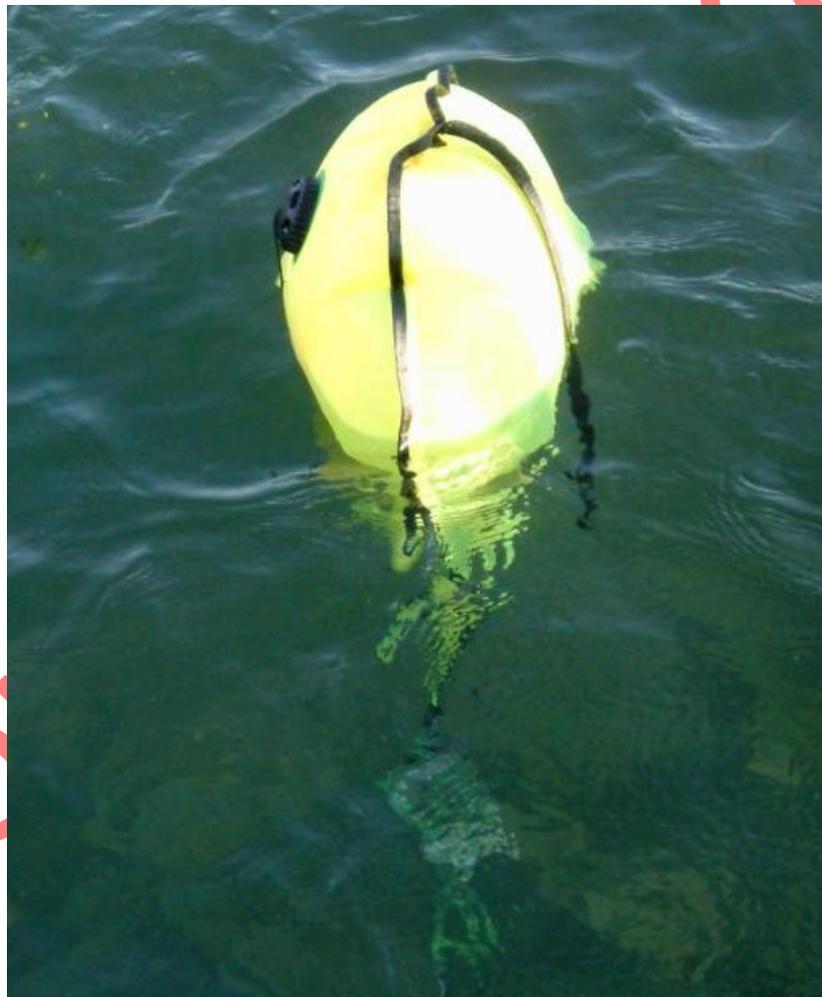




RECHERCHE ET RECUPERATION D'OBJETS (SEARCH AND RECOVERY)

JEAN-CLAUDE TAYMANS





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.

Photo de couverture

Photographe : Mark Murphy

Licence : CC0

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\Juin 2014\Jean-Claude Taymans : Editeur

ISBN 978-2-930747-09-5



SOMMAIRE

TABLEAU DES MISES À JOUR ET MODIFICATIONS	5
1. INTRODUCTION	6
1.1. DÉFINITION	6
2. POURQUOI SUIVRE UNE FORMATION « RECHERCHE ET RÉCUPÉRATION » ?	6
3. LES DANGERS POTENTIELS	6
3.1. EMMÊLEMENT	6
3.1.1. Prévention	6
3.2. OBJETS COUPANTS	7
3.1.2. Prévention	7
3.3. MAUVAISE VISIBILITÉ	7
3.3.1. Prévention	7
3.3.2. Conduite à tenir en cas de stress	7
3.3.3. Techniques de palmage	7
3.4. COURANTS	8
3.4.1. Le courant en rivière	8
3.5. TRAFIC MARITIME	9
3.6. CHUTE DES OBJETS RÉCUPÉRÉS	9
3.6.1. Prévention	9
3.7. REMONTÉE EN « BLOW-UP »	9
3.7.1. Prévention	10
3.8. SOUTIRAGE D'EAU – DELTA P	10
4. L'ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE ET DE RÉCUPÉRATION	12
5. LA RECHERCHE D'INFORMATION	12
6. LES ASPECTS LÉGISLATIFS	13
7. LES ÉQUIPEMENTS SPÉCIFIQUES	13
8. PLANIFICATION DES PLONGÉES	14
8.1. NOTION DE « WHAT-IF »	14
8.2. NOTION DE REDONDANCE	15
8.2.1. Défaut de mode commun	15
9. TECHNIQUES DE RECHERCHE	16
9.1. SONAR	16
9.2. Sonar à balayage latéral	16
9.2. MAGNÉTOMÈTRE	16
9.2.1. Magnétomètre à protons	16
10. SCHÉMAS DE RECHERCHE	17
10.1. MÉTHODES SANS BOUTS	17
10.1.1. Méthode de la spirale carrée	17
10.1.2. Méthode en U	17
10.2. MÉTHODES AVEC BOUTS	18
10.2.1. Les méthodes du cercle	18
10.2.2. Les méthodes du pendule	19
10.2.3. Méthode du damier	19
10.2.4. Méthode en « Z »	20
10.2.5. Méthode de la ligne de croche (snag-line)	20
10.2.6. Méthode de la ligne de nage (swim-line)	21
10.3. MÉTHODES POUR COURANT VIOLENT	21



10.3.1 Préambules.....	21
10.3.2. Comment se protéger du courant ?.....	22
10.3.3. Utilisation du « creeper »	22
11. SIGNAUX DE PLONGÉE AVEC LA LIGNE DE VIE.....	23
11.1. SIGNAUX ENTRE PLONGEURS EN IMMERSION	23
11.2. SIGNAUX DU PLONGEUR VERS LE TENDER MAN.....	23
11.3. SIGNAUX DU TENDER MAN VERS LE PLONGEUR.....	23
12. LA PHYSIQUE.....	24
12.1. NOTION DE FORCE, DE MOMENT ET D'ÉQUILIBRE.....	24
12.1.1. Force.....	24
12.1.2. Moment d'une force par rapport à un point.	24
12.2.3. Equilibre d'un objet.....	25
12.2. PRINCIPE D'ARCHIMÈDE, POIDS APPARENT, CENTRE DE POUSSÉE	25
12.2.1 Principe d'Archimède.....	25
12.2.2. Force de gravité et centre de gravité.....	25
12.2.3. Centre de poussée	25
12.3. LOI DE BOYLE-MARIOTTE	26
12.4 CALCUL DE RELEVAGE AU PARACHUTE	26
13. NOTION DE RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.....	28
13.1. CORDAGES ET ÉLINGUES	28
13.2. MOUSQUETONS	29
14. LES NŒUDS	29
14.1. PETIT VOCABULAIRE DES NŒUDS.....	29
14.2. NŒUDS LES PLUS COURANTS.....	29
14.2.1. Tour-mort	29
14.2.2. Demi-clés	29
14.2.3 Nœud de chaise	30
14.2.4. Nœud d'écoute	30
14.2.5. Nœud en huit.....	31
15. LES ENGINES DE RELEVAGE	31
16. LE RELEVAGE AU PARACHUTE	32
16.1. LES PARACHUTES ET BALLONS DE RELEVAGE.....	32
16.2. PRÉCAUTIONS À PRENDRE AVANT LE RELEVAGE	32
16.3. PROCÉDURE DE RELEVAGE AU PARACHUTE	32
16.4. PRÉCAUTIONS À PRENDRE LORS DU RELEVAGE	33
17. NOTIONS D'ANALYSE DES RISQUES.....	34
17.1. GÉNÉRALITÉS	34
17.2. ETAPES DE L'ANALYSE DES RISQUES	34
17.3. DÉFINITIONS.....	35
17.4 MÉTHODE KINNEY	35
17.4.1. Tableaux des facteurs G, E et P	36
17.4.2. Tableaux de l'évaluation du « Risque » (R_k)	36
17.4.3. Analyse de risque.....	37



TABLEAU DES MISES A JOUR ET MODIFICATIONS.

Version	Date	Remarques
Vers.1	Juin 2014	original
Vers.2	Février 2023	Suppression référence ADIP,
Vers.3.01	Mars 2024	Ajout chap. Analyse des risques, Delta P

Non libre de droit



Partie 1. Définitions et généralités

1. INTRODUCTION

1.1. Définition

La recherche et la récupération d'objet couvrent un ensemble de techniques visant à optimiser les temps qui y sont consacrés afin de réduire le travail en immersion et les risques associés.

ON NE S'IMPROVISE PAS OPERATEUR EN TRAVAUX SUBAQUATIQUE !

2. POURQUOI SUIVRE UNE FORMATION « RECHERCHE ET RECUPERATION » ?

Les motivations peuvent être aussi multiples que variés :

- Curiosité naturelle ;
- Faire de nouvelles expériences ;
- Intérêt pour de nouvelles techniques ;
- Retrouver du matériel perdu : le sien ou celui du compagnon de plongée ;
- Participer d'une manière plus efficace aux opérations de « Beach cleaning ».

3. LES DANGERS POTENTIELS

Des dangers spécifiques guettent le plongeur lors des recherches et surtout lors des remontées d'objets :

3.1. Emmêlement

La récupération d'objets nécessite la manipulation de cordage, il y donc risque d'emmêlement, de même des filets ou des lignes de pêche peuvent se trouver dans la zone de recherche. L'emmêlement est un problème sérieux, pouvant conduire vers une issue dramatique, voire fatale en cas de panique ! Si on se sent accroché (c'est souvent au niveau de la robinetterie), les conduites à tenir sont les suivantes :

- Ne pas s'agiter et maîtriser sa respiration pour éviter l'essoufflement et le stress.
- Tenter de prévenir le compagnon de plongée en agitant sa lampe et/ou en frappant un objet contre un objet métallique (coque, bouteilles etc.) ou prévenir la sécurité en surface.
- Analyser la situation et voir où se situe l'accroche.
- Tenter de reculer lentement, SANS se retourner souvent cela suffit à dégager le robinet pris dans un câble.
- Couper le câble ou le filet.

3.1.1. Prévention

1. Etre prudent lorsqu'on tire un fil, ou si on remonte un objet au parachute.
 - a. Tenir les dévidoirs loin de soi.
 - b. Ne jamais attacher un dévidoir à l'équipement, lorsqu'on déroule le fil.
2. Avoir à portée de main des outils tranchants comme des sécateurs, cisailles... Les couteaux de plongée ont la particularité de mal couper, surtout s'ils sont en acier inoxydable.



3.2. Objets coupants

Lorsqu'on cherche de petits objets, dans des conditions de mauvaise visibilité (sable, vase...), on peut être amené à effectuer une recherche à tâtons. Il peut y avoir des objets tranchants, des débris, des éléments urticants...

3.1.2. Prévention

Pour prévenir les petites blessures et autres désagréments, il faut :

1. Porter une combinaison intégrale (pas de shorty).
2. Mettre des gants.

3.3. Mauvaise visibilité

Mauvaise visibilité rime souvent avec recherche d'objets fastidieuse ! En effet, dans des eaux cristallines, retrouver un objet est relativement aisé; dans des eaux boueuses, il n'en va pas de même. Les dangers les plus fréquents sont :

- La perte du binôme. Il est recommandé dans des conditions de mauvaise visibilité, d'éventuellement utiliser une dragonne. En tenant compte d'un risque accru d'emmêlement ;
- Les filets et les obstacles imprévus ;
- La désorientation ;
- Le stress.

3.3.1 Prévention

1. Eviter de remuer le sable ou la vase en adoptant un palmage approprié comme le frog kick (cfr paragraphe 3.3.3).
2. Nager la main devant soi, pour éviter de s'emmêler ou de se cogner la tête contre les obstacles

3.3.2 Conduite à tenir en cas de stress

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.

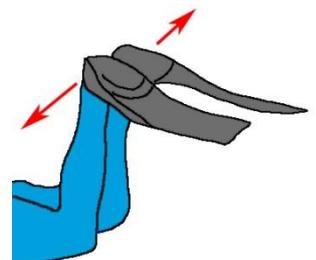
3.3.3. Techniques de palmage

Il existe des méthodes de palmage qui permettent de ne pas soulever les sédiments.

Situation	Type de palmage
Besoin de puissance sans risque de réduire la visibilité	Palmage classique
Espace non restreint avec vase ou sable, demandant une certaine puissance.	Frog-kick
Espace restreint, risque moyen de réduire la visibilité.	Modified Flutter Kick Shuffle Kick
Espace très restreint et /ou risque important de réduire la visibilité.	Shuffle Kick

3.3.3.1. Le «Frog kick»

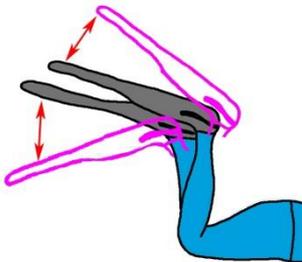
Ce type de palmage n'engendre pas de mouvements verticaux de l'eau. De ce fait on a moins tendance à soulever les sédiments du fond, c'est l'idéal pour explorer l'intérieur d'une épave sans voir la visibilité se réduire drastiquement. Les cuisses sont droites dans le prolongement du corps, le dos





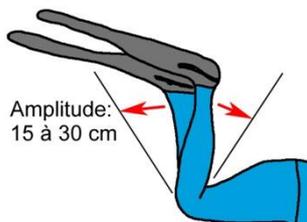
légèrement arqué et les genoux pliés à 90°. La propulsion est assurée par un mouvement horizontal des palmes (comparable à la brasse) qui fait penser à la nage des grenouilles. Le « Frog Kick » est un palmage puissant, surtout adapté dans des espaces qui ne sont pas trop restreints. Dans les étroitures, il vaut mieux utiliser le Shuffle Kick ».

3.3.3.2. Le « Modified Flutter Kick »



Ce mode de progression ressemble au palmage traditionnel mais les jambes ne sont pas tendues, la position est identique au « Frog kick ». Le mouvement est donné par un battement vertical alternatif de faible amplitude des palmes (mouvement de ciseau). Contrairement au palmage classique, dont le mouvement est donné au niveau des hanches, dans le « Modified Flutter Kick » le mouvement est donné au niveau des genoux, les cuisses restant horizontales.

3.3.3.3. Le « Shuffle Kick »



Position identique au « Modified Flutter Kick » mais la propulsion est donnée par un mouvement de pédalage dont l'amplitude ne dépasse pas 15 à 30 cm. Pour être efficace, le mouvement de pédalage doit être assez rapide. Cette technique est très efficace dans des zones étroites garnies d'éléments fragiles ou de vase.

3.4. Courants

Le courant maximum où il est encore possible de se tenir à une corde est de l'ordre de 2,5m/s soit 5 nœuds !

Le courant est un problème majeur lors des opérations de recherche et de récupération. La planification de la plongée doit tenir compte des courants, il faut :

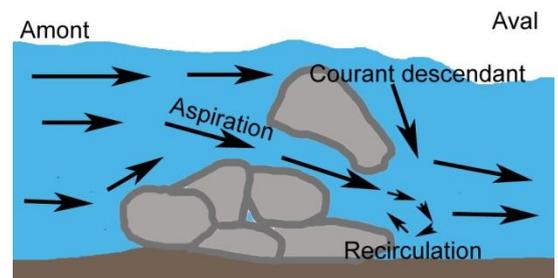
- Travailler à contre-courant ;
- Ne pas hésiter à interrompre la plongée si le courant devient trop important ;
- Connaître le régime des courants et horaires des marées ;
- Travailler lors des étales ;
- Se coucher sur le fond de manière à ce que le courant ait le minimum de « prise ».

3.4.1 Le courant en rivière.

La recherche en rivière est un cas particulier, le courant y est toujours important mais toujours dans le même sens. Le danger réside dans la possibilité de ressac et de tourbillons pouvant projeter le plongeur contre des obstacles.

3.4.1.1. Effet de tunnel

Ainsi que de « tunnels » provoqués par des empilements de pierres, des vannes de barrages ouvertes ou mal fermées qui peuvent entraîner ou coincer le plongeur sur le fond. L'accroissement du courant, par effet



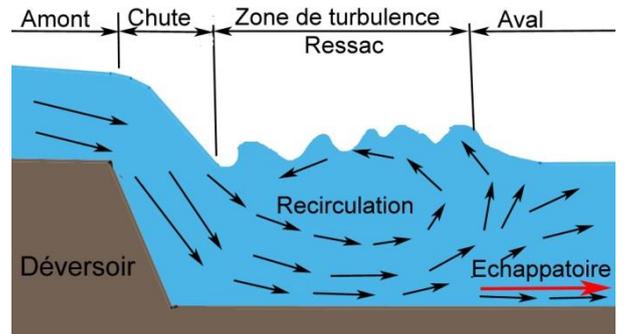


venturi, peut aspirer un plongeur et le coincer dans le « tunnel ».

Coincé dans ce genre de tunnel, il est presque impossible de s'en sortir seul !

3.4.1.2 Les déversoirs – courant de recirculation

Le courant de recirculation du style « machine à laver » au droit des déversoirs, qu'ils soient naturels ou artificiels est un piège mortel. En effet ce courant dresse le plongeur sur le fond, puis le ramène à la surface au pied du déversoir pour le replonger vers le fond dans un cycle sans fin ! Pour espérer sans sortir (ce n'est pas toujours gagné) la seule manière est de s'agripper au fond et de sortir à se tirant à bout de bras de la zone de turbulence.



3.5. Trafic maritime

La perte d'objet a souvent lieu près des routes maritimes. La proximité de ces routes peut représenter un danger physique et/ou juridique. Il faut pour travailler dans ces zones :

- S'il y a lieu, avoir une autorisation des autorités locales ;
- Baliser la zone de recherche, si c'est possible ;
- Indiquer la présence de plongeurs à l'aide du pavillon alpha (obligation légale dans certains pays) ;
- Avoir une équipe de surveillance en surface.

3.6. Chute des objets récupérés

C'est l'incident le plus courant, il est dû à :

- Une technique de levage incorrecte ;
- Des nœuds qui glissent, des accastillages non conformes ;
- La rupture d'un outillage de levage.

3.6.1 Prévention

- Ne JAMAIS rester sous la charge.
- Ne JAMAIS rester près de la charge, car en cas de rupture, elle risque de vous entraîner vers le fond.
- Vérifier les nœuds, accastillages...
- Vérifier si les outillages de levage sont conformes (charge de rupture en milieu aérien...).
- Lever les charges sans qu'elles ne puissent basculer.

3.7. Remontée en « Blow-up »

Il s'agit d'une remontée trop rapide, liée à une perte de contrôle du parachute, pouvant entraîner un ADD.

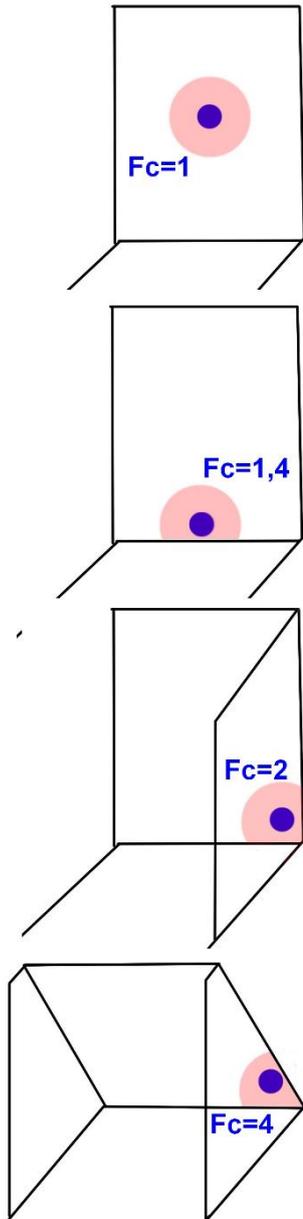
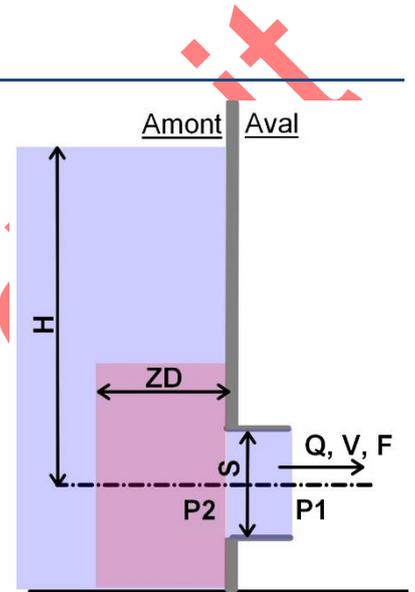


3.7.1. Prévention

- N'utiliser que des parachutes munis d'une soupape.
- Avant la plongée, vérifier le bon état de la soupape.
- Ne pas laisser prendre de la vitesse au parachute, agissez régulièrement sur la soupape.
- Ne pas vous laisser entrainer avec le parachute si celui-ci prend une vitesse excessive.

3.8. Soutirage d'eau – Delta P

Les soutirages d'eaux, notamment au pied des barrages, des écluses ou des prises d'eau pour la distribution présentent un danger mortel dans la plupart des cas. Le « Delta P » est la différence de pression qui existe entre les deux côtés d'un orifice d'une paroi. Cela va se traduire par un écoulement d'eau au travers de cette paroi à une vitesse de plus en plus grande lorsqu'on se rapproche de l'orifice. Le plongeur peut être entrainé au travers de l'orifice ou rester collé à celui-ci sans pouvoir de dégager. Des formules simples^{1,2}, permettent d'évaluer la distance de sécurité théorique pour ne pas être entrainé. On considère qu'un plongeur peut se dégager lorsque le courant ne dépasse pas 0,5 m/s.



$$\Delta P = P2 - P1 \quad Q = 4,43 S \sqrt{H} \quad V = \frac{Q}{S}$$

$$ZD = Fc \sqrt{\frac{Q}{\pi}} \quad F = 9,81 H S_{obs} 1000$$

Avec :

P1= Pression en Aval P2= Pression en Amont

H= Hauteur de l'eau (m)

S= Surface de l'orifice (m²)

Q= Débit de l'eau (m³/s)

V= Courant (vitesse) (m/s)

ZD= Zone dangereuse (m)

Fc= Coefficient variant entre 1 et 4 suivant la configuration et la position de l'orifice

S_{obs}= Surface obstruant l'orifice (m²)

F= Force exercée par l'eau sur le plongeur en Newton (N)

¹ « Les Deltas P en plongée Risques et Prévention » - Francis Hermans (plongeur scaphandrier) source : [Academia](#)

² « Differential pressure hazards in diving » - A S Fisher, M J Gilbert & T G Anthony Source: HSE rapport RR761



Exemple numérique didactique

Considérons un barrage-réservoir. La conduite forcée à un diamètre de 4m et se situe à 50m sous la surface du lac. Déterminons la distance de sécurité minimale théorique et la force qui pourrait plaquer le plongeur sur une grille de protection.

$$S = \frac{3,14 \times 4^2}{4} = 12,6 \text{ m}^2 \quad Q = 4,43 \times 12,6 \sqrt{50} = 395 \text{ m}^3/\text{s} \quad ZD = Fc \sqrt{\frac{395}{3,14}} = 11,2 Fc$$

Distance minimum théorique svt. La configuration				
Fc	1	1,4	2	4
ZD (m)	11,2	15,68	22,4	44,8
A ces distances, le courant est de 0,5 m/s				

Si on considère que le plongeur à une surface de 1,2 m² la force de placage sera de l'ordre de :
 $F = 9,81 \times 50 \times 1,2 \times 1000 = 588.600 \text{ N}$

Ce sont des valeurs minimales théoriques. En pratique il convient d'adopter des marges nettement plus importantes.

3.8.1. Prévention

- **S'adresser à des professionnels**
- Repérer les zones à risque (turbulence, tourbillon...)
- Eviter les zones où le risque est quasi toujours présent : Pied de barrage, vannes, écluses, déversoirs, hélices...
- Cage de protection, colmatage...



4. L'ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE ET DE RECUPERATION

ON NE CHOISIT PAS L'ENVIRONNEMENT OU S'EFFECTUE LA RECHERCHE, C'EST LUI QUI VOUS CHOISIT !

La topographie du fond, son relief, son étendue, sa composition, les courants, vont influencer les techniques de recherche :

- Un large fond plat sans aspérités va :
 - Faciliter la mise en place de cordes guides ;
 - Permettre de balayer rapidement une grande surface ;
 - Permettre au courant de déplacer les petits objets légers, ce qui va agrandir la zone de recherche.
- Sur un fond vaseux ou sableux :
 - Les petits objets pesant risquent de disparaître. Il faudra donc utiliser des détecteurs de métaux pour les retrouver, pour autant qu'ils soient métalliques ;
 - La visibilité risque de diminuer lors des recherches.
- Un relief accidenté avec ou sans débris va :
 - Rendre difficile, voire impossible, la mise en place de cordes guides ;
 - Augmenter le temps de recherche ;
 - Empêcher les petits objets d'être emportés par les courants.
- Le courant risque :
 - D'emporter des petits objets légers, il faudra donc augmenter la zone de recherche ;
 - De contrarier la recherche ;
 - De diminuer le temps de recherche possible (durée des étales...).

5. LA RECHERCHE D'INFORMATION

La recherche d'informations sur l'objet perdu et sa position estimée est primordiale. Il faut s'informer :

- De la nature de l'objet :
 - Sa masse, sa taille, sa composition, sa matière...
 - Des points d'accrochages éventuels ;
 - La position du centre de gravité ;
 - Avoir éventuellement des plans, des photos ou autres informations permettant de mieux appréhender les éléments précédents.
- De la nature du fond :
 - Profondeur
 - Composition (sable, vase, rocaille, corail...)
 - Présence éventuelle de détritus...
Éventuellement il faudra faire une plongée d'évaluation préalable aux recherches.
- Des courants éventuels en utilisant :
 - Cartes de marine ;
 - Atlas des courants ;
 - Expérience des autochtones.
- De la position approximative de l'objet, auprès des témoins. C'est un point délicat, généralement les témoins sont loin d'être fiable !
- Des dangers liés à la navigation maritime.



Ces diverses informations vont permettre de planifier les opérations de recherche, de déterminer le matériel nécessaire (recherche et relevage), de déterminer la composition des équipes.

6. LES ASPECTS LEGISLATIFS

RENSEIGNEZ VOUS TOUJOURS SUR LA LEGISLATION EN VIGUEUR AVANT DE REMONTER UN OBJET QUI NE VOUS APPARTIEN PAS ET PLUS PARTICULIEREMENT S'IL PROVIENT D'UNE EPAVE.

- La plupart des pays ont mis en place, dans leurs eaux nationales, une réglementation plus ou moins restrictive concernant la remontée d'objets.
 - Généralement, il est interdit de remonter tout objet qui n'est pas un détrit³.
 - Certaines épaves sont considérées comme des sanctuaires (Chuuk Lagoon...) interdiction absolue de remonter des objets ou des restes humains sous peine de se faire accuser de « violation de tombe ».
 - En France, toutes les épaves qui présentent un caractère historique ou archéologique entrent dans le domaine des « biens culturels maritimes » et sont légalement protégées : interdiction de remonter quoi que ce soit.
 - Les épaves de plus d'un siècle font partie de l'héritage culturel mondial. Elles sont protégées par la « Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique⁴», interdiction de remonter quoi que ce soit.
- La recherche et la récupération d'objets d'une manière professionnelle est dévolue aux OTS. Dans la plupart des pays, a fortiori ceux de l'UE, la profession d'OTS est protégée par la loi. Vous ne pouvez donc pas faire profession de la « récupération d'objet » sans en avoir l'agrément.

7. LES EQUIPEMENTS SPECIFIQUES

Les équipements spécifiques sont les équipements qui permettent :

- Une meilleure sécurité du ou des plongeurs :
 - Bouée de marquage qui indique à la sécurité de surface la position du plongeur ;
 - Ligne de vie qui permet au plongeur de communiquer avec le « code corde » à la sécurité de surface et le cas échéant à l'aider à le sortir de l'eau s'il est pris dans un courant. Cette ligne doit avoir une très bonne résistance à la rupture (de l'ordre de 10 t) ; une bonne résistance à l'abrasion (enduit de polyuréthane) et être de préférence « préétirée » pour éviter les allongements importants ;
 - Masque facial⁵ pour éviter les « pertes de détenteur » et assurer un meilleur confort, le masque facial peut être équipé d'un système de communication vers la sécurité de surface ;
 - Casque ; gants ; protection d'épaules, de genoux, de coudes...
 - Dragonne, pour relier deux plongeurs en cas de mauvaise visibilité.



³ Ben oui... sinon, il n'est plus possible de faire du « Beach cleaning »

⁴ En 2001, l'UNESCO a créé cet instrument juridique pour lutter contre le pillage.
(<http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage>)

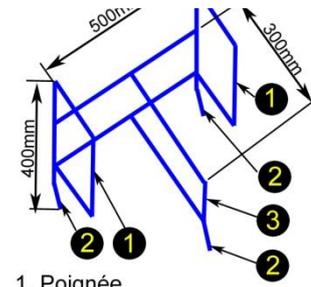
⁵ Les OTS utilisent des casques avec téléphone et des narguils assurant l'alimentation en air, la ligne de vie et la communication vers la surface. La sécurité de rupture de narguils est assurée par un « biberon » d'air.



Recherche et récupération d'objets

- Le balisage de la zone de recherche : cordes, ancrages, bouées, pavillon alpha ;
- Les équipements d'aide aux plongeurs :
 - Détecteur de métaux : pour retrouver les petits objets métalliques ;
 - Système d'ancrage contre le courant ;
 - Piolets, ancrs, creeper⁶... pour se stabiliser dans le courant.
- Les équipements de relevage : ils sont fonction de la nature et des masses à remonter, généralement on utilise des parachutes de relevage. Certains peuvent lever plusieurs tonnes et il est possible de les coupler. Pour des charges importantes il est préférable d'utiliser plusieurs parachutes plutôt qu'un seul

Détecteur de métaux (www.garrett.com/)



1. Poignée
2. Pointe d'accrochage dans le sol
3. Point de fixation pour un bout

Creeper

8. PLANIFICATION DES PLONGEES

LE MAÎTRE MOT EST SÉCURITÉ AVANT TOUT !

Planifiez toujours vos plongées en toute rigueur, en fonction de l'objectif à atteindre, c'est-à-dire la recherche et la récupération d'un objet. Etablissez toujours une liste de « What-if » (cfr paragraphe 8.1). Celle-ci permet en outre de définir les redondances à mettre en place pour la sécurité du plongeur.

- Définir avec exactitude l'objectif à atteindre.
- Recueillir et analyser les informations.
- Définir le matériel à utiliser, les quantités de gaz, la logistique en général.
- Composer l'équipe de recherche : sécurité surface...
- Définir la zone et le type de balisage.
- Choisir les outils de relevage : taille des parachutes, nombre de parachutes...

8.1. 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 faire une liste, exhaustive, de tous les problèmes matériels, humains, environnementaux, etc. 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.

Exemple non exhaustif :

- Quel système de balisage mettre en place ?
- Quelle est la meilleure tactique à adopter pour retrouver l'objet ?
- Quels sont les outils à utiliser pour remonter l'objet ?
- Que faire en cas d'emmêlement dans le fil ?
- Comment lutter le plus efficacement contre le courant ?
- Comment composer l'équipe de surface ?

⁶ Vient de l'anglais « creep » (ramper), il s'agit d'une petite structure métallique qui permet au plongeur de s'ancrer ou d'avoir un appui fixe pour « ramper » sur le fond.



8.2. Notion de redondance

La redondance consiste à disposer plusieurs exemplaires d'équipements ayant les mêmes fonctions de base. Les solutions peuvent être mécaniques et/ou électroniques. 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 device⁷).

La redondance en plongée profonde et en incursion d'épave 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.

8.2.1. 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.

Exemples de défauts de mode commun:

- 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.

⁷ Accessoire qui permet de bloquer le détendeur en cas de débit constant.



Partie 2. La recherche de l'objet

9. TECHNIQUES DE RECHERCHE.

Les techniques de recherche sont l'ensemble des techniques et moyens technologiques que l'on met en œuvre pour retrouver l'objet perdu.

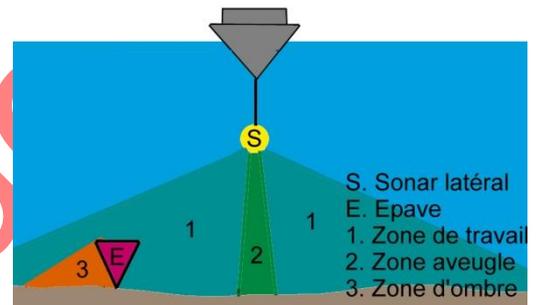
9.1. Sonar

Le sonar⁸ est un instrument qui utilise la propagation du son dans l'eau pour localiser des objets. Il permet de cartographier le fond des océans, de localiser des bancs de poissons... Le sonar utilisé pour la recherche d'épave est du « type actif » : il émet un son et en réceptionne l'écho en retour, pour en déduire la position et la forme des objets immergés. La distance se détermine en mesurant le délai entre l'impulsion initiale et son écho.

9.2. Sonar à balayage latéral

Ce système est très utilisé dans la recherche des objets ou épaves, car il permet d'avoir une image précise du fond ainsi que de l'épave. Le sonar, qui balaye latéralement la zone est monté dans une « torpille » tractée par le bateau. Ce système présente deux inconvénients :

1. Une zone aveugle juste en dessous de la « torpille » ;
2. Des possibilités de zone d'ombre autour des obstacles.



9.2. Magnétomètre

Le magnétomètre détecte les variations du champ magnétique terrestre. Ce champ magnétique est influencé par la présence d'objets métalliques tels que : épaves, câbles, mines qui peuvent être ou non enfouis dans le sable. Il est donc possible de détecter des objets métalliques même s'ils sont enfouis sous plusieurs couches de sédiments. L'intensité du champ magnétique d'un objet est proportionnelle à sa masse et inversement proportionnel à la distance à laquelle on se trouve de celui-ci. Il est impératif d'estimer la masse de l'objet à retrouver, afin d'optimiser les profils lors des recherches.

9.2.1. Magnétomètre à protons

C'est le type de magnétomètre le plus couramment utilisé. Le principe est basé sur le fait que le proton⁹ se comporte comme un aimant qui va s'orienter dans le champ magnétique terrestre. Dans une première phase les protons sont orientés par le champ magnétique généré par une bobine, puis le champ



Source: www.quantrosensing.com/

⁸ sound navigation and ranging

⁹ Le proton est une particule subatomique chargée électriquement (positif). Le noyau de l'hydrogène contient un simple proton.



est coupé. Les protons qui tournent sur eux-mêmes, vont se réaligner sur le champ magnétique terrestre en subissant une modification de l'axe de rotation (mouvement de précession). Ce qui va provoquer un champ alternatif dont la fréquence est proportionnel au champ magnétique terrestre.

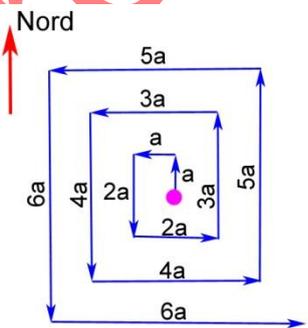
10. SCHEMAS DE RECHERCHE

10.1. Méthodes sans bouts

Ce sont des méthodes simples qui ne nécessitent que très peu de matériel de recherche, une boussole suffit ! Cette simplicité a néanmoins un inconvénient de taille : la méthode est peu précise et ne conviennent donc que pour la recherche d'objets d'une certaine taille dans un environnement restreint.

10.1.1. Méthode de la spirale carrée

Cette méthode convient bien à la recherche sur des terrains accidentés pour des objets de taille moyenne si la zone de recherche n'est pas trop importante. Le centre de la spirale se trouve à l'endroit présumé de la disparition de l'objet. La spirale s'effectue en faisant des virages à 90° . La navigation se fait au compas vers les points cardinaux, par facilité. Les distances s'estiment en fonction du nombre de cycles de palmage. A chaque tour, on incrémente la longueur du palmage en fonction de la visibilité et de la taille de l'objet à chercher.

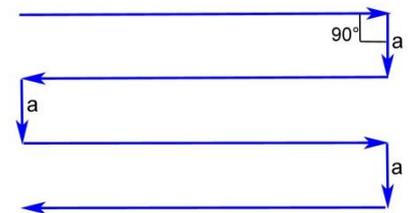


10.1.2. Méthode en U

La méthode convient pour de gros objets, se trouvant sur un fond relativement plat, dans des eaux assez calmes et pour une recherche sur une grande superficie. La technique est simple :

1. On nage jusqu'à l'extrémité de la zone de recherche.
2. On fait un virage à 90° et on nage sur la distance (a).
3. On rejoint l'autre extrémité de la zone de recherche, le trajet effectué est en forme de « U ».
4. Nouveau virage à 90° , dans le sens contraire du virage précédent, et on nage sur la distance (a).
5. On rejoint l'autre extrémité de la zone de recherche.
6. Et ainsi de suite, jusqu'à la découverte de l'objet...

La distance (a) est fonction de la visibilité et de la taille de l'objet à chercher.



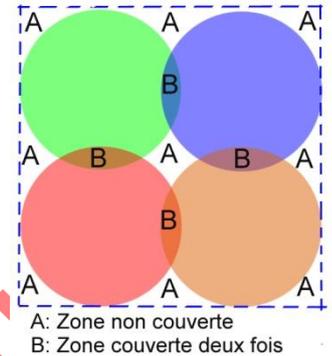


10.2. Méthodes avec bouts

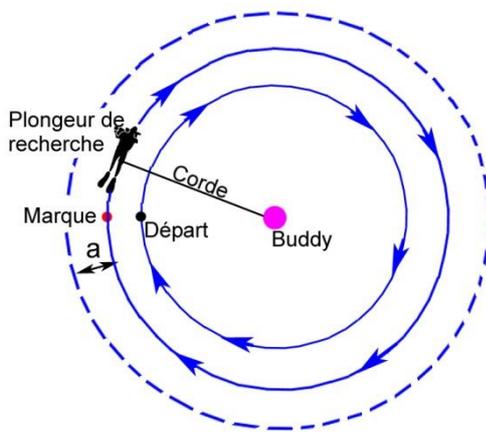
Ce sont des méthodes un peu plus complexes que les méthodes de recherche sans bout. Elles nécessitent un système de balisage plus précis. Les méthodes sont précises, elles permettent de retrouver des petits objets, voire des très petits objets.

10.2.1. Les méthodes du cercle

Ces schémas de plongée conviennent : pour retrouver des petits objets, ou des très petits objets sur un fond plat dénué d'obstacles et sans courants importants. Les zones de recherche possibles sont restreintes : il faut avoir la quasi-certitude, que l'objet se trouve bien dans la zone. Déplacer les zones de recherche de proche en proche amène à deux défauts possibles : soit omettre une partie du terrain à parcourir, soit le parcourir deux fois



10.2.1.1. Plongeur de sécurité au centre du cercle



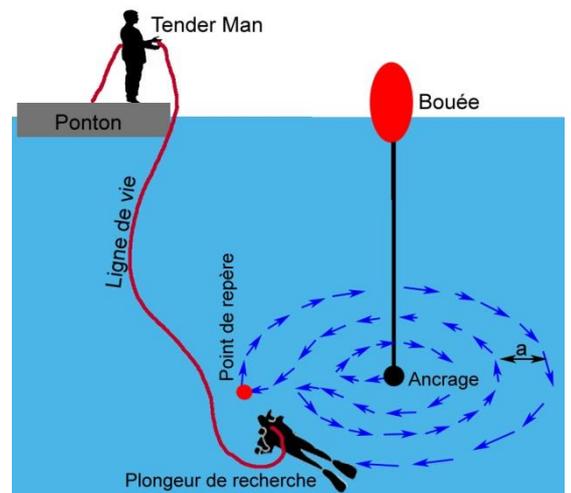
C'est la méthode la plus couramment utilisée par les plongeurs "loisirs", elle se fait à l'aide d'un dévidoir. Le compagnon de plongée se place au centre de la zone de recherche c'est-à-dire là où les témoins ont vu disparaître l'objet à rechercher. Le plongeur tourne autour de son compagnon de plongée et incrémente d'une longueur (a) le rayon de recherche à chaque tour. La valeur de (a) dépend de la taille de l'objet et de la visibilité. Le compagnon de plongée doit suivre le mouvement de corde de manière à ne pas s'emmêler et permettre au plongeur qui effectue la recherche de tourner toujours dans le même sens. Pour avoir une couverture de recherche sans

omission, il est conseillé :

- D'utiliser une marque pour être certain d'avoir fait un tour complet avant d'incrémenter le rayon ;
- D'effectuer un léger chevauchement des zones de recherche.

10.2.1.2. Plongeur de sécurité en surface

C'est une version un peu plus « pro » de la méthode du cercle, elle s'exécute avec un plongeur équipé d'un narghilé ou d'une ligne de vie. La sécurité étant assurée par un plongeur en surface (Tender man). Un ancrage ou une gueuze lestée est placé au centre de la zone de recherche c'est-à-dire là où les témoins ont vu disparaître l'objet à rechercher. Le plongeur accroche son dévidoir à l'ancrage puis fait un premier tour jusqu'au marquage. Ensuite il incrémente le rayon de recherche d'une longueur (a), la valeur de (a) dépend de la taille de l'objet et de la visibilité. Puis il commence un second tour de SENS CONTRAIRE au





Recherche et récupération d'objets

premier, afin de ne pas « bobiner » sa ligne de vie autour de l'ancrage. Pour avoir une couverture de recherche sans omission, il est conseillé :

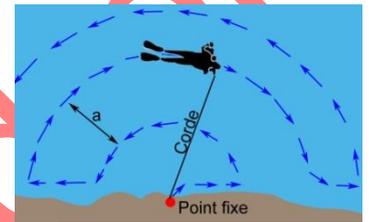
- D'utiliser une marque pour être certain d'avoir fait un tour complet avant d'incrémenter le rayon ;
- D'effectuer un léger chevauchement des zones de recherche.

10.2.2. Les méthodes du pendule.

C'est une variante de la méthode précédente qui est utilisée à partir du bord, ou lorsque la recherche ne se situe que d'un côté du point d'ancrage. Il existe deux variantes : la première pour des petits objets et la seconde pour des objets de grande taille.

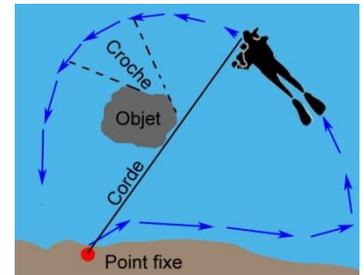
10.2.2.1. Objets de petites tailles

Le point d'ancrage se trouve sur la berge et le plongeur de recherche effectue un mouvement pendulaire autour de ce point en incrémentant le rayon à chaque cycle.

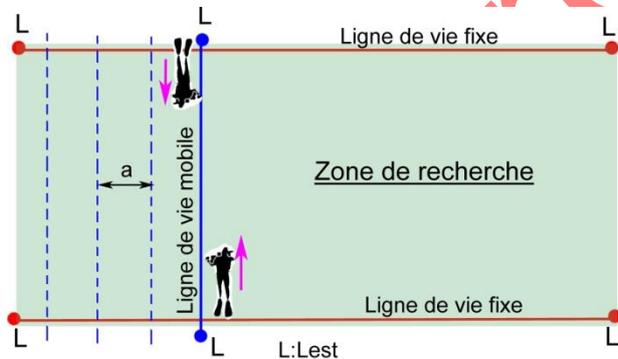


10.2.2.2. Objets de grandes tailles

Cette méthode ne convient que pour les objets de grandes tailles et sur une zone bien dégagée. Elle part du principe qu'en prenant un rayon suffisamment grand, le mouvement pendulaire va permettre d'accrocher l'objet et le plongeur sera ramené vers celui-ci.



10.2.3. Méthode du damier



Cette méthode convient bien pour explorer des grandes surfaces à la recherche d'objets de tailles moyennes ou, éventuellement, des petits objets. Le courant doit être assez modéré pour éviter d'emporter les objets. La première étape consiste à délimiter la longueur de la zone de recherche à l'aide de deux cordes parallèles fixes. Puis à une extrémité de ce référentiel, les plongeurs tirent une ligne de vie mobile perpendiculairement aux cordes fixes. Cette

ligne de vie est lestée à chacune des extrémités. Les deux plongeurs, se placent chacun à une extrémité, de part et d'autre de la ligne mobile, puis au signal (signal de corde, sur la ligne mobile), ils nagent le long de cette ligne. Arrivé à l'autre extrémité de cette ligne mobile : ils la déplacent d'une courte distance (a) et recommencent l'opération jusqu'à la découverte de l'objet. La valeur de (a) dépend de la taille de l'objet et de la visibilité. L'inconvénient de cette méthode, du point de vue sécuritaire est que les plongeurs ne sont que très peu de temps en contact direct lors de leurs parcours.

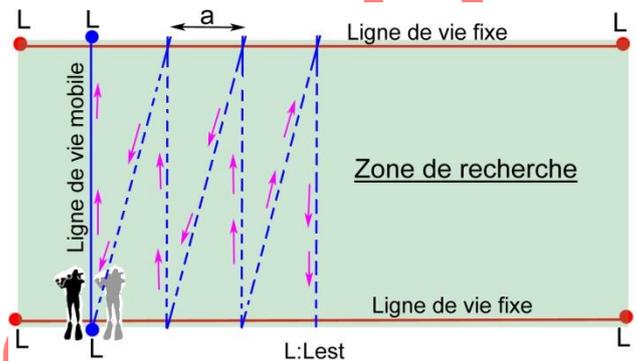


10.2.4. Méthode en « Z »

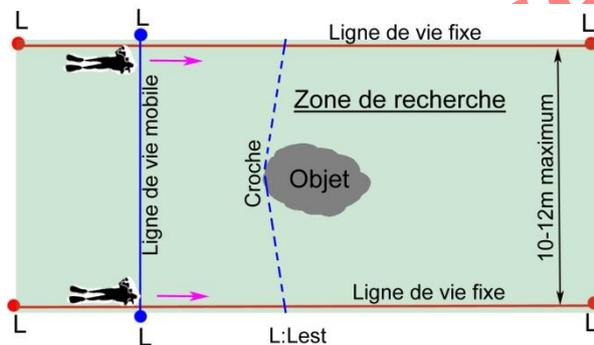
Il s'agit d'une variante de la « méthode du damier », elle présente les avantages suivants :

- De pouvoir retrouver des très petits objets ;
- Méthode très fiable ayant une bonne certitude de balayer toute la zone de recherche ;
- Les deux plongeurs sont toujours en contact direct ;
- Pas besoin de signaux de corde pour que les deux plongeurs puissent communiquer ;
- Utilisée en cas de visibilité limitée ;
- La méthode peut être utilisée par un plongeur solo, avec sécurité en surface (Tender Man).

Cependant elle a l'inconvénient de rallonger la durée des recherches et d'être fastidieuse. La mise en place des lignes de vie est identique à la « méthode du damier », mais les plongeurs partent du même côté : l'un à gauche et l'autre à droite de la ligne de vie mobile. Puis, ils progressent en même temps jusqu'à la ligne de vie fixe opposée. Ensuite ils déplacent légèrement la ligne de vie sur la distance (a) et recommencent l'opération jusqu'à la découverte de l'objet. Comme précédemment, la valeur de (a) dépend de la taille de l'objet et de la visibilité.



10.2.5. Méthode de la ligne de croche (snag-line)



Cette méthode est destinée à récupérer de gros objets, dans une large zone de recherche comportant peu de débris de grande taille. Elle part du principe qu'en balayant la zone de recherche, la ligne de vie mobile va accrocher l'objet à récupérer. En cas d'échec on déplace la bande de recherche, de manière que les deux bandes se chevauchent. Les plongeurs se déplacent en même temps le long des lignes de vie fixe en tirant la ligne de vie mobile

qui, en principe, va s'accrocher à l'objet à récupérer.

Les avantages de la méthode sont :

- Longueur de la zone de recherche importante ;
- Rapide et facile à mettre à œuvre.

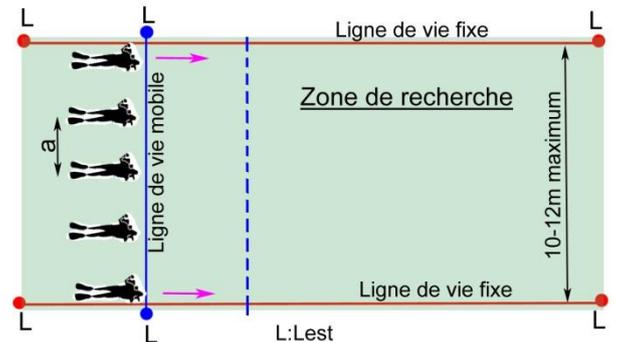
Les inconvénients de la méthode sont :

- Étroitesse de la bande de recherche ;
- Les plongeurs ne sont pas en contact direct ;
- Communication entre les plongeurs difficile, elle doit se faire à l'aide de signaux de corde sur la ligne de vie mobile.



10.2.6. Méthode de la ligne de nage (swim-line)

C'est une variante de la « méthode de croche » destinée à retrouver des objets plus petits. Elle s'apparente à la méthode terrestre de recherche en ligne. Plusieurs plongeurs se répartissent le long de la ligne de vie mobile et avancent en même temps. L'écart (a) entre les plongeurs est fonction de la taille de l'objet à retrouver et de la visibilité. Le signal de la découverte de l'objet se fait à l'aide d'un signal de corde préétabli entre les plongeurs. L'inconvénient principal de la méthode est de



devoir mobiliser un nombre important de plongeurs dans un même temps.

10.3. Méthodes pour courant violent.

LES OPÉRATIONS DE RECHERCHE ET DE REMONTÉE D'OBJETS DANS DES ZONES DE COURANT VIOLENT, PRINCIPALEMENT DANS LES RIVIÈRES, CANAUX... SONT DES PLONGÉES À TRÈS HAUT RISQUE. ELLES NE SONT PAS À LA PORTÉE DES PLONGEURS SPORTIFS. LES MÉTHODES DONNÉES DANS CE CHAPITRE, LE SONT UNIQUEMENT À TITRE INFORMATIF.

RECHERCHER ET REMONTER DES OBJETS DANS CES CONDITIONS C'EST LE JOB DES OTS !

10.3.1 Préambules

Les opérations de recherche et de remontée d'objets dans des zones à courant nécessitent :

- Une très bonne condition physique ;
- Un outillage spécifique pour ne pas être entraîné par le courant comme : piolets, creeper...
- Une équipe de surface, avec un plongeur prêt à porter secours (Tender Man) ;
- Des lignes de vie qui relient les plongeurs à l'équipe de surface. Ces lignes permettent de tirer le plongeur d'un « mauvais pas », comme une aspiration, un ressac ou un tourbillon.
- Dans les cours d'eau, les problèmes sont encore plus ardues. Principalement près des écluses, barrages ou autres ouvrages d'art. Il faut :
 - S'assurer que les vannes, vannes... sont fermées et qu'elles ne présentent pas de fuites ;
 - Boucher les fuites éventuelles, en dépliant un film PVC enroulé sur un tube lesté qui va se coller aux éléments de bardage ;
 - Le cas échéant, installer des batardeaux provisoires ;
 - Analyse de risques avec les responsables des ouvrages d'art ;
 - Utilisation d'un ombilical (narghilé) qui permet une « vraie » communication avec la surface ;
 - Utilisation de casque (pas de masque facial), afin de protéger la tête contre les chocs.



10.3.2. Comment se protéger du courant ?

Il n'y a pas trente-six manières de se protéger contre le courant : il faut offrir le moins de prise possible à celui-ci. La manière la plus efficace est de se coucher sur le fond, les palmes ne peuvent pas être plus hautes que le postérieur !

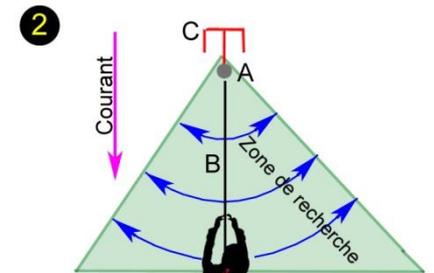
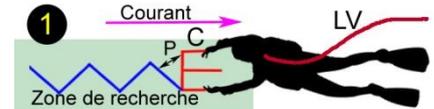
Le courant est minimal :

- Près du fond ;
- Le long des berges d'un cours d'eau.

10.3.3. Utilisation du « creeper »

Il est possible d'utiliser le « creeper » de deux manières différentes :

1. On s'en sert comme d'un point d'appui pour remonter le courant, en le déplaçant en zigzag. Le plongeur se tient aux poignées, ce qui lui permet de faire pivoter l'engin. Le pivotement de l'engin se fait sur l'une ou l'autre des pointes extérieures, il doit toujours avoir au moins une pointe en prise dans le sol.
2. On s'en sert comme d'une ancre et le plongeur remonte le courant à l'aide d'un bout fixé sur la partie centrale du « creeper ».



A : Anneau
B : Bout
C : Creeper
P : Pivotement
LV : Ligne de vie



11. SIGNAUX DE PLONGEE AVEC LA LIGNE DE VIE.

UNE BONNE COMMUNICATION ENTRE PLONGEURS ET EQUIPE DE SURFACE EST UN GAGE DE SECURITE !

Les signaux effectués sur la corde sont de trois types :

- Signaux entre les plongeurs.
- Signaux entre le plongeur et le Tender Man.
- Signaux entre le Tender Man et le plongeur.

Vous pouvez créer vos propre signaux, mais les conventions suivantes sont le plus souvent admises.

11.1. Signaux entre plongeurs en immersion

Nombre de traction	Signification
1	Je commence les recherches.
2	Demande si « ok » ? nécessite une réponse par signal identique.
3	J'ai fait un tour ou une longueur du schéma de recherche.
4	Rejoins-moi ou bien j'ai retrouvé l'objet.
Continue, saccadées	Signal de détresse, besoin d'une aide immédiate.

11.2. 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	Remonte-moi.
5	Plus d'air sur le narguilé.
6	Moins d'air sur le narguilé.
Continue, saccadées	Signal de détresse, besoin d'une aide immédiate.

11.3. Signaux du Tender Man vers le plongeur

Nombre de traction	Signification
1	Stop.
3	Remonter doucement.
4	Remonter d'urgence.
Continue, saccadées	Est-ce que tu vas bien ?



Partie 3. La récupération de l'objet

12. LA PHYSIQUE

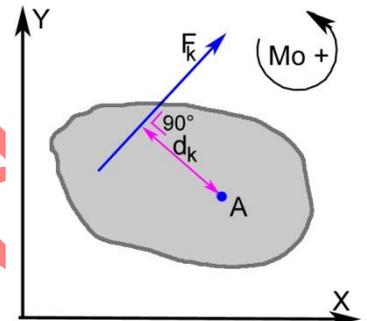
Quelques notions de physique sont indispensables pour remonter des objets en toute sécurité et calculer les quantités d'air qu'il faut injecter dans le parachute de relevage.

12.1. Notion de force, de moment et d'équilibre

12.1.1. Force

On appelle force¹⁰ (F), toute action mécanique qui a pour effet de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un objet ou de provoquer sa déformation. Une force est donc capable de : mettre un objet en mouvement, de modifier sa trajectoire ou de déformer cet objet. Une force se représente sous la forme d'un vecteur. Le « vecteur force » se caractérise par :

1. Sa direction : l'orientation de la force.
2. Son sens : vers où la force agit.
3. Son intensité : grandeur de la force, elle est mesurée en Newton¹¹ (N).
4. Son point d'application : endroit où la force s'exerce.



Un newton (N) c'est la force (F) qu'il faut communiquer à une masse (m) de 1 kg pour quelle acquiert une accélération (a) de 1 m/s², dans la direction et le sens de la force génératrice.

$$F = m \times a$$

12.1.2. Moment d'une force par rapport à un point.

On appelle moment d'une force par rapport à un point, le produit de cette force par son bras de levier. Celui-ci est la distance orthogonale qui sépare la ligne d'action du vecteur force au point considéré.

$$Mo_A = F_k \times d_k$$

¹⁰ Il existe dans les esprits une confusion entre la masse qui est invariable et le poids, qui est la force exercée par la gravité sur un objet et qui varie suivant l'endroit où l'on se trouve dans l'univers. Un petit exemple pour dissiper les doutes.

Le LEM (Lunar Excursion Module) à une masse sur terre de 14.700 kg, quelle est sa masse sur la lune et dans l'espace. Quels est son poids sur la terre, dans l'espace et sur la lune en sachant que la gravité terrestre est de 9,81 m/s² celle de la lune 1,62 m/s² et que la gravité dans l'espace est considérée comme nulle.

	Terre	Lune	Espace
Masse	14700 Kg	14700 Kg	14700 Kg
Poids	14700 x 9,81 = 144207 N	14700 x 1,62 = 23814 N	14700 x 0 = 0 N

¹¹ Isaac Newton : philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais (25/12 /1642 – 20/3/1727)



12.2.3. Equilibre d'un objet

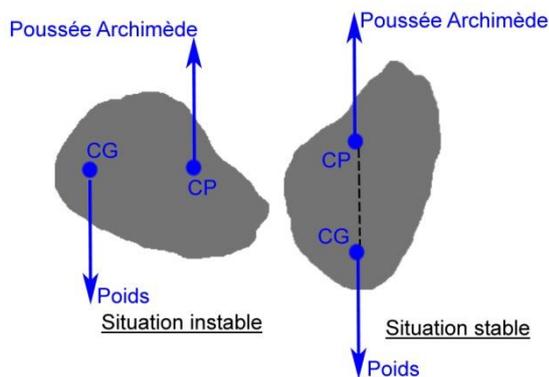
Un objet est en équilibre et stable, c'est-à-dire immobile, si et seulement si :

1. La somme des forces qui agissent sur l'objet est nulle.
2. Le moment de ces forces, par rapport à un point arbitraire, est nul.

$$\sum F_k = 0 \quad \sum M_o F_k = 0 \quad \sum F_k d_k = 0$$

12.2. Principe d'Archimède, poids apparent, centre de poussée

12.2.1 Principe d'Archimède



Le principe d'Archimède¹² nous apprend que : tout objet plongé dans un fluide (gaz ou liquide) reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale (F_a), dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé. Cette force passe par un point qui est le « centre de poussée » ou « centre de carène » (CP) ou centre de gravité de la masse de fluide déplacé.

L'objet est aussi soumis à la force de gravité (F_g) qui est égale au poids du corps. Cette force est verticale et est dirigée de haut en bas et passe par le centre de gravité (CG) du corps. On appelle «

Poids apparent » (P_a) la différence entre le poids réel du corps et la poussée d'Archimède. Comme nous avons vu au paragraphe précédent, pour que l'objet soit en équilibre, il faut que d'une part le poids apparent soit nul et d'autre part que le centre de gravité et le centre de poussée soit sur une même verticale. Si ce n'est pas le cas, l'objet va tourner sur lui-même jusqu'à la stabilité. L'équilibre sera stable si et seulement si le centre de gravité est en dessous du centre de poussée, sur une même verticale. Plus le centre de gravité est éloigné du centre de poussée, plus la stabilité sera grande.

12.2.2. Force de gravité et centre de gravité

Le centre de gravité, noté généralement par la lettre « G » est le point d'application de la résultante des forces de gravité ou de pesanteur. Autrement dit, c'est le point d'application du poids. La force de gravité est due à l'attraction terrestre, elle est verticale et dirigée du haut vers le bas. Sa valeur est donnée par la relation :

$$F_G = 9,81 \times m$$

Avec :

m = masse en kg

F_G = Force de gravité en N

12.2.3. Centre de poussée

C'est le centre de gravité de la masse de liquide déplacé par l'objet. Ce centre est aussi nommé : centre de carène.

¹² Archimède de Syracuse : mathématicien, géomètre et physicien Grec (287 av. J.-C. -212 av. J.-C.)



12.3. Loi de Boyle-Mariotte

La loi de Boyle-Mariotte¹³ va nous permettre de calculer la quantité d'air à injecter dans le parachute. Considérons un une quantité de gaz à l'état 0 qui est caractérisé par ses variables d'état, pression, volume et température soit P_0, V_0, T_0 . Faisons évoluer ce gaz vers l'état 1 caractérisé par les variables d'état P_1, V_1, T_1 et en supposant que $T_0=T_1$ on peut écrire que :

$$P_0V_0 = P_1V_1$$

12.4 Calcul de relevage au parachute

Le problème se résume à déterminer d'une part la taille du ou des parachutes ainsi que la quantité d'air à insuffler dans ceux-ci. Lors du relevage le système objet-parachute est soumis à diverses forces antagonistes tel que :

1. Poids de l'objet à remonter (P)
2. Poids du parachute : négligeable
3. Poids de l'air dans le parachute (P_{air}): négligeable, la masse volumique de l'air est largement inférieure à celle de l'eau...¹⁴
4. Poussée d'Archimède sur l'Objet ($F_{a\ objet}$)
5. Poussée d'Archimède sur le parachute ($F_{a\ parachute}$)

A l'équilibre, la résultante de ces forces doit être nulle. Pour que l'objet remonte : il faut que la poussée d'Archimède du système objet-parachute soit supérieure au poids de ce système. Ce qui revient à dire que la poussée d'Archimède du parachute doit être supérieure au poids apparent de l'objet. Si on considère, en plus des hypothèses émises ci-dessus, que la densité de l'eau est égale à un et que les bouteilles sont gonflées à 200 bars. Il vient qu'on obtient pour le calcul du volume du parachute (V), du volume d'air (V_{air}) à insuffler dans le parachute et de la capacité de la bouteille (C_B) de gonflage du parachute, des relations très simples:

$$V = m \left(1 - \frac{1}{d_{objet}} \right) \quad V_{air} = V \left\{ \frac{(Prof + 10)}{10} \right\} \quad C_B = \frac{V_{air}}{P_B}$$

Avec :

V= volume du parachute en litres (l)

m= masse de l'objet en kg

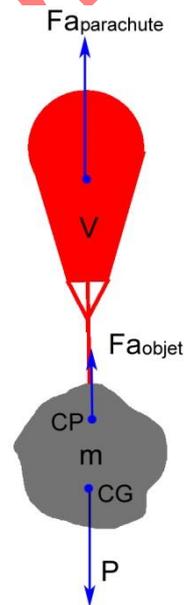
d_{objet} = densité de la matière de l'objet.

V_{air} = Volume d'air à introduire dans le parachute en litres (l)

Prof= Profondeur en mètres (m)

C_B = Capacité de la bouteille en litres (l)

P_B = Pression dans la bouteille en bar



Ces calculs sont théoriques, ils ne tiennent pas compte du fait que les objets peuvent être englués. En pratique, il vaut mieux prévoir une capacité d'au moins 30% supérieur à la capacité calculée.

¹³ Robert Boyle : physicien et chimiste irlandais (1627-1691) et Edmé Mariotte : physicien français (1620-1684)

¹⁴ Masse volumique de l'air à 60m de profondeur : 9 Kg/m³. Masse volumique de l'eau 1000 kg/m³ ; marge d'erreur (9/1000) soit moins de 1%



Recherche et récupération d'objets

Exemple numérique :

Quel parachute et quelle quantité d'air faut-il pour remonter un moteur de 100 kg d'une profondeur de 30m ?

Données : $m = 100 \text{ kg}$ $d_{\text{objet}} = 8 \text{ (acier)}$ Prof = 30

Résolution :

$$V = 100 \left(1 - \frac{1}{8}\right) = 87,5 \text{ litres} \quad V_{\text{air}} = 87,5 \left\{ \frac{(30 + 10)}{10} \right\} = 350 \text{ litres} \quad C_B = \frac{350}{200} = 1,75 \text{ litres}$$

En tenant compte d'une sécurité de 30% minimum on va adopter le matériel suivant : un ballon de relevage de 200 litres (100 litres risque d'être juste) et une bouteille de 3 litres à 200 bar



13. NOTION DE RESISTANCE DES MATERIAUX

La résistance des matériaux est une discipline mécanique, qui permet de calculer contraintes et déformations d'une structure. Elle permet de dimensionner les éléments de la structure pour éviter les ruptures.

Les tableaux ci-dessous sont donnés à titre indicatif. Pour connaître les charges maximales d'utilisations il faut se référer aux catalogues des fabricants.

13.1. Cordages et élingues

Cordes en polypropylène		
Diamètre	Nombre de brins	Charge maximale (daN)
4,5	3	300
6	3	450
8	3	800
12	4	1800
14	4	2500

Nombre de brins	Un Brin	Deux Brins		Trois et Quatre Brins *		Coulissant	Brassière ronde	Brassière cubique
Type d'utilisation								
Angle d'utilisation	vertical	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 120^\circ$	$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 120^\circ$	//	$\beta \leq 45^\circ$ $R > 10 d$	$\beta \leq 45^\circ$ $R \geq 10 d$
Facteur d'élingage	Facteur 1	Facteur 1,4	Facteur 1	Facteur 2,1	Facteur 1,5	Facteur 0,8	Facteur 1,8	Facteur 0,9

Diam chaîne mm	CHAÎNE GRADE 80 Charge Maximum d'utilisation en kg							
6	1120	1600	1120	2360	1700	896	2016	1008
7	1500	2120	1500	3150	2240	1200	2700	1350
8	2000	2800	2000	4250	3000	1600	3600	1800
10	3150	4250	3150	6700	4750	2520	5670	2835
13	5300	7500	5300	11200	8000	4240	9540	4770
16	8000	11200	8000	17000	11800	6400	14400	7200
20	12500	17000	12500	26500	19000	10000	22500	11250
22	15000	21200	15000	31500	22400	12000	27000	13500
26	21200	30000	21200	45000	31500	16960	38160	19080

Diam câble mm	CÂBLE ACIER Charge Maximum d'utilisation en kg							
4	200	-	-	-	-	160	360	180
5	300	-	-	-	-	240	540	270
6	400	560	400	840	600	320	720	360
7	500	700	500	1050	750	400	900	450
8	750	1050	750	1575	1125	600	1350	675
9	1000	1400	1000	2100	1500	800	1800	900
10	1250	1750	1250	2625	1875	1000	2250	1125
12	1500	2100	1500	3150	2250	1200	2700	1350
13	2000	2800	2000	4200	3000	1600	3600	1800
16	2500	3500	2500	5250	3750	2000	4500	2250
18	3000	4200	3000	6300	4500	2400	5400	2700
20	4000	5600	4000	8400	6000	3200	7200	3600
22	5000	7000	5000	10500	7500	4000	9000	4500
24	6000	8400	6000	12600	9000	4800	10800	5400
26	7500	10500	7500	15750	11250	6000	13500	6750
30	11500	16100	11500	24150	17250	9200	20700	10350

Source: LEVAC (www.levac.fr/)



13.2. Mousquetons

Mousquetons Inox 316	
Diamètre (d)	Charge maximale (daN)
5	280
6	320
7	450
8	800
9	900
10	1200
12	1300
13	1400

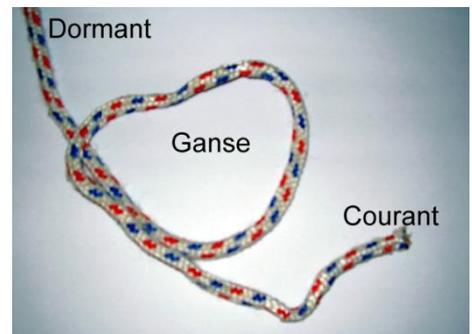
14. LES NŒUDS

Il existe des dizaines de nœuds différents. Pour remonter des objets, il importe d'en connaître quelques-uns et de les utiliser correctement et à bon escient. Certains peuvent :

- Être noué ou dénoué sous tension ;
- Se souquer (cfr paragraphe 14.1) et devenir difficile à larguer ;
- Se défaire très (trop) facilement.

14.1. Petit vocabulaire des nœuds

- Ganse : longue anse (courbure) ouverte ou fermée qui est formée sans croisement ni chevauchement.
- Courant : partie entre le nœud et l'extrémité du fil.
- Dormant : c'est la partie du fil à l'opposé du courant.
- Bout : corde sans nom et sans utilisation précise.
- Tour-mort : double passage autour d'un point d'amarrage, sert à limiter le frottement et augmenter la solidité du nœud.
- Souquer : action de serrer fortement... un nœud qui se souque devient difficile, voire impossible à défaire.



14.2. Nœuds les plus courants

On ne reprend dans ce paragraphe que les nœuds les plus utilisés pour remonter des objets.

14.2.1. Tour-mort

Ce n'est pas à proprement parler un nœud, il bloque l'amarrage et limite l'usure des cordes. Il est surtout utilisé en association avec les demi-clés qu'il empêche de se bloquer.

14.2.2. Demi-clés

C'est le nœud qu'on fait presque naturellement, il est très facile à faire ! Deux demi-clés en association avec un tour-mort donne un bon amarrage, qui est suffisant





dans la plupart des cas pour remonter un objet.

14.2.3.1 Utilisation

- Multiples usages.
- Amarrages.

14.2.3.2 Avantages

- Il est très facile à faire.
- Il est facile à défaire.
- Il ne souque pas.

14.2.3.3 Inconvénients

- Doit être double pour ne pas se défaire.
- Nœud précaire, à ne pas utiliser sur une longue période.

14.2.3 Nœud de chaise

C'est le nœud le plus utilisé pour fixer des objets, il est solide, résistant et ne souque pas ! Il est conseillé lors de son utilisation de faire un nœud d'arrêt (nœud en huit de préférence) sur le courant. Son nom vient du fait qu'il est possible de s'asseoir dans la boucle.

14.2.3.1 Utilisation

- Fixation d'objets.
- Nœud à « tout faire » en plongée.

14.2.3.2 Avantages

- Il est facile à faire.
- Il est facile à défaire.
- Il est solide.
- Il ne souque pas.
- Il est sûr, même lorsque la tension dans le cordage varie.

14.2.3.3 Inconvénients

- Il faut faire un nœud d'arrêt pour une sécurité maximale
- Ne se défait pas sous tension

14.2.4. Nœud d'écoute

Le nœud d'écoute est un nœud de liaison qui permet de solidariser deux bouts de diamètre différent. Il est plus sûr que le nœud plat ou le nœud de vache. La boucle doit toujours être formée par le bout qui a le plus gros diamètre. Pour plus de sécurité il est préférable de faire un nœud double.

Un tour mort et deux demi-clés



Noeud d'écoute simple





Recherche et récupération d'objets

14.2.4.1 Utilisation

- Liaison entre deux bouts.

14.2.4.2 Avantages

- Il est facile à faire.
- Il est facile à défaire.
- Il est solide.
- Il ne souque pas.



Noeud d'écoute double

14.2.4.3 Inconvénients

- Il faut faire un nœud double pour une sécurité maximale

14.2.5. Nœud en huit

Le nœud en huit est un nœud d'arrêt. Il nettement plus sûr que le simple nœud qui une fois souqué est impossible à défaire.

14.2.6.1 Utilisation

- Empêcher un bout de filer
- Sécuriser un nœud de chaise

14.2.6.2 Avantages

- Facile à réaliser
- Facile à défaire
- Solide

14.2.6.3 Inconvénients

- Nœud à surveiller



15. LES ENGINES DE RELEVAGE



Ponton de 1.200 tonnes de la société Smit internationale (www.smit.com) Source : Smith – Wikipedia (CC-BY)

Les engins de relevage sont nombreux et variés : cela va du simple parachute aux pontons de relevage de plusieurs milliers de tonnes ! Dans le cadre de cette formation a va s'intéresser principalement aux parachutes. Il n'est pas dans les attributions des plongeurs « loisirs » d'utiliser pontons, grues ou autres engins de levage lourd !

Smit internationale est une société néerlandaise spécialisée dans le renflouage. Elle a notamment renfloué l'Herald of free enterprise à Zeebrugge en avril 1987.



16. LE RELEVAGE AU PARACHUTE

Les parachutes ou ballons de relevage, sont les engins les plus utilisés pour le levage des objets immergés.

Il faut choisir un parachute de relevage de taille appropriée. Un parachute trop petit va mener à l'échec du relevage et un trop grand, va engendrer un problème de contrôle de la vitesse de remontée.

16.1. Les parachutes et ballons de relevage.

Le plus généralement, ils sont de forme ovoïde avec l'extrémité inférieure ouverte. L'ouverture à la partie inférieure permet d'une part d'insuffler de l'air et d'autre part d'évacuer l'air en excès en cas de remontée incontrôlée et ce pour éviter la rupture de la toile et la chute de la charge. Il existe aussi des ballons cylindriques ou de forme spécialement adaptée au travail à effectuer.

Ils sont munis d'une soupape, qui permet le contrôle de la vitesse de remontée et d'élingues, anneaux pour s'accrocher à l'objet à remonter. Les ballons de grandes tailles sont même pourvus d'une vanne d'injection d'air.

Les tailles les plus courantes sont : 30, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 kg mais certains ballons vont jusqu'à 50 tonnes !



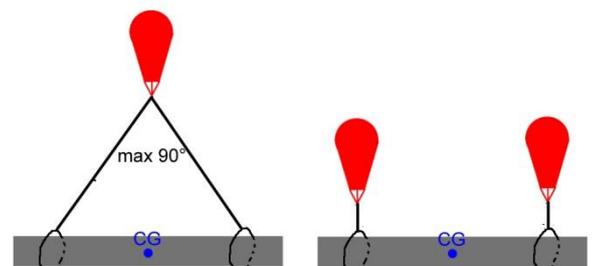
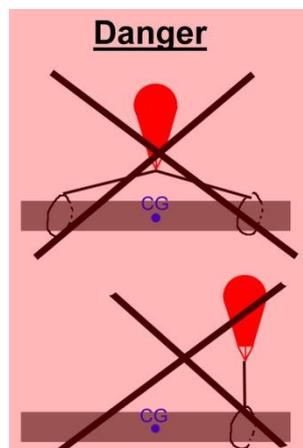
Source: Plasteco - Milano
(www.plastecomilano.com)

16.2. Précautions à prendre avant le relevage

- Vérifiez si l'ensemble de matériel de levage est adéquat pour la charge à relever (charge maximale admissible).
- Vérifiez si le matériel est complet : ballons, cordages, accastillage, bouteilles d'air, détendeur...
- Vérifiez visuellement le bon état du matériel de levage.
- Vérifier si la quantité d'air disponible est suffisante.

16.3. Procédure de relevage au parachute

1. Attacher une petite bouée de repérage sur l'objet à remonter, afin de repérer l'objet plus facilement en cas d'incident de remontée (basculement et chute de l'objet).
2. Placer correctement le parachute de relevage à l'objet à remonter. Il faut être particulièrement attentif au risque de:



- a. Basculement ou glissement de l'objet ;
- b. Mise en rotation de l'objet ;



- c. De rupture des élingues à cause d'un angle trop important.
3. Gonfler doucement le ou les ballons d'une manière homogène, jusqu'à l'équilibre.
4. S'il y a lieu déplacer horizontalement l'objet.
5. Ajouter un petit peu d'air, pour entamer la remontée.
6. Contrôler la vitesse de remontée à l'aide de la soupape.
7. Arrivé en surface assurer vous que l'objet ne puisse pas basculer
8. Remonter l'objet à bord, à l'aide d'engins de manutentions adaptés à la masse, taille et configuration de l'objet.

16.4. Précautions à prendre lors du relevage

- Accrocher le ballon de manière à éviter le basculement de la charge lors du relevage.
- Eviter que les élingues ne fassent des angles incompatible avec leur bonne utilisation, c'est-à-dire un angle supérieur à 90° ou 120° (voir : chapitre 13 sur la résistance des matériaux).
- Ne pas gonfler le ballon trop brusquement.
- Si on utilise plusieurs ballons :
 - Il faut les répartir judicieusement le long de la charge, pour éviter le basculement de celle-ci.
 - Il faut les gonfler en même temps pour maintenir la charge équilibrée. Les ballons de grande capacité, possèdent des vannes d'insufflation d'air qui peuvent être réunis par une tuyauterie d'air comprimé qui va assurer le gonflage simultané.
- **Ne JAMAIS rester sous la charge !**
- **Ne JAMAIS s'accrocher au ballon !**
- Rester le long du ballon, près de la soupape, pour pouvoir actionner celle-ci et éviter la remontée incontrôlée.
- Eviter que le bateau ne prenne trop de gîte lorsqu'on remonte l'objet à bord. Pour les petit bateau, le risque de chavirement n'est pas une « vue de l'esprit » lorsque tous les équipiers se placent sur le même bord pour « aider » à remonter l'objet !



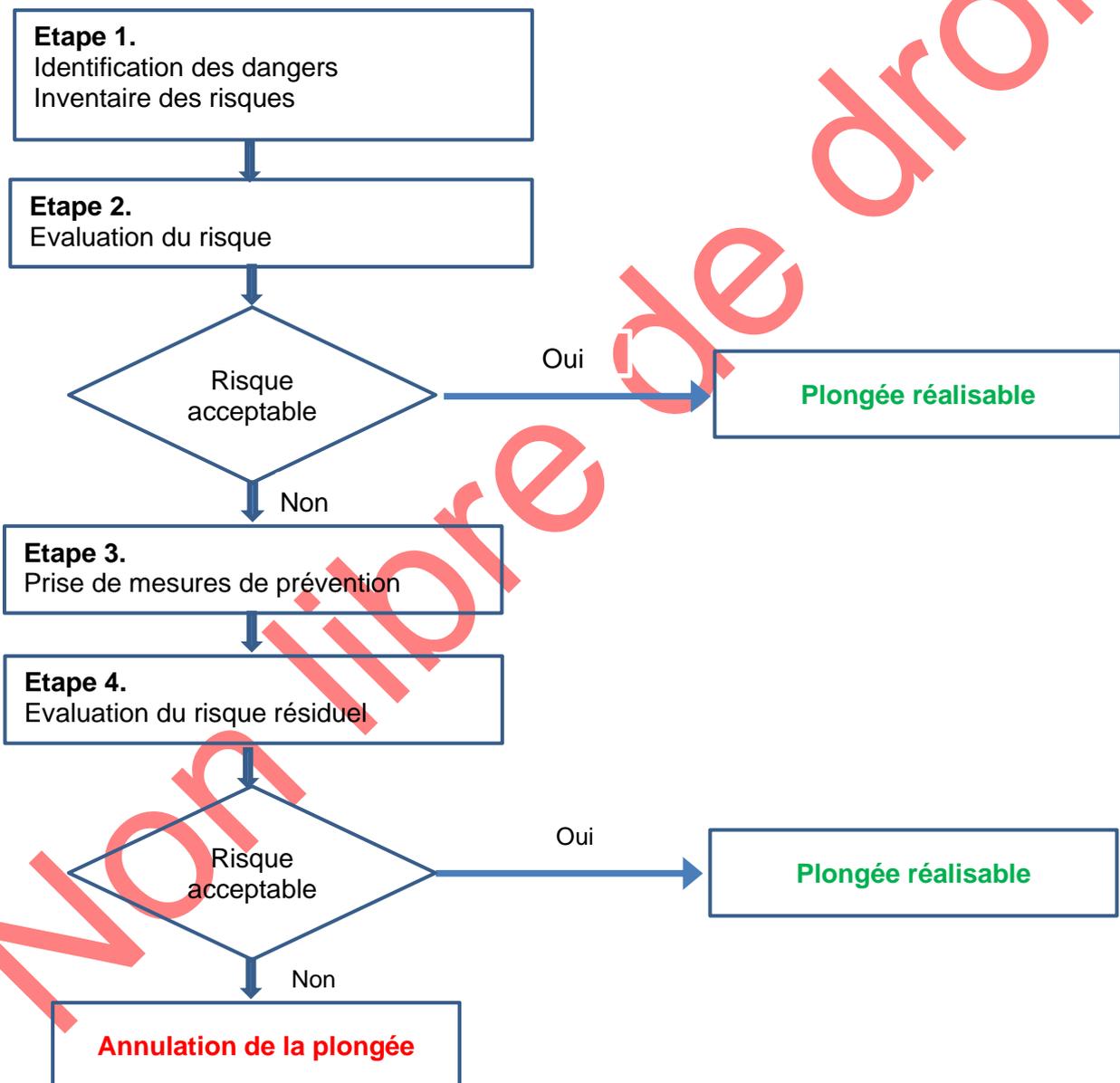
17. NOTIONS D'ANALYSE DES RISQUES.

17.1. Généralités

L'analyse des risques est une science complexe. Les résultats dépendent grandement de l'objectivité de la personne en charge de cette analyse. Certains facteurs pouvant être très subjectifs. Il existe diverses méthodes, celle que nous développons dans cet ouvrage est la méthode Kinney.

17.2. Etapes de l'analyse des risques

Une bonne analyse des risques doit être structurée et passer dans l'ordre par toutes les étapes illustrées dans graphique ci-dessous.





17.3. Définitions

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

17.4 Méthode Kinney

La Méthode Kinney est une méthode de hiérarchisation 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 (R_k) 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 :

$$R_k = G \times E \times P$$

Cette formulation ne tient pas compte de la formation et de l'expérience. Malchaire J. & Koob J-P¹⁵ 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 :

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

Avec :

- R_k : Risque estimé suivant la méthode Kinney.
- G : Gravité des conséquences possibles (Domage).
- E : Durée d'exposition au facteur de risque.
- P : Probabilité d'émergence du dommage 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 numériques¹⁶. L'estimation du « score » du risque est le produit de ces facteurs. Le score ainsi obtenu pourrait être nuancé en fonction de la 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-P, le « score » peut varier en fonction de l'observateur dans une fourchette de 1 à 15.

¹⁵ Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques - Malchaire J. & Koob J-P – Université catholique de Louvain

¹⁶ Les tableaux originaux donnaient une échelle de coût. Dans le cadre de la plongée loisir, 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 !



17.4.1. Tableaux des facteurs G, E et P

17.4.1.1. « 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

17.4.1.2. « 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

17.4.1.3. « 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

17.4.2. Tableaux de l'évaluation du « Risque » (R_k)

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

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



17.4.3. Analyse de risque

Le tableau ci-dessous représente une analyse de risque, non exhaustive, pour la recherche et la récupération d'objets. Le tableau ne reprend pas les risques généraux liée à la plongée (panne d'air...)

Risque	Conditions	Facteurs / score				Prévention	Risque résiduel			
		G	E	P	R _k		G	E	P	R _k
Chute de la charge		15	3	6	270	Ne pas rester sous la charge Vérifier le bon état des engins de levage. Être conservatif dans le choix des charges maximales de l'équipement de levage. Vérifier la validité des points d'accrochage. Soigner les nœuds	15	3	0,2	9
Emmêlement		15	3	6	270	Outils tranchants, cisailles, plongeur de sécurité.	15	3	0,2	9
Coupures	Objet léger, intact sans arêtes tranchantes	3	3	6	54	Gants	3	3	0,5	4,5
	Objet lourd avec arêtes tranchantes	7	3	6	126	Gants anti-coupures, combinaison renforcée	7	3	0,5	10,5
Courant	Mer à marée	3	3	6	54	Plonger lorsque le courant est au minimum. Vérifier le moment des étales. Dans la mesure du possible, éviter les marées de vives-eaux	3	3	0,5	4,5
	Rivières	15	3	6	270	Éviter les périodes de crues. Ligne de vie. Plongeur de sécurité et équipe en surface. Utiliser un creeper. Ligne de sécurité tirée au travers de la rivière	15	3	0,2	9
Navigation		15	3	3	135	Baliser la zone. Pavillon alpha bien visible	15	3	0,1	4,5
Blow-up	Remontée incontrôlée	7	3	1	21	Ne pas s'accrocher au parachute, formation des plongeurs. Parachutes a soupapes. Contrôler la vitesse de remontée des parachutes	7	3	0,5	10,5
Soutirage eau Delta P		15	2	10	300	Empêcher par des moyens physique l'aspiration du plongeur. Repérage des zone à risque	15	2	0,2	6

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