-18	-20	-22	-25	-27
15	4.2	3	3	1	-2	-4	-7	-9	-12	-14	-17	-19	-22	-24	-27	-29
20	5.6	4	2	0	-3	-5	-8	-10	-13	-15	-18	-20	-23	-25	-28	-30
25	6.9	4	2	-1	-3	-6	-8	-11	-14	-16	-19	-21	-24	-26	-29	-32
30	8.3	5	1	-1	-4	-6	-9	-12	-14	-17	-20	-22	-25	-27	-30	-33
35	9.7	5	1	-2	-4	-7	-10	-12	-15	-18	-20	-23	-25	-28	-31	-33
40	11.1	6	1	-2	-5	-7	-10	-13	-15	-18	-21	-23	-26	-29	-31	-34
45	12.5	6	0	-2	-5	-8	-10	-13	-16	-19	-21	-24	-27	-29	-32	-35
50	13.9	7	0	-3	-5	-8	-11	-14	-16	-19	-22	-24	-27	-30	-33	-35
			Note 1				Note 2				Note 3					

Note 1 : On ressent de l'inconfort, il faut se vêtir chaudement

Note 2 : Ressenti du froid important, risque de faibles engelures et hypothermie

Note 3 : Risque de fortes engelures et important risque d'hypothermie.



3.3.2. L'hypothermie

On parle d'hypothermie lorsque la température centrale d'une personne ne permet plus d'assurer normalement les fonctions vitales de celle-ci. Cela se produit lorsque la température du corps descend en dessous de 35°C. La chute de température peut être brutale comme lors d'une chute dans l'eau glacée ou bien progressive comme lors d'une longue exposition au froid.

A notre niveau de secourisme, la lutte contre l'hypothermie se fait par un réchauffement passif. La victime est placée dans un milieu chaud¹⁰ et se réchauffe par elle-même. Ne surtout pas donner d'alcool, car celui-ci ne réchauffe pas, c'est même le contraire qui se produit ! L'alcool dilate les vaisseaux sanguins, ce qui accroît les déperditions calorifiques. Il faut déplacer la victime prudemment, sans mouvements brusques, sans réchauffement actif (friction...) car cela active la circulation au niveau de la peau avec pour conséquence un abaissement de la température centrale.

3.3.2.1. Tableau clinique

Temp. centrale	Hypothermie	Symptômes	Conduite à tenir
35 – 34°C	Modérée	Frissons, vasoconstriction, baisse de la tension artérielle, respiration et pouls rapide. <u>La victime est lucide</u>	1. Couvrir la victime. 2. Evacuation vers un local chaud. 3. Boisson tiède 4. Surveiller la température
34 – 32°C	Moyenne		
32 – 30°C	Grave	Troubles de conscience, pupilles contractées, ralentissement du cœur, pas de frisson, chair de poule, respiration lente et pouls est irrégulier, muscles sont contractés. <u>La victime est consciente mais non lucide</u>	1. Alerter les secours. 2. Eviter les manipulations brutales et inutiles 3. Couvrir la victime avec une couverture de survie, vers un local chaud. 4. Si la victime est consciente donner des boissons tièdes (ne pas la frictionner, ni l'exposer à une chaleur trop importante). 5. En cas de refroidissement rapide (par exemple en cas de fuite massive du costume étanche), immerger la victime dans un bain chaud à 40°C. L'échauffement doit être progressif de l'ordre de 0,5°C tous les ¼ d'heure). 6. En cas de refroidissement lent et de longue durée, le réchauffement doit être lent soit de l'ordre de 0,5°C par heure. 7. Surveiller l'évolution de sa température.
30 – 28°C	Majeure	Coma, pupilles dilatées, respiration lente, pouls et respiration très lent et presque imperceptible, hypotension, pas de frisson, bleuissement des lèvres et des bouts de doigts, « état de mort apparente ». <u>La victime est inconsciente</u>	
< 28°C		Risque d'arrêt cardiaque par fibrillation ventriculaire	

3.3.3. Les brûlures froides

3.3.3.1. Contact avec du métal glacé

Le contact à main nue sur le métal gelé, notamment les bouteilles, détendeurs...peut occasionner une désagréable surprise. La peau peut se coller sur la surface gelée et s'arracher ! L'humidité de la peau, va tout simplement geler instantanément, et coller la main sur l'équipement, puis si on tire brutalement la peau va s'arracher. Pour se détacher il suffit de verser un liquide chaud sur la main.

¹⁰ On peut aussi utiliser une couverture de survie. Couverture qui devrait se trouver dans toutes les trousse de secours des moniteurs !



3.3.3.2. Les gelures

Les gelures sont des brûlures liées au froid, elles peuvent être superficielles ou profondes et dans des cas extrêmes¹¹ atteindre les muscles et les os. Elles apparaissent lors d'exposition à une température inférieure zéro degré centigrade et peuvent associée à une hypothermie. Toutes les zones du corps exposés au froid sont concernées par les problèmes de gelures et en particulier, les doigts, les pavillons des oreilles et le bout du nez.

3.3.3.2.1. Les différentes phases d'une gelure.

Phase	Symptômes
Installation	Engourdissement des extrémités, perte de la sensibilité, peau bleuâtre (cyanose)
Réchauffement	Douleurs croissantes, soulèvement de la peau, ampoules, œdèmes
Lésions constituée	Symptômes s'échelonnant sur une période de plusieurs semaines. Perte de sensibilité, nécroses, douleurs importantes

3.3.4. Prévention de l'hypothermie et des brûlures froides

Il convient de prendre très au sérieux les risques d'hypothermie et de gelure. La première des préventions consiste à limiter le plus possible les déperditions de chaleur avant, pendant et après la plongée.

- Avant la plongée, il est possible de devoir patienter quelque temps à l'extérieur pour monter son matériel et préparer le site de plongée... Il convient de se vêtir chaudement avec des habits convenant à la situation météorologique, se couvrir la tête et mettre des gants. Evitez les vêtements et pièces d'équipements trop serrantes (gants, ceintures, manchettes, joint de cou...)
- Durant la plongée, le costume étanche est incontournable, ainsi que des gants étanches. L'isothermie peut être améliorée par injection d'argon dans le costume ou l'utilisation d'un gilet chauffant.
- Limiter le temps de plongée à une trentaine de minutes.
- Après la plongée, il faut se mettre le plus rapidement possible à l'abri dans un endroit chaud, boire une boisson chaude non alcoolisée et ne surtout pas oublier de mettre des gants pour démonter le matériel.

3.3.4.1. Les vêtements, principe des trois couches

Ce ne sont pas les vêtements qui réchauffent le corps, mais la chaleur produite par notre métabolisme. Le vêtement, n'est qu'un accessoire qui emprisonne de l'air et l'empêche de circuler. C'est cet air emprisonné qui donne la partie la plus importante de l'isolation thermique. Il faut à tout prix éviter que la transpiration reste sur la peau, celle-ci est un « gouffre à calories », l'eau étant un très mauvais isolant thermique.

Couche 1	A même la peau	Cette couche de fine épaisseur est destinée à évacuer la transpiration et elle doit pouvoir sécher rapidement. Vêtement technique thermorégulateur (type Outlast)
Couche 2	Intermédiaire	Cette couche de forte épaisseur, emmagasine de l'air et de la chaleur tout en évacuant la sueur.
Couche 3	Extérieure	Couche plus ou moins épaisse imperméable au vent tout en étant si possible « transpirante ».

¹¹ C'est rarement le cas dans notre sport, mais non négligeable parmi les alpinistes !



3.3.4.2 Le confort thermique

La notion de confort thermique¹² et de température de confort est fort suggestive, elle varie d'un individu à un autre. Elle dépend de la taille, du poids, de l'état de santé du plongeur mais aussi du type d'activité exercée et bien sûr du degré de protection thermique. La sensation de froid est propre à chaque individu ! Le degré de protection thermique d'un vêtement est donné en CLO¹³. Cet indice relatif, utilisé par l'industrie du textile, est une image de la résistance thermique. Plus le CLO est élevé, plus le degré de protection thermique est important et plus la température de confort diminue. La température d'équilibre (confort) s'estime à l'aide de la relation empirique suivante :

$$T = 31 - 0,155 W CLO$$

Avec : T = Température de confort en °C

W = Puissance métabolique de (production de chaleur) en W/m² (100 à 180 W/m² en plongée)

CLO = Indice CLO

Globalement pour la plongée sous glace le CLO global (souris + combinaison) ne doit pas être inférieur à deux.

3.3.4.2. Facteurs favorisant l'hypothermie et les gelures.

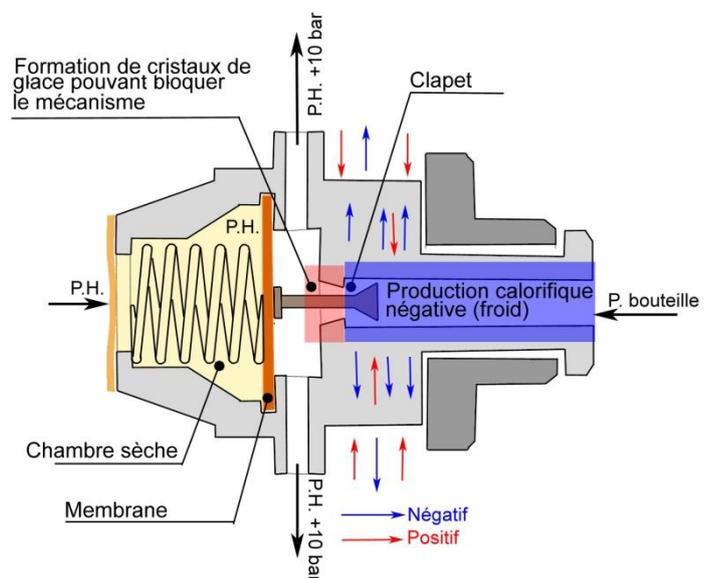
La fatigue, la déshydratation, la faim, la maigreur, l'alcool, le tabac, le cannabis, le stress, les antidépresseurs, les tranquillisants, le vent constituent des facteurs favorisant l'hypothermie et l'apparition des gelures.

3.4. Givrage du détendeur

3.4.1. Mécanisme

Le givrage du détendeur, c'est la lutte ancestrale entre le bien (la chaleur) et le mal (le froid) !

Lorsque le gaz respiratoire sous haute pression se détend, sa température chute entre -30 et -55°C. Cette action calorifique négative doit être compensée par un apport de chaleur venant de l'extérieur. Cet apport calorifique positif¹⁴ ne peut être fourni que par le milieu ambiant, c'est-à-dire l'eau. Lorsque la compensation entre l'action calorifique négative et positive devient insuffisante, des cristaux de glace peuvent se former et bloquer le



¹² Ce chapitre est abordé en détail dans la spécialisation « plonger en costume sec ».

¹³ Un CLO est défini comme étant la quantité de vêtement indispensable, pour assurer l'équilibre thermique d'une personne moyenne, au repos, à la température de 21°C, une humidité relative de 50% et un vent de 0,25m/s.

¹⁴ Par rapport à la température de détente du gaz respiratoire une eau à zéro degré est « chaude » !



mécanisme du détendeur. Le détendeur se met alors en débit constant, ce qui va amplifier son refroidissement. La détente du gaz respiratoire ce fait alors d'une manière ininterrompue et par effet boule de neige, accroît le givrage. Dans l'immense majorité des cas, c'est le 1^{er} étage du détendeur qui givre car la détente des gaz y est la plus importante. Néanmoins le givrage du 2^e étage n'est jamais à exclure, quoique très rare.

3.4.2. Facteurs favorisant les risques de givrage du détendeur

1. Le transfert d'énergie thermique (Il n'y a pas production mais transfert) par conduction grâce au gradient thermique positif, puisse son énergie dans l'eau. Plus l'eau est froide, moins il y a de l'énergie disponible et plus le risque de givrage sera important.
2. Plus le débit du détendeur est important (essoufflement...) plus le risque de givrage sera important car il faudra un transfert calorifique positif plus important pour combattre la production calorifique négative qui sera plus importante.
3. L'humidité relative du gaz respiratoire favorise la formation de givre dans le mécanisme du détendeur, d'où l'importance d'avoir les filtres du compresseur en bon état et de les purger régulièrement.
4. Avoir un détendeur mal entretenu et entartré.
5. Avoir du matériel glacé avant de commencer la plonger ou pire de la neige, de la glace dans ou autour du détendeur.
6. Faire fonctionner le détendeur avant d'être dans l'eau (test, gonflage du gilet...).
7. Avoir un débit ventilatoire important (essoufflement...).
8. Utiliser des bouteilles à 300 bar, plus le facteur de détente est important, plus la température dans le détendeur chute et la compensation thermique extérieure de moins en moins efficace.
9. Utiliser des détendeurs non conçus pour les eaux froides, 1^{er} étage à piston...
10. Utiliser un octopus et respirer à deux sur un seul 1^{er} étage, double le débit du gaz respiratoire et donc accroît sensiblement le risque de givrage.

3.4.3. Facteurs réduisant les risques de givrage du détendeur

1. Le design du détendeur qui, à l'aide d'artifices techniques, permet d'optimiser les échanges thermiques entre la zone de détente et le milieu extérieur ; d'éviter la formation de glace sur la face extérieure de la membrane (chambre sèche) ; de réduire l'accrochage des cristaux de glace au niveau du clapet (revêtement isolant des pièces sensibles ; pièces sensibles placée à l'opposé de la source de froid ; absence d'angles vifs ; ailettes de réchauffage¹⁵...). Ces détendeurs sont nommés « Antigivre » ou « Détendeur eau froide ». Mais il n'y a pas de miracle, ces « artifices » ne sont pas des garanties absolues que le détendeur ne va pas « partir en débit constant » !
2. Choisir un 1^{er} étage à membrane et un 2^e étage métallique pour favoriser les échanges thermiques vers l'extérieur.
3. Un entretien régulier avec un réglage légèrement dur.
4. Utiliser un gaz respiratoire sec et de préférence du Nitrox.
5. Maintenir le matériel le plus longtemps possible au chaud.

¹⁵ Elles font office d'échangeur thermique, l'eau étant plus chaude que l'intérieur du détendeur



6. Ne pas utiliser le détendeur avant d'être dans l'eau.
7. Utiliser les inflateurs (gilets, costumes étanches) avec parcimonie et par petites inflations. Pour l'étanche, utiliser de préférence une bouteille séparée gonflée à l'argon. Si ce n'est pas possible, monter l'inflateur du gilet et l'inflateur du costume étanche sur des détendeurs séparés.
8. Limiter ses efforts en plongée, afin de réduire le débit ventilatoire.
9. Sous gonfler la bouteille (150 bar), de manière à diminuer le ratio de détente et donc la production de froid.
10. Plonger au Nitrox, car plus sec que l'air.

3.4.4. Conduite à tenir en cas de givrage du détendeur.

Il est impossible de respirer dans une eau glacée sur un détendeur en débit constant sans se faire des brûlures froides au niveau des lèvres !

En cas de givrage et de débit constant du détendeur durant la plongée, la conduite à tenir doit être débattue lors du « What-if ». Les mesures à prendre seront en grande partie conditionnées par le degré d'engagement sous la glace ainsi que l'équipement mis en œuvre. Un débit constant, peut vider la bouteille en quelques minutes, en tout état de cause : il convient d'agir rapidement, sans précipitation ni panique.

1. Prévenir le buddy et/ou la sécurité de surface.
2. Passer sur son détendeur de secours, il est tout à fait inconcevable de faire une plongée dans une eau froide, sans avoir deux détendeurs séparés (pas d'octopus).
3. Bloquer, le plus rapidement possible, le débit du détendeur en givrage. Ce qui peut se faire de plusieurs manières en fonction de l'équipement :
 - a. Fermer le robinet de la bouteille. Cette opération peut s'avérer difficile seul à cause de la raideur des combinaisons étanches et des gants. Il est préférable que le détendeur principal soit équipé d'une « flow stop valve ».
 - b. Si le détendeur est équipé d'une « flow stop valve », il suffit de mettre celle-ci en position « off » pour stopper net le débit constant.
4. Terminer la plongée le plus rapidement possible.



3.5. Gonflage intempestif de la combi, du gilet ou perte du lestage

La perte du lestage, le gonflage intempestif du gilet ou de la combinaison peuvent propulser brutalement le plongeur contre la glace, l'assommer et lui occasionner un traumatisme crânien. Puis la perte de conscience risque de provoquer la noyade. Pour se prémunir de ce type d'accident, il est préférable :

- D'utiliser un harnais comportant le lestage, plutôt que la classique « ceinture de plomb » ;
- De porter un casque à la mode « spéléo ».

3.6. Emmêlement dans un fil d'Ariane

TOUT INCIDENT SUR LE FIL D'ARIANE, MÊME RÉSOLU, NÉCESSITE LE RETOUR IMMÉDIAT VERS LA SORTIE !
ON NE COUPE JAMAIS UN FIL D'ARIANE SANS AVOIR FAIT AU PRÉALABLE UNE DÉRIVATION.



L’emmêlement dans de le fil d’Ariane est un problème majeur, pouvant conduire vers une issue dramatique, heureusement ce n’est pas fréquent ! Généralement c’est une palme qui est accrochée. Dans la plupart des cas on parvient à se dégager SANS devoir couper le fil d’Ariane.

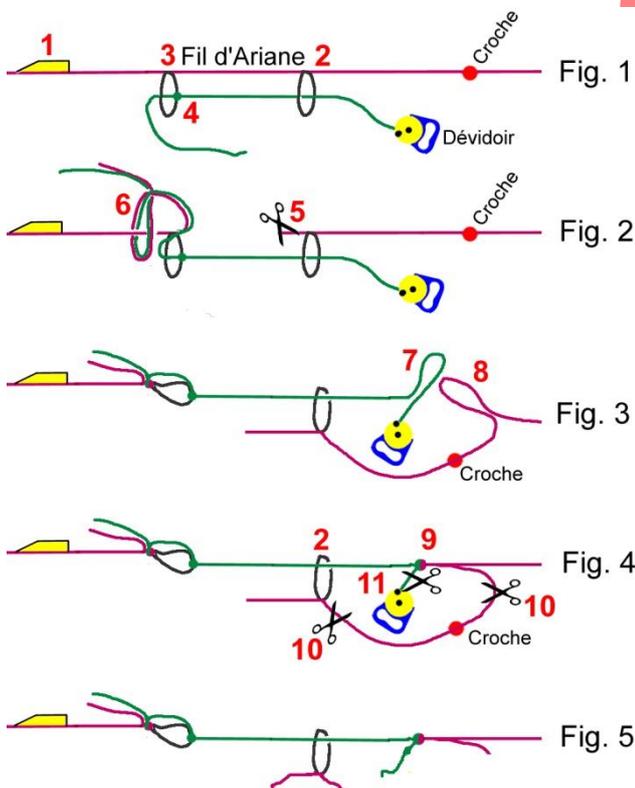
1. Ne pas s’agiter et maîtriser sa respiration pour éviter l’essoufflement et le stress.
2. Tenter de prévenir le compagnon de plongée en agitant sa lampe, en frappant un objet contre sa bouteille ou en utilisant les signaux de corde.
3. Analyser la situation et voir où est la croche, c’est souvent au niveau de la palme.
4. Tenter de se décrocher sans tirer sur le fil d’Ariane.
5. En cas d’échec :
 - a. Installer une dérivation (cfr 3.6.1).
 - b. Couper la partie du fil d’Ariane emmêlée (cfr 3.6.1.).
 - c. Rejoindre immédiatement le trou de sortie.

3.6.1 Dégagement du fil d’Ariane

Avant de couper le fil d’Ariane, il est indispensable de mettre en place une dérivation (shunt). Le fil d’Ariane étant légèrement tendu, si on le coupe sans précaution : il va se comporter comme un élastique. Lors de la coupure, il va se détendre, les bouts vont filer et flotter « je ne sais où ». Ce qui représente un danger mortel pour le plongeur emmêlé et pour ceux qui le suivent. La dérivation sert donc à :

- Ne pas perdre le fil d’Ariane.
- Maintenir la tension du fil d’Ariane.
- Restituer l’intégrité et la tension du fil d’Ariane, après coupure.

3.6.1.1. Préparation de la dérivation (Figure 1.)



1. Marquer (1) le sens de la sortie : le stress peut très bien faire oublier le sens de la sortie.

2. Préparer le dévidoir secondaire et les cisailles. Pour éviter de perdre le dévidoir, ce qui serait dramatique, il faut le maintenir accroché au poignet à l’aide d’une dragonne.

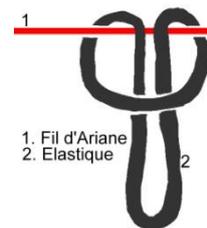
3. Installer, devant soi sur le fil d’Ariane, deux élastiques (2) (3) liés par des nœuds en « tête d’alouette ».

4. Tirer fermement sur les élastiques de manière qu’ils ne puissent pas coulisser.

5. Faire passer le fil du dévidoir à travers les élastiques en commençant par l’élastique (2) qui est le plus vers soi.

6. Assurer le fil du dévidoir avec un nœud (4) sur l’élastique (3) le plus éloigné de soi.

La préparation de la dérivation est ainsi terminée. On peut couper le fil d’Ariane sans risquer de le voir disparaître, la tension étant maintenue par le fil du dévidoir.



1. Fil d’Ariane
2. Elastique



3.6.1.2. Mise en place de la dérivation (Figure 2 et figure 3.)

7. Couper le fil d'Ariane (5) entre les deux élastiques.
 8. Faire un nœud (6) avec le fil du dévidoir et le bout du fil que l'on vient de couper.
 9. Saisir le fil d'Ariane à l'arrière de la croche (8) et faire une boucle
 10. Faire une boucle avec le fil du dévidoir (7).
 11. Nouer (9 fig. 4) les deux boucles en maintenant la tension du fil d'Ariane.
- La dérivation est en place, on peut maintenant couper le fil sans risque.

3.6.1.3. Dégagement du fil d'Ariane (Figure 4 et figure 5)

12. Couper le fil de croche (10) en prenant garde de ne pas couper accidentellement le fil d'Ariane.
 13. Récupérer le dévidoir en coupant son fil (11).
 14. Ne pas laisser trainer le fil de croche.
 15. Aller vers le trou de sortie en suivant le sens de la marque (1)
- La figure 5 représente le fil d'Ariane après dégagement.



4. NOTIONS DE « WHAT-IF » ET PRINCIPES DE REDONDANCE

4.1. Notion de « What-if »

Littéralement : Que faire au cas où ! Cette philosophie des plongeurs « Tek » est très facile à comprendre, moins facile à mettre en œuvre. Il s'agit de dresser une liste, non exhaustive, de tous les problèmes matériels ou non que l'on puisse rencontrer en plongée. On ne plonge que si tous les points ont reçu une réponse satisfaisante. L'aide obligatoire de la part du buddy pour résoudre un problème de la liste n'est pas considérée comme une option valable et doit être rejetée. C'est cette liste qui va permettre de mettre en place un système de redondance.

Exemple exhaustif dans le cas de plongée ER

- Que faire si je me perds sous la glace ?
- Que faire en cas d'emmêlement dans le fil du dévidoir ?
- Puis-je atteindre tous mon matériel en aveugle ?
- Que faire si je perds le fil d'Ariane ?

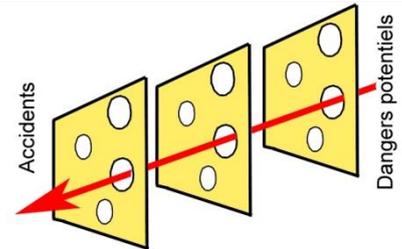
4.2. Les redondances

4.2.1. La philosophie de la « tranche d'emmental ».

Pour passer d'un « danger » à un « accident » il faut passer au travers d'une série de barrière de sécurité. James T. Reason de l'université de Manchester compare ses barrières à des tranches d'emmental « swiss cheese model ».

Pour limiter les risques il est nécessaire :

- D'avoir un nombre de trous réduits et donc, peu de possibilité de panne ;
- Que la taille des trous soit la plus réduite possible et donc d'avoir une bonne fiabilité ;
- Que les trous ne soient pas alignés, c'est-à-dire que la faillite d'un système ne peut pas engendrer la faillite dans le système suivant ;
- Avoir un nombre de tranches suffisant, c'est-à-dire diminuer la probabilité d'un alignement des trous. C'est le principe fondamental de la redondance.



4.2.2. La redondance

La redondance consiste à disposer plusieurs exemplaires d'équipements ayant les mêmes fonctions de base. Les solutions peuvent être mécaniques et/ou électronique. Ce système permet de réduire les risques induits par une panne mais aussi d'augmenter les performances de l'outil ou combiner les deux effets. La redondance peut être symétrique, asymétrique, évolutive ou modulaire.

- La redondance symétrique est réalisée à l'aide de deux systèmes ayant des fonctions identiques strictement opposées dans l'espace.
- La redondance asymétrique permet de basculer d'un type d'équipement vers un autre.
- La redondance évolutive consiste en cas de panne d'isoler le mécanisme défaillant pour utiliser une autre partie du système.
- La redondance modulaire consiste à dévier une panne d'un équipement vers un autre (free flow control device).



La redondance en plongée sous glace, comparable à la plongée souterraine, est constituée par le doublement symétrique du matériel ou des dispositifs sensibles (machines, appareils, instruments...) pour une même fonction vitale. De sorte qu'en cas de défaillance de l'un ou de plusieurs appareils, la fonction vitale puisse être assurée. Avec plusieurs appareils pour une fonction, la probabilité de défaillance simultanée sera bien inférieure à celle d'une seule machine. La probabilité de survenance d'un événement est convertie en degré de confiance ou de criticité.

4.2.2.1. Le défaut de mode commun.

Le défaut de mode commun consiste à risquer de perdre plusieurs systèmes redondants à cause d'une et une seule cause extérieure, on peut citer les exemples suivants :

- Pas de vanne manifold sur une bi-bouteille. Un défaut qui survient sur une des bouteilles risque de vider les deux bouteilles.
- Utilisation de deux ordinateurs identiques : Un bug au niveau du logiciel fait perdre la fiabilité de l'ensemble du système.



5. EQUIPEMENTS SPECIFIQUES POUR LA PLONGEE SOUS LA GLACE

5.1. L'équipement collectif.

5.1.1. Tarière à glace

Les tarières sont des outils à vis qui permettent de faire des trous circulaires. Elles peuvent être manuelles ou avec une motorisation thermique. Les tarières à utiliser doivent être adaptées à la glace. C'est l'outil idéal pour mesurer l'épaisseur et en apprécier la consistance.



5.1.2. Scie à chaîne ou tronçonneuse

C'est l'outil idéal pour faire les trous dans la glace. Pour éviter la pollution, il ne faut pas mettre de l'huile à chaîne, mais de l'huile végétale biodégradable (huile de cuisine).

5.1.3. Broches à glace

Les broches à glace permettent d'ancrer d'une manière sûre les lignes de vie et les fils d'Ariane. Elles se vissent simplement dans la glace et sont composées d'un trépan qui permet de « forer » la glace ; d'un tube avec un pas de vis qui visse la broche dans la glace ; d'une manivelle qui permet la mise en place sans outil et d'une patte avec œillet pour accrocher les mousquetons. En fonction du diamètre, de la longueur et de la qualité de la glace ; les broches tubulaires modernes peuvent soutenir des poids de 1 à 2,5 tonnes. Pour ancrer une ligne de vie, on choisira plutôt une broche ayant un gros diamètre et une longueur importante pour mieux résister à une traction éventuelle sur la ligne. Pour sécuriser un fil d'Ariane, ne présentant que des faibles tractions, on peut choisir des broches plus fines et moins longues. Il ne faut pas perdre de vue qu'une broche avec un gros diamètre, demande plus d'efforts pour la mettre en place.



5.1.4. Ligne de vie

La ligne de vie, comme son nom l'indique, est un élément primordial dans la sécurité du plongeur sous la glace. Elle permet d'éviter au plongeur de se perdre sous la glace et de le ramener en cas d'urgence. En outre, elle permet aussi une forme de communication avec la surface à l'aide de tractions établies suivant un code. Sa longueur ne doit pas dépasser une quinzaine de mètres, pour éviter que le plongeur ne doive fournir des efforts trop importants pour la tirer. Elle doit être fixée à une extrémité à la surface de la glace et à l'autre extrémité au plongeur par 2 points d'attaches.

Les principales caractéristiques d'une bonne ligne de vie sont :

- Couleur : orange, rouge ou jaune fluo pour une bonne visibilité sous la glace. Le blanc est totalement à proscrire ;
- Diamètre : de l'ordre de 8 à 10mm pour permettre une manipulation aisée avec les gants, sans avoir un handicap de poids ;
- Matière : de préférence polypropylène. La légère flottabilité permet :
 - De réduire l'effort de traction que doit exercer le plongeur ;
 - De ne pas avoir une tendance à tirer le plongeur vers le bas



- D'avoir la ligne de vie directement sous la couche de glace, ce permet à l'équipe de sécurité de suivre sa direction en surface ; du moins si la glace est transparente, pas trop épaisse et pas recouverte de neige !

5.1.5. Piquets et bandes de signalisation

Des piquets et du ruban de signalisation de chantier permettent de sécuriser la zone de plongée.

1. Durant la plongée pour éviter que les curieux ne s'approchent de trop près aux risques de tomber dans le trou, de déranger l'équipe de sécurité surface ou de fendiller la glace par concentration des masses près du trou.
2. Pour signaler la présence du trou après la plongée.

5.1.6. Echelles

A moins que la remontée naturelle du fond permette un bon appui, s'extraire du trou sans échelle s'apparente à un « travail de galérien » ! L'échelle est donc un élément tout à fait indispensable ! De prime abord, par la facilité d'ancrage, le faible poids et encombrement l'échelle « spéléo » semble bien répondre aux besoins...mais, même si elle est lestée à sa partie inférieure, il n'est pas évident d'y grimper avec notre équipement. L'échelle pliable rigide convient mieux. On la plie à 90°, un élément est ancré sur la glace et l'autre est dans l'eau. Il faut que l'échelle descende d'au moins 1,5m dans l'eau pour être pleinement efficace.

5.1.7. Palettes

Pour éviter que les abords du trou ne soient glissants, il faut y disposer quelques palettes en bois ou éventuellement des planches de 2m de long et 40 cm de large.

5.1.8. Tentes et abris

Par des températures très basses et/ou des vents forts il peut s'avérer utile de disposer en PLUS d'un abri chauffé sur le bord, d'une tente montée au-dessus du trou. Cette tente permettra, non seulement un meilleur confort pour les plongeurs, mais aussi et surtout un meilleur confort pour les équipes de sécurité en surface.

5.1.9. Les dragonnes

La dragonne (Jon Line) est un bout d'un diamètre de 6 à 8mm et d'une longueur de l'ordre de 2m. Elle permet de relier les plongeurs entre eux ou de relier le plongeur à une corde flottante servant de guide. La dragonne doit être fixée¹⁶ avec les mousquetons aux harnais des plongeurs, pour éviter tous risques de décrochage.

Elle est munie de :

1. Aux extrémités de mousquetons de sécurité type pompier.
2. Au centre du bout d'un flotteur au milieu, pour minimiser les risques d'accrochage.

5.1.10. Equipements divers

- Le cas échéant : compresseur et groupe électrogène
- Chauffe-veste
- Vêtements de réserve
- Couvertures de survie

¹⁶ Contrairement à la Zélande, où elle est fixée aux poignets pour permettre un décrochage facile.



- Boissons chaudes
- Bouteilles de réserve
- Lampes à éclats
- Cyalume

5.2. L'équipement individuel.

UNE RÈGLE GÉNÉRALE : IL FAUT QUE L'ENSEMBLE DU MATÉRIEL DE PLONGÉE INDIVIDUEL SOIT FACILEMENT MANIPULABLE SEUL ET AVEC DES GANTS ÉTANCHES.

5.2.1. Les bouteilles

Quel que soit le degré d'engagement sous la glace, la bouteille de plongée doit posséder deux sorties distinctes, les doubleurs de sortie ne sont pas suffisamment fiables pour s'engager dans une plongée sous plafond. Pour des plongées peu engagées sous la glace c'est-à-dire une dizaine de mètres, il est possible de se contenter d'une mono bouteille. Pour des engagements plus conséquents, le bi-bouteille avec manifold d'isolation entre les bouteilles est un impératif. Il est possible de choisir en fonction de ses propres desideratas de plonger manifold ouvert ou fermé. Chacune des méthodes présentant des avantages et des inconvénients. Il faut veiller à ce que la vanne de manifold soit correctement orientée pour pouvoir la fermer seul. Il ne faut donc PAS, qu'elle soit orientée vers l'arrière de la bouteille, comme on le voit trop souvent ! Le portage latéral des bouteilles (Sidemount), présente l'avantage de pouvoir manipuler très facilement les robinets, mais oblige d'alterner les détendeurs régulièrement.

Manifold	Avantages	Inconvénients
Ouvert	<ul style="list-style-type: none">• Pas d'obligation d'alterner les détendeurs.• Un seul manomètre est suffisant.	<ul style="list-style-type: none">• Défaut de redondance en mode commun.• Risque de perte totale du gaz en cas d'incapacité à fermer le(s) robinet(s)• Difficulté potentielle pour fermer le(s) robinet(s) et notamment le robinet de manifold (raideur des combis, gants étanches..)
Fermé	<ul style="list-style-type: none">• Pas de défaut de redondance en mode commun.• Aucun risque d'une perte totale du gaz	<ul style="list-style-type: none">• Obligation d'alterner les détendeurs régulièrement.• Obligation d'avoir deux manomètres



5.2.2. Les détendeurs

Les détendeurs complets doivent être au nombre de deux avec une connexion DIN. A cause du risque de givrage, il est aberrant (et dangereux sinon suicidaire !) d'utiliser un octopus pour une plongée dans des eaux froides ! La connexion DIN assure une meilleure tenue et une meilleure fiabilité des joints par rapport à l'étrier. Il faut privilégier les détendeurs conçus pour les eaux froides ayant un premier étage à membrane avec chambre sèche et un deuxième étage compensé avec radiateur, réglage du Venturi et de la tension du ressort (molette de dureté). La configuration la mieux adaptée à la plongée sous glace, est une configuration inspirée des principes « Hogarthiens¹⁷ ».



Détendeur	Configuration
A gauche Détendeur de réserve	<ul style="list-style-type: none"> • Inflateur pour le gilet • Manomètre • Second étage avec élastique « tour du cou »
A droite Détendeur principal	<ul style="list-style-type: none"> • Inflateur pour le costume étanche • Manomètre uniquement si la plongée se fait « Manifold » fermé • Long hose • Free flow control device (option) monté sur le deuxième étage • Soupape de surpression montée sur la MP du 1er étage, uniquement s'il y a un « free flow control device ».

5.2.3. Le gilet

Pas de règle particulière pour le gilet en dehors du fait que si la progression se fait avec une ligne de vie, il doit posséder des « D-rings » pour la fixation de la ligne de vie. De même, les sangles doivent être suffisamment solides que pour pouvoir ramener un plongeur en difficulté en tirant sur la ligne de vie. Pour ces raisons, il est préférable d'utiliser une wing avec plaque et harnais.

5.2.4. Le lestage

Un des dangers de la plongée sous voûte, c'est la perte du lestage. Pour éviter ce problème la meilleure solution consiste à remplacer la classique ceinture à largage rapide par un harnais à trois points de fermeture. Avec ce système, on conserve une bonne facilité pour enlever le lestage dans l'eau, tout en rendant impossible le largage accidentel.

5.2.5. Les protections thermiques

La plongée sous glace se pratique dans une eau dont la température varie entre -2°C pour l'eau de mer et 0°C pour l'eau douce. De plus les déperditions calorifiques dans l'eau sont une trentaine fois supérieures à celle de l'air pour une température identique. Il va sans dire que les protections thermiques doivent être choisies avec le plus grand soin ! Il n'est plus question de plongée avec un « costume humide », le costume étanche est un impératif.

¹⁷ William "Bill" Hogarth Main: plongeur souterrain américain

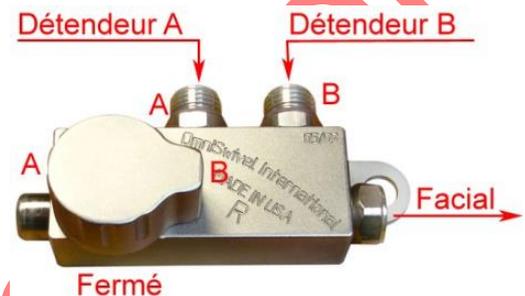


L'indice CLO ne devra jamais être inférieur à deux ou trois pour l'eau de mer. Le refroidissement des doigts est un sérieux handicap s'il faut se dépêtrer d'un emmêlement dans le fil d'Ariane. De ce fait, malgré une plus grande rigidité, il vaut mieux utiliser des gants étanches.

Les nouvelles technologies permettent d'augmenter considérablement le confort thermique soit à l'aide de « tissus intelligents », qui ont la particularité d'emmagasiner la chaleur et de la restituer au besoin, soit à l'aide d'un gilet chauffant électrique. Une autre manière d'améliorer le confort thermique est d'utiliser un recycleur fermé ou semi-fermé. En effet les réactions chimiques d'élimination du CO₂ sont exothermiques, ce qui réchauffe le mélange respiratoire, réduit les pertes thermiques et élimine le risque de débit constant.

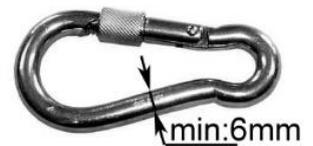
5.2.6. Le masque facial

Le masque facial possède l'avantage d'assurer un très bon confort thermique au niveau du visage, pour cette raison de nombreux plongeurs d'eau froide l'ont adopté. Des problèmes peuvent survenir en cas de givrage du 1^{er} étage du détendeur. Enlever le facial, prendre le détendeur de secours et mettre le masque de réserve est extrêmement délicat dans de l'eau glacée. Le choc thermique est tel, qu'on a l'impression de prendre un coup de « poing dans la figure ». La solution à ce problème consiste à utiliser une vanne trois voies (Dual Tank Valve ou Gas Switch Block) qui permet d'utiliser, alternativement, deux 1^{er} étages sur un masque facial. Ce qui revient à créer deux circuits de gaz respiratoire.



5.2.7. Les mousquetons

Pour éviter l'ouverture accidentelle du mousqueton qui attache la ligne de vie au plongeur, il convient d'utiliser des mousquetons de sécurité à vis type « pompier ». Même pour de l'eau douce ceux-ci seront en acier inoxydable et d'une section minimum de 6mm.



5.2.8. Les casques

En plongée sous voûte, les chocs sur la tête peuvent avoir des conséquences dramatiques, le port d'un casque est fortement conseillé. La solution la plus rationnelle et la moins coûteuse est d'adapter un casque de monteur en charpente. Ce type de casque présente l'avantage de ne pas avoir de visière et un système de jugulaire¹⁸ qui maintient très bien le casque en place, contrairement à certains casques de chantier classique. Le casque peut aussi servir à porter divers éclairages. Pour évacuer l'air, susceptible de s'infiltrer sous le casque, il faut percer un trou au sommet de celui-ci.

5.2.9. Le fil d'Ariane et les dévidoirs

Le « fil d'Ariane »¹⁹ est un élément strictement indispensable pour la plongée sous glace. La survie du plongeur dépend de cet équipement. Un fil de 2 à 3 mm a une résistance à la traction largement suffisante, l'élément important c'est la résistance à l'abrasion ! On choisira la matière du fil en fonction de ce critère : le Nylon convient parfaitement à cet usage. Un diamètre de fil important rend l'emmêlement plus difficile, néanmoins, il convient

¹⁸ La jugulaire montagnarde possède 4 points de fixations.

¹⁹ Dans la mythologie grecque Ariane, fille du roi Minos, donna à Thésée une bobine de fil pour retrouver la sortie du labyrinthe après avoir tué le minotaure.



de ne pas dépasser 6mm. On le choisira d'une couleur rouge ou orange, **le blanc ne se voit pas sous la glace**. Etant donnée le temps limité sous la glace un fil de 40m suffit amplement.

La première qualité d'un dévidoir est sa simplicité ! Un bon dévidoir doit avoir les caractéristiques suivantes :

1. Il doit avoir une bonne prise en main et être ergonomique.
2. Il doit être facilement manipulable avec des gants étanches.
3. Son fonctionnement doit être très simple, le plus simple possible.
4. Il doit être facile à dérouler et facile à rembobiner.
5. Ne présenter qu'un seul blocage avec un frein pouvant être débloqué avec un simple mouvement du pouce.
6. Sa conception doit pouvoir éviter les emmêlements, les bourrages, les blocages intempestifs.
7. Ne pas être fragile.
8. Avoir une dragonne solide, afin de ne pas le perdre.

Quelques règles pour placer le fil sur le dévidoir.

1. Examiner l'intégrité du fil avant de l'enrouler sur le dévidoir.
2. Mouiller le fil avant de l'enrouler, pour éviter les tensions. La plupart des matériaux utilisés pour les fils gonflent au contact de l'eau.
3. Ne pas oublier de fixer le fil à l'axe du dévidoir.
4. Pour éviter les « pelotes » au rembobinage, ne jamais remplir le dévidoir complètement. Il convient de laisser 25 à 30% d'espace sans fil.

5.2.10. Les outils coupants

Lorsqu'on utilise des dévidoirs, il est indispensable de disposer de plusieurs outils coupants tels que cisaille, ciseau... pour pouvoir se dégager d'un emmêlement. Ils doivent être placés à des endroits facilement accessibles de la main droite comme de la main gauche. Les couteaux de plongée ont la particularité de très mal couper. Ils sont particulièrement inefficaces pour trancher des cordes. Ils peuvent être remplacés à peu de frais par un simple couteau à steak...qui eux coupent ! Il ne faut JAMAIS placer les outils tranchants sur la cheville, ils y sont difficiles à prendre et constituent de véritables « pièges à fil ».

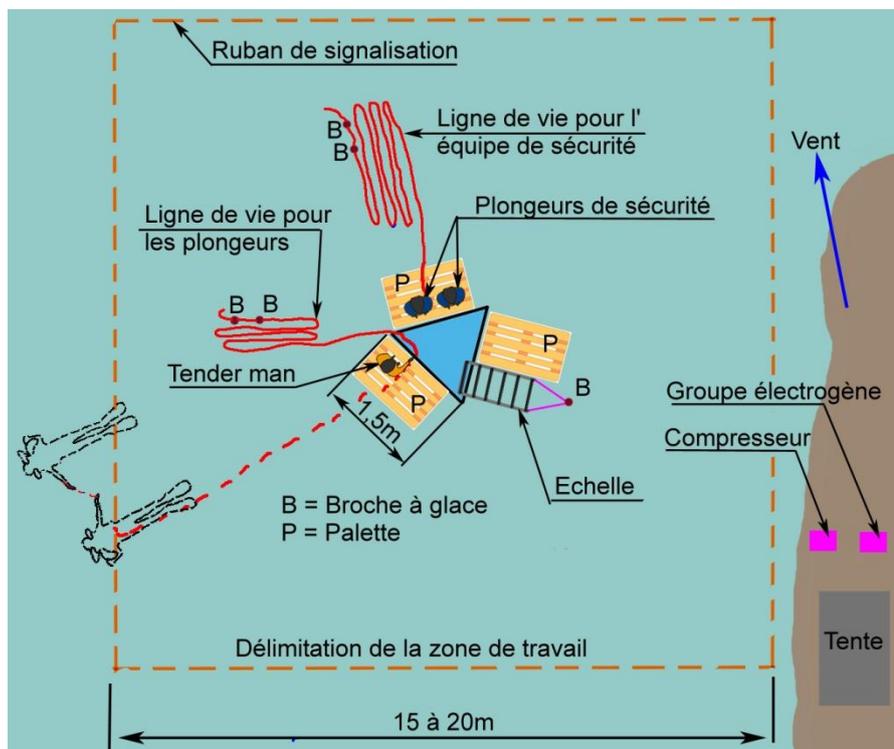
5.2.11. Matériel divers

Chaque plongeur pourra emporter :

- Quelques gros élastiques découpés dans des chambres à air de voiture pour arrimer le fil d'Ariane.
- Un dévidoir de secours.
- Une broche à glace bien identifiable, pouvant servir de repère.



6. PREPARATION ET AMENAGEMENT DE LA ZONE DE PLONGEE.



Une bonne préparation de la zone de plongée est indispensable, non seulement pour assurer le confort, mais aussi et surtout pour la sécurité des participants et des éventuels « curieux ».

1. Avant toutes choses, il convient d'installer ce que j'appelle « le camp de base ». Il s'agit dans la plupart des cas d'une tente, à monter le plus près possible de la zone de plongée. Cette tente, de préférence chauffée sera suffisamment spacieuse pour accueillir tous les participants ainsi que le matériel de plongée. Elle va permettre aux plongeurs de s'équiper et de se déséquiper sans se refroidir,

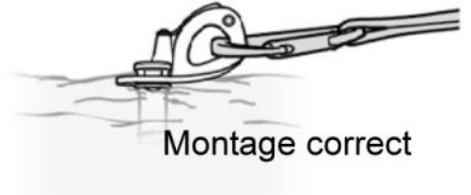
puis prendre une boisson chaude confortablement. En aucun cas on ne peut faire tourner sous la tente des équipements à moteur thermique (compresseur, groupe électrogène...). Ils doivent être placés à l'extérieur de manière que le vent ne pousse pas les gaz d'échappement vers la tente.

2. Il faut s'assurer que sur la zone de plongée choisie, l'épaisseur et la qualité de glace soit suffisante pour supporter les activités de plongée. Un plongeur équipé de sa combinaison et relié à la berge par une ligne de vie sera chargé d'effectuer le carottage. Le « Tender man » veillera à la sécurité de la personne chargée du carottage, et pourra le tirer sur le bord au moindre signe de rupture de la glace.
3. Le cas échéant, déblayer la neige.
4. Délimiter la zone de travail avec du ruban de signalisation pour éviter les accidents avec les curieux.
5. A partir du carottage, on peut creuser le trou principal. Le plus facile est de faire un trou triangulaire ou carré dont les côtés font de l'ordre de 1,5m. En fonction du type et du degré d'engagement sous la glace il faudra creuser un ou plusieurs trous secondaires. Le plus facile est d'utiliser une scie à chaîne. Dans la mesure du possible, il faut glisser le bouchon ainsi découpé sous la couche de glace, de manière à pouvoir le remettre en place après la plongée. Si on utilise une scie à chaîne, pour éviter la pollution, il convient de lubrifier la chaîne avec de l'huile végétale et PAS de l'huile minérale pour chaîne. Après le travail, pour éviter que la chaîne rouille il faut éliminer les trace de glace et d'eau en faisant tourner la chaîne quelques minutes.
6. Pour éviter les chutes accidentelles dans l'eau, chaque trou doit être entouré d'un ruban de signalisation.
7. Equiper le trou principal en plaçant palettes, échelle, pendeur avec lampe à éclats...

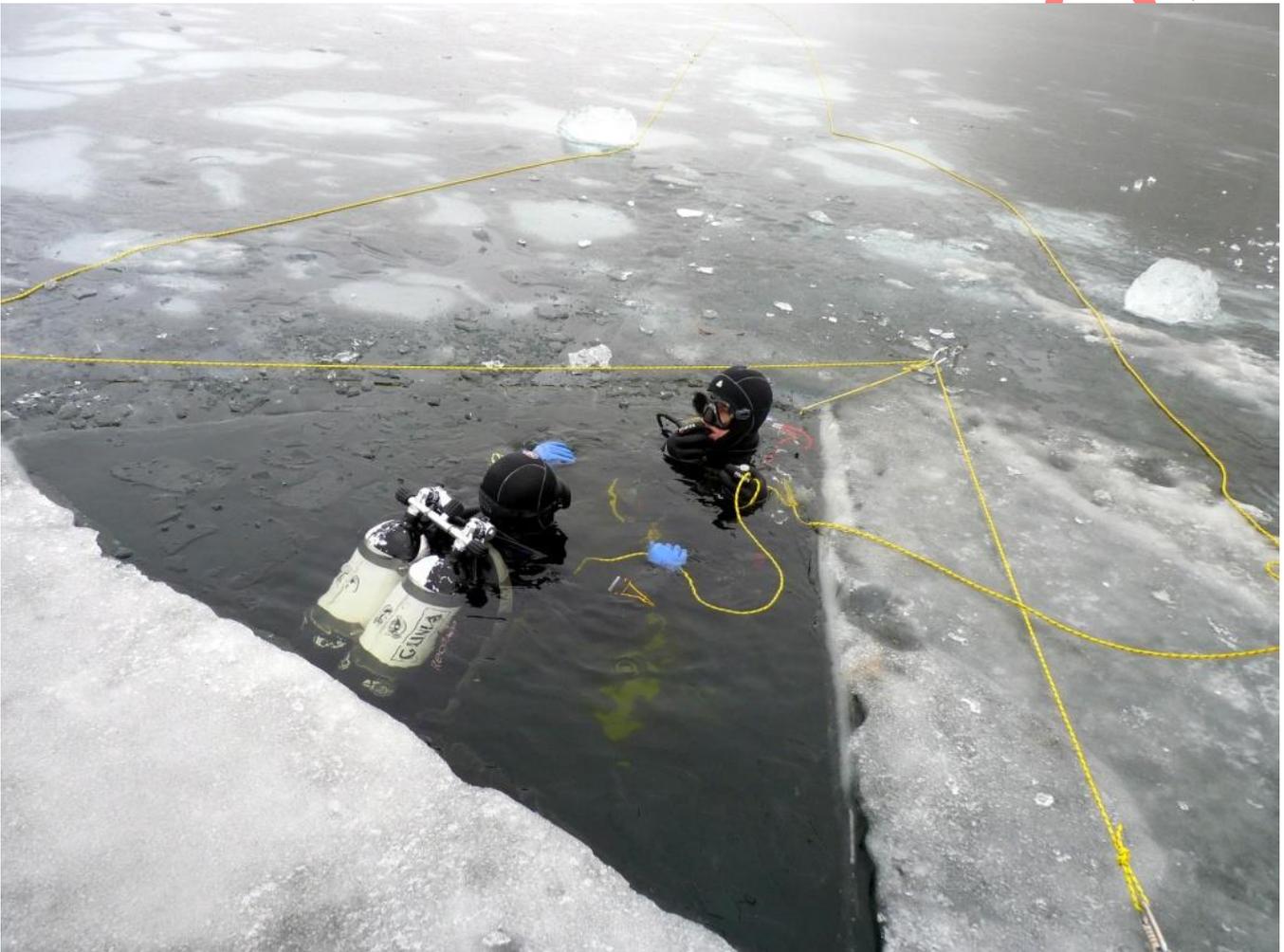


La plongée sous glace

8. Fixer les lignes de vie à l'aide de broches à glace. Par sécurité, il faut deux broches par ligne de vie. Pour une bonne tenue :
 - a. La broche ne peut pas passer au travers de la couche de glace. Il faut choisir la bonne longueur de broche.
 - b. La ligne de vie doit être fixée au ras de la glace, sans porte à faux.



Berduchwal © Licence CC-BY (Flickr)





6.1. De quelle forme et de quelle dimension doit être le trou ?

Le trou doit avoir au minimum 1,5m de côté (ou de diamètre) et ne pas dépasser 4m²⁰. La forme des trous est généralement circulaire, rectangulaire ou triangulaire. Ces différentes formes présentent les avantages et inconvénients suivants :

Forme	Avantages	Inconvénients
Circulaire	<ul style="list-style-type: none">• La forme la moins dommageable pour la résistance de la glace.	<ul style="list-style-type: none">• Difficile à faire avec une scie à chaîne• Remontée sans échelle plus difficile qu'avec un trou carré ou triangulaire.
Rectangulaire	<ul style="list-style-type: none">• Forme moins dommageable qu'un trou triangulaire.• Facile à faire avec une scie à chaîne.• Remontée sans échelle plus facile qu'avec un trou circulaire, mais moins qu'avec un trou triangulaire.	<ul style="list-style-type: none">• Plus long à creuser qu'un trou triangulaire de taille similaire.• Forme plus dommageable pour la résistance de la glace qu'un trou circulaire.
Triangulaire	<ul style="list-style-type: none">• Remontée sans échelle plus facile qu'avec un trou circulaire ou rectangulaire• Facile et rapide à creuser avec une scie à chaîne.• Plus d'espace pour l'équipe de sécurité (important dans le cas où un plongeur ne peut pas sortir par ses propres moyens).• Idéal comme trou de secours pour sortir un plongeur perdu en urgence !	<ul style="list-style-type: none">• Forme la plus dommageable pour la résistance de la glace.

²⁰ Le code des parcs du Canada interdit les trous de plus de 4m de diamètre.



7. BRIEFING ET LE ROLE DES PARTICIPANTS

En dehors des points classiques d'un briefing, il faut particulièrement mettre l'accent sur les points suivants :

1. Limitation de la durée de la plongée, de l'ordre de la ½ heure.
2. Rappel des préventions de l'hypothermie.
3. Explication sur la technique d'engagement suivie pour effectuer la plongée.
4. Connaissance des signaux à l'aide de la ligne de vie et/ou la dragonne.
5. Procédure de perte sous la glace.
6. Procédure de recherche d'un plongeur perdu.

7.1. Rôle respectifs des participants

7.1.1. Rôle du « directeur de plongée »

Le « directeur de plongée²¹ » ou responsable de l'organisation est avant tout de d'organiser la plongée et de la superviser ! C'est aussi l'interlocuteur privilégié avec les autorités en cas d'accident. C'est lui qui doit organiser techniquement la plongée, définir la méthode d'engagement, désigner l'équipe de sécurité (Plongeurs de secours, Tender Man), établir les fiches de sécurité ainsi que la liste des palanquées, veiller à l'application des règles et procédure, déclencher les secours. Il aura aussi la charge de faire le briefing, de vérifier personnellement la qualité du matériel utilisé et plus spécifiquement le matériel commun (cordes, broches, harnais...) et d'assurer le suivi des palanquées.

Si une plongée de reconnaissance doit être faite, ou s'il faut placer des lignes flottantes entre les trous cela doit être réalisé de préférence par le directeur de plongée. Néanmoins il peut désigner une palanquée de plongeurs expérimentés pour réaliser cette incursion.

7.1.2. Rôle du « Tender Man »

Le « Tender Man » est la cheville ouvrière du directeur de plongée, c'est un rôle qui est d'une importance essentielle. C'est lui qui a la charge d'une palanquée et des communications avec celle-ci. C'est lui qui a la charge de prévenir le directeur en cas d'incident (perte d'un plongeur sous la glace...) et de lui fournir le maximum de renseignements, pour que celui-ci puisse établir une stratégie. En cas de signaux de détresses : il peut aussi envoyer, si le directeur de plongée n'est pas directement disponible, les plongeurs de sécurité.

7.1.3. Rôle de l'équipe de sécurité

C'est une palanquée de deux plongeurs complètement équipé et en Stand-by prêt à porter secours aux plongeurs en immersion sur ordre du directeur de plongée ou du « Tender Man ».

²¹ Ce terme n'est pratiquement qu'utilisé en France



8. TECHNIQUES D'ENGAGEMENT SOUS LA GLACE

8.1. Préambule : rappel du calcul de la consommation

En moyenne un plongeur consomme 20 l de mélange par minutes et par bar de pression absolue. Le calcul de consommation consiste à additionner la consommation pour chaque niveau.

$$\text{Cons} = \sum 20 \times P_{\text{an}} \times t_n$$

Cons : Consommation en litres.

P_{an} : Pression absolue au niveau n (bar).

t_n : temps passé à la pression n en minute.

8.1.1. Règle des tiers

La fameuse règle des tiers, qui n'est valable que pour des plongées ou le retour à la surface est à tout moment possible, prévoit : 1/3 de la réserve de gaz pour l'aller, 1/3 pour le retour et 1/3 pour la sécurité et le palier. Cette règle simpliste est très valable pour la plongée loisir avec peu ou pas de palier mais est à

prendre avec la plus grande prudence pour les plongées sous la glace. Le dessin montre la faiblesse de la règle du 1/3 pour la plongée sous voûte. En cas de perte du gaz d'une bouteille juste au point de rebroussement il n'y a pas de réserve suffisante de gaz pour faire le chemin inverse en sécurité. C'est pour cette raison que les spéléos préfèrent la règle du quart ou du cinquième.

Entrée/sortie		Rebroussement
1/3 Sécurité: 0 l	4000 l Aller: consommation 1330 l	2670 l
	Retour: consommation 1330 l	Perte d'une bouteille Reste: 1335 l
1/4 Sécurité: 500 l	4000 l Aller: consommation 1000 l	3000 l
	Retour: consommation 1000 l	Perte d'une bouteille Reste: 1500 l
1/5 Sécurité: 800 l	4000 l Aller: consommation 800 l	3200 l
	Retour: consommation 800 l	Perte d'une bouteille Reste: 1600 l

8.2. Signaux de plongée avec la ligne de vie.

UNE BONNE COMMUNICATION ENTRE PLONGEURS ET EQUIPE DE SURFACE EST UN GAGE DE SECURITE !
UNE CONNAISSANCE ET UNE COMPREHENSION PARFAITE DES SIGNAUX EST INDISPENSABLE. ILS DOIVENT ETRE INTERPRETES SANS RISQUE D'AMBIGUÏTE.

Les signaux effectués sur la corde sont de trois types : signaux entre les plongeurs, signaux entre le plongeur et le Tender Man ou Signaux entre le « Tender Man » et le plongeur. Vous pouvez créer vos propres signaux, mais les conventions suivantes sont le plus souvent admises.

8.2.1. Signaux entre plongeurs en immersion

Nombre de traction	Signification
1	Demande si « ok » ? nécessite une réponse par signal identique.
2	Problème mineur, qui demande une assistance.
Continue, saccadées	Signal de détresse, besoin d'une aide immédiate.



8.2.2. Signaux du plongeur vers le « Tender Man »

Nombre de traction	Signification
1	Stop.
2	Donner du mou à la ligne de vie.
3	Rentrer le mou de la ligne de vie.
4	Remonter moi.
Continue, saccadées	Signal de détresse, besoin d'une aide immédiate.

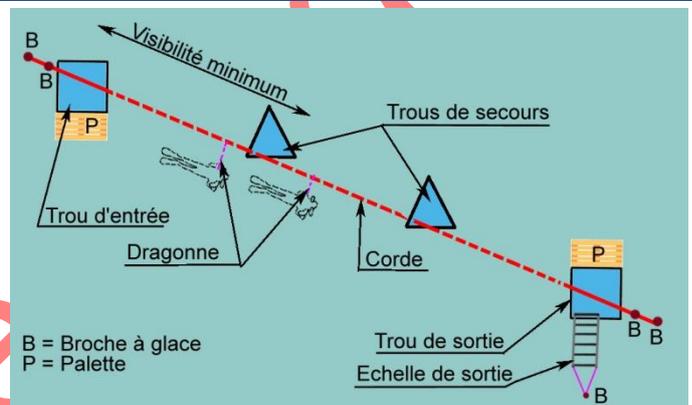
8.2.3. Signaux du « Tender Man » vers le plongeur

Nombre de traction	Signification
1	Stop.
3	Revenir vers le trou.
4	Revenir d'urgence vers le trou.
Continue, saccadées	Est-ce que tu vas bien ?

8.3. Les techniques d'engagement sous la glace

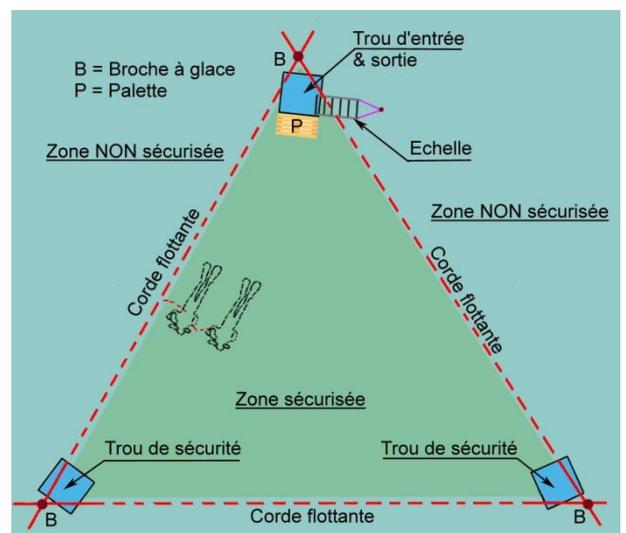
8.3.1. Méthode dite du « circuit ».

C'est la méthode la plus simple et la plus pratique pour faire des baptêmes de plongée sous glace, elle convient à tous les niveaux. Elle consiste à relier un trou d'entrée et un trou de sortie par un solide cordage flottant. A l'aide d'une dragonne d'une longueur de +/-2m, attachée à son équipement, le plongeur se « mousquetonne » à cette corde. Il lui suffit alors de nager jusqu'au trou de sortie. Pour éviter le stress, des trous de sortie auxiliaires sont prévus. Ils sont espacés de manière que deux trous contigus soient toujours visibles. Avec cette technique il n'y a aucun risque de se perdre et le danger de s'emmêler dans une ligne de vie ou un fil d'Ariane est pratiquement réduit à zéro. L'espace à explorer est assez restreint et ne peut se faire qu'en ligne droite.



8.3.2. Méthode dite des «trois trous»

Cette méthode est dérivée de la précédente mais permet d'explorer une surface plus étendue et permet à plusieurs palanquée de plongée au même moment. Trois trous reliés chacun par un cordage flottant sont percés dans la glace. Les trous sont disposés en triangle. Les plongeurs partent à l'intérieur du triangle et suivent le cordage. Ils ont aussi la possibilité de se « mousquetonner » sur le cordage entre les trous. Si un plongeur se perd, il lui suffit de nager directement sous le plafond de glace dans n'importe quelle direction pour retrouver un trou et une sortie. Ce n'est bien sûr possible qu'avec une bonne

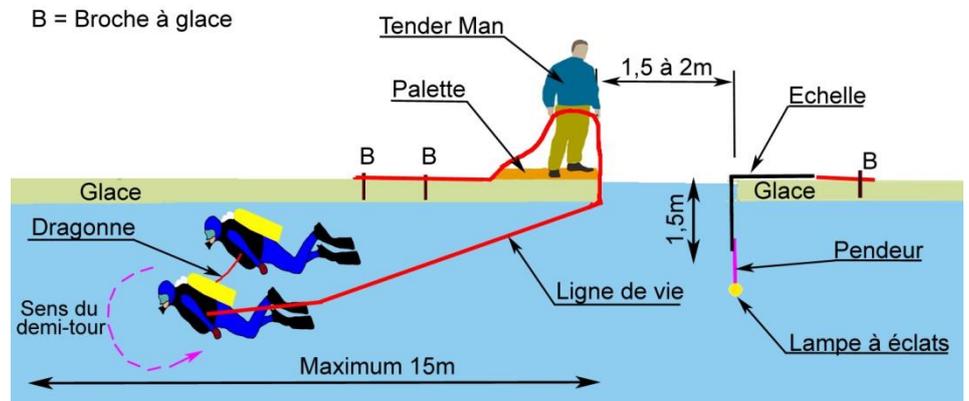




visibilité. La zone « sécurisé » est la zone où on peut nager dans n'importe quelle direction pour retrouver une corde. MAIS ce n'est pas une zone où on peut se balader à dessein sans risque ; il faut suivre les cordes !

8.3.3. Méthode dite de la « ligne de vie »

C'est la méthode la plus courante, elle permet d'explorer une zone circulaire de l'ordre d'une quinzaine de mètres autour du point d'immersion. Au-delà, il devient pénible de tirer la ligne de vie et les risques d'essoufflement



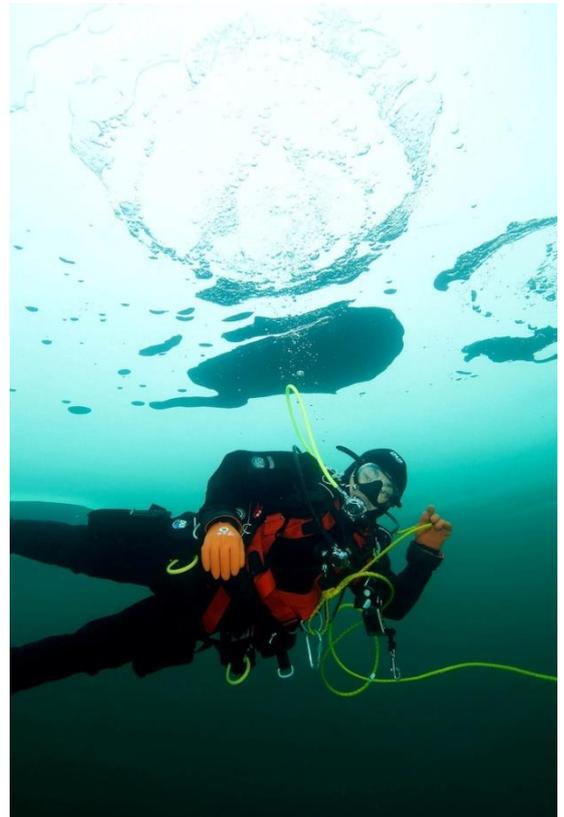
deviennent importants avec pour corolaire : un risque de givrage accru. Ce risque est d'autant plus vrai que le « Tender man » en charge de la sécurité doit garder une certaine tension dans la ligne de vie pour :

1. Pouvoir percevoir les signaux des plongeurs et pouvoir leur transmettre des signaux.
2. Limiter le risque d'accrochage de la ligne de vie sur un obstacle.

La ligne de vie doit toujours :

1. Être fixée solidement en surface par deux points. Il est exclu que le « Tender Man » se contente de la tenir en main : d'une part pour sa propre sécurité, par une traction brusque il risque de tomber dans le trou ; et d'autre part pour la sécurité des plongeurs, la ligne ne peut pas filer dans le trou.
2. Être fixée en deux points par des mousquetons de sécurité type pompier au harnais du plongeur de tête. Celui-ci peut aussi tenir en main (éventuellement boucle autour du poignet) la ligne de vie, afin de mieux percevoir les signaux de « Tender Man ».

Le plus généralement le deuxième plongeur est relié au plongeur de tête par une dragonne, attachée aux harnais des deux plongeurs. Il est relié au plongeur de tête du côté opposé à la ligne de vie, pour éviter l'emmêlement lors du demi-tour. Il peut aussi attacher sa dragonne à la ligne de vie et suivre le plongeur de tête. Cette dernière méthode a le défaut de ne pas permettre une communication continue entre les plongeurs. Si la communication est interrompue avec le « Tender



Montana Ice-diving © Joi Ito licence CC-BY (Flickr)



Man », l'équipe doit faire demi immédiatement et rejoindre le trou. Le demi-tour est toujours un moment un peu délicat ou le risque de s'emmêler dans la ligne de vie est présent. Pour éviter ce désagrément :

1. Marquer un temps d'arrêt pour prévenir le deuxième plongeur qu'un demi-tour va se faire.
2. Pour faire demi-tour, le plongeur de tête doit tenir la ligne de vie en main et tourner autour de cette main, de manière à ne pas passer en dessous ou au-dessus de cette ligne.
3. Dès que les plongeurs se trouvent en face de la ligne, le plongeur de tête prévient, par le signe de corde adéquat, le « Tender Man » qu'ils rejoignent le trou.

8.3.4. Méthode dite du «fil d'Ariane»

C'est une méthode directement dérivée de la plongée souterraine. Elle permet d'explorer une superficie conséquente, mais demande une sérieuse expertise. Tirer correctement un fil d'Ariane au dévidoir n'est pas une sinécure et ne s'improvise pas ! Il faut s'entraîner sérieusement avant d'aller sous la glace. Sous la glace, contrairement à la plongée souterraine, il n'y a pas d'aspérités naturelles pour ancrer le fil d'Ariane. Il faut donc faire preuve d'astuce... L'astuce consiste tout simplement à planter régulièrement des broches à glace. Par la suite, la fixation se fait d'une manière classique à l'aide d'un mousqueton de pompier et un élastique noué avec un nœud « tête d'alouette » au fil d'Ariane. L'élastique sert d'amortisseur ce qui évite, en cas de forte traction, de solliciter exagérément le fil d'Ariane et la broche à glace.

8.3.4.1. Planter une broche dans la glace

Planter une broche dans la glace en « état d'apesanteur », demande un peu de savoir-faire et d'entraînement ! En effet pour faire prendre le trépan de la broche dans la glace, il faut appuyer, et même un peu taper de la paume de la main ! Ce qui ne peut se faire qu'en gonflant son gilet pour être plaqué contre la glace. Dès que la broche est prise, la visser avec la manivelle, jusqu'à sa base soit bien contre la glace. Il faut éviter de souffler de l'air sur la broche lors de l'opération de vissage, les microbulles pouvant fragiliser la tenue de la broche. De même, il faut éviter de faire dépasser la broche à l'air libre.

8.3.4.2. Tirer le fil d'Ariane et le suivre

Tirer correctement un fil d'Ariane à l'aide du dévidoir est vital pour la plongée sous glace. Il convient de respecter quelques règles fondamentales tel que :

1. Vérifier le bon état du fil et l'absence d'usure, d'effilochage...
2. Vérifier le bon état des dévidoirs et l'enroulement correct du fil, l'absence de nœud, de torsades, le passage correct dans le guide fil...
3. La fixation du fil d'Ariane doit toujours se faire à l'extérieur par deux broches à glace.
4. Vérifier la solidité et la fiabilité du point de fixation extérieur.
5. Pour limiter le risque d'emmêlement, le déroulement du fil d'Ariane se fait en tenant le dévidoir éloigné du corps et des pièces d'équipement. Le fil d'Ariane doit être légèrement tendu, mais pas trop. Trop tendu : il risque de se rompre. C'est toujours le plongeur de tête qui tire le fil et le deuxième plongeur le fixe en suivant la procédure :
 - a. Le plongeur de tête s'arrête et fait signe au suivant qu'il doit fixer le fil.



- b. Le deuxième plongeur plante une broche, sans perdre le fil d'Ariane de vue. Pour sa sécurité, il peut se tenir délicatement au fil ou le passer autour de l'avant-bras.
 - c. Le deuxième plongeur fixe le fil avec mousqueton et tête d'alouette. Les opérations b et c se font sous la supervision du plongeur de tête.
 - d. Dès et seulement dès que le fil est fixé, le plongeur de tête reprend sa progression, jusqu'à la fixation suivante.
6. Les deux plongeurs ne peuvent jamais se perdre de vue, tout le long de la plongée.
7. **ON NE SE TIRE JAMAIS SUR LE FIL D'ARIANE**
8. Le demi-tour se fait en évitant de passer sur le fil. Si on tient le dévidoir de la main droite, on tourne dans le sens horlogique, le contraire pour les gauchers.
9. Pour rembobiner le fil on procède de la manière inverse. C'est le deuxième plongeur qui rembobine et plongeur de tête qui enlève les broches.

8.3.5. Comparaison des méthodes

Méthode	Niveau	Zone d'exploration	
		Type	Taille
Circuit	Baptême - débutant	Linéaire ²²	Réduite
Trois trous	Débutant – moyen	Linéaire	Moyenne
Ligne de vie	Moyen	Surfacique ²³	Réduite
Fil d'Ariane	Expert	Linéaire libre ²⁴	Importante ²⁵

8.3.6. Plongée parmi les blocs de glace

La plongée parmi les blocs de glace ou les icebergs, n'est pas à proprement une plongée sous glace mais y est apparentée. La différence essentielle est qu'il ne faut pas faire de trou et que la plongée se fait à partir d'une embarcation. Il faut pouvoir retrouver le bateau à coup sûr dans le labyrinthe des blocs de glace, qui peuvent dériver. La méthode utilisée est dérivée de celle de la « ligne de vie ». Les différences sont que le « Tender Man » se trouve à bord de l'embarcation et que l'extrémité de la ligne de vie est accrochée à un point fixe de l'embarcation.

²² Les plongeurs suivent exclusivement un chemin linéaire préétabli.

²³ Les plongeurs sont libres d'explorer une surface, non préétablie autour du point de mise à l'eau.

²⁴ Les plongeurs suivent un chemin linéaire non préétabli.

²⁵ Contrairement aux autres méthodes, la taille de la zone d'exploration n'est pas préétablie. Elle est fonction du degré d'engagement et donc de l'expérience des plongeurs et du matériel.



9. SECURISATION DES TROUS APRES LA PLONGEE.

Il est tout à fait criminel de laisser, un trou²⁶ sans balisage après la plongée. Il convient de reboucher le trou avec le bouchon qui a été découpé après la plongée et de maintenir le balisage jusqu'à la solidification de la glace. Le plus facile pour réaliser cette opération de rebouchage est de fixer, à l'aide d'une broche à glace, un bout sur le bouchon et de le pousser sous la couche de glace. Par la suite, il suffit de tirer sur le bout pour remettre en place le bouchon.

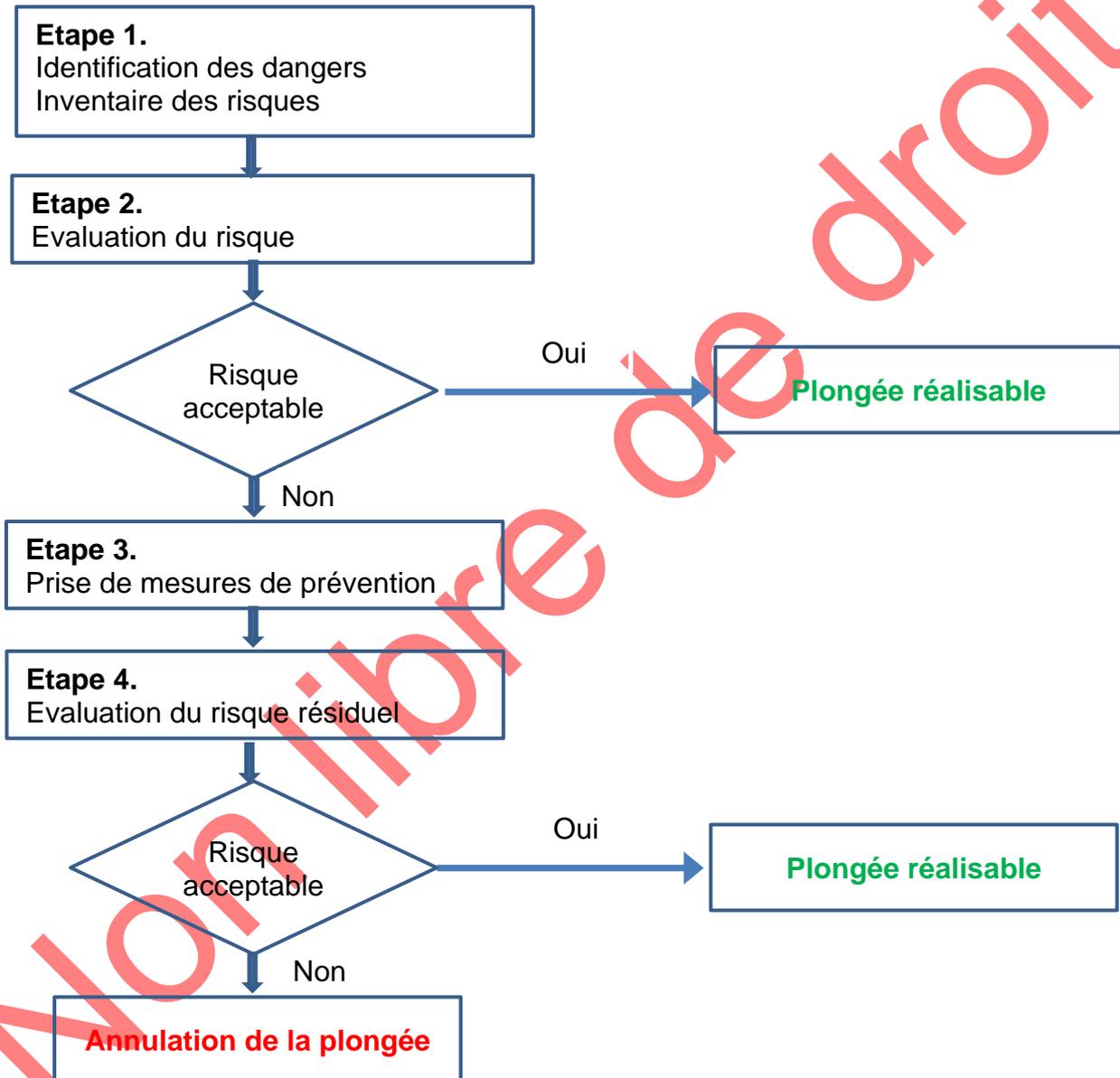
Non libre de droit

²⁶ Le code des parcs du Canada interdit les trous de plus de 4m de diamètre et le Code criminel du Canada (article 263) exige que les ouvertures pratiquées dans la glace soient protégées de manière appropriée.



10. ANALYSE DES RISQUES.

L'analyse des risques est une science largement répandue dans le milieu industriel et notamment au niveau de la plongée professionnelle²⁷. On peut s'en inspirer pour analyser et quantifier le risque en plongée loisir et plus particulièrement en plongée solo. Cette analyse vise à identifier les risques (danger), les facteurs de risques, les quantifier et les prévenir d'une manière systématique. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le risque, la plus courante est la méthode Kinney.



²⁷ Opérateur en Travaux Subaquatiques



10.1. Définitions

- **Danger** : Tout élément qui peut mettre en péril l'intégrité physique et la sécurité du plongeur.
- **Exposition** : durée d'exposition au danger.
- **Dommmage** : Atteinte à l'intégrité physique ou psychologique du plongeur.
- **Risque** : Probabilité pour qu'un « Dommmage » se produise.
- **Risque résiduel** : Risque qui subsiste lorsque les mesures de prévention ont été prises.
- **Facteur de risque** : Elément ou évènement qui peut engendrer un « Dommmage ».
- **Prévention** : Toutes mesures pour limiter le « Risque », éviter les « Dommmages » ou les atténuer.
- **Probabilité** : Paramètre variable en fonction de la nature du « Risque ».

10.2. Méthode Kinney

La Méthode Kinney est une méthode d'hierarchisation des risques et pas une méthode de dépistage des risques. Elle présente l'avantage d'être facile, rapide et de quantifier le risque. Le postulat de départ indique que le Risque est proportionnel à la probabilité (P), à l'exposition (E) et la gravité des conséquences possibles (G). Ce qui conduit à écrire la formule suivante :

$$Rk = G \times E \times P$$

Cette formulation ne tient pas compte de la formation et de l'expérience. Malchaire J. & Koob J-P²⁸ proposent d'en tenir compte en affectant la formule précédente d'un facteur (F), sans toutefois donner un tableau de valeur. La relation devient donc :

$$Rk = G \times E \times P \times F$$

Avec :

- Rk : Risque estimé suivant la méthode Kinney.
- G : Gravité des conséquences possibles (Dommmage).
- E : Durée d'exposition au facteur de risque.
- P : Probabilité d'émergence du dommmage pendant la durée d'exposition.
- F : Facteur qui tient compte de la formation et de l'expérience.

Des tableaux donnent pour ces trois facteurs des valeurs numériques²⁹. L'estimation du « score » du risque est le produit de ces facteurs. Le score ainsi obtenu peut être nuancé en fonction de la

²⁸ Les tableaux originaux donnaient une échelle de coût. Dans le cadre de la plongée, je n'ai pas trouvé utile de les reprendre. D'autant plus que les originaux datent de 30 ans,

²⁸ Les tableaux originaux donnaient

²⁹ Les tableaux originaux donnaient une échelle de coût. Dans le cadre de la plongée, je n'ai pas trouvé utile de les reprendre. D'autant plus que les originaux datent de 30 ans, sans mise à jour des valeurs !



formation, l'expérience et la pratique régulière ou non du plongeur. Ce score permet à tout un chacun d'estimer si le risque est acceptable ou non.

La première difficulté consiste à faire l'inventaire des facteurs de risque. Il n'est pas facile de ne rien oublier ! La seconde difficulté, qui est de loin la plus gênante consiste à calculer le « score ». Celui-ci peut fortement varier en fonction de l'observateur, de son expérience, de sa sensibilité, de sa formation, de son niveau d'études, de son expérience de terrain... D'après l'étude de Malchaire J. & Koob J-P³⁰, le « score » varie en fonction en fonction de l'observateur dans une fourchette de 1 à 15.

10.2.1 Tableaux des facteurs G, E et P

10.2.1.1. La « Gravité » (G)

Gravité	Conséquences	Valeur
Catastrophique	Nombreux morts	100
Désastre	Quelques morts	40
Très grave	Un mort	15
Sérieux, grave	Blessure sérieuse, invalidité permanente	7
Important	Blessure incapacitante	3
Incident	Petite blessure non incapacitante	1

10.2.1.2. L'« Exposition » (E)

Exposition	Valeur
En continu	10
Régulièrement, de l'ordre d'une fois par jour	6
De temps à autre, de l'ordre d'une fois par semaine	3
Parfois de l'ordre, d'une fois par mois	2
Quelques fois par an	1
Maximum une fois par an	0,2

10.2.1.3. La « Probabilité » (P)

Probabilité	Valeur
Probable	10
Possible	6
Inhabituel mais possible	3
Petite possibilité dans des cas limites	1
Concevable mais peu probable	0,5
Pratiquement impossible	0,2
A peine concevable	0,1

³⁰ Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques - Malchaire J. & Koob J-P – UCL



10.2.2 Tableaux de l'évaluation du « Risque » (Rk)

En fonction du « score » ce tableau indique le degré d'acceptabilité du risque.

Valeur	Evaluation	Action
Rk > 400	Risque très élevé	Risque tout à fait inacceptable
200 < Rk ≤ 400	Risque élevé	Mesures de correction impératives
70 < Rk ≤ 200	Risque important	Adopter des mesures de correction
20 < Rk ≤ 70	Risque moyen	Attention particulière requise
Rk < 20	Risque faible	Acceptable

10.3. Application de la méthode Kinney

Risque	Degré engagement de la plongée et Conditions particulières	Facteurs / score				Préventions	Risque résiduel			
		G	E	P	Rk		G	E	P	Rk
Hypothermie		15	1	3	45	limiter le temps de plongée, combinaison étanche, vêtements chauds, boissons chaudes	15	1	0,5	7,5
Givrage du détendeur		15	1	6	90	Deux détendeurs séparés. Free flow stop, soupape de suppression	15	1	0,2	3
ADD		15	1	1	15	Durcir le mode de décompression O ₂ sur le site, moyen d'évacuation rapide. Limiter le degré d'engagement	15	1	0,2	3
Oedème		7	1	1	7	O ₂ sur le site, moyen d'évacuation rapide. Limiter le degré d'engagement	7	1	0,2	1,4
Hydrocution		15	1	1	45	O ₂ sur le site, combinaison étanche	15	3	0,1	4,5
Perte sous la glace		15	1	10	150	Ligne de vie bien fixée avec une double cheville. Trous de réchappe. Equipe de surface, plongeur de secours, briefing sur le mode de recherche, lampe puissante pour guider le plongeur perdu, planification stricte (durée)	15	1	1	15
Difficulté pour sortir de l'eau	Risque de noyade	15	1	6	90	Echelle, équipe de surface	15	1	0,1	1,5
Fermeture du trou par le gel		15	1	6	90	Equipe de surface. Matériel pour briser la glace	15	1	0,2	3
Glissade	Equipe de surface	7	1	6	42	Semelle adaptée à la glace, crampons	7	1	1	7
Chute dans le trou	Equipe de surface	7	1	6	42	Crampons, plancher au bord du trou, sécuriser le personnel de surface avec une ligne de vie fixée à la glace	7	1	0,5	3,5
Rupture de la couche de glace	Equipe de surface	15	1	6	90	Vérifier l'épaisseur de la glace avant de s'engager, tenir compte de la diminution de la résistance due au trou. Assurer la personne qui va faire le trou.	15	1	1	15
Blessures avec la scie à chaîne	Equipe de surface	7	1	6	42	Equipement de protection type bucheron, pantalon et veste anti-coupures, crampons	7	1	1	7
Brûlure froide	Equipe de surface	1	1	6	6	Gants de protection	1	1	1	1



Note :

le tableau est basé sur l'expérience de l'auteur est n'est donné qu'à titre didactique. La probabilité (P) a été estimée avec le plus de rigueur possible. Néanmoins, comme expliqué au chapitre précédent, celle-ci dépend grandement du ressenti. De ce fait il y a toujours une part de subjectivité. L'exposition (E) a été estimée en fonction d'un plongeur régulier qui plonge au minimum 5 fois par mois. Chacun devra adapter les facteurs en fonction de son style de plongée et des circonstances locales. Le partage du matériel avec le compagnon de plongée n'est pas considéré comme une option valable.

La liste n'est pas exhaustive

Non libre de droit