



Guide de mise en œuvre des produits explosifs en milieu Subaquatique



SYNDUEX
ADHÉRENT FNTP

La Technicité Maîtrisée.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	3
PREFACE	7
CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE	8
CHAPITRE 1 - LE MILIEU AQUATIQUE	9
1 Définitions et vocabulaire propre à l'élément	9
1.1 Les matériaux de couverture	9
1.2 Le marnage	10
1.3 Les courants	10
1.4 Le marinage et la hauteur d'eau	11
1.5 Les ondes progressives, les lames et la houle	11
2 Le mécanisme de propagation des ondes explosives dans l'eau	14
2.1 Phase 1 : propagation de l'onde de choc	14
2.2 Phase 2 : création et déplacement de la bulle gazeuse	15
2.3 Phase 3 : Approche de la bulle en surface	16
2.4 Phase 4 : Diffusion des gaz dans l'atmosphère	17
3 Les ondes de choc sous-marines	17
3.1 Production des ondes de choc	18
3.2 L'intensité des ondes de choc sous-marine est liée à différents facteurs	18
3.3 L'intensité d'une explosion sous-marine diminue en fonction de la profondeur	18
3.4 L'onde de choc est généralement caractérisée pour les tirs subaquatiques par deux caractéristiques	19
4 Effet dans le milieu liquide d'une détonation	19
4.1 Les effets structurels	19
4.2 Les effets sur l'homme : Le BLAST	21
4.3 Les effets sur la faune aquatique	22
4.4 Les effets sur les massifs coralliens	23
CHAPITRE - 2 - LES EQUIPEMENTS DE TRAVAIL	24
1 Les supports maritimes	24
1.1 Les pontons	25

1.2	Les plate-formes	26
1.3	La classification administrative des supports maritimes	28
1.4	Le positionnement	28
2	La foreuse	30
2.1	Description	30
2.2	La glissière	31
2.3	Le marteau	33
2.4	La constitution du train de tiges	34
3	Les dispositifs de transmission	35
3.1	Communication radios/téléphoniques	35
3.2	Moyens de communication visuels : Les pavillons	35
4	Les matériels de sécurité embarqués	36
5	Les ateliers de charges pré-conditionnées	37
6	Les UMFE	37
	CHAPITRE 3 - LES EXPLOSIFS	38
1	Définitions	38
2	Propriétés des explosifs	38
2.1	La détonation	39
2.2	Les caractéristiques des explosifs	40
2.3	Pérennité de l'explosif	42
3	Les explosifs particuliers au milieu aquatique	43
3.1	Les dynamites	43
3.2	Les watergels	44
3.3	Les émulsions	45
3.4	Les explosifs liquides	45
3.5	Les charges creuses	46
3.6	Les charges de découpage	50
4	LES PROPRIETES REDOUTEES DES EXPLOSIFS	52
4.1	Désensibilisation des explosifs	52
4.2	Détonation par influence	52

5	LA CHAINE PYROTECHNIQUE	53
6	LES DISPOSITIFS D'AMORCAGE	53
6.1	Les modes d'amorçage	54
6.2	L'amorçage T. C. O. C. (tube conducteur d'onde de choc)	55
CHAPITRE 4 : METHODE DE REALISATION DES TIRS / ETUDE		57
1	LES RENSEIGNEMENTS NECESSAIRES POUR DETERMINER LA METHODE	57
1.1	Définition des paramètres	57
1.2	Les trois méthodes utilisées	57
1.3	Facteurs pouvant influencer le plan de tir	59
2	THEORIE DE BASE DU CALCUL	63
2.1	Formules pour les travaux de déroctage maritime	63
2.2	Quelques valeurs de référence pour les massifs rocheux	74
CHAPITRE 5 - LES MODES OPERATOIRES		75
1	Mise en œuvre des explosifs et artifices à partir des plates-formes	75
1.1	Préparation de la charge	75
1.2	Chargement du tir	75
1.3	Préparation physique du tir	76
2	Mise en œuvre des explosifs et artifices avec scaphandriers	77
2.1	Les dispositions propres à la plongée	77
2.2	Organisation du chantier	80
2.3	Règles de sécurité générales	81
2.4	Choix de la méthode d'amorçage	81
2.5	Exécution du chantier	81
3	Gestion des dysfonctionnements	83
3.1	Interruption de la procédure de mise à feu :	83
3.2	Conduite à tenir en cas de raté de la mise à feu :	84
3.3	Traitement des ratés de tir :	84
4	Quelques techniques spécifiques	85
4.1	Les charges appliquées (ou superficielles)	85
4.2	Les charges concentrées (ou d'ébranlement)	89
4.3	Les charges de collision	90

CHAPITRE 6 – LES CONSEQUENCES DES TIRS	92
1 LES VIBRATIONS	92
1.1 Les vibrations dans la roche (milieu solide)	92
1.2 Les explosions dans le socle et sous l'eau	96
1.3 La modélisation sismique hybride	103
2 ONDE DE CHOC ACOUSTIQUE	106
3 LES PROJECTIONS	107
CHAPITRE - 7 - L'ORGANISATION ET LES HOMMES	108
1 Les Régimes sociaux des salariés sur les chantiers subaquatiques.	108
2 Qualification des personnels	108
2.1 L'ingénieur concepteur	108
2.2 Le chef mineur	109
2.3 Le chef de ponton	109
2.4 L'artificier	109
2.5 Le foreur	110
2.6 Le matelot	110
2.7 Le tigeur	110
3 ORGANISATION ADMINISTRATIVE	110
3.1 Organisation générale	111
3.2 L'obtention du certificat d'acquisition.	112
3.3 Documents obligatoires pour l'entreprise sur un chantier subaquatique	113
3.4 Diffusion des travaux auprès des diverses autorités compétentes	115
3.5 Diffusion de l'information auprès du public	115
4 Le langage spécifique	116
4.1 Maritime	116
4.2 Plongée	118
4.3 Forages	120
4.4 Minage	120
4.5 Administratif et réglementation	123

BIBLIOGRAPHIE

REMERCIEMENTS

PREFACE

Depuis de nombreuses années, l'un des objectifs du SYNDUEX est l'information et la vulgarisation des techniques d'emploi des explosifs pour la réalisation de chantiers de Travaux Publics.

En effet, le développement de l'activité ne peut se faire sans une meilleure connaissance des moyens et des méthodes.

Ce guide, voulu et attendu par les experts de la profession, est un outil important de ce travail.

Il est conçu pour être un support de formation des utilisateurs et un vecteur d'information de l'ensemble de la profession. Il doit beaucoup à la volonté de Jacques Guilloché, récemment disparu, qui souhaitait transmettre au plus grand nombre sa connaissance et sa très grande expérience dans ce type de travaux.

Jacques a su rassembler et fédérer autour de lui les meilleurs spécialistes de la profession dans cet objectif et mener à bien cette tâche difficile de transmission des connaissances à laquelle il tenait beaucoup.

Que toute l'équipe qui a participé en soit remerciée et souhaitons que ce guide suscite de nouvelles vocations pour la reprise du flambeau.

CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE

Ce guide, rédigé par les experts de la profession, a pour objet de faire l'état actuel des lieux de la connaissance en matière d'utilisation d'explosifs pour les travaux maritimes. Il traite des spécificités de ces travaux, vocabulaire, milieu naturel, comportement des produits explosifs en milieu maritime. Il décrit les matériels mis en œuvre, les équipements spécifiques, l'organisation de ces travaux et les méthodes de dimensionnement.

Véritable support de formation, il doit permettre le développement de cette activité par une meilleure connaissance de celle-ci par tous les intervenants, de la maîtrise d'ouvrage aux entreprises spécialisées sans oublier les bureaux d'études concevant ces types de travaux.

Il est organisé en sept grands titres :

Le milieu aquatique (spécificité, langage, contraintes particulières)

Les équipements de travail

Les explosifs et les réactions spécifiques en milieu aquatique

L'étude et la conception des tirs

Les modes opératoires

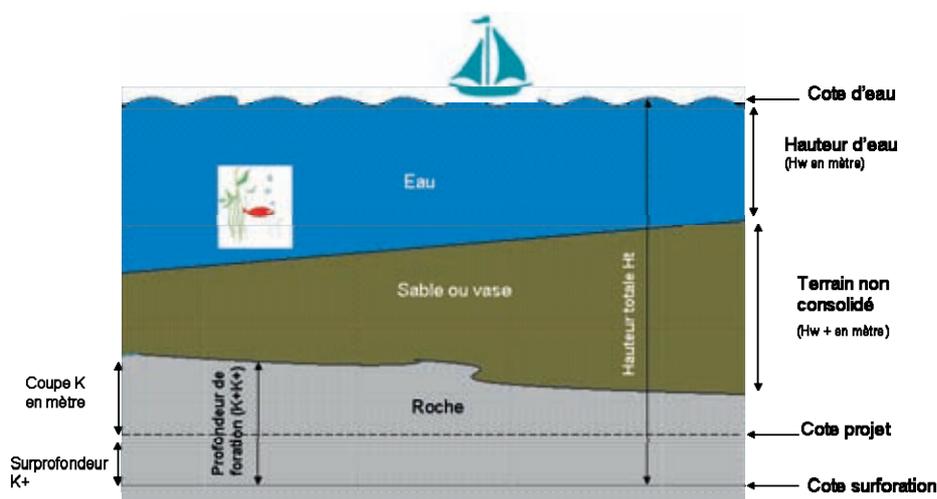
Les risques et conséquences spécifiques

L'organisation et les moyens humains

Nota : Le langage utilisé dans ce guide, bien particulier à ces travaux, est décrypté en renvoi de page et dans un glossaire en fin d'ouvrage.

CHAPITRE 1 - LE MILIEU AQUATIQUE

1 Définitions et vocabulaire propre à l'élément

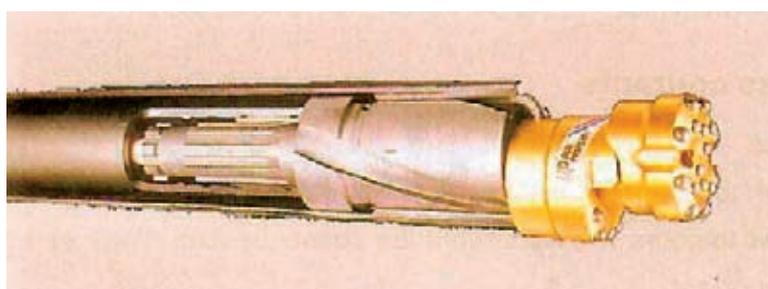


Coupe sur le milieu aquatique

1.1 Les matériaux de couverture

Le plateau rocheux à dérocter est généralement couvert de matériaux tels que sables ou argiles sur quelques dizaines de centimètres.

La présence de ces matériaux non consolidés impose l'utilisation de pré-tubage (forage en OD¹).



Taillant spécial pour forage Méthode OD - TUBEX de Sanvick

¹ OD : La méthode OD (Over Drilling) permet de forer au travers d'un tubage que l'on pousse au fur et à mesure de l'avancement du taillant

Ces matériaux de couverture retombent dans le forage sur les charges quand le pré-tubage est remonté à la fin de l'opération de chargement. Ces matériaux viennent « quater² » la charge l'empêchant ainsi de remonter.

Quand le plateau rocheux est propre, sans matériaux de couverture, il est nécessaire de lester la charge préfabriquée pour l'empêcher de remonter.

1.2 Le marnage

Le marnage est la différence de niveau entre les hautes mers et les basses mers.

Les conséquences de ce phénomène naturel sont importantes pour la réalisation des forages sur les supports maritimes en flottaison. En effet, la profondeur des forages est matérialisée par le plan de comparaison de la plate-forme. (3) Celle-ci évoluant en permanence, le foreur doit modifier constamment ses repères pour obtenir la bonne profondeur. L'expérience montre que l'utilisation simultanée de deux foreuses ou plus sur un support en flottaison nécessite de disposer d'un opérateur, en général le chef de ponton, en permanence pour donner les informations correctes au foreur par le suivi de l'échelle des marées. En cas d'urgence, c'est à dire lorsque le plan de comparaison devient inférieur à la course du train de tige sur la glissière à cause du marnage il peut être nécessaire de découper au chalumeau l'équipement. Le marnage prévu peut être modifié par le vent, les crues, les courants et la pression atmosphérique. Ces informations sont communiquées par le service maritime compétent.

1.3 Les courants

Les courants peuvent être responsables de nombreuses anomalies dans la méthodologie d'un déroctage voir même l'impossibilité de sa réalisation. L'artificier doit toujours avoir à l'esprit les conséquences d'une eau chargée dans un courant important.

En effet, quand la fenêtre de forage⁴ est terminée, les 15 ou 20 dispositifs de mise à feu remontent à la surface et forment ainsi une prise importante aux éléments tels que les algues, les végétaux, le bois, les déchets de tout genre acheminés par le courant. Les contraintes mécaniques imposées alors à l'ensemble du tir peuvent être très importantes :

Si le quartzage est mal réalisé, les charges peuvent sortir du forage et partir au fil du courant,

Si le quartzage est bien réalisé, on peut alors craindre une rupture du dispositif de mise à feu et provoquer ainsi un raté de tir.

² Quater : action de bloquer l'outil de forage ou la cartouche d'explosifs à l'intérieur du forage à la suite du démasquage des matériaux non consolidés en tête de forage (sable, vase,...) .

³ Le plan de comparaison est le plan de référence constitué par le pont de la plateforme

⁴ La fenêtre de forage correspond à la séquence de forage réalisée sans déplacement du support maritime (entre 15 et 20 forages en général) et correspondant à chaque tir

1.4 Le marinage et la hauteur d'eau

L'objectif du minage dans un chantier de déroctage est d'extraire les matériaux rocheux pour les évacuer avec des moyens mécaniques. La précision de réalisation du forage diminue en fonction de la hauteur d'eau. De ce fait, les équipements utilisés conditionnent la réalisation du marinage.

L'atelier de marinage est toujours constitué d'un ponton souvent stabilisé par pieux équipé d'une pelle rétro.

Il existe des pelles avec équipements spéciaux qui peuvent descendre jusqu'à 15 mètres. Au delà de cette limite, il faut généralement utiliser une benne preneuse.

Le rendement de ces deux types de matériel est très différent.

Si l'équipement rétro peut se contenter d'une fragmentation relativement grossière, l'équipement benne preneuse ne peut s'en satisfaire, il lui faut une fragmentation beaucoup plus importante, donc un plan de tir avec une maille plus serrée.

On peut dire qu'au dessus de 20 mètres de hauteur d'eau, le déroctage devient vraiment problématique.

1.5 Les ondes progressives, les lames et la houle

Dans les mers et les océans, il y a plusieurs types d'ondes progressives dont les origines sont multiples. Toute onde peut être caractérisée par sa période et sa longueur d'onde⁵. Dès lors, il est possible de classer les ondes progressives en fonction de leurs longueurs d'onde.

On distingue :

Les tsunamis, dont des ondes provoquées par des séismes sous-marins ont des longueurs d'onde pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers de kilomètres ;

Les rides capillaires, en revanche, présentent des longueurs d'onde de quelques dizaines de centimètres seulement ;

Les lames, sont des ondes dont les longueurs varient de quelques mètres à quelques centaines de mètres ;

La houle est, en fait, l'ensemble des lames particulières dont les périodes sont de l'ordre de quelques secondes à quelques dizaines de secondes et dont le profil est régulier.

La houle est liée aux actions du vent sur la surface de l'eau.

L'état de la mer est classé selon son aspect visuel par l'échelle de Beaufort.

Elle occupe une place importante dans la réalisation des travaux subaquatiques, c'est un élément qui s'ajoute aux intempéries pris en compte (ou pas) dans le CCTP ou dans l'étude. Certains marchés prévoient cette prise en compte au-delà d'une valeur d'amplitude mesurée par un houlographe.

⁵ la longueur d'onde est la distance entre deux crêtes successives.

En cas de houle importante, le dispositif de mise à feu doit être calculé largement en tenant compte de l'amplitude de la houle et de la marée.

La houle pose également un problème de stabilité pour l'ensemble des supports maritimes et tout particulièrement pour les supports équipés de foreuses.

Si le support est simplement stabilisé et si les vagues dépassent 0,50 m, la tension des câbles de papillonnage n'est pas suffisante pour stabiliser la plateforme.

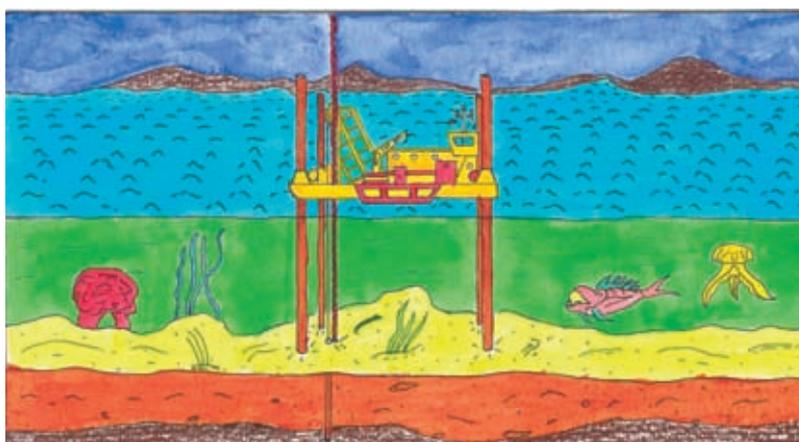


Schéma de la plateforme élévatrice

Si le support est élévateur et si les vagues dépassent 0,80 m, c'est son déplacement qui peut être rendu délicat par la présence d'une houle importante.

En effet, après la réalisation d'une ligne de forages chargés, il est nécessaire de déplacer la plateforme pour se rendre sur la position de tir. Cette opération ne peut être réalisée qu'en remettant la plateforme en flottaison.

Pour ce faire, il faut redescendre la plate-forme de ses pieux, mais cette opération est lente : la vitesse d'évolution de la plate-forme sur ses pieux dépend de son poids et de la puissance hydraulique embarquée. A l'instant où le bas des caissons de la plate-forme arrive en contact avec l'eau, la houle mettant ce caisson en flottaison, peut alors déplacer la plate-forme en direction de la vague et faire retomber lourdement l'ensemble sur ses pieux (pieux endommagés ou pliés, «fontaines de pieux » détériorées) ou encore entraîner les lignes de tir. Le meilleur rapport poids/puissance permet au support maritime d'être performant et de s'adapter aux caractéristiques de la houle. Le but est de pouvoir élever la plateforme entre deux crêtes successives de la houle.

L'opération de mise en flottaison et de déjaugage⁶ est toujours délicate et doit être menée par un équipage confirmé.

⁶ Le déjaugage est l'action qui consiste à mettre hors flottaison la plateforme

Echelle Beaufort	Termes descriptifs	Vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur		Aspect de la mer au large	Hauteur probable des vagues (m)	
		m/s	noeud		Moy.	Max.
		0	Calme		0 à 0,2	< à 1
1	Très légère brise	0,3 à 1,5	1 à 3	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans aucune écume.	0,1	0,1
2	Légère brise	1,6 à 3,4	4 à 6	Vaguelettes, courtes encore, mais plus accusées ; leurs crêtes, d'apparence vitreuse ne déferlent pas.	0,2	0,3
3	Petite brise	3,5 à 5,4	7 à 10	Très petites vagues ; les crêtes commencent à déferler ; écume d'aspect vitreux ; parfois quelques moutons épars.	0,6	1,0
4	Jolie brise	5,5 à 7,9	11 à 16	Petites vagues devenant plus longues ; moutons assez nombreux.	1,0	1,5
5	Bonne brise	8 à 10,7	17 à 21	Vagues modérées prenant un profil nettement plus allongé ; formation de nombreux moutons.	2,0	2,5
6	Vent frais	10,8 à 13,8	22 à 27	Des lames commencent à se former les crêtes d'écume blanche sont plus étendues ; quelques embruns.	3,0	4,0
7	Grand frais	13,9 à 17,1	28 à 33	La mer grossit ; l'écume blanche provenant des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées qui s'orientent dans le lit du vent.	4,0	5,5
8	Coup de vent	17,2 à 20,7	34 à 40	Lames de hauteur modérée et plus allongée ; des tourbillons d'embruns se détachent des crêtes ; l'écume est soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	5,5	7,5
9	Fort coup de vent	20,8 à 24,4	41 à 47	Grosses lames ; nombreuses traînées d'écume dans le lit du vent ; les crêtes des lames commencent à vaciller et à s'écrouler en rouleaux ; les embruns peuvent réduire la visibilité.	7,0	10,0
10	Tempête	24,5 à 28,4	48 à 55	Très grosses lames à longues crêtes en surplomb ; l'écume produite s'agglomère en larges taches et est soufflée dans le lit du vent en épaisse traînées blanches ; la surface des eaux semble blanche ; le déferlement en rouleaux devient intense ; visibilité réduite.	9,0	12,5
11	Violente tempête	28,5 à 32,6	56 à 63	Lames exceptionnellement hautes ; la mer est complètement recouverte de tache d'écume ; partout le bord des crêtes des lames est soufflé et donne de la mousse ; visibilité réduite.	11,5	16,0
12	Ouragan	32,7 ou +	> 64	L'air est plein d'écume et d'embruns la mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écume qui dérivent ; visibilité fortement réduite.	14	+

Classification de l'état de la mer par l'Echelle de Beaufort

2 Le mécanisme de propagation des ondes explosives dans l'eau

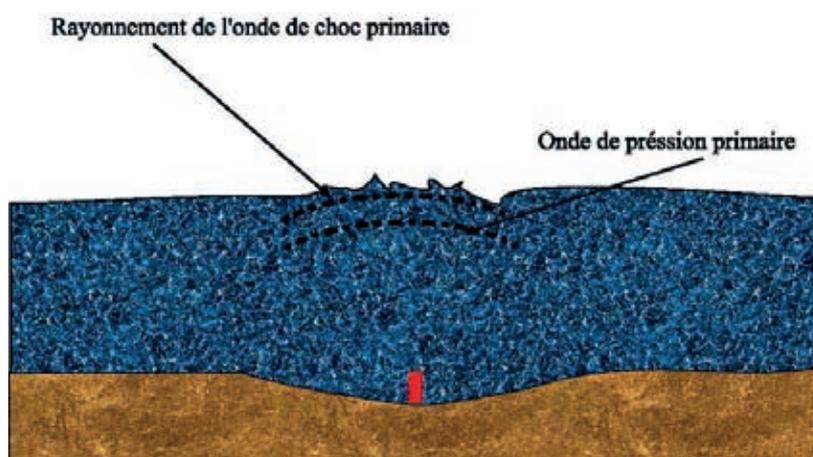
L'explosion d'une charge est provoquée par le passage d'un front de détonation dans la matière explosive, lequel est ensuite suivi par une zone de réaction dans laquelle la matière se transforme en une masse de gaz extrêmement dense.

2.1 Phase 1 : propagation de l'onde de choc

Lorsque l'explosion a lieu sous l'eau, l'onde de détonation qui se déplaçait dans l'explosif, continue à se propager dans l'eau sous la forme d'une onde de compression. Cette onde de compression se déplace très rapidement de son point d'origine, à la vitesse d'environ 1.500 m/s⁷.

A proximité immédiate de l'explosion, la pression est très élevée, mais elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source explosive. L'onde de choc se propage radialement autour de sa source.

Lorsqu'elle atteint la surface, elle provoque tout d'abord un rayonnement extrêmement bref (quelques microsecondes) sur la surface de l'eau. Cette perturbation à peine perceptible, se présente généralement sous la forme d'un bref changement de couleur de l'eau. Elle peut être observée pour des tirs même lorsque ceux-ci sont réalisés à une profondeur de l'ordre d'une centaine de mètres.



Rayonnement de l'onde de choc primaire

Ensuite, étant donné que l'air a une densité inférieure à l'eau, l'atmosphère ne peut opposer une résistance suffisante par compression et, par conséquent, l'onde de compression se réfléchit à la surface de l'eau en une onde de traction telle que la somme entre les pressions directes et réfléchies est pratiquement égale à zéro.

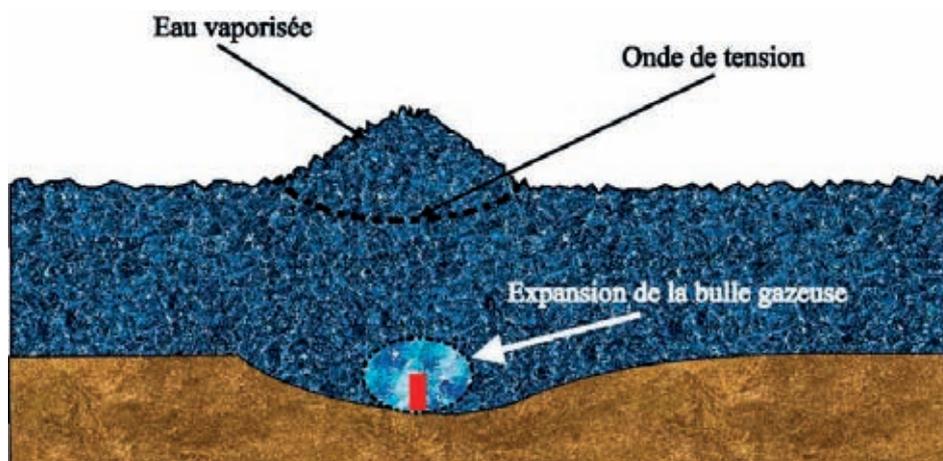
L'eau à la surface est projetée violemment vers le haut à une vitesse proportionnelle à la pression de l'onde directe sous la forme d'un dôme de couleur blanchâtre dont la forme et la hauteur varie en fonction de la profondeur et de la valeur de la charge.

⁷ Si la pression est suffisamment faible, la vitesse de l'onde est indépendante de l'amplitude de la pression et dans une eau à 18°C ; elle est de l'ordre de 1500 m/s, ce qui n'est pas le cas à proximité immédiate de l'explosion.

Comme l'eau n'est pratiquement pas à même de propager une onde de traction, l'onde de choc réfléchi contre la surface, va rapidement créer une zone de cavitation juste sous la surface de l'eau.

2.2 Phase 2 : création et déplacement de la bulle gazeuse

L'onde de choc génère une importante onde de pression et un déplacement de l'eau autour de la source explosive ; les gaz d'une densité extrême composant les produits de réaction vont pouvoir se dilater et la bulle gazeuse ainsi formée va commencer à se déplacer et entamer sa remontée rapide en subissant alternativement (en fonction de la profondeur) une ou plusieurs phases d'expansion et de contraction.



Développement de la bulle gazeuse et du dôme

La forte pression régnant dans les gaz lors de l'explosion diminue de façon significative après que l'onde de choc a été émise⁸ mais elle reste très supérieure à la pression d'équilibre initiale du milieu⁹. La bulle commence à se déplacer et, en même temps continue de se dilater ; la pression interne du gaz décroît graduellement jusqu'à devenir inférieure à la pression d'équilibre ; se produit alors une dépression à l'intérieur de la bulle. Elle se contracte jusqu'à une valeur dépendant de la compressibilité des gaz et dépasse à nouveau, dans l'autre sens, l'état d'équilibre. Son volume atteint un minimum et une surpression s'établit à l'intérieur de la bulle puis le mécanisme recommence successivement.

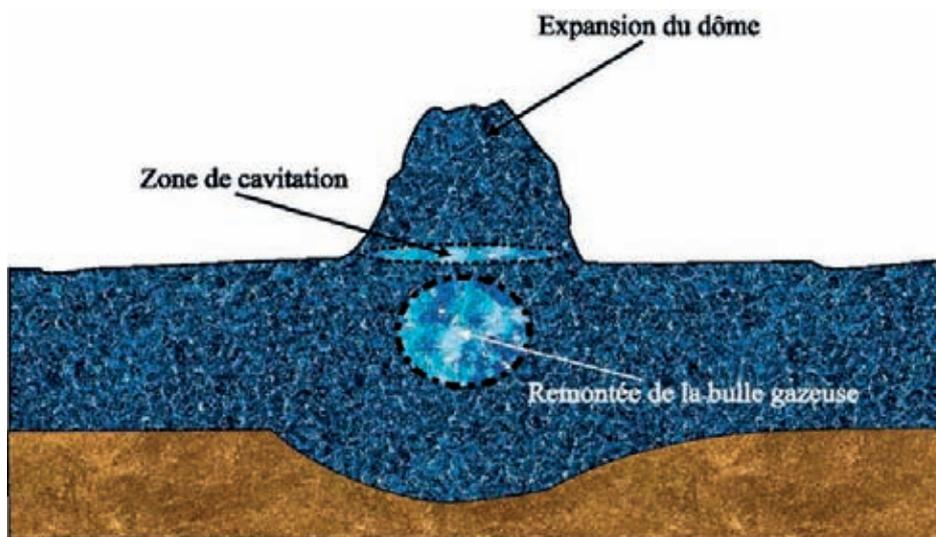
L'inertie de l'eau et les propriétés élastiques de l'eau et des gaz vont générer les conditions nécessaires à un système oscillant d'expansion – contraction.

La trajectoire de la bulle dépend de l'oscillation asymétrique ainsi produite par les phases successives d'expansion – contraction et l'impulsion résultante s'amortit par suite des pertes d'énergie due à l'émission des ondes de pression au début de chaque expansion et à l'échauffement de l'eau au

⁸ Le pic de pression dû à la première impulsion de la bulle est environ 10 à 20% de celui de l'onde de choc mais la durée est plus grande et les aires des courbes représentatives $P=P(t)$ sont comparables.

⁹ La pression hydrostatique additionnée à la pression atmosphérique correspond à la pression d'équilibre du milieu. La pression après l'explosion va tendre à atteindre de nouveau cette valeur.

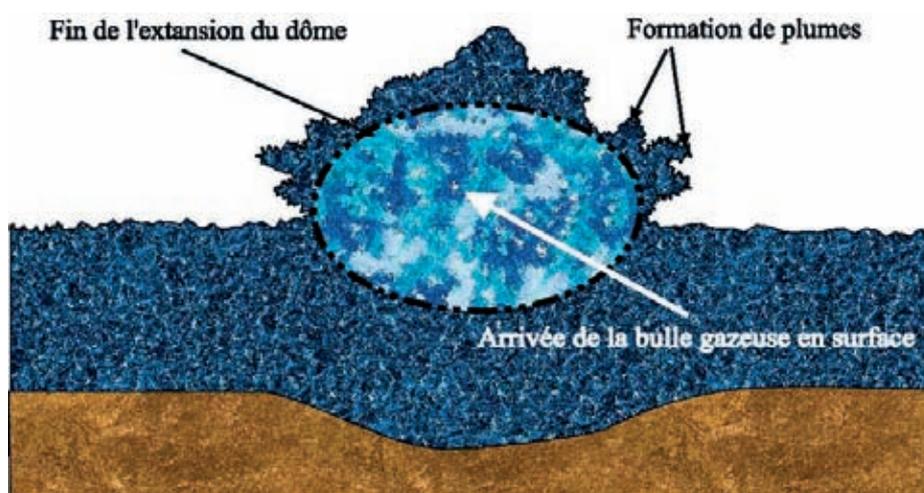
voisinage de la bulle. A chaque pulsation, une quantité d'énergie importante est perdue (du fait du déplacement et des turbulences).



Remontée de la bulle vers la surface par phase d'expansion-contraction

2.3 Phase 3 : Approche de la bulle en surface

Lorsque la bulle gazeuse crève la surface, il se forme un certain nombre de « plumes » qui seront projetées latéralement le long de la périphérie du dôme sur quelques mètres. La phase d'expansion du dôme se termine dès qu'il y a équilibre des pressions. Pour des profondeurs de moins de cent mètres, le dôme peut être insignifiant.

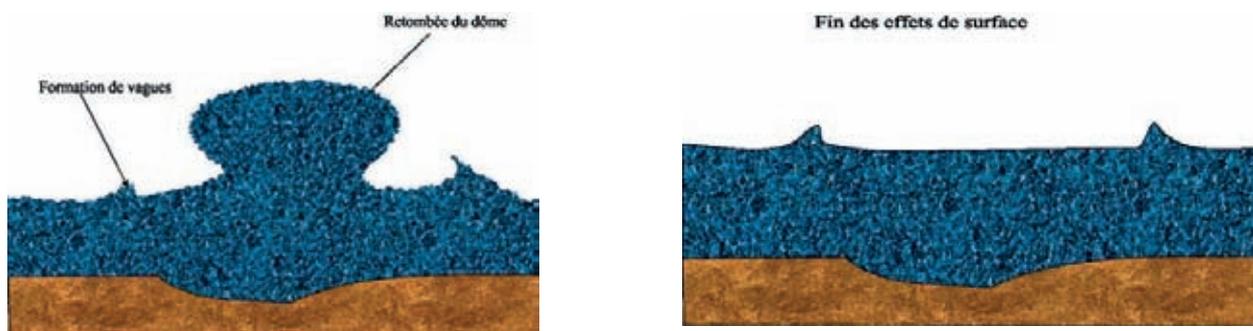


Formation de plumes d'eau autour du dôme

2.4 Phase 4 : Diffusion des gaz dans l'atmosphère

Le dôme retombe ensuite sur lui-même tout en provoquant un certain nombre de vagues plus ou moins importantes.

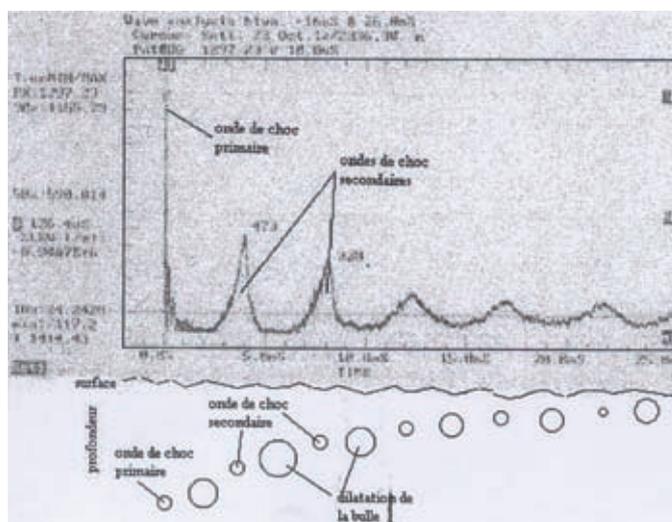
La durée totale des effets pour une simple charge est de l'ordre de 2 à 4 secondes



Retombée du dôme et formation de vagues

3 Les ondes de choc sous-marines

L'eau d'une densité 763 fois supérieure¹⁰ à celle de l'air est relativement incompressible. Du fait de cette relative incompressibilité, les ondes de choc générées lors d'une explosion sous l'eau se propagent beaucoup plus rapidement dans l'eau (1.480 m/s) que dans l'air (330 m/s) et leurs effets sont plus importants ; ceci a pour conséquence directe une zone à risque plus importante.



Profil d'une onde de choc sous-marine et dilatation de la bulle gazeuse

¹⁰ Masse volumique de l'eau à 3.98°C = 1000kg/m³ ; masse volumique de l'air à la même température = 1,309 kg/m³

3.1 Production des ondes de choc

Une détonation en pleine eau va produire deux ondes de choc bien distinctes.

Premièrement, une onde de choc primaire qui va en quelques microsecondes atteindre une pression extrêmement élevée et redescendre ensuite sous la pression hydrostatique en moins de 200 microsecondes.

Cette onde de choc primaire est suivie très rapidement par une onde de choc secondaire engendrée par l'expansion des gaz d'explosion remontant à la surface.

Ces deux ondes constituent l'essentiel de l'énergie utilisée pour la fragmentation par le tir. De toute l'énergie produite durant l'explosion, environ 54 % est convertie en onde de choc primaire et 46 % en onde de choc secondaire. Ces deux ondes constituent l'essentiel de l'énergie utilisée pour la fragmentation par le tir.

3.2 L'intensité des ondes de choc sous-marines est liée à différents facteurs

- Le type d'explosif
- Les dimensions de la charge (longueur, diamètre...)
- Le confinement de la charge
- La hauteur d'eau
- La nature du fond
- La distance de l'explosion

Plus la quantité d'explosif instantané est élevée, plus la pression de l'onde de choc sous-marines en un point donné est élevée.

Le pic de pression primaire et l'impulsion provoquée par l'explosion d'une charge confinée sont généralement inférieurs de 86 à 90 % du pic de pression primaire et de l'impulsion d'une charge superficielle de même grandeur explosant en pleine eau.

3.3 L'intensité d'une explosion sous-marine diminue en fonction de la profondeur

Un fond meuble a tendance à amortir les ondes de réflexion, alors qu'un fond rocheux a tendance à amplifier et à focaliser les ondes de choc sur une plus grande distance.

On admet généralement que la pression de détonation est proportionnelle à la racine cubique de la charge et inversement proportionnelle à la distance.

On peut en conclure qu'une diminution plus effective de l'onde de choc a lieu lorsqu'on diminue la quantité d'explosif. Il faut néanmoins tenir compte des phénomènes de réflexion de l'onde de choc contre d'éventuelles structures immergées ou contre le fond.

3.4 L'onde de choc est généralement caractérisée pour les tirs subaquatiques par deux caractéristiques

Le pic de pression maximum (P.M.) est le niveau de surpression maximum c'est-à-dire la pression au dessus de la pression atmosphérique ambiante causée par l'onde de choc. Conventionnellement, il s'agit du pic initial de l'onde.

L'impulsion (I) laquelle peut être définie comme étant la pression moyenne de l'onde de choc multipliée par sa durée (correspond à la surface de la courbe $P=P(t)$).

Ces caractéristiques peuvent être simplement évaluées par des abaques ou éventuellement des calculs plus complexes mais plus fiables à partir des formules de COLE.

La plupart des formules empiriques destinées à calculer la pression de l'onde de choc primaire utilisent le T.N.T. comme explosif de référence. Une réduction du pic de pression primaire d'environ 35 à 40 % peut être prise en compte lors de l'utilisation d'explosifs classiques (dynamites, émulsions, watergels) à partir de l'équivalent TNT qui est évalué grâce à la formule de conversion suivante :

$$C = \frac{d_e * v_e}{d_{TNT} * v_{TNT}}$$

où d_e et d_{TNT} sont respectivement la densité de l'explosif utilisé et la densité du TNT, et v_e et v_{TNT} sont respectivement la vitesse de détonation de l'explosif utilisé et du TNT.

4 Effet dans le milieu liquide d'une détonation

4.1 Les effets structurels

Les structures ou les ouvrages ont des fréquences propres (parfois appelé fréquence naturelle) variables selon la forme et l'inertie de l'ouvrage. Les dégâts peuvent dépendre également de la nature des matériaux constructifs et de leur aptitude à résister aux efforts qui leur sont appliqués.

Si l'effort appliqué est supérieur à la résistance à la compression ou si la fréquence de la vibration reçue atteint la fréquence propre de l'ouvrage, il en résulte des dégâts importants (déformation permanente ou destruction).

La fréquence naturelle ainsi que la pression statique absorbée par l'ouvrage peuvent être aisément évaluées.

Les caractéristiques (Pression maximale PM ou impulsion) de l'onde permettent de connaître les efforts s'appliquant sur les structures lors de la détonation et peuvent être, comme nous l'avons vu précédemment, facilement évaluées ou enregistrées à l'aide d'un géophone.

La déformation définitive de l'ouvrage se produit au moment de l'arrivée de l'onde de pression et le phénomène est terminé avant que l'énergie due au processus de l'expansion de la bulle ait pu jouer.

Les dégâts sur un objet immergé totalement ou partiellement dépendent de la forme de l'objet et de la position de la charge.

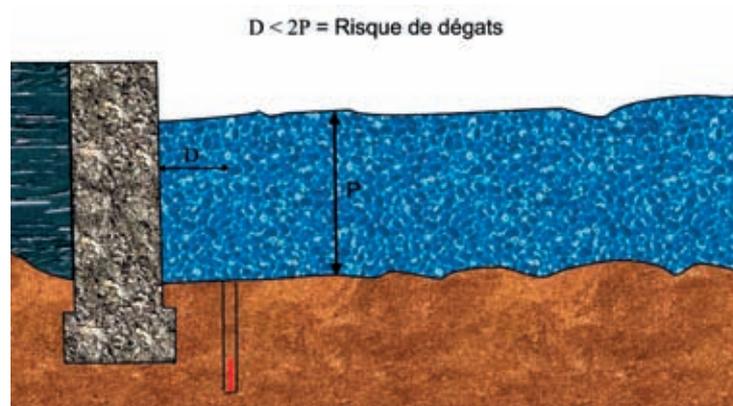
Les structures lourdes, telles que murs de quai, jetées ou barrages :

Ces structures ont généralement une fréquence propre (appelée parfois naturelle) de vibration assez basse et, dans ce cas, le critère de dommage ne sera pas le pic de pression, mais l'impulsion maximale que peut subir ce type d'ouvrage.

Lorsque cette impulsion arrive au contact de la structure, elle va exercer sur celle-ci une certaine pression pendant quelques millisecondes, ce qui aura comme conséquence de faire vibrer l'ouvrage suivant sa fréquence propre.

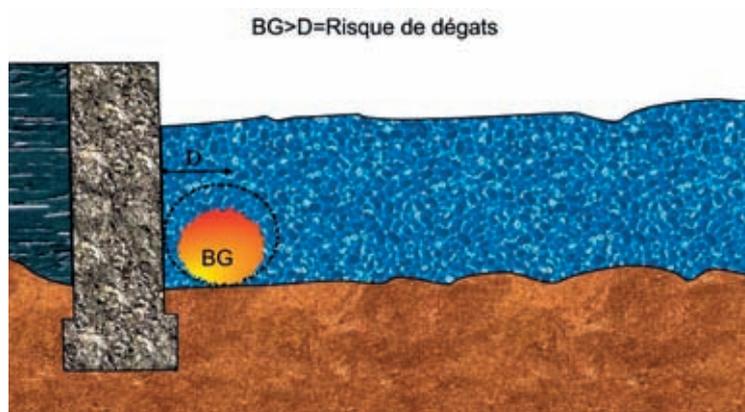
Si les contraintes sont trop élevées, des dégâts peuvent apparaître même si le pic de pression contre la structure est inférieur à la limite de compression du matériau.

En ce qui concerne les tirs confinés, on considère que le risque de dégâts existe lorsque la distance entre la structure et la zone de tir est inférieure à deux fois la hauteur d'eau.



Risque de dégâts avec charge confinée

Pour les charges superficielles, on considère que le risque de dégât apparaît dès que la structure concernée se trouve à une distance égale ou inférieure au rayon de la bulle gazeuse.



Risque de dégâts avec charge superficielle

Les structures métalliques et rigides, telles que, les portes d'écluse, les navires, ont des fréquences naturelles de vibration élevées et dans ce cas, le critère de dommage sera basé sur la pression maximale que peut subir ce type d'ouvrage.

Les ouvrages métalliques peuvent généralement subir des pressions assez élevées comprises entre 30 et 50 bars mais ici également un coefficient de sécurité doit être adopté de manière à ce que la pression contre la structure ne dépasse pas 15 bars.

4.2 Les effets sur l'homme : Le BLAST

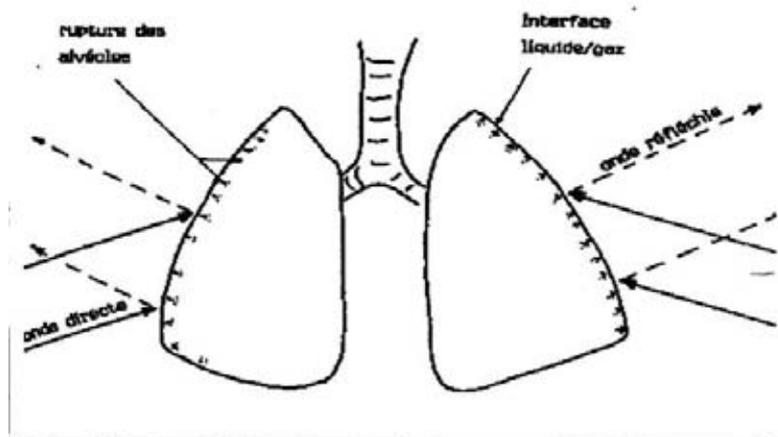
Le corps humain a une densité très voisine de l'eau de mer. L'onde de pression arrivant sur l'homme va le traverser et sera transmise par le corps humain.

Si les espèces vivantes n'étaient constituées que d'éléments liquides, ils pourraient sans problème supporter les effets d'une explosion sous-marine car l'onde de choc traverserait les tissus sans les affecter.

Mais le problème vient du fait que nous possédons bon nombre de cavités aériennes (poumons, sinus, intestins, oreilles etc....) et, de ce fait, les effets vont être complètement différents.

Ainsi, lorsque l'onde de choc va rencontrer une cavité aérienne, elle va se transformer en une onde de choc réfléchie et provoquer le décollement ou l'arrachement des tissus se trouvant au niveau de l'interface formée par les tissus et la cavité.

Les effets sur l'organisme vivant d'une explosion sous l'eau sont donc beaucoup plus dangereux que dans l'air.



Les effets de l'explosion sous-marine sur les poumons

Un sujet ayant de l'eau jusqu'à mi-corps éprouve la sensation de recevoir un violent coup de poing dans l'abdomen ; dans les cas les moins graves, le malaise qui suit ce choc se dissipe. Dans les autres cas, les douleurs persistent et s'aggravent, il peut y avoir émission de selles sanguinolentes voire des lésions plus graves ou létales.

Les lésions sont classées en trois catégories

Les lésions primaires qui portent atteinte à la vie incluant la mort et les blessures physiques sévères.

Les lésions secondaires qui ne portent pas atteinte à la vie mais qui peuvent provoquer des dommages de l'audition.

Les lésions tertiaires dues aux effets indirects, par exemple, en cas de remontée brutale d'un plongeur sans respect des paliers de décompression.

Les lésions dépendent de la distance du plongeur ou du nageur par rapport à l'explosion.

Les lésions intestinales consistent en des hémorragies sous séreuses ou en des perforations complètes de la paroi intestinale.

Les lésions pulmonaires dont les symptômes sont les même que dans l'air sont aussi graves que les lésions intestinales ou abdominales. Elles se produiront dans le cas de sujets complètement immergés.

Les explosions subaquatiques occasionnent également des lésions externes (aux yeux en particulier) en même temps que des lésions internes.

4.3 Les effets sur la faune aquatique

La faune aquatique est également sensible aux ondes de choc sous-marines.

En fonction des espèces, la surpression létale varie environ de 2,76 à 4,83 bars.

La fiche technique de la protection du poisson et de son habitat lors de l'utilisation d'explosifs par l'Institut de pêches et océans Canada indique que, en fonction des espèces, la pression létale varie de 2.76 à 4.83 bars soit respectivement 27 600 Pa et 48 300 Pa. La vessie natatoire du poisson peut être soumise à des désordres à partir d'une surpression instantanée de plus de 1 bar.

Les principaux organes touchés chez un poisson sont la vessie natatoire, la rate, le foie, le rein et le sinus veineux.

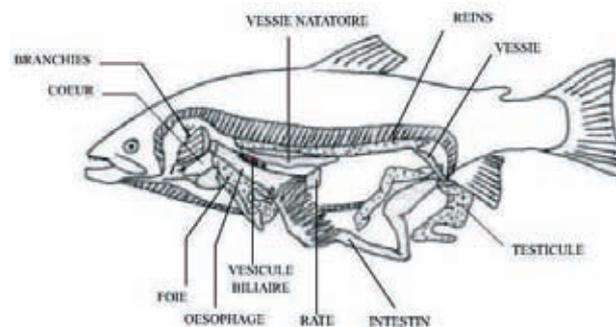


Schéma d'un poisson

Les œufs de poisson et les larves peuvent également être détruits par l'onde de choc ; les normes canadiennes précisent également que les vitesses de vibration ne doivent pas dépasser 13 mm/s.

A l'inverse, les mollusques et crustacés semblent résister bien mieux à ce type d'exposition.

4.4 Les effets sur les massifs coralliens

De même que pour les tirs de surface, l'utilisation des explosifs en milieu sous-marin engendre des ondes de choc sous-marines à l'origine de perturbation du milieu sous-marin.

Cela est dû au fait que seule une partie de l'énergie produite par l'explosion va participer au travail de destruction, le reste de l'énergie va se dissiper dans les différents milieux sous forme de vibrations, d'onde acoustique, de projections.

Sauf, à proximité immédiate du tir, où les perturbations voire la destruction des massifs sont évidentes mais limitées en surface d'impact du fait des surpressions engendrées par la détonation et des vibrations consécutives au tir, les véritables effets nocifs sur les massifs coralliens sont liés aux modifications de la turbidité de l'eau par les matières en suspension suite aux terrassements.

En effet, le corail se nourrit de la photosynthèse qui ne tolère aucune forme de turbidité. Il semble donc prioritaire de prendre en compte les problèmes liés aux terrassements qui sont infiniment plus dommageables que ceux causés par les tirs d'explosifs.

CHAPITRE - 2 - LES EQUIPEMENTS DE TRAVAIL

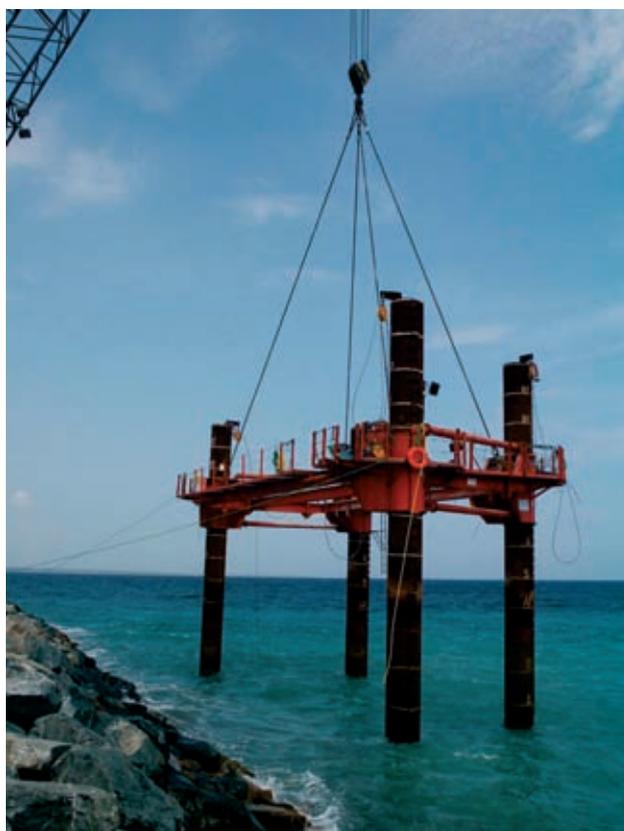
1 *Les supports maritimes*

Les travaux de déroctage importants nécessitent l'utilisation de supports maritimes adaptés.

Ces dernières années, l'évolution des transports maritimes a conduit à repenser, au niveau mondial, les infrastructures d'installations portuaires.

C'est pour cette raison que, dans tous les océans du monde, l'ouverture de chantiers de déroctage maritime importants, a permis aux techniques de mise en œuvre d'explosif d'évoluer (bêche de blocage d'acropodes pour les défenses de digues, déroctage en grande masse de volumes importants).

En métropole, c'est dans une autre direction que les chantiers d'importance ont évolués. Les stations balnéaires connaissent une fluctuation de population importante en période des vacances, ce qui pose un problème pour le traitement des eaux usées. Les rejets après station de traitement, pour ces cités côtières sont toujours réalisés en mer. Ces dernières années, de nombreux émissaires ont été créés, modifiés ou remplacés.



Supports maritimes spécifiques adaptés à une application particulière

1.1 Les pontons

Ils sont généralement constitués de caissons modulaires démontables (C.M.R – Flexifloat – Soil mec) et sont utilisés pour les chantiers nécessitant des transports routiers.

Les différentes formes de caisson permettent de combiner les structures en forme de bateau ou de U laissant la possibilité de réaliser une fenêtre de forage.



Les pontons



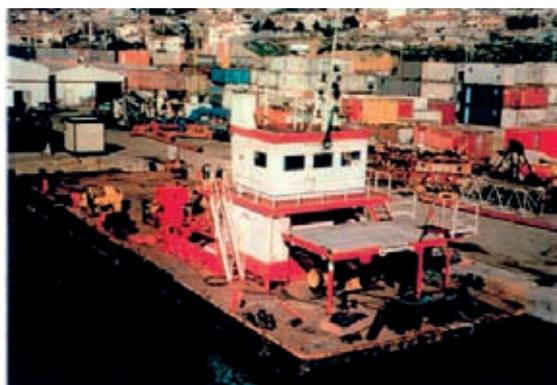
Ponton stabilisateur deux pieux



Ponton stabilisateur équipé d'une foreuse



Ponton de travaux avec grue embarquée



Ponton de travaux désarmé de son matériel de chantier



Ponton motorisé : équipe de plongeur (multi-cat)

Des treuils de papillonnage peuvent être brochés sur leurs goussets d'assemblage, voire même pour certains, des puits ou des fontaines ¹¹de pieux stabilisateurs.

Ces caissons peuvent être renforcés et accepter des charges importantes (pelles – grues – foreuses etc...). Pour forer avec ce type de support les points d'ancrages (points fixes à terre ou ancrés de 10 à 12 T) doivent être particulièrement efficaces car les câbles des treuils sont tendus durant la réalisation complète d'une fenêtre de forage (environ 20 forages).

1.2 Les plate-formes

1.2.1 Stabilisatrices

Ce sont des pontons équipés de pieux qui permettent de stabiliser la plate-forme en s'appuyant sur le fond.

Cette configuration permet d'obtenir un support stable même avec un clapot de 30 ou 40 cm. Il existe des plates formes stabilisatrices avec 1 – 2 – 3 ou 4 pieux.

Ces plates formes sont équipées de 4 treuils de papillonnage. Elles sont parfois automotrices et leurs dimensions sont rarement inférieures à 300 m².

1.2.2 Élévatrices

Ce sont des matériels largement dimensionnés (plus de 600 m²) qui permettent de réaliser des travaux de déroctage importants avec des rendements intéressants. Très souvent, ces matériels travaillent « en postes » parfois même 24h/24h.

Les plates-formes élévatrices se démarquent de la houle et des phénomènes de marnage. Leur positionnement est très largement facilité par les treuils de papillonnage et l'utilisation de DGPS.

¹¹ C'est la partie fixe du support de ponton servant de coulisseau aux pieux quelque soit la nature du ponton quand il est élévateur. Le dimensionnement de la fontaine est prévu pour supporter l'ensemble du poids du support maritime. Quand la plateforme est stabilisatrice, la fontaine est calculée pour reprendre les efforts latéraux du support en flottaison.



Plateforme de forage en configuration
"bord à quai"



Plateforme spécifique déplacée avec
une grue de chantier
(ancrage acropodes)



Plateforme américaine 3 glissières de
forage, vraisemblablement la plus
grosse du monde



Plateforme de forage élévatrice à
configuration « fenêtre de forage »



Plateforme élévatrice et foreuse CMV
train de tige sorti (Chargement)



Plateforme stabilisatrice 2 pieux en
configuration « bord à quai »



Plateforme élévatrice avec glissière de
foreuse télescopique



Atelier de marinage : plateforme
stabilisatrice
« Dipper » et challand fendable



Matériel de dragage

1.3 La classification administrative des supports maritimes

Ces matériels sont considérés par les autorités maritimes comme étant des engins flottants non motorisés, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas considérés comme de vrais bateaux.

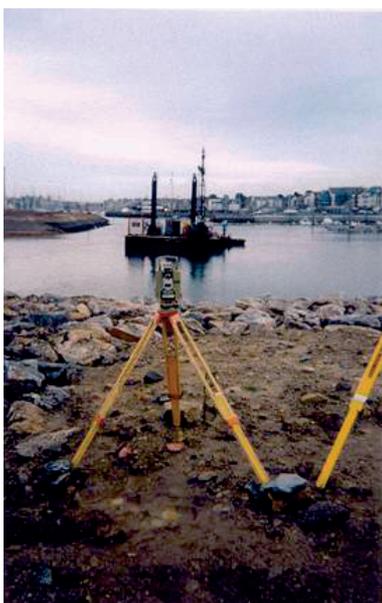
A ce titre, le personnel travaillant à bord, n'est pas obligatoirement un personnel « marin » dépendant des Affaires Maritimes, mais un personnel inscrit au Régime Général.

Par contre, le multi-cat qui fait la liaison terre-plateforme ou le remorqueur est titulaire d'un « rôle » et ne peut être équipé que d'Inscrits Maritimes.

Entre chaque déplacement, une « visite de partance » (visite de la toilette de mer) est obligatoire pour chaque support maritime. Cette visite est réalisée par un service spécialisé des Affaires Maritimes et est destinée à vérifier le bon état général du bateau et de ses équipements.

Par ailleurs, une visite technique, réalisée par ce même service est obligatoire une fois par an pour chaque support maritime et est destinée à mesurer les épaisseurs des tôles du support, l'état des moteurs.

1.4 Le positionnement



Positionnement de plateforme en D.G.P.S

1.4.1 Intérêt des différentes méthodes de positionnement

Le positionnement du support maritime est d'une importance capitale car il conditionne l'efficacité du plan de tir du déroctage.

En effet, les mailles utilisées sont (en mètres) :

Rarement (contraintes importantes)	1.00 x 1.00	1.00 x 1.50	
Couramment	1.50 x 1.50	1.50 x 2.00	
Gros déroctages (sans contraintes)	2.00 x 2.00	2.00 x 2.50	2.50 x 2.50
Exceptionnellement	2.50 x 3.00	3.00 x 3.00	

On comprend aisément que si la précision du positionnement du support ne peut être réalisée à moins de 10 cm près, le tir de déroctage est voué à l'échec

D'une façon générale, si la hauteur d'eau varie de manière importante, la hauteur de déroctage dite « hauteur de coupe » dépasse rarement 4 mètres. Au-delà de cette hauteur, si des contraintes de vibrations s'imposent, il sera nécessaire de procéder au déroctage en 2 passes.

Pour les chantiers peu importants (en site fermé ou à l'intérieur d'un port), le positionnement peut être réalisé avec des appareils de topographie classiques associés à des moyens de transmission conventionnels. Dans les autres cas, le positionnement se fait à l'aide d'un D.G.P.S.

1.4.2 Principe de fonctionnement du D.G.P.S

Le positionnement des plateformes de travaux maritimes se fait par GPS qui s'appuie sur le réseau des satellites américains.

Le DGPS¹² est un G. P. S. classique amélioré d'une balise réceptrice située à terre sur un point connu en X, Y, Z. Cette balise reçoit la position théorique du satellite en même temps que la balise située sur la plateforme. La balise située à terre fait le différentiel entre la position théorique reçue du satellite et sa position réelle et envoie cette information au récepteur placé à bord de la barge.

Compte tenu de cette correction, le récepteur de la barge modifie l'information qu'il a reçue directement du satellite et permet ainsi de positionner le support maritime avec une précision de l'ordre de 10 cm.

1.4.3 Positionnement de la plateforme

La manœuvre de positionnement de la plateforme est rendue possible grâce à ses treuils de papillonnage situés aux quatre angles et reliés à quatre ancres mouillées à quelques centaines de mètres. Au fur et à mesure que la plateforme se déplace sa position apparaît sur l'écran de contrôle, sur ce même écran le fond de plan de forages dit « plan de calepinage » est affiché. Il suffit donc à l'opérateur de venir placer par transparence sa plate-forme à l'endroit exact sur son écran.

¹² DGPS : système global de localisation différentielle

GPS : Global Positioning System – système mondial de localisation

Quand cette opération est terminée, les quatre câbles des treuils sont tendus pour « assurer » la plate-forme.

Lentement, les quatre pieux sont alors descendus, dans un premier temps jusqu'à toucher le fond, puis, chaque pieu est alternativement mis un peu plus en pression pour s'assurer de la résistance des matériaux sous le pieu.

L'assurance des appuis de pieux étant prise et la position de départ correctement vérifiée, la plateforme est alors élevée jusqu'au « déjaugeage ».

Enfin, on élève la plate-forme à une hauteur telle que la fenêtre de forage puisse être réalisée en toute sécurité compte tenu de l'incidence du marnage.

1.4.4 Référentiel des forages

La cote des pré-tubages est alors mesurée par l'équipe de forage par rapport au pont de la plateforme et servira de référence à l'afficheur automatique qui informera le foreur de façon permanente de la profondeur à laquelle il doit descendre, ainsi que l'artificier, des charges qu'il doit préparer.

2 La foreuse

2.1 Description

La foreuse est constituée pour l'essentiel d'une glissière sur laquelle coulisse la tête de rotation¹³ dans le cas d'un équipement « fond de trou » ou le marteau dans le cas d'un équipement « hors trou ».

Elle peut provenir d'un équipement standard de type automoteur à chenilles pour les déroctages de faible importance (- de 50 000 m³) ou un équipement spécifique pour les chantiers importants.

Dans le cas d'un équipement standard devant évoluer sur une plate forme ou un ponton de type « bord à quai », il est impératif que le bras qui porte la glissière puisse s'orienter à 90° par rapport à l'axe d'avancement des chenilles.

D'autre part, dans cette même configuration, le bras de la foreuse devra pouvoir positionner la glissière en porte à faux d'au moins 1.50m du bord à quai du ponton ce qui impose un poids de machine important afin de compenser le porte-à-faux.

Les commandes en pied de glissière sont nécessaires pour que le foreur puisse avoir une vision dégagée pour mettre en fiche le pré-tubage.

Ces foreuses nécessitent une étude préalable par rapport aux conditions particulières de site et, dans certains cas, les adaptations doivent être conduites en accord avec le fabricant.

¹³ La tête de rotation est aussi dénommée rotative



Positionnement de la glissière à l'extérieur de la plateforme



Foreuse maritime fond de trou

Sur les plates formes élévatoires importantes, la foreuse est remplacée par un chariot de forage se déplaçant sur la fenêtre de forage dans tous les sens.

Cette configuration permet un rendement nettement supérieur mais spécialise le support maritime.



Plateforme élévatrice comportant une foreuse élévatrice et une glissière télescopique

2.2 La glissière

Cet élément de la foreuse est souvent presque disproportionné par rapport à la glissière d'une foreuse terrestre. Elle est généralement beaucoup plus haute (pour permettre de passer des hauteurs d'eau de 7 à 10 m voir plus). Elle comporte en tête de glissière un renvoi de treuil qui permet de sortir, d'une seule fois sans la démonter la garniture complète de forage.

Le pied de glissière est équipé d'un centreur de diamètre correspondant au tubage utilisé. Ce pied comporte aussi des mors de desserrage des tubages.

Il comporte généralement une nacelle permettant au tigeur¹⁴ d'opérer.

¹⁴ Le tigeur est aussi communément appelé aide-foreur

Enfin, ce pied se termine par une double face d'appui permettant de positionner la glissière au bord du ponton ou de la plateforme et à 1.50m de celui ci.

Sur les plateformes spécialisées, la glissière est coulissante verticalement sur le chariot de forage et prend appui sur le rocher du fond. Cette technique permet de limiter considérablement les déviations quand la hauteur d'eau est importante et ainsi d'assurer une plus grande précision au plan de tir.



Glissière avec prétubage relevé « bord à quai »



Six foreuses en ligne

2.3 Le marteau

L'équipement de la foreuse peut être soit un marteau 'hors trou » soit un marteau « fond de trou ». Ces deux types d'équipement permettent d'utiliser la rotation et la percussion.

2.3.1 Le marteau « hors trou »

Dans ce cas, le marteau est situé sur la glissière et la frappe est transmise au taillant par l'intermédiaire des allonges.

Le choix de ce type de marteau est essentiellement guidé par la valeur du couple de rotation.

En effet, les performances de frappe sont peu importantes compte tenu de la profondeur des forages, mais la limite des possibilités de rotation dans les terrains de couverture importante est très vite atteinte.

Les premiers marteaux¹⁵ utilisés ont servi de support à l'invention des premiers pré-tubages dits « méthode OD ».

Le marteau hydraulique que l'on rencontre le plus couramment chez les utilisateurs européens est le KLEMM 1011. Son couple de rotation est de l'ordre de 500 m/kg et permet l'utilisation de pré-tubage de 130 mm.

2.3.2 Le marteau « fond de trou »

Depuis quelques années, les grands chantiers de déroctage maritime sont réalisés avec une nouvelle génération d'équipement : « les marteaux fond de trou ». Ce matériel permet : la réalisation de forages en plus grand diamètre (102 à 152 mm et même au-delà), de traverser plus facilement les terrains difficiles (coraux), et d'être plus précis au niveau des déviations.

Il nécessite la mise en place d'un compresseur de 2 à 300 CV, car si la rotation est généralement hydraulique, le marteau et l'évacuation des débris de forage ont besoin d'un débit d'air comprimé important.

On peut noter encore que l'utilisation du marteau « fond de trou » diminue de façon considérable la dépense en pièces d'usure de toute sorte (garnitures et pièces de marteau) car les sollicitations mécaniques dues à la percussion sont directement appliquées sur le taillant au fond du trou. Le bruit émis par ce type d'équipement s'en trouve aussi notablement diminué.

L'augmentation du diamètre de forage permet l'utilisation de cartouches de diamètre plus important donc une concentration de la charge dans le fond du forage et par suite, un meilleur rendement de l'explosif.

¹⁵ Les mythiques BBE 57 et 51 d'ATLAS COPCO, premiers marteaux utilisés il y a 50 ans, ont pratiquement maintenant disparu.

2.4 La constitution du train de tiges

2.4.1 L'équipement « hors trou »

L'équipement est constitué d'un joint tournant ou boîte à eau, du train de tiges, de manchons, des taillants et de l'ensemble du train de sur-forage ou pré-tubage et son taillant annulaire.

Actuellement le joint tournant est standard, l'emmanchement de sortie de marteau est mâle H 55 (2 ")¹⁶ et les allonges sont de type DT45 (1"3/4) mâles.

Le joint tournant est donc H 55 femelle pour sa fixation sous le marteau et DT45 femelle pour prendre les allonges.

L'évacuation des débris de forage est réalisée à l'eau ou à l'air selon la géologie des terrains rencontrés. Parfois les 2 méthodes sont employées simultanément.

Une pompe de 30m³/h à 30 bars à moteur thermique ou électrique selon l'équipement de la plate forme est branchée. Cette pompe à débit et pression constante est connectée à un robinet marche / arrêt sur le joint tournant. Ce robinet est monté sur une vanne 3 voies centre en T régulant un échappement constant.

2.4.2 L'équipement « fond de trou »

L'équipement « fond de trou » est composé d'un marteau de 4" (102mm) et de tubes allonges de 76mm. Le pré-tubage est entraîné en rotation par un crabot sous la tête de rotation ou rotative. La frappe est retransmise au pré-tubage par l'intermédiaire du crabot. Celui-ci est une pièce sensible qu'il convient de protéger.

L'évacuation des débris de forage est uniquement réalisé avec l'air d'alimentation du marteau fond de trou.

2.4.3 Précaution vis à vis du marnage

Dans le cas d'un chantier de déroctage avec une plate forme en flottaison sur un plan d'eau à marnage important, il est nécessaire de prévoir des pré-tubages en éléments de longueur 1 m pour allonger ou diminuer la colonne au fur et à mesure que le niveau baisse ou monte. La verticalité de la colonne de pré tubage est vérifiée à chaque position de forage.



Taillant annulaire de pré-tubage 114 mm et taillant de forage 70mm

¹⁶ H55 correspond au type de filetage (ici rond) et 2 '' correspond au diamètre nominal extérieur



Pré - tubage de 114 mm



Double chariot de forage sur plateforme élévatrice en configuration marteau hors de trou

3 Les dispositifs de transmission

3.1 Communication radios/téléphoniques

La communication VHF a été jusqu'à ces dernières années l'unique système de communication utilisé par les professionnels marins. En fait, dans ce domaine les nouvelles technologies peuvent toutes être applicables en maritime (téléphone, fax, Internet, ordinateur, etc....).

En domaine maritime, les communications par VHF sont réglementées. Les matériels existants permettent de déclencher si nécessaire l'alerte en informant automatiquement de la position du navire.

Il y a obligation d'information des autorités lors des changements d'équipage, des mouvements de plates-formes et des tirs.

3.2 Moyens de communication visuels : Les pavillons

La nature des chargements embarqués est signalée sur les bateaux par des pavillons qui, d'après le code international des pavillons, indique la conduite à tenir aux autres navires.

La mise en œuvre d'explosifs au départ d'un support maritime impose le respect de certaines règles telles que :

3.2.1 Signalisation de produits dangereux à bord

La présence à bord de produits explosifs doit être signalée par la montée dans le mât du pavillon international BRAVO. Ce pavillon est totalement rouge à pointes en haut.



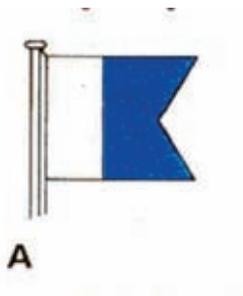
Signalisation de produits dangereux

Il est remplacé par un feu rouge visible à 360° pour le travail de nuit.

Ce pavillon doit être mis en place dès l'arrivée à bord des explosifs et rester tant que ceux-ci ne sont pas entièrement consommés ou restitués.

3.2.2 Signalisation de plongée en cours

Lorsque des plongées sont en cours, le pavillon ALPHA doit être hissé à bord du support maritime. Un autre pavillon ALPHA de même nature doit également être visible sur le canot de plongée si les plongeurs opèrent au départ de ce support.



Signalisation de plongée en cours

Ce pavillon informe les autres bateaux qu'ils doivent ralentir et s'écarter de la zone de plongée.

Il doit être descendu dès que les opérations de plongée sont terminées.

Dans la plupart des cas, les débuts et fin de plongées doivent également être signifiés verbalement aux autorités par VHF ou à défaut par téléphone.

4 Les matériels de sécurité embarqués

Ils sont fonction du classement de l'embarcation qui définit le type d'engin de sécurité ainsi que la périodicité de ses contrôles (voir affaires maritimes).

Généralement, sur une plate-forme de forage, les matériels de sécurité se composent :

- d'un pneumatique gonflé, à l'eau en coupe de la plate-forme.
- d'une civière avec couverture gonflable et isotherme.
- en cas de plongée, un caisson hyperbare
- les fusées de détresse valides
- une trousse à pharmacie complète.

L'équipage de la plate-forme est composé en moyenne de 6 opérateurs et doit au minimum comporter un sauveteur secouriste.

Le P. P. S. P. S¹⁷ définit la conduite à tenir et les opérations qu'il convient de mener en cas d'accident. Comme sur tous les chantiers de forage, ce sont en particulier les blessures à la main qui sont les plus

¹⁷ PPSPS : Plan particulier de sécurité et de protection de la santé

fréquentes. Le serrage et le desserrage des allonges du train de tige et de sur-forage n'étant pas automatisés.

Les chefs de postes doivent être particulièrement attentifs au respect du port des équipements de protection individuelle (gants, casques, gilets de sauvetage...). Les notices d'instructions doivent rappeler les précautions à prendre vis à vis du travail sur et à proximité des foreuses.

On se reportera pour le matériel nécessaire à la sécurité des plongeurs à la réglementation en vigueur¹⁸.

5 Les ateliers de charges pré-conditionnées

Le stockage et la préparation des charges peuvent être réalisés dans un atelier de pré-conditionnement répondant à un cahier des charges précis et restrictif. Compte tenu des contraintes que cette méthode implique, il est plus judicieux, chaque fois qu'il est possible, de prévoir d'utiliser des unités mobiles de fabrication sur site des explosifs.

6 Les UMFE

On entend par UMFE les Unités Mobiles de Fabrication sur site des Explosifs. C'est un procédé industriel de fabrication d'explosif sur le site d'utilisation : il consiste à mélanger des substances non explosives (matrices, agents gazéifiants ou billes de verre) classées 5.1 au transport.

Ce procédé favorise l'approvisionnement, le transport et le stockage des produits nécessaires aux travaux de minage. Le mode de chargement se fait uniquement par pompage grâce à une canule placée en fond de trou. On obtient par conséquent un trou sans vide annulaire et donc un couplage roche-explosif optimal.

Afin d'éviter des problèmes de désensibilisation des émulsions, il est conseillé d'utiliser un booster pour l'amorçage.

Pour l'utilisation des UMFE, il convient, en France, d'instruire un dossier ICPE sous forme d'une déclaration déposée à la Préfecture du département d'utilisation pour la mise en œuvre et le stockage des matières. Cette simplification récente des procédures administratives rend plus aisée l'utilisation de ce procédé.

L'utilisation de ce procédé impose la réalisation d'une étude de danger qui définira des distances d'isolement, les activités permises dans ces zones et le nombre de personnes admises.

Par exemple, le dispositif MORSE de Nitrobickford, contenant 50g de produit actif par canule impose une zone de sécurité autour de l'UMFE de 7 mètres, dans laquelle, 5 personnes maximum sont admises et où il ne peut y avoir aucune autre activité que celle de la fabrication d'explosif.

Les agents sensibilisants ainsi que les divers additifs ne sont mélangés à la matrice qu'au moment d'être pompés dans les trous de mine.

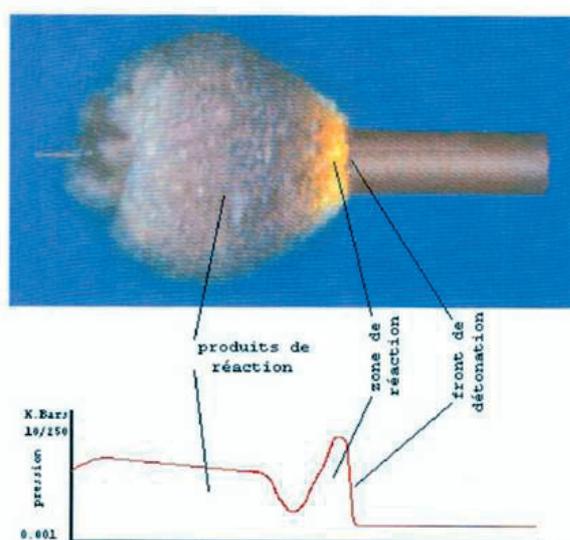
Cette méthode en cours de développement présente de nombreux avantages: en particulier, la gestion du raté de tir est améliorée (il suffit d'attendre pour qu'il n'y ait plus de danger, compte tenu de la pérennité du produit ...)

¹⁸ cf fiches de sécurité OPPBTP travaux hyperbares

CHAPITRE 3 - LES EXPLOSIFS

1 Définitions

On appelle «substances explosives» tout agent chimique ou mélange de composants chimiques susceptibles, par réaction chimique et sous l'influence d'un amorçage convenable, de dégager des gaz à une température très élevée, à une haute pression et à une vitesse telle qu'il peut en résulter des dommages sur les personnes ou sur les biens.



Décomposition d'une cartouche d'explosif

2 Propriétés des explosifs

Tous les explosifs ont un certain nombre de caractéristiques techniques qui diffèrent en fonction de la nature du produit. Celles-ci sont reprises sur une fiche technique établie par le producteur et mise à disposition de l'utilisateur afin que ce dernier puisse choisir l'explosif le plus adapté à la nature de son chantier.

Par ailleurs, les produits explosifs sont des substances chimiques qui peuvent présenter, outre leur caractère explosif, des dangers pour la santé des opérateurs qui les manipulent. Les renseignements utiles sont réunis par les fabricants sur une fiche de données de sécurité qui doit être connue par les boufeux.

Dans les tirs subaquatiques, une règle d'or consiste à concevoir le plan de tir de telle sorte que les ratés de tir soient évités. En effet, le traitement des ratés est encore plus préjudiciable voire parfois impossible à gérer.



Les effets de l'explosion en surface

Les conséquences sur l'environnement doivent être étudiées et pesées.

Un choix judicieux des explosifs et l'utilisation d'un double amorçage réduisent de manière significative les risques de ratés. Plus que dans d'autres activités, l'utilisation des explosifs doit être prévue et anticipée dès la conception. Le choix des explosifs est donc très important. Ils doivent être appropriés à l'utilisation que l'on va en faire.

2.1 La détonation

Le régime de combustion des explosifs utilisés en milieu subaquatique est nécessairement la détonation. Les explosifs déflagrants sont interdits.

C'est une combustion explosive qui se propage dans le matériau à une vitesse supérieure à la vitesse du son. Lorsqu'un dispositif d'amorçage est initié dans une cartouche d'explosif, il va générer une onde de choc qui se déplace à une vitesse de 2500 à 8000 m/s dans la colonne d'explosif sous la forme d'un front de détonation.

Dans la partie encore non explosée, la pression est plus ou moins égale à la pression atmosphérique, mais au passage du front de détonation, la pression augmente instantanément jusqu'à une valeur qui, en fonction du type d'explosif, peut atteindre de 10 à 250 kilo bars. Dès que la décomposition est terminée, on constate que la pression chute rapidement de 40-50 % par rapport à la pression de détonation. Cette pression appelée pression d'explosion va ensuite se maintenir jusqu'à la détonation complète de l'explosif.

Cette forte pression quasi-instantanée génère à son tour une onde de choc dans le terrain avoisinant : c'est ce qu'on appelle l'effet de choc.

Juste derrière le front de détonation, il y a la zone de réaction. C'est dans cette zone que l'explosif va entièrement se transformer d'un état solide (ou liquide) en un état gazeux.

La quantité de gaz à très haute température (1000° - 3500°C) produite est de l'ordre de 600 à 1000 l/kg et est à l'origine de l'ouverture des fissures et du déplacement éventuel du massif : c'est ce qu'on appelle l'effet de gaz.

2.2 Les caractéristiques des explosifs

Produit	Fabricant	densité	CSE cm	Résistance la compressi	Vitesse détonation (m/s)	Résistance l'eau	Energie MJ/kg
DYNAMITES							
Dynaroc 6	Nitro-Bickford	1.4	12	8	6500	OUI	4.5
Dynaroc 9	Nitro-Bickford	1.4	6	8	6700	OUI	4.9
Eurodyn 2000		1.4	11		6100	OUI	
F 16	Titanobel	1.5	8	8	5600	OUI	4.5
F 19	Titanobel	1.5	10	9	5800	OUI	4.9
Goma ZEC		1.4	4	10	6100	OUI	5.1
EMULSIONS							
Magnafrac	Orica	1.11		10	5200	OUI	4.2
Hydromite TM	Austin	1.24		10	5200	OUI	
Heet TM 150	Austin	1.30		10	4725	OUI	4.2
GELSEMULSIONS							
Powergel E700	Orica	1.30		8	5100	OUI	
Powergel E900	Orica	1.25		9	5200	OUI	
Riogel 2	Orica	1.20		10			
Minerite TMI	Orica	1.20			3950	OUI	
Blastrite TM 4	Orica	1.18			4150	OUI	4.4
Gelatel	Dynonobel	1.45		10	5200	OUI	
Lodex APLD	Austin	1.30		10	5500	OUI	4.5
Expplus	Nitro-Bickford	1.30	4.8	7	5300	OUI	
Riomex E20		1.20	2	10	4800	OUI	
Titamax 4000		1.20	5.5		4900	OUI	
Titamax 5000		1.20	1.0		4750	OUI	

Tableau des principales propriétés des explosifs disponible sur le marché Français

2.2.1 Vitesse de détonation

La vitesse de détonation d'un explosif est la vitesse à laquelle se déplace le front de détonation au sein même de l'explosif. Cette vitesse est généralement mentionnée en m/s ou en ft/s¹⁹ (pied/s).

Plus la vitesse de détonation est élevée, plus l'explosif sera apte à fragmenter ou fissurer le matériau contre lequel ou dans lequel il est placé.

La vitesse de détonation d'un explosif donné, varie en fonction de son diamètre, de son mode d'amorçage (amorçage ponctuel ou latéral), et de son confinement (charge appliquée ou confinée).

2.2.2 Densité

La densité des différents explosifs commerciaux varie entre 0,8 et 1,7. C'est une caractéristique très importante dont il faut tenir compte, surtout en ce qui concerne les tirs subaquatiques. En effet, la densité de l'eau varie de 1 (eau douce) à 1,025 (eau de mer). Cela signifie que si l'explosif sélectionné a une densité inférieure ou égale à 1, il aura tendance à remonter en surface.

Dans la pratique, la plupart des explosifs sélectionnés pour les tirs sous-marins ont en général une densité supérieure à 1,2. De ce fait, les dynamites sont souvent utilisées.

Pour chaque explosif, il existe une densité au delà de laquelle la propagation de l'onde ne s'effectue plus. Cette densité est appelée densité critique.

2.2.3 Résistance à la compression statique

Lors de la mise en œuvre d'explosif sous eau, la colonne d'eau (profondeur) présente au-dessus de la charge va exercer une certaine pression sur l'explosif, ce qui fera à son tour augmenter la densité du produit. La pression statique exercée par la colonne d'eau provoque une réduction de la capacité de propagation de la détonation. La résistance à la compression statique est donc un facteur très important.

La détonation se propage du fait de l'existence des vides dans l'explosif (théorie des points chauds). L'augmentation de pression diminue les vides dans l'explosif ce qui induit une réduction de la capacité de propagation de la détonation.

A titre d'exemple :

Emulsions gazéifiées : < 3 bars

Emulsions sensibilisées par billes de verre : la résistance dépend de la résistance des billes de verre : comprise entre 10 et 70 bars

Dynamites : en fonction du taux de nitroglycol : résistance comprise entre 15 et 100 bars

Explosifs spéciaux très peu sensibles à la compression statique : TNT, RDX, certains bi-composants ...

Cette caractéristique est mentionnée sur les fiches techniques des produits.

¹⁹ 1ft/s=30.48m/s

2.2.4 Résistance à la pression dynamique

La détonation d'un explosif, va provoquer une onde de choc qui se déplace dans le milieu environnant (matériau à détruire, air ou eau). Lorsqu'une autre charge se trouve à proximité de l'explosion, elle risque, également, en fonction des circonstances, d'être comprimée par cette onde de choc, ce qui peut alors aussi augmenter artificiellement la densité de l'explosif au-delà du seuil de la densité critique.

La capacité de l'explosif à s'opposer à ce phénomène appelée résistance à la compression dynamique est un facteur de sécurité de fonctionnement de l'explosif également très important en milieu subaquatique.

Les valeurs de cette caractéristique sont données dans les fiches techniques des produits.

2.2.5 Pression de détonation

La pression de détonation est la pression qui règne dans le front de détonation. Elle est directement liée à la densité et à la vitesse de détonation de l'explosif concerné.

Cette caractéristique mentionnée sur les fiches techniques est généralement exprimée en GPa (1 GPa équivaut à 10 kbar).

2.3 Pérennité de l'explosif

La durée de vie d'un explosif est limitée dans le temps et il est interdit d'utiliser des explosifs dont la date de péremption, inscrite sur les cartouches ou sur l'emballage, est dépassée.

La fiche de sécurité indique, pour une dynamite, que le fabricant garantit les caractéristiques de son produit un an après sa fabrication dans des conditions de conservation appropriées. Ces conditions sont des conditions de stockage classiques en configuration d'attente d'utilisation.

En cas de perte de produit par naufrage ou de raté de tir, la date de péremption du produit n'a plus de sens. Le produit doit être alors considéré comme inutilisable.

Dans le cas de perte de produit par naufrage, du fait du brassage de l'explosif par les courants, le risque d'explosion est minime. Au contraire, dans le cas de raté de tir, les explosifs peuvent être plus sensibilisés. Des précautions sont indispensables dans les deux cas.

En cas de perte de produits (naufrage du navire d'approvisionnement ou de la plate-forme de travail sur laquelle sont stockés les explosifs), les conditions sont différentes.

Les emballages des dynamites sont constitués de simples caisses de carton léger qui ne peuvent résister que quelques heures dans l'eau. Les poches plastiques renfermant les cartouches ne sont généralement pas fermées, ce qui permet à celles-ci de se répandre immédiatement dans le milieu. La matière explosive est contenue dans une enveloppe plastique d'une faible résistance mécanique.

En cas de perte de produits par naufrage, il est évident que la garantie de pérennité du fabricant ne peut s'appliquer. Suivant les conditions de « brassage » des produits par la mer sur le fond, les conditions requises pour permettre au produit de détoner deviennent nulles au bout de quelques jours.

En cas de raté de tir, la configuration de l'explosif mis en œuvre en tir confiné devra faire l'objet d'une approche très précautionneuse car, même si les conditions de conservation préconisées par le fabricant ne sont pas respectées, l'explosif reste efficace et dangereux dans ces conditions de confinement même à long terme.

3 Les explosifs particuliers au milieu aquatique

Divers types d'explosifs industriels peuvent être utilisés en tir subaquatique mais, à cause du milieu difficile dans lequel ils vont séjourner, il faut qu'ils aient au minimum les caractéristiques suivantes :

- avoir une bonne résistance à l'eau
- résister à la pression hydrostatique
- avoir une densité élevée
- avoir une énergie de détonation élevée.

A la lecture de ce qui précède, on peut donc facilement éliminer les explosifs nitratés encartouchés ainsi que les ANFO en raison du fait que ces explosifs n'ont qu'une faible résistance à l'eau et à la pression et que leur densité est peu élevée.

Par conséquent, les explosifs qui conviennent à ce genre de tir sont :

- les dynamites
- les émulsions
- les «waters gels »
- les explosifs liquides
- les explosifs spéciaux.

3.1 Les dynamites

La dynamite a été inventée par Alfred NOBEL en 1864. C'est actuellement l'explosif le plus utilisé en milieu subaquatique. C'est un produit de plus en plus rare dans le monde du fait des problèmes de sécurité et de sûreté qu'il engendre. Les produits qui entrent dans sa composition ont évolué pour répondre aux exigences de santé notamment de lutte contre le cancer. Bien qu'ayant subi quelques modifications depuis cette époque, la dynamite se compose principalement des ingrédients suivants :

- nitroglycéroglycol (25% -35%)
- trinitrotoluène (quelques %)
- coton azotique

Les dynamites sont toujours commercialisées sous forme de cartouches conditionnées dans du papier paraffiné, des tubes cartonnés, ou des gaines plastiques.

Elles ont une densité de 1,2 à 1,5 et une vitesse de détonation élevée (3000-7500 m/s), ce qui leur donne dès lors une puissance et une pression de détonation capables de fracturer tout type de roches dures ou très dures.

La sensibilité aux chocs des dynamites est plus grande que les autres types d'explosifs et, de ce fait, elles doivent être manipulées avec prudence.

La pression statique est limitée de 2 à 8 bars.

Ces produits sont commercialisés sous les noms de : DYNAROC , TITADYN, SOFRANEX, GOMA 1 ED, DYNAROC 6, DYNAROC 9, EURODDYN 2000.

3.2 Les watergels

Ce type de produit a été mis au point aux USA vers la fin des années cinquante par COOK et FARMAN.

Les watergels se composent principalement des ingrédients suivants :

8 – 15 % d'eau

35 – 60 % de nitrate d'ammonium

10 – 15 % de nitrate de soude

15 – 20 % de nitrate de calcium

15 – 20 % d'aluminium

5 – 15 % de T.N.T. ou autre sensibilisant explosif

1 - 2 % de gélifiant

2 - 5 % d'éléments divers

Ce type d'explosif peut être soit livré en vrac par un camion équipé d'une pompe qui envoie directement l'explosif dans les trous de mine, soit livré en cartouches conditionnées dans une gaine plastique.

Ce type d'explosif dont la vitesse de détonation moyenne se situe entre 4000-5000 m/s est moins puissant que la dynamite et, de ce fait, ne peut être utilisé que pour fragmenter des roches de dureté moyenne.

Ces produits ont généralement une bonne résistance à l'eau et sont moins sensibles à manipuler que les dynamites. En revanche, les watergels ont l'inconvénient d'être très sensibles à la pression et leur densité critique est rapidement dépassée.

Leur emploi reste dès lors limité à des travaux sous faible profondeur d'eau (inférieure ou égale à 10 – 15 mètres).

Certains fabricants produisent néanmoins quelques types de watergels spécialement traités pour résister à des pressions plus élevées.

3.3 Les émulsions

Ce type de produit fait partie de la génération la plus récente des explosifs.

Les émulsions sont des mélanges d'une solution aqueuse d'un sel minéral (généralement nitrate d'ammonium) avec une phase huileuse stabilisée par un tensio-actif. La sensibilisation pourra s'opérer suivant deux modes :

- sensibilisation chimique : ajout d'un agent gazéifiant qui produira par réaction des microbulles d'azote
- sensibilisation physique : ajout de microbilles de verre creuses contenant de l'azote.

Grâce à la présence du gaz, la propagation de l'explosion peut se faire.

On peut trouver deux types de conditionnement :

En cartouches : de différents diamètres et de différents poids, livrés par cartons de 25 kg.

En vrac : livré soit Intermediate bulk container de 850^l²⁰, soit en citerne de 20 tonnes.

Les émulsions ont les mêmes propriétés que les watergels mais ont surtout l'avantage d'avoir une vitesse de détonation stable et relativement élevée : environ 5500 m/s, ce qui leur confère, pour les plus puissantes, une énergie pratiquement comparable à la moyenne des dynamites.

Elles peuvent être utilisées pour la fragmentation de roches moyennement dures à dures.

De même que pour les watergels, certaines émulsions sont spécialement traitées pour résister à des pressions plus élevées.

La densité est comprise entre 1,15 et 1,28 et la résistance aux pressions est comprise entre 3 bars et 145 bars selon la composition des émulsions.

Exemple de produit : EMULSION MAGNAFRAC (Orica), RIOMEX E20/24/28 (JEE), EMULEX B, NITRAM 9 et EXPLUS TS (Nitrobickford).

3.4 Les explosifs liquides

Ces explosifs sont constitués d'un oxydant et d'un réducteur qui, tant qu'ils restent séparés, ne sont pas explosifs. Le mélange des composants se fait sur le site même de travail juste avant la mise en œuvre.

Les deux types d'explosifs liquides les plus utilisés sont ceux à base de nitrométhane et ceux à base d'hydrazine.

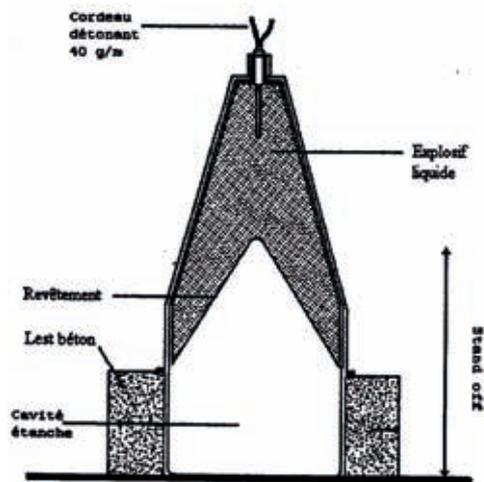
Grâce à leur vitesse de détonation élevée (de 6500 à 8500 m/s), ces types d'explosifs sont principalement utilisés pour le chargement des charges creuses de découpage et de déroctage. Un des avantages de ce type d'explosif est dû au fait que, même après préparation, la charge peut être immédiatement rendue inerte par un apport d'eau. Leur prix ne permet d'utiliser ces explosifs que dans des conditions d'utilisation très particulières.

Ces produits sont commercialisés sous les noms de : ASTROLITE G, NITROROC, KINEPAK.

²⁰ se référer au paragraphe « UMFE »

3.5 Les charges creuses

Le terme « charge creuse » est généralement attribué aux charges explosives appliquées ayant une cavité sous l'explosif à l'opposé du point d'amorçage.



Description d'une charge creuse conique

Les résultats de tirs expérimentaux ont démontrés que l'efficacité des charges creuses était liée aux facteurs suivants :

- forme, angle et nature du revêtement
- hauteur de la charge
- distance d'attaque (Stand off)
- type d'explosif
- nature de l'amorçage



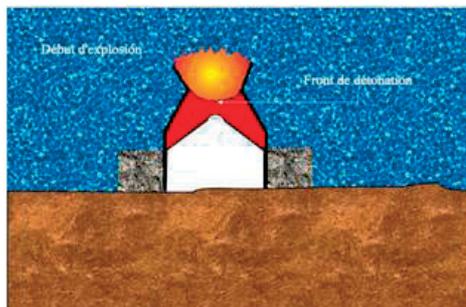
Vue de la partie inférieure du cône durant la détonation de la charge

Les quelques charges creuses disponibles sur le marché sont généralement en acier et ont une forme conique ou hémisphérique.

Elles portent le nom de : J.C.R. – PERFOLIT – PERFOROC .

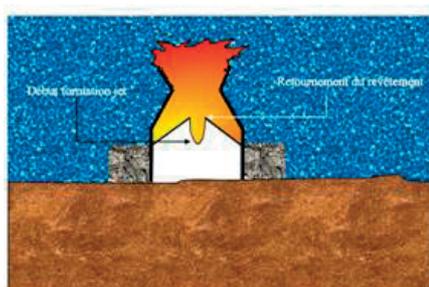
L'effet de la charge creuse est obtenu grâce à la cavité aménagée sous l'explosif.

Lors de l'explosion, l'onde de choc va se déplacer d'une manière classique dans l'explosif jusqu'au niveau supérieur du revêtement métallique.



Début de l'explosion

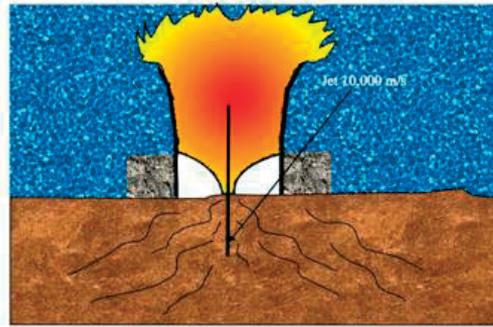
Suite à l'inclinaison du revêtement, l'onde de choc va converger vers l'avant tout en subissant une augmentation de la vitesse de détonation, ce qui, à son tour, va entraîner la formation d'un jet dont la vitesse peut atteindre 10.000 m/s.



Convergence des ondes de choc

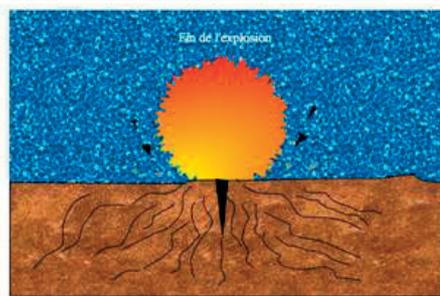
Durant son déplacement, la pointe du jet va s'user au contact de l'air. Dans l'eau, cette résistance est fortement accrue à tel point qu'il peut se produire que l'extrémité du jet soit tellement émoussée en arrivant sur la cible qu'il perd toute son efficacité.

C'est pourquoi il est indispensable que pour les tirs sous l'eau, on utilise des charges creuses étanches conçues à cet effet.



Pénétration du jet

La profondeur de pénétration du jet dans le matériau dépend grandement de la vitesse de détonation de l'explosif utilisé.



Résultat

Ce type de charge est le plus souvent rempli sur le site par des explosifs liquides à base de nitrométhane ou d'hydrazine.

Pour être efficaces, les charges creuses doivent être posées à même le rocher avec une maille variant entre 1,5 et 3 mètres en fonction du type de roche. Ce mode de déroctage est efficace à condition que la couche rocheuse ne dépasse pas 1 mètre.

Les résultats obtenus sont souvent très variables en fonction de la nature du rocher. Un tir dans une roche stratifiée donne en général de bons résultats, tandis que dans une roche homogène, on n'obtient souvent qu'une série de trous.

L'amorçage de ce type de charge doit être identique à celui des charges appliquées.

Pour les petites opérations de déroctage, les charges peuvent être mises en place manuellement, mais lors de déroctage nécessitant la mise en place de nombreuses charges, il est alors plus rentable d'utiliser un cadre de pose récupérable réglé aux dimensions de la maille du tir.



Cadre de poses de charges creuses

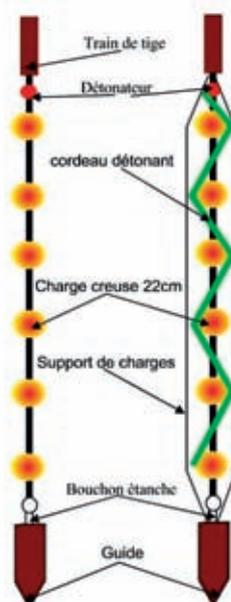
Les charges creuses énumérées ci-dessus sont uniquement destinées aux travaux de déroctage ou éventuellement aux petits travaux de démolition de béton.

3.5.1 Les charges de perforation

Ce type de charge est constitué d'un support équipé de nombreuses petites charges creuses contenant une trentaine de grammes d'explosif de type RDX ou HMX.

Toutes les charges sont initiées instantanément par un cordeau détonant.

Utilisé exclusivement dans l'industrie pétrolière, ce type de charge sert à perforer les tubages en acier de manière à favoriser l'écoulement des hydrocarbures.



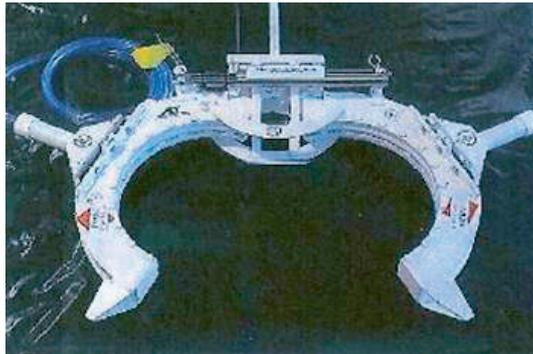
Charge de perforation

3.5.2 Les charges creuses circulaires

De son côté, l'industrie pétrolière offshore utilise régulièrement des charges creuses circulaires pour réaliser le découpage de pipelines ainsi que des piles de plates-formes en vue de leur abandon. L'explosif utilisé est soit liquide, soit à base d'hexogène tandis que l'épaisseur de pénétration peut aller jusqu'à 80 mm.

Etant donné la sophistication de telles charges, leur fabrication se fait généralement à la pièce.

Seuls quelques fabricants sont présents sur le marché : JRC (USA) – HOTFORGE (USA) – APPLIED EXPLOSIVES TECHNO (AUSTRALIE)

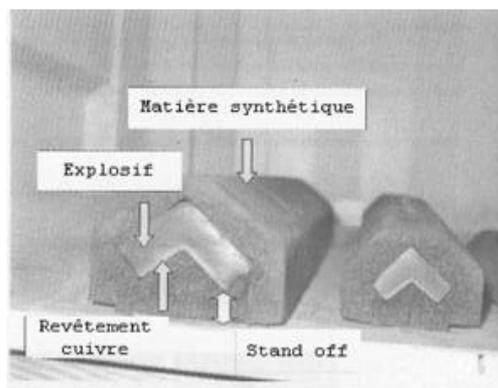


Charge creuse circulaire

3.6 **Les charges de découpage**

D'autres variétés de charges creuses comme les cordons de découpage, également appelés charges creuses linéaires sont également fabriquées pour réaliser le découpage de structures métalliques sous immersion :

Ordnance Explosives Engineering (UK) commercialise le BLADE, permettant de découper jusqu'à 25 mm d'acier doux



Charge linéaire de découpage BLADE

Leur utilisation sous l'eau reste limitée à cause du faible pouvoir de pénétration dans l'acier doux.

3.6.1 Les charges de découpage encartouchées

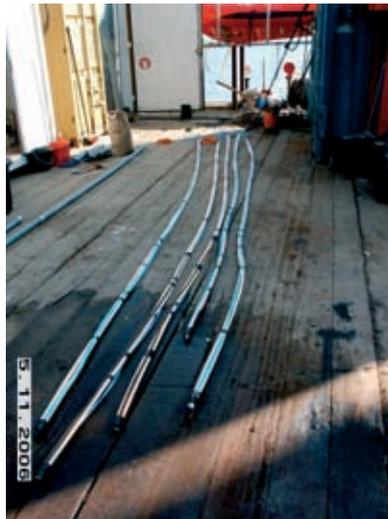
A défaut de charge creuse, le découpage de structures métalliques peut également être réalisé à l'aide d'explosif encartouché. La quantité d'explosif à utiliser se calcule en fonction de la surface de métal à découper et de la nature de la pièce.

L'efficacité de ce type de charge dépend essentiellement de la vitesse de détonation de l'explosif qui devra dans tous les cas être supérieure à la vitesse du son de la structure, soit au minimum 5.800 m/s. A défaut, la pièce considérée ne subira que des déformations plus ou moins importantes avec ou non déchirure irrégulière du métal.

Dans la gamme des explosifs commerciaux disponibles sur le marché, seules les dynamites avec une VOD (vitesse de détonation : velocity of detonation) élevée sont capables de produire une découpe plus ou moins régulière.

Il est à noter, que l'explosif ne pourra découper que la portion de métal avec laquelle il est en contact. La préparation de ce type de charge allongée pourra être réalisée en fixant une série de cartouches l'une à la suite de l'autre le long du cordage, soit en les introduisant dans une enveloppe PVC agrée.

L'amorçage sera réalisé à l'aide d'un cordeau détonant de minimum 20 g/m.



Charge de découpage encartouchée

3.6.2 Charges de collisions

Elles servent à découper des profils métalliques. La mise à feu est instantanée sur les deux charges par l'intermédiaire d'un logger et d'un blaster.

4 LES PROPRIETES REDOUTEES DES EXPLOSIFS

4.1 Désensibilisation des explosifs

Le problème majeur que l'on rencontre lors de la mise en œuvre sous l'eau des watergels et des émulsions, est lié au fait que, pour pouvoir détoner, ces deux types d'explosifs contiennent des micro bulles de gaz ou des micro billes de verre qui permettent d'obtenir la densité nécessaire à la propagation du front de détonation dans la colonne d'explosif.

Lorsque la détonation a lieu sous l'eau, l'onde de choc va se propager très rapidement dans le milieu tout en ne perdant que très lentement son énergie.

Si une autre charge d'explosif de même nature se trouve chargée à proximité, il est fort possible que, en fonction de la nature du terrain et de la valeur de la charge, l'explosif concerné soit comprimé à un point tel que les micros billes de verre cassent avant que la charge ait pu être amorcée. Dans ce cas, l'explosif ne pourra plus détoner et le tir sera raté.

Si l'explosif est sensibilisé par gazing, l'onde de choc va comprimer celles-ci au-delà de leur densité critique mais après le passage de l'onde de choc, elles redeviendront plus ou moins à leur état initial et l'explosif pourra encore être initié en fonction de la séquence de retard établie dans le plan de tir.

Dans ce dernier cas, l'explosif n'aura jamais récupéré entièrement et une bonne partie de son énergie potentielle sera perdue et on peut craindre également des ratés de tir.

C'est pour cette raison que les watergels et les émulsions ne sont conseillés que pour des déroctages de roches homogènes ne présentant pas trop de fractures ou de joints car ces discontinuités auraient alors tendance à focaliser les ondes de choc vers les trous de mine adjacents.

Lors de l'utilisation de produits explosifs dans des conditions d'utilisation où le risque de désensibilisation est fort, le concepteur devra porter une attention particulière à l'amorçage utilisé et ne pas hésiter le cas échéant, à utiliser un renforteur d'amorçage (booster, cordeau détonant....) à la base de la colonne d'émulsion afin de sécuriser la mise à feu.

4.2 Détonation par influence

Les dynamites ne sont que peu soumises au phénomène de désensibilisation. Par contre, il existe un risque de détonation par influence qui augmente en fonction du pourcentage de nitroglycérine présent dans les cartouches. Cela peut avoir comme conséquence d'avoir des charges qui explosent sous l'effet de l'onde de choc avant même d'avoir été initiées par le dispositif d'amorçage.

5 LA CHAÎNE PYROTECHNIQUE

La chaîne pyrotechnique est l'assemblage des différents éléments permettant de provoquer une explosion. Quelque soit la technique de tir utilisée, cette chaîne comporte trois éléments :

- la charge explosive
- le dispositif d'amorçage : il crée l'onde de choc initiale entraînant l'explosion de la charge
- le dispositif de mise à feu : il permet au préposé au tir de déclencher l'explosion en toute sécurité, à l'abri des projections.

Il existe deux types de chaînes pyrotechniques, l'amorçage séquentiel ou instantané.

Dans le premier cas, chaque charge détonne avec un retard qui lui est propre. Il n'y a donc pas deux charges qui partent avec le même retard. Dans le second cas, plusieurs charges, voir l'ensemble du tir peut partir au même retard.

Cette deuxième méthode est souvent retenue dans le cas de charges creuses pour éviter la désensibilisation due à l'onde de pression.

6 LES DISPOSITIFS D'AMORCAGE

A l'exception de l'amorçage par un détonateur ordinaire équipé d'une mèche lente qui est prohibé en milieu subaquatique, tous les autres artifices de mise à feu utilisés pour les tirs en surface comme le :

- cordeau détonant
- détonateur électrique
- détonateur électronique
- détonateur à tube conducteur d'onde de choc (TCOC)

peuvent être utilisés pour l'amorçage des tirs subaquatiques.

Les détonateurs électriques seront de préférence des détonateurs haute intensité (7 Ampères) afin de se prémunir des risques de courants électriques parasites (vagabonds ou induits).

Les détonateurs électroniques sont très intéressants pour adapter les plans de tir et ainsi diminuer les effets de nuisances sur l'environnement. Les détonateurs électriques et électroniques présentent l'inconvénient, en cas de mouvement d'eau important (houle ou courants), d'avoir tendance à s'user rapidement par abrasion au niveau de l'orifice des trous de mine ainsi qu'au niveau de leur zone de contact en surface.

Les utilisateurs optent donc, de plus en plus, pour une mise à feu à l'aide de détonateur de type TCOC. En effet, ce dispositif, simple d'utilisation, présente des garanties de sécurité notamment vis-à-vis de la propagation des courants parasites (vagabonds et induits) et des orages sur les barges métalliques.

L'utilisation des pistolets d'amorçage a fait l'objet de dysfonctionnement et de nombreux opérateurs internationaux ont adopté des appareils de mise à feu plus performants mais pas encore agréés en France.

Chaque système présente des inconvénients qui doivent être connus et appréciés. L'idéal serait l'absence de fils ou de tubes permettant de s'affranchir des problèmes des brassées de goémons et, ou des objets dérivants en mer ou en rivière.

6.1 Les modes d'amorçage

L'amorçage des divers trous de mine peut être de type séquentiel ou instantané.

Pour les tirs séquentiels, le retard entre les dates de départ peut être réalisé à l'aide de différents artifices de mise à feu :

- relais de détonation montés sur cordeaux détonants
- détonateurs électriques
- détonateurs électroniques
- détonateurs non électriques à conducteur d'onde de choc (TCOC).

L'utilisation des relais de détonation montés en surface sur les cordeaux détonants n'est pas conseillée car elle présente des risques de ratés non négligeables dus au croisement de certains brins de cordeaux détonants.

Les détonateurs électriques et électroniques imposent une parfaite isolation des connexions électriques ainsi que des connecteurs électroniques qui ne peuvent être immergés.

Les détonateurs électriques et électroniques (dans une moindre mesure) sont sujets au risque d'un départ intempestif dû à une source de courant d'origine extérieure (foudre, poste émetteur, radar, etc.) ; c'est pourquoi la tendance actuelle est de privilégier l'emploi de détonateurs non électriques à tube conducteur d'onde de choc.

La mise à feu des diverses charges explosives se fait de préférence en amorçage postérieur ce qui augmente d'une part la qualité de la fragmentation et évite (ou limite fortement) qu'un détonateur, soit décapité par l'explosion d'une charge voisine.

De même que pour les tirs en surface, la redondance de l'amorçage est de préférence assurée par un second détonateur mais, dans ce cas, pour tenir compte des particularités du milieu, il est généralement placé dans la même cartouche amorce.

Un cordeau détonant de 20 g/m latéral dont la longueur est supérieure d'un mètre environ à la longueur de la charge est généralement utilisé pour garantir l'amorçage des différentes cartouches. Pour son utilisation en milieu subaquatique, les extrémités doivent être étanchées pour limiter les risques de ratés dus à l'humidification de la pentrite dans l'eau. Cette sur-longueur de cordeau détonant pourra, le cas échéant, servir à réamorcer la charge en cas de raté.

Pour les tirs instantanés, l'amorçage peut être initié à l'aide de détonateurs instantanés ou par un cordeau détonant de 20 g/m.

L'amorçage au cordeau détonant doit être privilégié dans les eaux agitées où il existe un risque d'accrochage du dispositif d'amorçage avec des objets flottants ou dérivants en pleine eau. Dans ce cas, chaque charge est préparée de manière à avoir une longueur excédentaire d'environ 0.5 à 0.75 m dépassant du trou ou du tubage.

En fin de chargement, chaque cordeau détonant secondaire est alors raccordé par un plongeur à un cordeau maître (qui remonte à la surface) par l'intermédiaire d'un nœud de ganse d'alouette.



Nœud de ganse d'alouette

Toutes les extrémités de cordons détonants doivent être rendues étanches à l'aide d'un produit adéquat (ruban isolant, mastic, bouchon de sertissage).

6.2 L'amorçage T. C. O. C. (tube conducteur d'onde de choc)

C'est en tir subaquatique, actuellement, le plus utilisé. Il se compose :

- d'un initiateur.
- d'un tube conducteur d'onde de choc.
- de raccords de surface non électriques.
- de détonateurs non électriques.

6.2.1 Initiateur

Il est capable de provoquer un choc pour l'amorçage du tube non électrique. Il peut s'agir d'un pistolet à choc ou de l'explosion d'un autre dispositif d'amorçage (détonateur électrique par exemple).

6.2.2 Tube conducteur d'onde de choc

C'est un tube plastique souple et creux. La paroi interne est revêtue d'une composition pyrotechnique finement dosée à 12 mg / mètre (octogène / aluminium), permettant la transmission d'une onde de choc en sous-régime de détonation (2000 m/s).

Le tube est résistant aux ultraviolets et assure une résistance à la traction de près de 10 Kg.

En travaux subaquatiques, l'énorme intérêt que présente ce tube est que le contact de plusieurs tubes entre eux ne conduit pas à un incident de tir, puisqu'il n'y a pas d'effet extérieur au tube. On ne craint donc plus la coupure d'un cordeau par l'explosion de son voisin trop proche.

Autre avantage, l'onde de choc est en sous-régime de détonation, l'enveloppe n'explose donc pas. Un tube peut donc courir sur le pont de l'embarcation de mise à feu sans provoquer de dommages.

6.2.3 Raccord de surface

Il s'agit d'un mini détonateur chargé à 0,2 g de pentrite. Le tube est serti dans l'emboutis du détonateur avec un manchon en élastomère pour éviter la blessure du tube.

Le retard (17, 25, 42, 65, 100 ms) est assuré par la combustion d'une composition retardatrice.

Cette combustion se produit sous l'effet de l'onde de choc du T. C. O. C. et permet d'initier l'explosif primaire.

Le relais de surface peut initier jusqu'à six tubes non électriques, grâce à son boîtier de connexion.

6.2.4 Détonateur non électrique.

Basé sur le même principe que le mini détonateur du relais de surface, ce détonateur est chargé à 0,8 g de pentrite.

La gamme de retards disponibles est comprise entre 75 et 2000 ms (numéro de 3 à 20). Le numéro de retard est signalé par une étiquette autocollante avec le temps nominal de détonation.

Les longueurs de tubes sertis sur les détonateurs varient de 8 à 50 m en mode standard et à la demande sur fabrication spéciale.

CHAPITRE 4 : METHODE DE REALISATION DES TIRS / ETUDE

1 LES RENSEIGNEMENTS NECESSAIRES POUR DETERMINER LA METHODE

Les principes les plus importants en tirs subaquatiques sont :

Les forages et le chargement des explosifs doivent être opérés si possible depuis la plate-forme, et le recours aux plongeurs doit être réduit à son strict minimum pour des questions de coûts et de sécurité.

Une charge spécifique élevée (jusqu'à six fois la charge spécifique utilisée pour les tirs à l'air libre) est normalement utilisée afin d'assurer une fragmentation aussi fine que possible.

Les explosifs et les systèmes d'amorçage employés doivent être choisis en fonction de leur bonne résistance à l'eau, et leur bonne tenue à la pression hydrostatique et dynamique.

La gestion du déroctage maritime à l'explosif constitue un problème typique d'ingénieur puisqu'il faut atteindre des objectifs (résultats) en mettant en œuvre des moyens (paramètres) tout en respectant certaines contraintes incontournables (réglementation).

1.1 Définition des paramètres

Pour concevoir une opération de déroctage en milieu subaquatique, il convient d'établir les paramètres suivants :

- définition du massif rocheux
- atelier de forage, moyens maritimes
- chargement, amorçage, tir, instrumentation.
- marinage, moyens maritimes
- contraintes environnementales

1.2 Les trois méthodes utilisées

Deux méthodes (amorçage direct ou indirect) sont dites « manuelles » car elles font intervenir des plongeurs ; une autre méthode est dite « mécanisée » car tout est réalisé à partir d'une plate-forme.

Le recours à des plongeurs n'est économique que pour des opérations de petite échelle et pour des profondeurs modestes (même s'ils peuvent travailler à des profondeurs de 200 m en plongée saturée avec des équipements spéciaux).

Le forage manuel impose des diamètres modestes de l'ordre de 22 à 41 mm, ce qui limite de fait la taille des opérations. Cependant, ces petits diamètres sont compatibles avec la réduction des nuisances dans le cas de tirs à proximité de structures car la charge unitaire sera moins importante.

1.2.1 Méthode manuelle

Les plongeurs forent des trous de mine à l'aide de marteaux pneumatiques ou hydrauliques à main et chargent les forages.

Lorsque la réalisation de forage est impossible, le tir par charges superficielles est alors le seul recours.

Dans ce cas, des charges appliquées sont placées directement sur le sol et initiées instantanément. Le recours à cette méthode peut causer des nuisances importantes à l'environnement (faune, flore, vibrations).

1.2.2 Méthode mécanisée

Forages et chargement sont réalisés depuis une plateforme spécialement équipée.

Dans des cas très particuliers, l'excavation sous-marine peut être réalisée à sec. La zone à tirer est en premier lieu asséchée et maintenue hors d'eau par pompage dans un caisson de palplanches métalliques.

Le forage et le tir sont alors réalisés à l'aide de méthodes conventionnelles.

Il arrive aussi que le déroctage subaquatique soit remplacé, quand le profil s'y prête, dans la zone de l'*estran*, par un minage terrestre à travers une digue provisoire.



Déroctage à travers une digue provisoire

1.3 Facteurs pouvant influencer le plan de tir

La charge spécifique (kg / m³) peut être environ 6 fois plus importante que pour un tir de surface pour obtenir des résultats équivalents (tir en configuration « bloquée », rendement de l'explosif, imprécision d'implantation, fragmentation importante, etc....).

Les facteurs qui ont un effet important sur le calcul des charges sont :

- la précision des forages
- les défauts de chargement
- la fragmentation attendue
- le foisonnement désiré

1.3.1 Précision des forages

Dans un tir d'abattage ou de fragmentation réalisé hors de l'eau, la précision des forages a des effets importants sur le résultat du tir. Il en est de même pour un tir subaquatique sachant que le contrôle du démarrage exact du trou en forage à partir d'une plate-forme est compliqué et que les conséquences d'un défaut de forage sont beaucoup plus délicates à régler en subaquatique qu'en terrestre. Ainsi quatre facteurs jouent un rôle important sur la précision des forages :

- la structure de la roche
- les types et propriétés des accessoires ou supports maritimes utilisés
- une erreur d'implantation de la plateforme
- une erreur d'alignement des forages

Dans le but d'obtenir un résultat technique satisfaisant (profondeur de fouille et fragmentation), il est important que ces paramètres soient pris en compte lors de la détermination de la maille de forage. Quand un forage est réalisé à la main par un plongeur, l'erreur de positionnement peut être de 0,20 m et le défaut d'alignement à 5 % ou 5 cm/m.

Dans le cas de plate-forme, ces erreurs sont essentiellement liées à la hauteur d'eau et peuvent atteindre des valeurs très importantes quand cette hauteur dépasse 15 mètres.

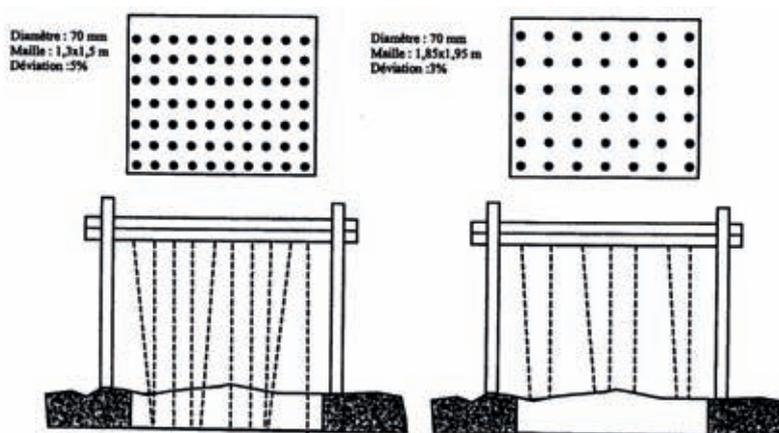
L'utilisation de la technique du « marteau fond de trou » utilisant un train de tubes plus rigide et un pré-tubage plus gros améliore grandement la précision d'attaque du forage.

Une nouvelle technique consiste à instrumenter en positionnement différentiel le pied du pré-tubage par l'intermédiaire du cerceau de récupération. La précision obtenue peut alors être de l'ordre de 5 cm sous plus de 20 mètres d'eau et devenir ainsi acceptable.

La précision des forages doit également être considérée site par site du fait des conditions de travail extrêmement variables (marée, courants etc....).

Lorsque le diamètre de forage augmente, les défauts de forage diminuent du fait de l'utilisation de matériels et de méthodes plus performantes.

Les grandes plates-formes équipées de foreuses munies de glissières télescopiques prenant appui sur le fond, utilisant la technique du « fond de trou » avec une instrumentation en pied de glissière permettent de réduire au maximum les risques de déviation.



Défaut d'implantation des forages

1.3.2 Défaut de chargement

En déroctage sous marin, il est primordial d'éviter les bosses et les pieds mal sortis tant la reprise secondaire est dangereuse et coûteuse.

Du fait de la non-visibilité de la zone de tir et de l'obligation de résultat, la charge spécifique est toujours augmentée par rapport au tir en surface dans le but d'obtenir la fragmentation requise même si des charges venaient à être défailtantes.

Les principales causes de dysfonctionnement sont les suivantes :

- trous ne pouvant être nettoyés
- lignes de tir endommagées dans le cas de tir électrique
- mauvaise connexion électrique

Le rapport entre le prix d'un forage de travaux subaquatique et celui d'un forage terrestre est tel que le surcoût en explosif est moins sensible. On peut donc se permettre de surcharger un tir si cela s'avère nécessaire.

1.3.3 Défaut de fragmentation

Une fragmentation uniforme peut être obtenue en tir subaquatique à partir du moment où tous les trous peuvent être chargés.

Si des blocs hors normes sont produits lors du tir, la cause peut être :

- une mauvaise évaluation de la roche en place (Nature, structure)
- une précision des forages très insuffisante
- des défauts de tir
- des problèmes liés à des tirs par sympathie

1.3.4 Défaut de foisonnement

En tir subaquatique, les charges doivent découper et fragmenter la roche, et également déplacer le poids de l'eau situé au-dessus de la zone à tirer.

Le supplément d'énergie nécessaire dépend de la hauteur d'eau sur site.

En déroctage subaquatique, la charge est souvent prolongée jusqu'en haut du trou. Un bourrage n'est pas nécessaire, l'eau jouant ce rôle. De ce fait, la charge spécifique se trouve augmentée d'autant.



Marinage en benne preneuse



Marinage rétro hydraulique

Éléments à recueillir pour déterminer la méthode :

Date de l'étude : Pour des problèmes de météo la date de l'étude est suivie de celle de réalisation.

Nom du Chantier : nom du chantier ainsi que le Pays.

Nom du Client : nom de l'Entreprise Principale

Maître d'ouvrage : nom du payeur pour chantier à paiement direct.

Situation Géographique : indiquer les conditions climatiques particulières (cyclones etc....).

Documents d'étude : sur quelles bases l'étude est réalisée, plans, visite sur site, pré étude.

Visite sur site : rapport de visite sur site.

Nature des travaux à réaliser : type de déroctage ou de démolition.

Cube à extraire : quantité estimée par le Maître d'œuvre, par l'Entreprise.

Linéaire à réaliser : longueur de tranchée à réaliser en déroctage.

Diamètre de l'émissaire : dimensions de la souille.

Mer ouverte ou fermée : site protégé à l'intérieur d'un port ou en pleine mer.

Hauteur d'eau : hauteur d'eau moyenne et maxi.

Marnage : amplitude de la marée, hauteur maxi marée haute et mini basse mer.

Vitesse du courant : vitesse, possibilité de transport de débris (arbres, goémons, etc.).

Houle moyenne significative : hauteur, fréquence.

Type de support maritime : support envisagé au moment de l'étude.

Contraintes environnementales générales : vibrations prévues au C.C.T.P.

Contraintes environnementales particulières : navigation maintenue.

Méthode de distribution des explosifs et artifices : possibilités existantes.

Trafic maritime ou fluvial : fréquence, trafic, procédure.

Hauteur de coupe moyenne : nécessaire au calcul de la consommation globale du chantier.

Blocométrie : nécessaire à l'élaboration du plan de tir.

Sur-profondeur : nécessaire à l'élaboration du plan de tir.

Nature des matériaux à extraire : nécessaire à l'élaboration du plan de tir.

Matériel de marinage : nécessaire à l'élaboration du plan de tir.

Charge spécifique : à déterminer suivant les informations précédentes.

Type d'explosif disponible : à déterminer suivant les informations précédentes.

Maille : à déterminer suivant les informations précédentes.

Diamètre des forages : à déterminer suivant les informations précédentes.

Charge unitaire : à déterminer suivant les informations précédentes.

Amorçage : à déterminer suivant les informations précédentes.

Cadence journalière 1 poste : à déterminer suivant les informations précédentes.

Cadence journalière 2 postes : à déterminer suivant les informations précédentes.

Cadence journalière 3 postes : à déterminer suivant les informations précédentes.

2 THEORIE DE BASE DU CALCUL

Les plans de tir utilisés en déroctage subaquatique doivent être aussi simples que possible. Le dimensionnement du plan de tir fera intervenir différents paramètres comme le diamètre de forage, la hauteur de front, la hauteur d'eau, la sur-profondeur, la maille.

Traditionnellement, les diamètres de forage retenus sont compris entre 32 et 51mm pour les forages réalisés par plongeurs et 51 et 102 mm pour les forages réalisés à partir d'une plateforme.

On constate que les possibilités des diamètres de forage définissent la méthode à utiliser sachant que de 32 à 51 mm, des cartouches de 34 et 40 mm peuvent être utilisées soit 100 gr et 300 gr. Les cartouches de 30 mm font 130 mm de longueur et celles de 40 mm font 150 mm de longueur. Avec la charge spécifique, on appréhende la densité de forages au m².

Généralement des mailles carrées sont utilisées.

Pour des problèmes de précision de forage et de sécurité, on évitera de descendre la maille au-dessous de 1,50m x 1,50m pour des forages réalisés à partir d'une plateforme au-dessus de 15 m d'eau.

Profondeur de Forage=hauteur du front H + sur-profondeur	0 – 3,0 m	3,0 – 6,0 m	6- 9,0 m	9,0 – 15,0m	15,0 – 25,0 m
Diamètre Utilisé	32	41	51	70	102

Choix du diamètre de forage

Des tableaux existent dans la littérature et permettent de définir dans une majorité des cas, les paramètres de la géométrie du tir.

2.1 Formules pour les travaux de déroctage maritime

2.1.1 Théorie

Détermination des paramètres de tir (Formules de LANGEFORS)

Le principe retenu par LANGEFORS est que tous les explosifs constituant la charge linéaire participent d'autant moins au dégagement du pied qu'il en est plus éloigné. L'énergie totale de la charge explosive est donc utilisée principalement pour dégager la zone la plus bloquée, en l'occurrence le pied de la mine. Si le pied du tir est bloqué de façon importante par le tas, la part de l'énergie augmente notablement. La problématique se résume à déterminer la largeur de banquette maximale permettant un dégagement du

pied et de la colonne correct. Les dimensions géométriques réelles du tir en pied sont donc primordiales pour la qualité du résultat.

La charge spécifique q dépend du rayon de travail de la charge souhaité, du coefficient de fermeté du matériau à dérocter (selon LANGEFORS $c = 0.4$), des conditions de bourrage, de la nature de l'explosif utilisé et de la granulométrie souhaitée.

Pratiquement, certaines conditions techniques sont imposées :

- la hauteur du front de tir,
- le diamètre de forage, qui dépend du matériel de forage utilisé, de la hauteur à forer et de la nature de la roche,
- la nature du massif (fermeté du massif à dérocter),
- la nature de l'explosif et donc sa densité et son énergie.

De nombreux auteurs ont donné des formules empiriques ou statistiques faisant entrer en jeu ces paramètres. Les conditions d'utilisation de ces formules sont importantes et il est toujours judicieux de s'assurer par un tir d'essai que les critères du tir réel correspondent bien aux hypothèses mathématiques des formules théoriques utilisées.

On retient le plus couramment au niveau mondial la « formule de LANGEFORS », que l'on fait évoluer en fonction des résultats du tir. La valeur de la charge spécifique est prise par défaut égale à 0.36 kg/m^3 pour les tirs de surface mais, dans le cas de tir en subaquatique, la charge spécifique doit être surdimensionnée pour éviter les ratés de tir.

Les caractéristiques géométriques du tir :

Détermination de la banquette maximale :

Pour des fronts dont la hauteur est supérieure ou égale au double de la banquette :

$$B_{\max} = K' \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot s_p}{\rho_0 \cdot s_0 \cdot \left(\frac{D_c}{D}\right)^2}}$$

où :

K' = est un coefficient qui dépend du massif rocheux et de la référence utilisée pour l'explosif ; ainsi en France, pour un explosif comparable à une dynamite de type F15 ou F16 ou NC1 (par exemple, l'EURODYN 2000 ou Dynaroc 9 A), d'une densité de 1.4 à 1.45 et d'une énergie totale de 4 MJ/kg, on prend $K' = 38$.

D = Diamètre de forage,
 D_C = Diamètre de l'explosif,
 D_C / D = Couplage,
 ρ = Masse volumique de l'explosif utilisé,
 ρ_0 = Masse volumique de l'explosif de référence,
 s = Energie pondérale totale de l'explosif utilisé,
 s_0 = Energie pondérale totale de l'explosif de référence.

Correction du fait de la déviation des forages :

Les erreurs de forage (alignements ou déviations) doivent être prises en compte ; cependant, il faut veiller à ce que ces déviations ne soient pas supérieures à 0.03 m/m de forage ; dans ce cas, LANGEFORS considère que la banquette à prendre en compte est :

$$B = B_{\max} - 0.05H$$

où H est la hauteur du front.

L'expérience a montré que la qualité des forages est importante et la formule retenue généralement est :

$$B = B_{\max} - a \cdot D - \frac{b}{100} H$$

où :

H est la hauteur du front

D le diamètre de forage

a est un coefficient qui dépend de la précision de la mise en fiche, de l'implantation et de la nature des équipements utilisés (barres, outils,...)

a = 1 pour une foration très prudente

a = 2 pour une foration correcte

a = 4 pour une foration convenable

b est un coefficient dépendant de la qualité de la foration et la limitation de la déviation

b = 1 pour une foration très précise

b = 2 pour une foration assez précise

b = 3 pour une foration peu précise

Détermination de l'espacement

La maille E x B est proportionnelle à l'énergie volumique comprise dans le trou. Elle a une influence sur le résultat de tir car elle contribue à la modification de granulométrie des blocs entre l'état initial du massif et

l'état du tas après le tir. Elle contribue, en conséquence, également à l'état du front de taille après le tir et des éventuels hors-profils. Plus le rapport E/B est faible, plus la dimension des blocs dans le tas est grande mais plus la face du front est lisse. LANGEFORS conseille :

$$E = 1.25 \cdot B_{\max}$$

Détermination de la longueur de forage

La longueur de forage est fortement influencée par la capacité des équipements de forage à garantir une déviation faible. Elle dépend de la hauteur du front et de l'inclinaison des forages. L'inclinaison des forages favorise le dégagement du pied et diminue les effets arrière.

En tout état de cause, il est préférable de prévoir une longueur au moins deux fois supérieure à la banquette retenue. Dans le cas contraire, LANGEFORS préconise de revoir l'ensemble du dimensionnement en fonction des abaques qu'il propose.

La longueur de forage est déterminée par la formule :

$$L_f = \frac{H}{\cos \alpha} + 0.3 \cdot B$$

où L_f est la longueur de forage préconisée en m

H la hauteur du front en m

α l'inclinaison des forages par rapport au plan vertical perpendiculaire au front en degré

B la banquette en m.

Détermination du nombre de rangées

Le nombre de rangées est déterminé en fonction des contraintes matérielles, de site et d'environnement.

Détermination de la répartition de l'explosif dans le trou de mine et de la charge spécifique :

Le choix de l'explosif est important car il détermine la qualité de la fragmentation et la possibilité de diminuer les nuisances sur l'environnement.

Le maximum de l'énergie de l'explosif est transmis au rocher si le rapport des impédances Z est voisin de 1, c'est à dire :

$$Z = \frac{\rho_e \cdot v_e}{\rho_r \cdot v_r} \leq 1$$

où :

ρ_e et v_e est respectivement la masse volumique et la vitesse de détonation de l'explosif

ρ_r et v_r est respectivement la masse volumique et la vitesse de propagation d'une onde de choc dans le rocher.

L'explosif est réparti dans le trou sous forme de deux charges :

La charge de pied, c'est celle qui contribue au dégagement et à la fragmentation du pied ; elle a une hauteur d'au moins une fois la banquette et la sur-profondeur :

$$L_p = 1.3 \cdot B$$

La charge de colonne, dont l'énergie volumique est, selon LANGEFORS, environ 2.5 fois²¹ plus faible que celle de la charge de pied. Elle a une hauteur égale à :

$$L_c = L_f - 1.3 \cdot B - H_B$$

où :

L_f est la longueur de forage

B la banquette

H_B la hauteur de bourrage qui est égale en général à B pour les tirs de surface, à 0.3B pour les tirs subaquatiques.

Il existe de nombreuses formules relatives à la relation entre la granulométrie attendue et la charge spécifique ; celle de LUNDBORG et PERSSON est communément retenue :

$$k_{50} = S \cdot f\left(\frac{H_B}{L_F}\right) \cdot \exp\left[0.29 \cdot \ln\left(B^2 \sqrt{\frac{E}{B}}\right) - 1.18 \ln \frac{q}{c} - 0.82\right]$$

où :

k_{50} est la taille moyenne de la maille d'un tamis carré qui laisse passer 50% de la granulométrie

S est un coefficient qui caractérise la capacité de la roche et donc dépend des caractéristiques de la roche

$f\left(\frac{H_B}{L_F}\right)$ est une fonction, introduite par LARSSON en 1973, dépendant de la hauteur de bourrage et de la profondeur du trou

B est la banquette en m

E est l'espacement en m

q est la charge spécifique en kg/m³

c est la constante de roche en kg/m³ prise arbitrairement par défaut à 0.4 kg/m³.

Pour les tirs subaquatiques, on peut évaluer la charge spécifique en appliquant la formule suivante :

$$q = C_i + \frac{H_e + 2B + 3H}{100}$$

où :

H_e est la hauteur d'eau

²¹ « The modern technique of Rock Blasting » U.Langefors, B.Kihlström, seconde édition, p 70, fig 3 :1

C_i la constante d'inclinaison ; elle vaut 1 si le forage est vertical, 0.95 pour un forage en 5 pour 1 et 0.9 en 3 pour 1.

Détermination de la charge de colonne

Une fois la charge de pied déterminée, la charge de colonne s'en déduit en appliquant :

$$s_c \cdot \rho_{lc} = 0.5 s_p \rho_{lp}$$

où

s_c et ρ_{lc} sont respectivement l'énergie pondérale et la charge linéaire de l'explosif de colonne

s_p et ρ_{lp} sont respectivement l'énergie pondérale et la charge linéaire de l'explosif de pied.

Evaluation des départs par sympathie

Les dynamites ne sont que peu soumises au phénomène de désensibilisation. Par contre, il existe un risque de détonation par influence qui augmente en fonction du pourcentage de nitroglycérine présent dans les cartouches.

On doit vérifier que la distance minimale entre deux charges DS_1 soit telle que :

$$DS_1 \geq \sqrt{\frac{Q}{0.75}}$$

Incidence sur l'environnement :

Evaluation de l'onde acoustique (formule du CEMEREX)

$$P_s = K \left(\frac{R}{Q^{\frac{1}{3}}} \right)^{-1.2}$$

où

P_s est la surpression maximale exprimée en kPa,

K un coefficient dépendant du mode de chargement (confiné ou non confiné),

R la distance du lieu de tir en m

Q la charge instantanée en kg.

Evaluation de l'onde de choc sous marine

Cas d'une charge non confinée TNT (Formule de COLE)

$$P_m = 53.1 \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{1.13}$$

où P_m est la pression maximale de l'onde de choc exprimée en Mpa,

Q est la charge instantanée exprimée en kg (équivalent TNT),

R la distance du lieu du tir en m

Correction pour type d'explosif

$$C = \frac{VD^2 \cdot \rho_e}{VD_{TNT}^2 \cdot \rho_{TNT}}$$

où C est le facteur de correction

VD est la vitesse de détonation de l'explosif utilisé (m/sec)

ρ_e est la densité de l'explosif utilisé

VD_{TNT} est la vitesse de détonation du TNT

ρ_{TNT} est la densité du TNT

Cas d'une charge confinée (formule d'ENHAMRE et EDWARDS)

$$P_m = 0.10 \text{ à } 0.15 \cdot \left[53.1 \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{1.13} \right]$$

où P_m est la pression maximale de l'onde de choc exprimée en Mpa,

Q est la charge instantanée exprimée en kg (équivalent TNT),

R la distance du lieu du tir en m.

Le pic de pression s'estompe rapidement (2ms)

Pas d'effet cumulatif sur l'ensemble du tir.

Impulsion sous marine

Cole a démontré que l'impulsion sous-marine avait la forme suivante :

$$I \left(\frac{t}{W^{\frac{1}{3}}} \right) = 1.46 \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{0.89}$$

où Q est en lb (pounds), R en feet, et I en $lb \cdot s / in^2 / (lb)^{\frac{1}{3}}$

Les expériences récentes ont permis de transposer cette formule dans le système d'unités internationales :

$$I = 57.6 \cdot (0.1 \cdot Q)^{\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{(0.1 \cdot Q)^{\frac{1}{3}}}{R^{\frac{1}{3}}} \right]^{0.89}$$

où I est l'impulsion (bars .ms)

Q , la charge instantanée (kg)

R, la distance de la charge (m)

Fréquence propre d'un ouvrage

$$f_n = \sqrt{\frac{L}{0.05 \cdot H}}$$

où f_n est la fréquence propre de l'ouvrage

L = Largeur de l'ouvrage

H = Hauteur de l'ouvrage

Vibrations

Formule USBM ou formule de CHAPOT

$$v = K \left(\frac{D}{Q} \right)^{-\alpha}$$

où D est la distance (m),

Q, la charge instantanée (Kg),

K et α sont des paramètres dont la valeur dépend entre autre du confinement et de la nature de la charge (ordinairement, dans massif rocheux type granite K = 3000 , $\alpha = 1.8$, K dépend de la géométrie du tir et α du type de roche et de son degré de fracturation ,

v est la vitesse particulière (m/s)

Zone de danger pour nageurs et plongeurs

$$DZ = 160(0.1 \cdot Q_{total})^{\frac{1}{3}}$$

où DZ est la distance de danger (m)

Q_{total} est la charge totale (kg),

Zone de danger pour la faune aquatique

La fiche technique de « Pêches et Océan » de l'institut canadien des pêches indique que des désordres peuvent intervenir sur la faune en fonction des espèces entre 2,76 et 4,83 bars de pression latérale. En fait, il est recommandé de mettre en place des mesures de protection dès que la vessie natatoire du poisson doit être soumise à une surpression instantanée de plus de 1 bar.

La formule de COLE permet d'estimer la zone de danger :

$$P_m = 0.1 \times 0.61 \times 555 \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{D} \right)^{1.13}$$

Rideau de bulles d'air (Formule de LANGEFORS – DE RAADT)

Le débit d'air injecté conditionne la réduction de l'onde de choc sous marine.

Le débit d'air conseillé varie de 0,40 à 8 litres /seconde/mètre.

Le facteur de réduction est de l'ordre de 70.

Ordinairement, la zone de danger est de l'ordre de 50 mètres.

2.1.2 Méthode simplifiée de dimensionnement d'un tir

La différence fondamentale entre les tirs subaquatiques et les tirs de carrière est que les tirs subaquatiques ne présentent qu'une seule surface libre. C'est un tir bloqué dans la plupart des cas. De ce fait, d'une part, l'eau et la hauteur de bourrage créent un effort et un poids supplémentaire à extraire, d'autre part, les erreurs de déviation et d'implantation des forages peuvent provoquer une fragmentation insuffisante et une interférence entre charges.

Une méthode simplifiée de calcul a été donnée par l'institut géotechnique et minier espagnol (1995) qui mérite une attention particulière :

Listes des variables utiles :

ρ_a : densité de l'eau

ρ_r : densité de la roche à abattre

ρ_{mr} : densité de la roche de couverture

H_e : hauteur de l'eau

H_r : hauteur de la roche à abattre

H_{mr} : hauteur de la roche de couverture

H : hauteur totale de roche

D : diamètre de forage

ρ_e : densité de l'explosif

q_l : charge linéique

A_a : surface de fragmentation effective

E : espacement

B : banquette

J : hauteur de surforation

VR : volume de roche abattu

Q_b : charge par trou

T : hauteur de bourrage

L : hauteur totale de forage

I : hauteur de la charge de colonne

Détermination de la hauteur équivalente de la colonne d'eau et de la couverture exprimée en hauteur de rocher :

$$H_e = \frac{\rho_a}{\rho_r} \cdot H + \frac{\rho_{mr}}{\rho_r} \cdot H_{mr} + H_r$$

Détermination de CE, quantité d'explosif par unité de volume (en kg/m³)

$$CE = 0.5 + 0.1H$$

Choix du diamètre de forage

Le choix du diamètre de forage est fait en se référant au tableau 63.

Détermination de la charge linéique

$$q_l = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times \rho_e$$

Surface de fragmentation effective

$$A_a = \frac{q_l}{CE}$$

Détermination des caractéristiques du plan de forage

Généralement, la maille est une maille carrée pour laquelle :

$$E = B$$

et :

$$B = \sqrt{A_a}$$

Calcul de la sur-profondeur

Pour une maille carrée, on a :

$$J = B$$

Calcul du volume de roche abattu

$$VR = A_a \cdot H + \frac{A_a \cdot J}{3} = A_a \cdot \left(H + \frac{J}{3} \right)$$

Calcul de la charge par trou

$$Q_b = CE \cdot VR$$

Calcul du poids de la charge de colonne

$$l = \frac{Q_b}{q_l}$$

Calcul de la hauteur de bourrage

$$T = L - l$$

Habituellement, la hauteur de remplissage est voisine de $15D$ avec une valeur minimale de 50 cm, mais s'il n'y a pas de limitations environnementales, les trous peuvent être chargés sur leur hauteur maximale puisque la pression hydrostatique confine les gaz de l'explosion.

2.2 Quelques valeurs de référence pour les massifs rocheux

La principale caractéristique d'un massif rocheux est d'être globalement hétérogène et anisotrope. L'étude du massif rocheux et sa caractérisation sont donc indispensables pour la conception et la réalisation d'un tir bien maîtrisé.

Catégories	Densité t/m ³	Vitesse limite mini pour le marinage m/s	Résistance à la compression MPa	Vitesse m/s	Dureté Echelle MOHS	Abrasivité ABR g/t
ROCHES SEDIMENTAIRES						
Schistes	2.7	1800	100 à 200	500 à 3000		
Marne	2.6	2000				
Marne 2	2.5	2100	160 à 250	800 à 3600	7	1400
Grès	2.6	2100				
Argiles	2.6	1800	120	900 à 4500	6	400
Calcaires	2.6 à 2.7		100		5	200
Corail	2.6	2000	140	900 à 3000	6	800
Poudingue						
ROCHES IGNEES						
Granite	2.7	1800	200 à 350	1000 à 4500	7	1600
Granite	2.8	1900	250 à 400		7	900
Basalte	2.7	1900	200 à 350	1000 à 4500	7	900
Trapp				1000 à 4500		
ROCHES METAMORPHIQUES						
Schistes	2.7	1800	150 à 400		6 à 7	1200
Micaschistes	2.65	1600	160 à 220	800 à 3000	6 à 7	1800
Quartzite	2.7	1600	140 à 300	900 à 3600	6	1600
Gneiss	2.7	1800	150	1200 à 4500		900
Ardoise		1800		1200 à 3600		
MINERAIS						
Minerais de fer		2100		1200 à 3500		
Minerais de charbon				900 à 4000		

Propriétés principales des roches

CHAPITRE 5 - LES MODES OPERATOIRES

1 *Mise en œuvre des explosifs et artifices à partir des plates-formes*

1.1 Préparation de la charge

La préparation des charges est réalisée dans le local prévu à cet effet, ce local doit être chauffé et correctement éclairé et ventilé. Il est muni d'un extincteur à poudre. Un interphone permet de donner et recevoir les consignes de la passerelle.

Dans ce local, « les consignes de tirs » sont affichées ainsi que le plan de calepinage et le plan de tir spécifique au chantier.

Chaque ligne de forage est identifiée par une lettre, chaque forage est identifié par un numéro. Ces identifications sont reprises par le plan de tir.

L'artificier connaît donc précisément, au fur et à mesure de l'avancement du chantier, le type de charge qu'il doit préparer. Un repère de profondeur est fixé sur le système d'amorçage de la charge et permet ainsi de vérifier instantanément la bonne position de celle-ci dans le forage.

Seul un incident de forage peut faire modifier la charge. Dans ce cas, la charge réellement mise en place sera notée sur la fiche qualité d'autocontrôle journalière.

1.2 Chargement du tir

Les opérations successives de chargement sont les suivantes :

1. préparation de la charge
2. vérification de la profondeur du forage
3. nettoyage du forage
4. extraction complète du train de forage
5. passage du bourroir à corde plombé
6. descente de la charge au repère de profondeur
7. vérification au bourroir à corde
8. coulissage du système d'amorçage à l'intérieur du pré-tube
9. remontée du pré-tube
10. récupération du système d'amorçage à l'aide du cerceau de récupération
11. fixation provisoire du système d'amorçage sur la plate-forme.

Quand la ligne ou la fenêtre est terminée, les amorçages repérés de chaque forage sont assemblés et reliés à des raccords intermédiaires ou à la ligne de tir (selon leur nombre).

Commence alors la préparation au tir.



Mise en place du cerceau



Vérification de la profondeur



Mise en place de la charge



Récupération du dispositif d'amorçage

1.3 Préparation physique du tir

Les dispositions sécuritaires sont indiquées dans la note de prescriptions dénommée « Procédure de tir ». Elle doit être remise contre émargement à tous les acteurs intéressés par cette procédure.

Les autorités portuaires sont prévenues à l'avance en fonction du temps nécessaire au déplacement en position de tir du ponton ou de la plateforme, généralement 30mn avant le tir.

La bouée matérialisant la position du tir est fixée à un lest au point de raccordement de la ligne de tir et des départs vers les charges. Le pneumatique ou le bateau de servitude vérifie la zone de protection. Les contraintes de protection et de sécurité sont exécutées ou débutent, par exemple : évacuation des touristes, préparation de la zone de tir, arrêt de la navigation ...

Le bâtiment de « mise à feu » se déplace vers le lieu fixé pour le poste de tir et l'artificier déroule progressivement la ligne de tir. C'est généralement la plateforme de forage qui est utilisée pour la mise à feu de la « volée ».

Le responsable du champ de tir placé dans le bateau de servitude indique à l'Artificier que la procédure de tir peut être engagée. L'Artificier prévient les autorités portuaires du démarrage de la procédure ; le déroulement habituel est le suivant :

- 3 coups de corne : Tir à 5 mn
- 2 coups de corne : Tir immédiat
- 1 coup de corne : Fin de tir.

Des opérations de vérification peuvent alors être engagées et les plongeurs en assurent la réalisation après un délai d'attente de 10 minutes.

2 Mise en œuvre des explosifs et artifices avec scaphandriers

La mise en œuvre des explosifs en subaquatique peut être réalisée par des scaphandriers. Il est alors important de respecter la réglementation propre aux travaux subaquatiques et hyperbares ainsi que les textes qui régissent l'emploi des explosifs sur les chantiers de Travaux Publics. En tout état de cause, dès lors que les plongeurs manipulent de l'explosif, ils doivent être titulaires du certificat de préposé au tir option subaquatique.

2.1 Les dispositions propres à la plongée

Le personnel employé sur ce type de chantier doit respecter le décret du 28 mars 1990 qui régit les travaux subaquatiques et hyperbares. Les règles minimales à respecter sont exposées dans les paragraphes suivants.

- Décret n° 90-277 du 28 mars 1990 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.
- Arrêté du 28 janvier 1991 modifié par l'arrêté du 24 mars 2000 définissant les modalités de formation à la sécurité des personnels intervenant dans des opérations hyperbares

- Arrêté du 28 mars 1991 définissant les recommandations aux médecins du travail chargés de la surveillance médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare
- Arrêté du 20 août 1991 fixant les conditions de dérogation à l'âge limite pour postuler au certificat d'aptitude à l'hyperbarie
- Arrêté du 15 mai 1992 définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail en milieu hyperbare
- Arrêté du 24 décembre 1996 modifié par l'arrêté du 20 décembre 2002 portant habilitation d'organismes chargés de procéder aux examens CE de type, à l'évaluation de système de garantie de qualité CE et à l'évaluation de la surveillance des systèmes d'assurance qualité CE concernant certains équipements de protection individuelle, *notamment paragraphe VII*

2.1.1 La documentation nécessaire sur le chantier

Documentation individuelle :

- certificat d'aptitude à l'hyperbarie
- aptitude médicale en cours de validité
- livret d'hyperbarie sur lequel doivent être inscrites les interventions effectuées.

Documentation collective :

- manuel de sécurité des opérations hyperbares (conformement au décret)
 - document spécifique au chantier en cours précisant les modalités particulières applicables pour le site ou l'opération.
 - feuille d'intervention sur laquelle sont notés les noms des intervenants et les paramètres de l'opération.
- Eventuellement, une feuille d'accident.

Affichage obligatoire sur le site :

- coordonnées du médecin du travail
- coordonnées du caisson de recompression à alerter
- coordonnées du médecin hyperbariste désigné pour le suivi du chantier.

2.1.2 Organisation des secours sur le chantier

Sur le chantier, les moyens de premiers secours obligatoires sont constitués par :

- une valise de réanimation permettant l'administration d'oxygène pur
- une trousse de premiers secours dont le contenu est fixé par le médecin du travail
- une civière.

Les moyens de secours sont complétés par un caisson de recompression d'urgence dont le délai pour y accéder est fixé par le décret du 15 mai 1992 selon le tableau suivant :

SITUATION	DELAI MAXIMUM D'ACCES
Durée des paliers inférieure à 15 minutes	2 heures
Durée des paliers supérieure à 15 minutes	1 heure
Décompression de surface	Sur le site accès facile (3 minutes)

2.1.3 Les dispositions propres aux scaphandriers (disposition de l'arrêté du 15 mai 1992)

La durée journalière en immersion pour un scaphandrier, ne doit pas excéder 3h/j. Le tableau suivant réunit les principales prescriptions concernant les limites d'utilisation et la composition des équipes minimales requises pour la mise en œuvre des diverses méthodes de plongée.

Type de plongée	Profondeur maximum	Equipe minimale	autres dispositions
Scaphandrier autonome	60 m	<ul style="list-style-type: none"> - 2 scaphandriers Si pas de liaison fixe avec surface. - + 1 scaphandrier secours - + 1 chef opération hyperbare 	<ul style="list-style-type: none"> - embarcations - ligne à palier
Narguilé	60 m	<ul style="list-style-type: none"> - 1 scaphandrier - + 1 scaphandrier secours - + 1 chef opération hyperbare 	<ul style="list-style-type: none"> - bouteille secours sur scaphandrier - 2 alimentations en surface - lecture de la profondeur en surface - moyens de sortie de l'eau des scaphandriers - 1 ligne à palier

2.1.4 Les dispositions pour l'exécution d'un chantier de pétardement sous-marin

Nous emploierons le terme de chantier de pétardement sous-marin comme terme générique de l'utilisation des explosifs sous l'eau.

Ce type de chantier, implique directement les scaphandriers dans la responsabilité du tir.

En général, pour les petits chantiers, ce sont les scaphandriers artificiers qui assurent la sécurité du plan d'eau.

Néanmoins pour des opérations importantes (rades, port, plage, etc...), le responsable du tir peut faire appel à des moyens extérieurs (gendarmerie, direction de port, affaires maritimes,). Dans ce cas, une liaison radio doublée par des signaux optiques doit être mise en place.

2.2 Organisation du chantier

L'organisation d'un chantier de pétardement réclame de la rigueur et des règles organisationnelles précises.

2.2.1 organisation fonctionnelle

Dans ce type de chantier, il y a deux responsables d'opérations en fonction selon les phases du chantier.

Pendant le travail des scaphandriers, la responsabilité du chantier incombe au Chef Opération Hyperbare.

L'organisation du chantier de pétardement (utilisation, manipulation des explosifs) est sous la direction du chef artificier (ou boutefeu).

Le rôle est tenu par une personne d'expérience qui possède impérativement le CPT version 1997 ainsi que l'option Tir Subaquatique.

Au moment de la sortie de l'eau des scaphandriers, l'ensemble des opérations liées à l'utilisation des explosifs est de la responsabilité du chef artificier (ou boutefeu).

Le chef artificier prend la responsabilité des mesures liées à la sécurité nautique et la gestion des explosifs.

Les scaphandriers qui seront employés à la manipulation des explosifs comme aide devront également être en possession d'un CPT option tir subaquatique.

2.2.2 Organisation matérielle du chantier

Les moyens nautiques nécessaires à l'exécution du chantier doivent permettre d'assurer la direction de celui-ci, la sécurité du plan d'eau et la mise en œuvre des explosifs.

La matérialisation du chantier doit être effectuée par la présence visible de tous bords du pavillon Alfa qui indique la présence de scaphandriers sur le chantier et du pavillon Bravo qui présente le danger lié à la manipulation des explosifs.

2.3 Règles de sécurité générales

Pour l'exécution d'un chantier utilisant des explosifs en mode subaquatique à partir d'embarcations, il est impératif de respecter les règles générales spécifiques suivantes :

- le stockage des détonateurs doit être distant d'au moins deux mètres de celui des explosifs.
- la charge est dite amorcée lorsque l'on place un détonateur dans l'explosif. Dans le cas du tir en direct, cette opération doit se réaliser au dernier moment sur le fond par le chef de l'équipe de scaphandriers. Toutefois, il est possible selon les conditions météorologiques et de visibilité de plonger avec la charge amorcée en surface.
- le chantier doit disposer a minima des moyens nautiques suivant : une embarcation servant d'atelier de mise à feu et d'une ou plusieurs embarcations assurant la sécurité du plan d'eau. Par ailleurs, on s'assurera que les conditions météorologiques permettent la visibilité minimale pour mettre en sécurité le plan d'eau pendant la durée du chantier.
- l'emploi des scaphandriers doit répondre également à des précautions liées au milieu notamment, vis à vis des conditions météorologiques et surtout maritimes, telles que l'interdiction de tir en cas d'orages ou la navigation libre dans le périmètre de tir...

2.4 Choix de la méthode d'amorçage

L'amorçage direct est le plus simple à réaliser et le plus rapide. Il donne au scaphandrier la possibilité d'amorcer en surface, hors de l'eau et donc en sécurité. Ce type de méthode sera privilégié pour des chantiers nécessitant peu d'explosifs et à faible profondeur.

Pour l'amorçage indirect, l'opération est plus délicate et longue car l'équipe de scaphandriers doit lier le cordeau détonant le long du balisage jusqu'à la surface et prévoir en surface, un radeau pour y placer le dispositif d'amorçage prévu. Généralement l'amorçage indirect est préconisé pour les plongées nécessitant des paliers. Par ailleurs, du fait du risque d'arrachement par les éléments transportés par le courant ou le contact de deux cordeaux entre eux, cette méthode ne peut être utilisée que dans des eaux calmes, propres et peu profondes.

2.5 Exécution du chantier

Pour tous les chantiers, il est impératif de baliser au préalable le lieu du pétardement par une bouée.

Le bâtiment atelier de mise à feu mouille à une distance variable du balisage en fonction de la quantité d'explosifs mis en œuvre et sous le vent de la bouée (ou du courant si celui ci est plus fort que le vent). Si le bâtiment atelier venait à chasser, il s'éloignerait du point d'explosion, alors qu'au vent il pourrait en dérivant se retrouver sur le tir.

2.5.1 Chronologie des opérations par amorçage direct :

La procédure est la suivante :

L'équipe de scaphandriers s'immerge sur le balisage marquant le chantier, l'un avec les charges, l'autre avec les détonateurs. Sur le fond, les scaphandriers suivent un fil d'Ariane qui doit les amener au lieu précis de pose des points de chargement prévus au plan de tir. Ils fixent les charges aux points indiqués et les amorcent.

Au moment d'entamer leur remontée vers la surface tout en respectant le protocole de plongée, les scaphandriers réunissent l'ensemble des tubes TCOC jusqu'au balisage.

Le début de la remontée se fera avec précaution à l'aide des bras afin de ne pas arracher les charges amorcées (dû à un coup de palme un peu violent).

La remontée se fait le long du balisage d'immersion tout en attachant régulièrement les tubes d'onde de choc sur le fil d'Ariane. Il est impératif de respecter une longueur supplémentaire de tubes d'amorçage par rapport à la longueur de balisage. Cela permet aux mouvements de mer de ne pas effectuer de tractions sur le dispositif d'amorçage mais sur le fil d'Ariane.

Arrivée en surface, l'équipe des scaphandriers rejoint l'embarcation de mise à feu. Le chef artificier s'assure que les mesures de sécurité sont bien en place avant de commencer la procédure de tir qui est identique à celle des opérations exécutés depuis une plate-forme.

2.5.2 Chronologie des opérations par amorçage indirect :

Ce type d'amorçage présente l'avantage de ne réaliser l'amorçage des charges qu'au retour en surface des scaphandriers. Par contre, elle nécessite des conditions météorologiques favorables à l'immersion sous marine.

Il est nécessaire également de disposer d'un flotteur en surface, à l'aplomb du chantier, pour servir de support aux éléments d'amorçage. Ce flotteur devra être amarré au balisage par un bout d'une dizaine de mètres afin d'éviter toute traction sur le cordeau détonant.

Pour la préparation du cordeau détonant, l'extrémité immergée sera étanchée afin de préserver la qualité de la pentrite qu'il renferme. Il est autorisé de doubler les cordons détonants pour éviter les ratés de tir.

L'amorçage en surface sera réalisé chaque fois que cela est possible par l'emploi d'un dispositif non électrique ou éventuellement de deux détonateurs électriques montés en parallèle.

2.5.2.1 Chargement

Phase préparatoire

Le contact entre le cordeau détonant et l'explosif de chargement doit être réalisé avec soin. La liaison des deux éléments sera soignée pour que la transmission de la détonation soit assurée. Il convient de

confectionner une demi-clef sur l'extrémité du cordeau détonant destiné à être placé dans l'explosif de chargement.

Le responsable du tir recherche l'autorisation de plongée auprès du responsable de plongée.

Phase d'exécution

Comme pour un chantier de pétardement avec amorçage direct, le balisage doit permettre aux scaphandriers de se rendre sur le lieu de chargement des explosifs. Il sera donc impératif de prévoir un fil d'Ariane.

- les scaphandriers s'immergent avec l'explosif et le cordeau détonant,
- sur le fond, ils fixent l'extrémité du cordeau de manière qu'une traction accidentelle ne provoque pas son arrachement de la charge d'explosif,
- chaque scaphandrier fait une demi-clef sur la charge, opération qui peut éventuellement être réalisée en surface en phase préparatoire,
- ils disposent les charges d'explosif selon le plan de tir,
- en cours de remontée, le cordeau détonant est fixé en conservant de larges boucles le long du fil d'Ariane.

2.5.2.2 Phase d'amorçage :

Phase préparatoire

Après la remontée des scaphandriers, la mise en sécurité de la zone de tir est réalisée comme précédemment décrite.

Phase d'exécution

La procédure de tir se déroule comme décrite précédemment telle qu'elle est consignée dans la note de prescription qui s'y rapporte.

3 Gestion des dysfonctionnements

3.1 Interruption de la procédure de mise à feu :

Chacun des intervenants doit être en mesure de faire interrompre la procédure de tir s'il constate que les conditions de réalisation du tir ne sont pas conformes.

En cas d'interruption de la procédure, le responsable du chantier fera prendre les mesures suivantes :

- débranchement du dispositif de mise à feu
- shunt placé sur la ligne de tir (dans le cas d'un amorçage électrique)
- conservation des mesures de sécurité du plan d'eau
- information des autorités concernées de l'interruption ainsi que des mesures prises.
- analyse et solutions du problème.

3.2 Conduite à tenir en cas de raté de la mise à feu :

En cas de non feu, faire une pause de 10 minutes avant d'intervenir sur l'amorçage.

Dans le cas d'un dispositif électrique, on procédera de la manière suivante :

- actionner une nouvelle fois l'exploseur
- en cas d'insuccès, le débrancher et shunter la ligne
- Conservant les mesures de sécurité du plan d'eau
- attendre 10 minutes
- à l'issue du délai, vérifier le montage sur le flotteur avant de procéder au remplacement de l'ensemble du dispositif.

Pour un amorçage de type Nonel, après le délai d'attente, on pourra réaliser un autre amorçage sur le flotteur.

3.3 Traitement des ratés de tir :

TRES IMPORTANT :

LE RATE DE TIR EST UN EVENEMENT MAJEUR EXTREMEMENT DELICAT A MAITRISER ET DANGEREUX EN MILIEU AQUATIQUE.

IL CONVIENT DONC DE PRENDRE LES DISPOSITIONS POUR EVITER QU'IL SE PRODUISE A SAVOIR :

- CHOIX METICULEUX DE L'EXPLOSIF A METTRE EN ŒUVRE*
- CHOIX DE L'AMORCAGE*
- CONTROLE RIGOUREUX DE LA PROCEDURE DE MISE EN OEUVRE*

Il est parfois impossible de traiter les ratés. Il est important de respecter scrupuleusement les procédures.

Le dysfonctionnement d'un tir peut provenir de plusieurs causes :

- Le matériel d'initiation du tir : compte tenu du caractère changeant du milieu maritime, une simple panne d'exploseur, électrique ou non, peut avoir des conséquences désastreuses sur un déroctage maritime : un délai d'attente trop long en configuration de tir augmente le risque de rupture des lignes d'amorces avec les courants, les matières en suspension, ou la renverse de la marée.
Il est donc obligatoire de disposer à bord de matériel en état, et d'un dispositif de mise à feu de secours.
- Détonateur et cartouche amorce : on peut constater le non feu d'une ou plusieurs cartouches amorces

par une non-efficience du tir ou par des vibrations plus faibles qu'attendues. Après contrôle au plongeur, s'il s'avère que le défaut se situe entre le fond et la surface, le plongeur artificier réamorcera les charges par points ponctuels le plus près possible du fond. Lorsque le dysfonctionnement ne peut être localisé avec certitude et précision, l'utilisation de charges creuses pour la destruction des imbrûlés est envisageable si l'environnement le permet.

- Mauvaise réalisation du plan de tir : dans ce cas, le dysfonctionnement se traduit par une difficulté, voir une impossibilité d'atteindre la cote de terrassement.

Différentes solutions :

- Utilisation de charges creuses ou appliquées sur les points hauts,
- Re-mobilisation de l'atelier de forage sur cette zone.

Dans tous les cas, après un raté, quel qu'il soit, la réalisation de forages par plongeurs est à proscrire car trop dangereuse.

4 Quelques techniques spécifiques

4.1 Les charges appliquées (ou superficielles)

En ce qui concerne les déroctages sous-marins, cette méthode n'est préconisée que lorsque :

- les quantités de roche à enlever ne justifient pas la mobilisation d'une barge
- les bancs rocheux sont de faible épaisseur
- la profondeur d'intervention devient problématique pour le forage.

Ce mode de mise en œuvre consiste à mettre en place une ou plusieurs charges contre la surface à dérocter.

Pratiquement aucune préparation particulière n'est nécessaire si ce n'est qu'il faut veiller à ce que l'explosif soit en contact avec le matériau. Le recouvrement par l'argile n'est pas praticable. De ce fait, les gaz d'explosion ne participent nullement au travail de destruction.

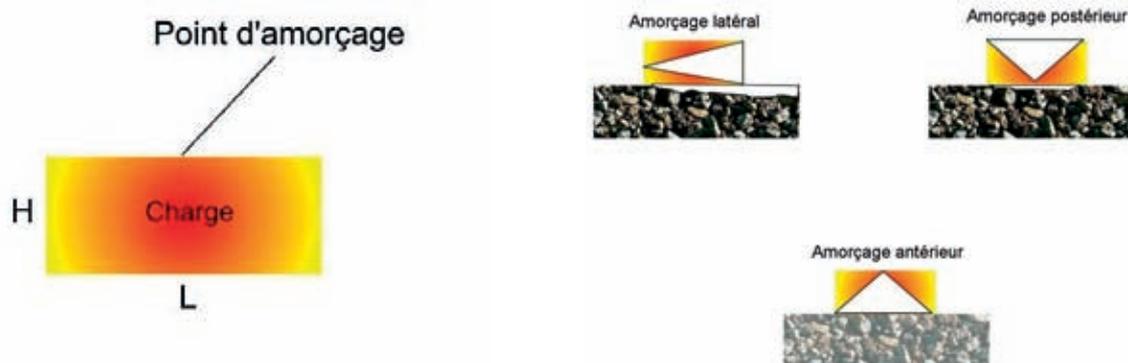
Dès lors, afin d'obtenir un effet maximum en toute sécurité, il est important lors de la fabrication des charges de s'assurer :

- que le point d'amorçage se trouve sur la face opposée à la cible de telle sorte que l'onde de choc converge vers le matériau à détruire.
- que le ratio hauteur/longueur se situe entre 0,5 et 0,75 (voir page 46)

Même préparée de cette manière, on peut constater qu'une partie importante de la charge ne participe pas du tout au travail de destruction à cause des pertes d'énergie latérale. Lorsque l'amorçage a lieu sur le côté de la charge, le résultat de la destruction est médiocre car il n'est dû qu'aux effets latéraux de l'onde de choc.

Avec un amorçage placé sous la charge, pratiquement aucun effet dû à l'onde de choc n'est constaté, le matériau est uniquement soumis à une faible dégradation due à la pression des gaz.

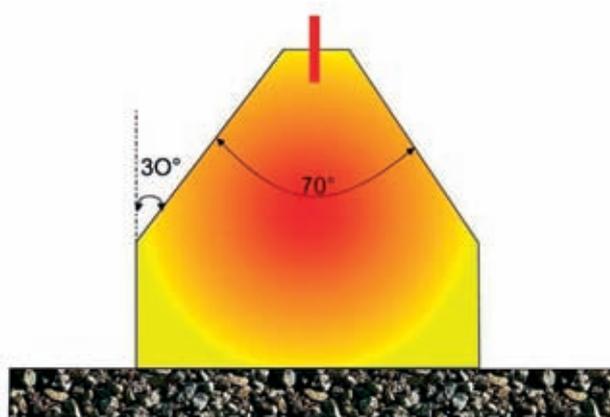
Par contre, lorsque l'amorçage a lieu sur la partie antérieure de la charge l'effet de destruction est maximum.



Confection d'une charge appliquée

Influence du mode d'amorçage sur le travail de destruction

4.1.1 Charge de déroctage conique à enveloppe rigide



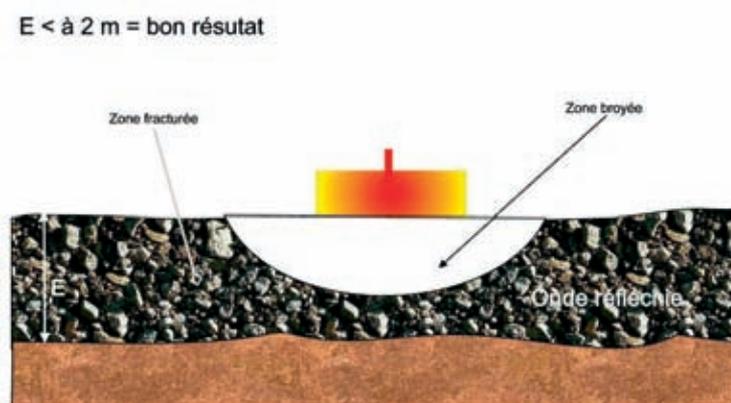
Charge de déroctage conique à enveloppe rigide

Les charges de déroctage conique à enveloppe rigide sont applicables pour certains travaux de démolition, ou pour le déroctage de roches homogènes dures à condition que la couche rocheuse ne dépasse pas 1,5 mètre voire exceptionnellement 2 mètres d'épaisseur.

En ce qui concerne les roches tendres et plastiques comme le calcaire ou le corail, l'épaisseur ne devrait pas dépasser 0,75 m à 1 m.

Afin d'augmenter l'efficacité des charges appliquées, certains fabricants ont dans le passé, confectionné des charges dans une enveloppe rigide de forme conique comme celle décrite page précédente ce qui permettait alors de profiter à 100 % de l'énergie délivrée par l'onde de choc. Malheureusement pour l'utilisateur, ce type de charge est maintenant pratiquement introuvable.

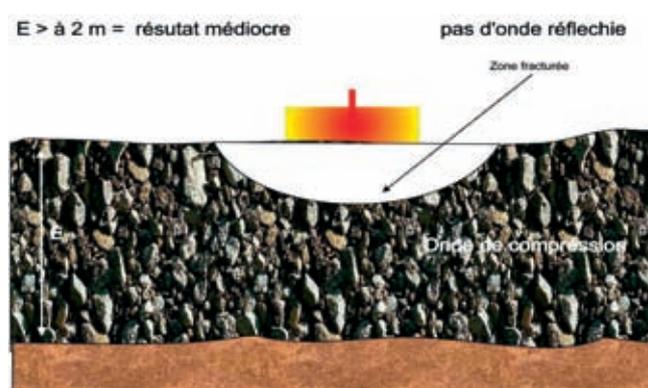
4.1.2 Charge appliquée sur roche de faible épaisseur



Charge appliquée sur roche de faible épaisseur

L'efficacité des charges appliquées est grandement améliorée si une couche de matériau plus tendre se trouve sous la couche à dérocter car, dans ce cas, il pourra y avoir une réflexion des ondes de choc au niveau de l'interface. Dans le cas contraire, ou si l'épaisseur est trop importante, très peu d'ondes de traction seront générées et seul un cratère de dimension donnée sera réalisé.

4.1.3 Charge appliquée sur roche trop épaisse



Charge appliquée sur roche trop épaisse

Seuls les explosifs avec une vitesse de détonation élevée (dynamite et émulsion) doivent être utilisés et ils doivent être mis en contact direct avec la roche.

Bien souvent, il faut prévoir le dévasement avant de mettre les explosifs en place.

4.1.4 Mise en place des charges appliquées

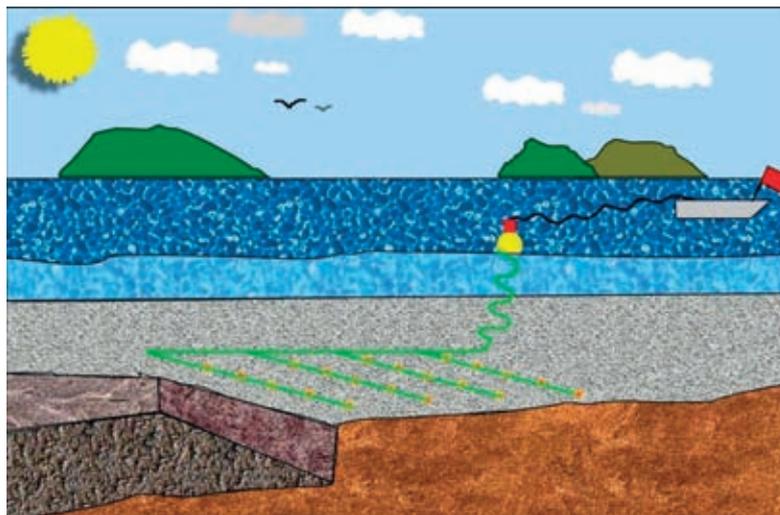
Etant donné qu'une grande partie de l'énergie de l'explosion ne participe pas à la fragmentation du matériau, la charge spécifique à utiliser est nettement supérieure au tir confiné.

Les différentes charges sont disposées en carré avec une maille variant de 1 à 3 mètres. La quantité d'explosifs par charge varie généralement entre 10 et 25 kg.

Etant donné que ce type de charge risque d'être facilement déplacé par le courant ou la houle, il est nécessaire de poser un lest sur l'explosif de manière à le maintenir en place (sacs de sable).

Pour éviter les ratés, l'amorçage des différentes charges explosives doit impérativement être de type instantané. (Voir chapitre amorçage).

Afin d'obtenir un rendement maximum et profiter pleinement de l'onde de détonation, chaque charge doit être de préférence initiée à son sommet par un cordeau détonant de minimum 20 g/m. L'ensemble des cordons est ensuite connecté à un cordeau maître remontant en surface.



Mise en place des charges appliquées

L'amorçage de plusieurs charges appliquées à l'aide de détonateurs instantanés électriques ou non électriques doit être évité à cause des risques de non simultanéité dans les dates de départ, ce qui peut alors provoquer le déplacement des charges annexes avant que celles-ci n'explosent.

Lorsque les travaux de déroctage sont destinés au creusement d'une souille étroite, de maximum 1,5 mètre dans une roche tendre, les explosifs peuvent alors être fixés sur un cordage de manière à former une charge continue.

En fonction de la profondeur à atteindre, la quantité d'explosif varie de 1,5 à 15 kg/ml.

Afin que les charges appliquées aient un rendement correct, il est nécessaire que la hauteur d'eau au dessus des charges soit au minimum 1,5 fois plus grande que le rayon de la bulle gazeuse produite par l'explosion. (Voir chapitre nuisances).

4.1.5 Adaptation des charges appliquées aux conditions de tir

Il est essentiel d'adapter la fabrication des charges appliquées aux conditions de site. Cependant, la fabrication et le conditionnement des charges appliquées doivent être réalisés conformément aux prescriptions réglementaires en vigueur. Les autorisations appropriées sont nécessaires : autorisation de fabrication, de détention. Ces explosifs sont d'un type particulier et certains ne sont pas autorisés de manière générale dans le secteur civil. Des dérogations à leur utilisation peuvent s'avérer nécessaires. L'analyse de l'application réglementaire doit être faite au cas par cas.

4.2 Les charges concentrées (ou d'ébranlement)

Les charges concentrées sont constituées par des paquets de cartouches ou des containers d'explosifs liquides que l'on place à l'intérieur de la structure à démolir (Piscine, épave, tube métallique) afin que les effets de l'explosion puissent agir sur l'ensemble des parois.

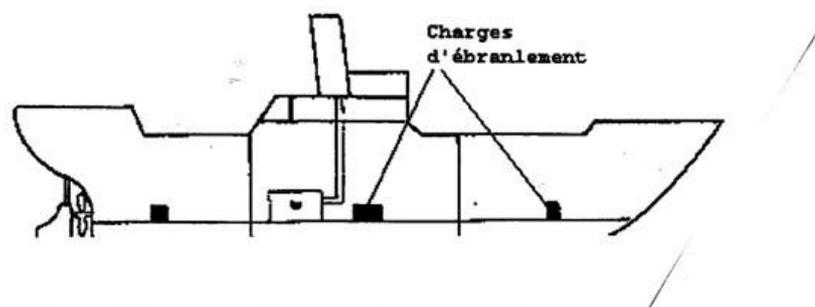
Grâce à la relative incompressibilité de l'eau, la dislocation de la structure est tout d'abord due à l'impact de l'onde de choc contre les parois suivie ensuite par la poussée de l'eau qui est due à l'expansion des gaz d'explosion.

Cette méthode de démolition a surtout été utilisée après la dernière guerre pour le démantèlement des nombreuses épaves coulées dans les ports.

Elle reste un moyen de démantèlement intéressant pour la destruction de bateaux de faible tonnage (inf. à 50 T) qui peuvent être facilement détruits par la détonation d'une charge d'environ 25 kg placés dans le centre du navire.

Pour les navires plus importants (plus de 750 T), les charges doivent être judicieusement réparties le long de la partie centrale à raison de 0,5 kg / Gross Ton²².

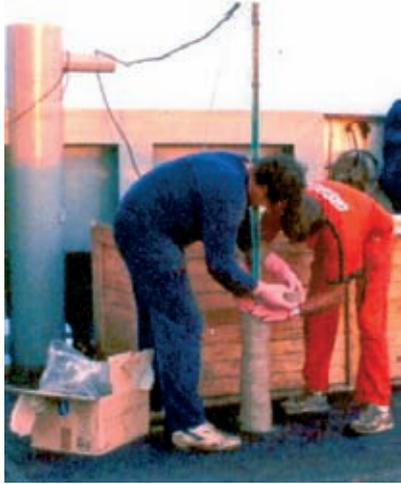
Les explosifs utilisés doivent avoir une vitesse de détonation élevée, générer un bon volume de gaz et être amorcés instantanément.



Démantèlement d'épave

²² gross ton : tonneau

Ce type de charge est aussi utilisé dans l'industrie pétrolière pour la récupération des têtes de puits immergées.



Préparation d'une charge concentrée pour le démantèlement d'une tête de puits



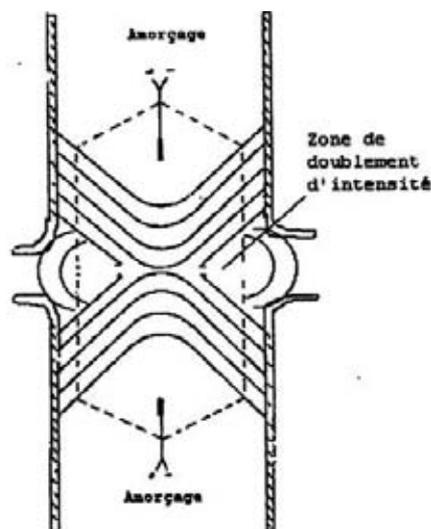
Démantèlement d'une tête de puits à l'aide d'une charge concentrée

4.3 Les charges de collision

Les charges de collision sont des charges concentrées dans lesquelles un double amorçage absolument identique en temps est réalisé aux deux extrémités de l'explosif.

La collision des deux fronts de détonation vers le milieu de la charge va rapidement doubler l'intensité de l'explosion et donc faciliter le découpage ou plutôt le déchiquetage de la zone située autour de l'explosif.

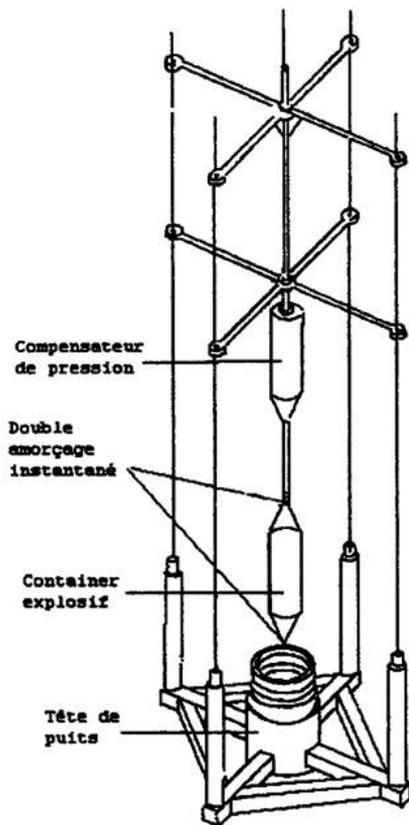
Ce type de charge ne peut être réalisé qu'avec des détonateurs spéciaux ayant un temps de réaction extrêmement court (de l'ordre de la micro seconde).



Principe de fonctionnement d'une charge de collision

Actuellement, les charges de collision ne sont utilisées que dans l'industrie pétrolière offshore pour le démantèlement des têtes de puits ou de plateformes.

Ce type de mise en œuvre pourra néanmoins être envisagé pour améliorer la fragmentation dans les tirs de déroctage avec charges confinées en cas d'utilisation de détonateurs électroniques.



Mise en œuvre d'une charge de collision sur tête de puits



Charge préconditionnée

CHAPITRE 6 – LES CONSEQUENCES DES TIRS

1 LES VIBRATIONS

Les chantiers subaquatiques sont soumis, de plus en plus, à des contrôles très rigoureux sur les vibrations engendrées par l'utilisation des explosifs. Ces contrôles permettent en même temps d'identifier les anomalies possibles des tirs

Le sismographe n'est donc pas une menace pour l'artificier, mais est devenu un véritable outil utilisé pour régler parfaitement le tir.

En 1988, le chantier de déroctage pour approfondissement du port de Nice a été réalisé dans les conditions usuelles du moment c'est-à-dire sans précautions particulières de contraintes environnementales. Des désordres importants sont apparus en cours de travaux, au point de créer un véritable climat de psychose parmi les riverains. Les habitants de certains immeubles ont dû être déplacés. En 1999, le port nécessite un nouveau déroctage pour accueillir la liaison Nice - Bastia. La plupart des riverains se souviennent des désagréments du déroctage précédent et se groupent pour protéger leurs intérêts devant le tribunal. Le Président désigne un expert qui a pour mission de mettre en place les moyens de contrôle nécessaires à la bonne réalisation des travaux. Il est décidé, en collaboration avec l'expert, de placer un sismographe à déclenchement automatique (détecteur valeur crête) sur le site et, après le réglage du plan de tir, suite au tir d'essai, le chantier s'est déroulé sans aucun désordre.

Nous ne détaillerons pas dans ce chapitre le phénomène complexe des vibrations émises par un tir de mine qui fait l'objet d'une littérature très complète mais nous nous contenterons après un rappel de la théorie de décrire les conséquences spécifiques en milieu maritime.

1.1 Les vibrations dans la roche (milieu solide)

La détonation d'une charge explosive confinée, va déclencher une onde de choc dans le sol qui va rapidement se déplacer dans celui-ci sous la forme d'un mouvement oscillatoire dont les caractéristiques principales (déplacement, vitesse, accélération, fréquence) peuvent être mesurées à l'aide d'un sismographe.

A l'issue de nombreux travaux de recherche, il est apparu que le paramètre le plus représentatif des dégâts occasionnés par les vibrations était le déplacement particulaire (mm) difficile néanmoins à mesurer directement. C'est pourquoi il est plus usuel de mesurer la vitesse de la vibration ou vitesse particulaire couplée avec la fréquence, ce paramètre est utilisé aujourd'hui classiquement pour indiquer les contraintes à ne pas dépasser pour préserver l'environnement.

Cette vitesse se mesure généralement en mm/s (ou en pouce/s).

1.1.1 Définition des vibrations dans la roche.

Une vibration peut être définie comme étant un mouvement oscillatoire d'une particule ou d'un corps à partir de sa position de référence (ou position de repos). Les vibrations qui se propagent constituent des ondes vibratoires.

Ces vibrations se produisent lorsqu'on déplace de sa position normale une tranche d'un milieu élastique. Cette tranche oscille alors autour de sa position d'équilibre. Suite aux propriétés élastiques du milieu, l'ébranlement se transmet de proche en proche, d'une tranche à l'autre, c'est-à-dire que l'onde se propage à travers le milieu. Notons que l'onde ne provoque pas le déplacement total du milieu, mais que se sont les différentes parties de ce dernier qui oscillent de façon limitée. En outre, les ondes mécaniques sont caractérisées par un transfert d'énergie effectué à travers la matière par le mouvement d'ébranlement.

La surface de séparation entre les particules du milieu en mouvement et celles du milieu au repos est appelée front d'onde. Le front d'onde vibratoire se déplace dans les terrains à des vitesses appelées vitesses de propagation ou célérités de l'onde (C_o). Cette vitesse est généralement comprise entre 1000 et 6000 m/s.

Nature du massif rocheux	Célérité des ondes (m/s)
Granitoïdes	De 1500 à 4500
Basaltes	De 2300 à 5000
Gneiss	De 2000 à 4200
Schistes	De 2500 à 5000
Grès	De 2000 à 4000
Cornéennes	De 2000 à 4800
Roches argilo -sableuses	De 400 à 1700
Calcaires	De 2000 à 4500

Tableau de célérité pour différents types de roches

Ces valeurs correspondent aux vitesses des ondes sismiques à travers des massifs rocheux. Elles dépendent de la nature du massif rocheux (minéralogie, texture) mais aussi de l'état de fracturation et d'altération de celui-ci. D'une manière générale, les défauts que constituent la fracturation et l'altération contribuent à diminuer les valeurs (valeurs basses). Les valeurs hautes correspondent à des massifs rocheux sains.

Ces ondes s'amortissent au fur et à mesure qu'elles se propagent dans toutes les directions de l'espace suite à l'effet d'expansion de l'énergie dans un volume de plus en plus grand résultant de l'extension géométrique du front d'onde.

Comme les ondes lumineuses lorsqu'elles rencontrent des discontinuités séparant deux milieux de densité différente, les ondes sismiques peuvent se réfléchir, se réfracter ou se diffracter.

1.1.2 Les vibrations générées par un tir

Les composantes de la vibration :

L'étude complète d'une vibration nécessite l'enregistrement de l'ébranlement selon 3 composantes notées :

- Longitudinale (L)
- Transversale (T) ou Radiale (R)
- Verticale (V)

Les directions L et T (R) seront dans le plan horizontal, elles forment entre elles un angle droit. La direction L sera orientée suivant l'axe allant du lieu du tir vers le capteur sismique.

Pour chacune de ces composantes, l'amplitude du signal vibratoire peut être représentée en fonction du temps par une fonction $y = y(t)$.

Les fonctions d'un phénomène vibratoire :

3 fonctions caractérisent un phénomène vibratoire :

- le déplacement en fonction du temps (élongation).
- la vitesse de vibration (ou vitesse particulière).
- l'accélération du mouvement.

Le déplacement est la distance parcourue par un élément de matière depuis sa position neutre.

La vitesse est la rapidité à laquelle se déplace l'élément de matière.

L'accélération est la variation de vitesse dans le temps.

Dans un mouvement périodique sinusoïdal, l'expression du mouvement en fonction du temps peut s'écrire :

$$e = E \sin \omega (t)$$

avec e : élongation maximale et ω : pulsation du mouvement où

$$\omega = 2 \pi N = 2 \pi / T$$

avec N : fréquence de la vibration et T : période de la vibration = $1/N$.

$$e_{\max} = E$$

On obtient la vitesse en opérant une dérivée sur l'élongation :

$$v(t) = E \omega \cos \omega (t)$$

La vitesse maximale est obtenue pour le déplacement maximal d'où :

$$V_{\max} (\text{mm/s}) = E \omega = E 2 \pi / T = E 2 \pi N \quad E \text{ en mm et } N \text{ en Hz}$$

On obtient l'accélération en opérant une dérivée sur la vitesse.

$$a(t) = -E \omega^2 \sin \omega (t)$$

L'accélération maximale est obtenue pour la vitesse maximale d'où :

$$Q \text{ max (mm/s}^2 \text{)} = E \omega^2 = V \text{ max } 2 \pi / T = 4 \pi^2 N^2 E \quad \text{ou } E : \text{ en mm et } N \text{ en Hz}$$

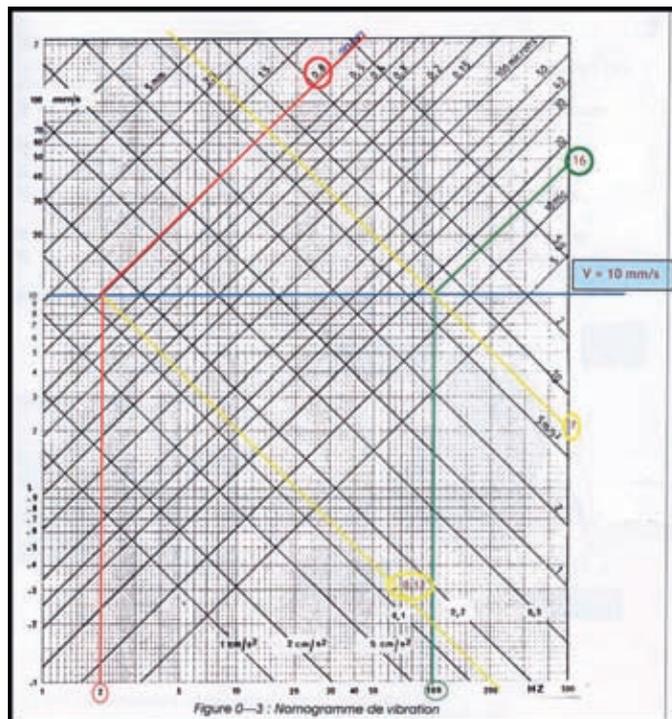
Le déplacement maximal peut être noté :

$$e \text{ max (mm)} = V \text{ max } / 2 \pi N \quad \text{où } V \text{ en mm/s et } N \text{ en Hz}$$

Pour une fréquence donnée, la mesure de l'un des paramètres, permet de déterminer par le calcul les deux autres paramètres.

Dans le cas d'une vibration complexe (c'est le cas des tirs de mine) constituée de plusieurs composantes de fréquences différentes, ce calcul est possible par l'utilisation de fonctions mathématiques complexes.

Pour faciliter l'approche, le monogramme de vibration permet de déterminer pour une fréquence donnée, les trois paramètres vitesse – déplacement - accélération.



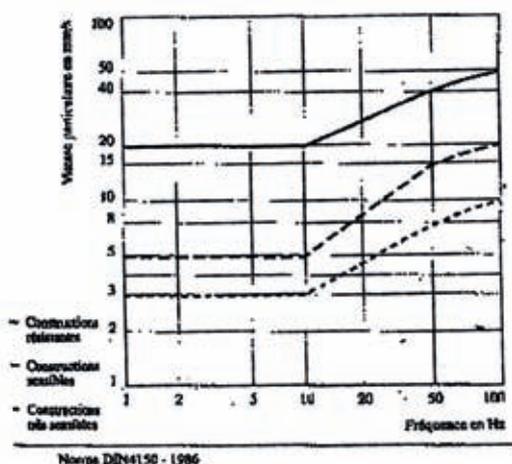
Monogramme de vibration

Ainsi, on observera que pour une vitesse donnée (10 mm/s), les basses fréquences donneront les déplacements les plus importants (0,8 mm à 2 Hz et 16 microns à 100 Hz).

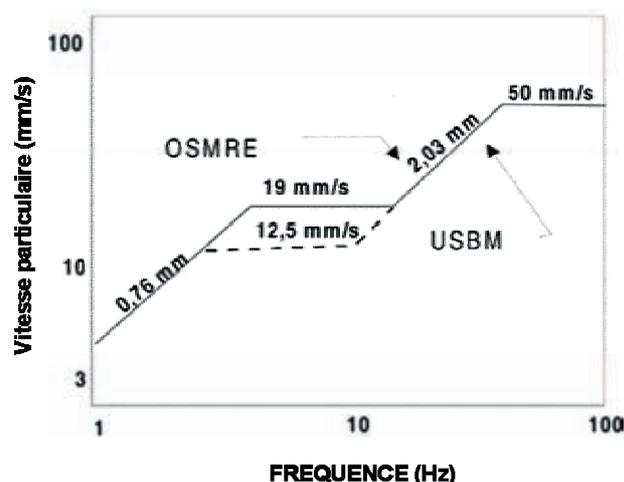
Egalement, les hautes fréquences donnent des faibles déplacements et de fortes accélérations (0,12 m/s² pour 2 Hz et 7 m/s² pour 100 Hz).

Les seuils de tolérance varient d'un pays à l'autre et sont répertoriés sous différentes normes.

Celles les plus utilisées en Europe sont les normes DIN 4150, alors qu'aux USA et d'autres pays, on utilise plutôt les normes USBM / OSMRE 8507.



Courbes DIN 4150



Courbes USBM/OSMRE 8507

1.2 Les explosions dans le socle et sous l'eau

En ce qui concerne les tirs sous l'eau, les vitesses de vibration à une distance donnée sont en général plus élevées pour l'explosion d'une charge confinée, que pour l'explosion d'une même charge explosant en pleine eau.

1.2.1 Incidence des milieux de propagation sur les vibrations

Dans un tir subaquatique, avec charges confinées, une partie de l'énergie part dans l'eau et ne participe pas au déroctage.

La vitesse de propagation des ondes dans l'air est de 330 m/s.

La vitesse de propagation des ondes dans le sol est de 3000 m/s (granite).

La vitesse de propagation des ondes dans l'eau est de 1500 m/s.

La masse volumique de l'air est de 1,29 kg par m³.

La masse volumique du sol est de 2500 kg par m³ (granite)

La masse volumique de l'eau est de 1000 kg par m³.

Comparons la réflexion des contraintes entre :

Le granite et l'air.

Le granite et l'eau.

La réflexion des contraintes est donnée par la formule :

$$\xi_{\text{réfléchi}} = \frac{Z_{\text{arrivée}}}{Z_{\text{départ}}}$$

où Z_i est l'impédance du milieu i

L'impédance est définie par :

$Z_i =$ masse volumique du milieu $i \times$ vitesse de propagation des ondes P dans le milieu i

Entre le granite et l'air,

le coefficient de réflexion vaut :

$$\xi_{\text{granit/air}} = \frac{Z_{\text{air}}}{Z_{\text{granit}}} = \frac{1.29 \times 330}{2500 \times 3000} = 5.676 \times 10^{-5}$$

Le coefficient de réflexion est très faible, ce qui veut dire que la quasi-totalité de l'énergie est réfléchie dans le sol.

Entre le granite et l'eau :

Le coefficient de réflexion vaut :

$$\xi_{\text{granit/eau}} = \frac{Z_{\text{eau}}}{Z_{\text{granit}}} = \frac{1000 \times 1500}{2500 \times 3000} = 0.2$$

Donc 80% de l'onde est réfléchie au contact eau / granite dans la roche si elle est sous l'eau. L'eau absorbe 20% de l'énergie

Par ailleurs, un tir de déroctage sous-marin avec charge confinée produira souvent un niveau de vibration plus important qu'un tir en surface, car dans ce cas, il n'existe généralement qu'une seule surface de dégagement et le tir se comporte comme un tir bloqué.

Il s'ensuit que les nuisances en matière de tirs subaquatiques imposent la réflexion sur deux types de phénomènes :

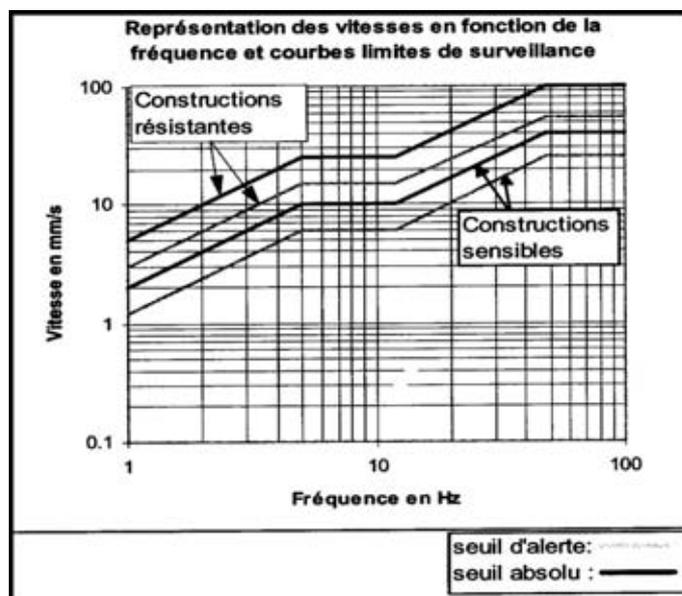
Les nuisances propres aux vibrations transmises par la roche.

Les nuisances des ondes de pression transmises par le milieu liquide sur les infrastructures ou sur les êtres vivants (voir chapitre : Le mécanisme de l'explosion dans l'eau)

1.2.2 Calcul prévisionnel des paramètres de vibration et de la charge unitaire

Les nuisances engendrées par les vibrations ne sont pas considérées comme prédominantes lorsque les tirs ont lieu en pleine mer loin de toute zone sensible. Par contre, il en va tout autrement lorsque les tirs ont lieu à proximité d'infrastructures portuaires ou résidentielles.

Dans la pratique, le Maître d'œuvre indique généralement dans le CCTP les seuils limites de vibration (seuil d'alerte et seuil absolu).



Courbes GFEE

La vitesse exprimée en mm/s doit toujours être accompagnée d'une fréquence exprimée en Hz.

On en déduit la charge unitaire autorisée en appliquant la loi de CHAPOT. Cette loi caractérise le comportement du massif vis à vis de la propagation des ondes vibratoires. Elle peut varier en fonction de la nature du massif. En général, on prend en France, la formule suivante :

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-\delta}$$

où V est la vitesse particulière limite en mm/s

Q la charge unitaire instantanée en kg (charge par micro retard).

D est la distance entre le tir et le point de mesure en mètres (position du sismographe).

$\delta = 1.8$ Caractérise le type de roche ainsi que son degré de fracturation, c'est la pente de la droite d'amortissement

Le coefficient K est lié au site. Il varie de quelques centaines à plusieurs milliers d'unités. Il traduit à la fois, les conditions de tir et de site. Il dépend du type de terrain, du type d'explosif utilisé ainsi que du mode de tir. Il est calculé initialement pour chaque site à partir du premier tir (ou tir d'essai) permettant ainsi d'estimer les charges unitaires utilisables en fonction de la distance des ouvrages à protéger. Ce coefficient peut varier d'un tir à l'autre en fonction de la nature du terrain. Il peut être réévalué à chaque changement de faciès et, par conséquent, peut modifier le calcul de la charge unitaire.

La figure 95, montre l'enveloppe $V = K (D/\sqrt{Q})^{-1,8}$ en fonction de la distance tir- capteur, de la charge unitaire d'explosif et de la vitesse de vibration.

1.2.3 La chaîne de mesure

La chaîne de mesure comprend un capteur situé au point de mesure et un enregistreur qui peut être désolidarisé du capteur et gérer plusieurs capteurs.

1.2.4 Prise en compte des contraintes environnementales de vibration au moment de l'étude.

La visite du chantier avant son étude est impérative car elle va permettre de classer l'état des constructions, et ainsi contrôler l'application de la courbe ou des seuils imposés par le CCTP.

Le calcul de la charge unitaire maximum va permettre de calculer la maille à utiliser.

De cette maille, nous pouvons définir le nombre de forages à réaliser, donc le mode opératoire (type de plateforme, nombre de foreuses, nombre de postes, nombre de jours de travail).

Les contraintes de vibration représentent une part primordiale dans l'étude puisqu'elles définissent la charge unitaire qui va directement être influente sur la durée du chantier donc.....son coût.

Exemple concret d'une étude avec contraintes de vibrations imposées par le C.C.T.P (Cahier des charges techniques particulières).

Nous prendrons, pour notre exemple, une maison d'habitation à 150 mètres et une digue du port à 35 mètres. La hauteur moyenne de coupe est de l'ordre de 2,00 m avec un maxi de 3 mètres.

La loi de propagation est la loi de Chapot mentionnée précédemment.

Le coefficient K est fonction de la géométrie du tir. L'expérience montre que : en tirs subaquatique, sa valeur varie de 3000 à 6000 en tir « bloqué » et de 300 à 3000 en tir « ouvert ».

La courbe du G.F.E.E indique les valeurs à ne pas dépasser compte tenu de la nature des ouvrages à protéger, de leur distance, en fonction des fréquences.

La loi de CHAPOT nous permet de calculer les prévisions de charges unitaires qui vont pouvoir être utilisées en fonction de ces contraintes.

- Calcul de la charge unitaire maxi autorisée dans notre exemple.

$$Q = \frac{D^2}{\sqrt[3,24]{\frac{K}{V}}}$$

- Calcul pour la construction sensible (maison d'habitation à 150 mètres).

$$Q_{\max} = \frac{150^2}{\sqrt[3.24]{\frac{6}{3000}}}$$

- Calcul pour la construction résistante (digue du port à 35 mètres).

$$Q_{\max} = \frac{35^2}{\sqrt[3.24]{\frac{25}{3000}}}$$

On constate donc, après l'application de ces formules que les contraintes sur la digue du port sont prépondérantes bien qu'admettant une vitesse beaucoup moins contraignante (25 mm/s) que sur l'habitation (6 mm/s). La charge unitaire imposée par les contraintes environnementales permet maintenant de concevoir le plan de tir.

CHOIX DE LA METHODE

configuration	Volume à dérocter	Hauteur de coupe	Contrainte environnementales	méthode	intervention	Echelle des prix ²³
1	1 à 50	0.20 à 1 .00	Difficiles	Charges confinées	plongeur	17
2	1à 50	0.20 à 1 .00	Sans problème	Charges appliquées	plongeur	6
3	50 à 500	0.50 à 1.00	Difficiles	Charges confinées	plongeur	15
4	50 à 500	0.50 à 1.00	Difficiles	Charges confinées	plate-forme	4
5	50 à 500	0.50 à 1.00	Sans problème	Charges appliquées	plongeur	10
6	>500	1.00 à 3.00	Difficiles	Charges confinées	plate-forme	2
7	>500	1.00 à 7.00	Sans problème	Charges confinées	plate-forme	1

CONCEPTION DU PLAN DE TIR.

Nous supposons disposer d'un outil de forage permettant de réaliser des trous de 89 mm.

Nous pouvons donc prévoir utiliser des explosifs encartouchés de 60 mm.

Caractéristique de la cartouche : Poids 1,560 kg , Hauteur 40 cm , Ø 60 mm.

Charge maxi unitaire : 6 Kg, soit 4 cartouches.

²³ Référentiel de l'échelle des prix :

minimal : prix du mètre cube de déroctage de base par coupe de 3 m moyen, plus de 500m³, sans problème
environnemental : 1

maximal : coefficient multiplicateur : 17

Charge moyenne spécifique : 1 kg au m³.

6 kg maxi nous permettent donc de traiter 6 m³.

Avec une hauteur moyenne de « coupe » de 2 mètres, nous obtenons donc une surface de « maille » maxi de 3 m². On choisit une maille de 1.5 x 1.5m

Calcul de la sur-profondeur : on retient en général une sur-profondeur égale à 0.80 x distance entre trou soit : $0.80 \times 1.5 = 1.20\text{m}$

La hauteur de foration est donc de $2,00 + 1.20 = 3.20\text{m}$

GÉOMÉTRIE GLOBALE DU TIR.

Soit un cube total par forage de $1,50 \times 1.50 \times 3.20 = 7.20 \text{ m}^3$.

Pour une surface totale de déroctage de 5500 m², nous pouvons donc estimer environ 2450 forages à réaliser de 3.20 m et une fourniture et mise en œuvre de 17600 kg d'explosif ainsi que 2500 amorces de mise à feu.

L'équipe réalise par poste 25 forages soit 100 jours de travail à 1 poste.

Ces éléments sont généralement suffisants pour définir la méthode et faire une approche des coûts du chantier.

L'idéal serait de voir se généraliser la méthode qui consiste à réaliser, avant que l'appel d'offre ne soit lancé, les tirs d'essais (mais le vœux est pieu !!!).

LE TIR D'ESSAI.

Avant de valider le plan de tir de l'étude préalable, il est nécessaire de réaliser un tir d'essai.

Ces tirs d'essai auront pour but de confirmer les choix préalables des coefficients K et δ et l'adéquation entre la granulométrie atteinte et les moyens mis en œuvre pour le marinage.

DÉFINITION DES IMPLANTATIONS ET DES CHARGES DU TIR D'ESSAI.

Ordinairement, ces choix sont envisagés par le bureau de contrôle agréé et l'entreprise, basés sur les calculs de l'étude préalable.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE.

En représentation logarithmique (V en ordonnée et D/\sqrt{Q}), la relation de CHAPOT se traduit par une droite de pente $-\delta$. Un calcul de régression permet d'établir cette droite donc de connaître δ et K. Le paramètre D/\sqrt{Q} est appelé distance scalaire. Cette droite est représentative de la réponse sismique du site.

L'analyse statistique des données permet d'établir une courbe limite supérieure d'amortissement pour un seuil de sécurité donné (généralement on retient le seuil à 95% de confiance).

Pour tester la validité de la base de mesure, on peut établir un coefficient de corrélation entre les valeurs observées et les valeurs recalculées à partir de la formule ci-dessus et pour laquelle on a déterminé

expérimentalement les valeurs de K et δ . Ce coefficient de corrélation a plus d'importance pour tester cette validité du travail réalisé que la valeur absolue de ces paramètres.

L'étude consiste à mesurer les vitesses de vibrations obtenues sur les éléments instrumentés (habitations, installation portuaire) en modifiant les charges et en les positionnant à des distances différentes. Ces ensembles charge/distance/vitesse de vibration permettent de définir le coefficient K caractérisant la loi de propagation du site qui sera validée si le coefficient de corrélation associé est $> 0,85$.

En pratique, on obtient pour chaque tir, la charge unitaire (en Kg), la distance tir capteur (en m), les valeurs de vitesse particulière L, T et V pour chacune des voies. On retient la valeur maximale obtenue sur les trois composantes.

Par calcul (itération), il est possible de définir pour chacune des trois voies ainsi que pour la valeur maximale :

Les valeurs de K et δ

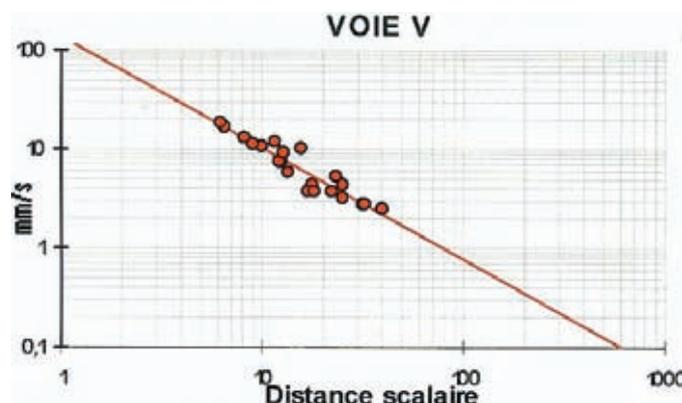
Le coefficient de corrélation entre les valeurs mesurées et celles recalculées. Une corrélation supérieure à 0,85 est acceptable. En dessous de 0,6, on considère qu'il n'y a pas de corrélation.

Les droites de régression correspondantes et la position des couples de point (vitesse particulière-distance scalaire) pour analyse.

Les variations de K voie par voie et par mesure ce qui permet de détecter les anomalies éventuelles.

Des courbes de prévision qui permettent de connaître les valeurs probables de V pour des charges et distances données.

Il est également possible de regrouper sur un même graphe bi logarithmique (vitesse-distance scalaire) les droites de régression des trois voies et de la valeur maximale. On pourra ainsi tracer une courbe enveloppe qui prendra le cas le plus préjudiciable en fonction de la distance scalaire.



Graphique Vitesse particulière / distance scalaire

Granulométrie :

La nouvelle charge maxi déterminée par les tirs d'essai permet d'optimiser la maille si besoin est et de réaliser une volée complète qui sera marinée, puis sondée pour contrôler l'efficacité du tir.

Fréquence :

Avant les tirs d'essai, au niveau de l'étude, les fréquences prises en compte sont celles du plat de la courbe de référence du G. F. E. E. (comprises entre 5 et 10 Hz).

Le contrôle de ces valeurs est réalisé à l'occasion des tirs d'essai tout au long du chantier car ce couple vitesse-fréquence semble être aussi fonction de la hauteur d'eau sur le tir au moment de la mise à feu (marée).

A pleine mer, on obtient une augmentation des vitesses et une diminution des fréquences, et inversement à basse mer.



Sismographe

1.3 La modélisation sismique hybride

Depuis plus de dix ans, cette méthode est développée par YSO Consultants dans le but d'optimiser le rendement des tirs et de fait de réduire les vibrations dues aux tirs sensibles. Il s'agit d'une combinaison « hybride » de mesures in situ et de simulations par ordinateur. Si ces dernières années de recherches ont surtout portées sur les tirs de carrières et les travaux souterrains, cette méthode est aujourd'hui expérimentée en tirs subaquatiques.

Cette méthode, dans les deux disciplines évoquées ci-dessus, fait désormais l'unanimité des entrepreneurs en associant les impératifs industriels et le respect des environnants.

Les essais en milieu aquatique sont récents et donnent des résultats satisfaisants mais sont encore insuffisants dans ce milieu pour confirmer son efficacité.

Principe de la Modélisation Sismique Hybride des vibrations d'un tir de mines :

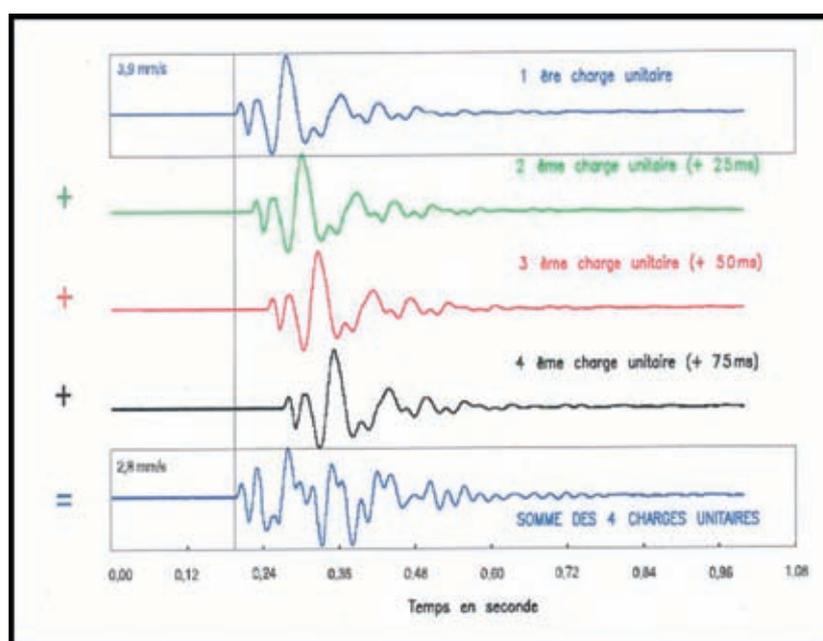
La modélisation sismique hybride est un moyen de prendre en compte et de modéliser tous les paramètres de propagation de la vibration d'un tir de mines.

Il s'agit d'une combinaison « hybride » des signaux sismiques résultants d'un tir d'une charge unitaire type enregistrés dans les conditions réelles de propagation avec un module de tir donné.

Par superposition des signaux vibratoires de charges unitaires décalés dans le temps, il est possible de simuler le phénomène vibratoire d'un tir de mines comportant plusieurs charges.

La figure ci-dessous montre un exemple simple de superposition de 4 signaux identiques réels correspondant à 4 charges dont la détonation est décalée dans le temps de 25 millisecondes.

Dans cet exemple, on remarque que la somme résultant de la superposition des 4 signaux présente une amplitude maximale de vitesse particulière de vibration (2,8 mm/s) sensiblement plus faible que celle enregistrée pour une seule charge (3,9 mm/s)



Superposition d'une charge unitaire sur 4 trous décalés de 25 ms

Lors de tirs de charges élémentaires de caractérisation, des mesures de vibrations sont enregistrées selon différents profils variant en direction et en distance de façon à reconnaître les différentes « signatures sismiques » unitaires.

Les signaux sismiques produits par la détonation de charges unitaires sont enregistrés in situ, dans les conditions réelles de propagation. Ces enregistrements contiennent les informations relatives au mécanisme complexe du rayonnement de l'énergie sismique d'une source explosive aussi bien qu'à l'effet du filtre dû au cheminement de la propagation du signal dans le sol.

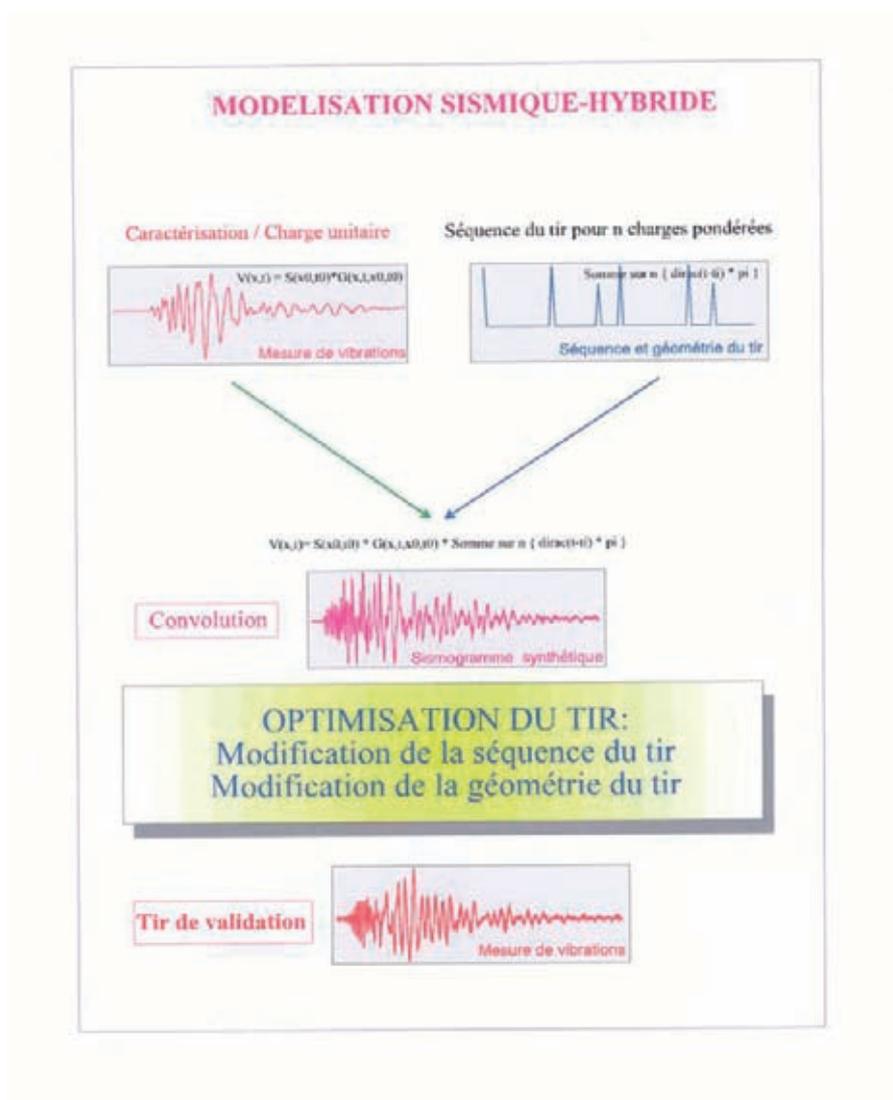
Par superposition du signal d'une charge unitaire avec une fréquence d'amorçage et une géométrie du tir, on simule sur ordinateur les vibrations produites par un tir de production « synthétique » de plusieurs charges. En faisant varier systématiquement la séquence de mise à feu dans la modélisation, il est possible de déterminer les intervalles optima entre date de détonation des différentes charges.

Des milliers de simulations de séquences sont ainsi testées pour une multi modélisation sismique ; la séquence du tir réel de production est choisie pour validation, parmi celles présentant les plus faibles énergies sismiques.

Les tirs industriels développés selon cette conception permettent d'établir que les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la séquence de mise à feu est réalisée avec une bonne précision, ce qui implique un choix judicieux du système d'initiation.

Dans la pratique, il ressort qu'au minimum d'énergie sismique ainsi obtenu dans l'environnement correspond un optimum d'efficacité des énergies explosives dans le tir.

Le schéma de principe de la procédure de calcul d'une modélisation sismique hybride est représenté ci-dessous.



Principe de modélisation sismique hybride

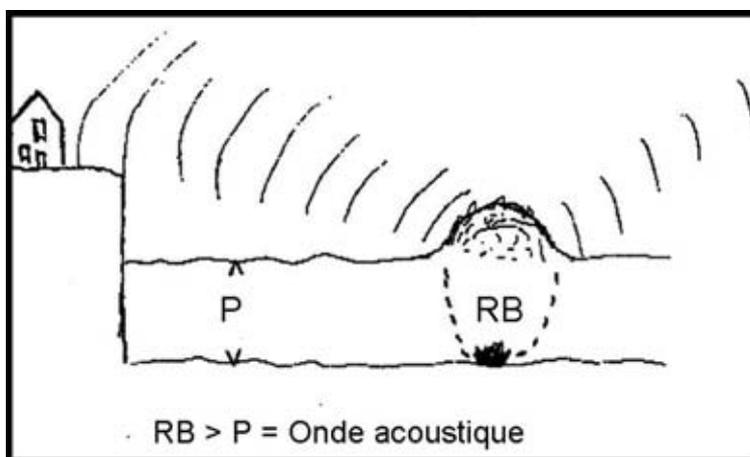
2 ONDE DE CHOC ACOUSTIQUE

Lors d'une explosion sous l'eau, les gaz produits durant la détonation vont se dilater très rapidement et générer une bulle gazeuse dont le rayon dépend du poids de la charge et de son confinement.

Une onde de choc acoustique apparaît lorsque le rayon de la bulle gazeuse est égal ou supérieur à la profondeur de l'eau. (rentre en contact avec la surface de l'eau)

Pour une charge explosant en pleine eau, la littérature indique que le rayon de la Bulle Gazeuse peut être calculé par la formule suivante.

$$RB (m) = 1,5 \cdot Q^{1/3} (kg)$$



Charge appliquée en eau peu profonde

Le déplacement dans l'air de cette onde de choc acoustique va provoquer une surpression du milieu ambiant dont l'intensité peut, dans certains cas, provoquer des nuisances gênantes voire des dégâts.

Effets de l'onde acoustique (source CEMEREX)

Pression en Kpa (mBar)	Effets
21 (210)	Dégâts aux structures conventionnelles
7 (70)	La plupart des vitres se brisent
2,1 (21)	Quelques panneaux de vitres se brisent
0,7 (7)	Certaines vitres peuvent se briser
0,21 (2)	Limite des dégâts / Les vitres et assiettes vibrent

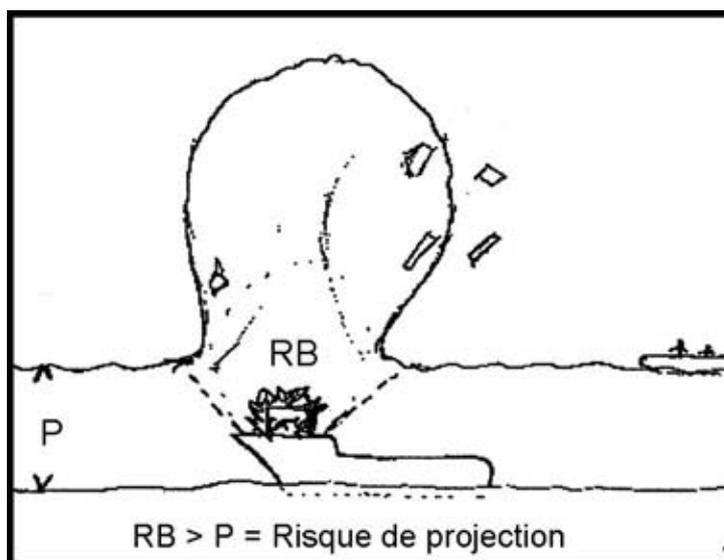
Afin de diminuer ce type de nuisance, il est conseillé d'utiliser des charges appliquées dans de faibles profondeurs d'eau.

Une hauteur d'eau minimum de 10 – 15 mètres doit être considérée comme un minimum pour l'utilisation de charge appliquée allant jusqu'à 25 kg et de 3 à 5 m pour une charge appliquée de 10 kg.

3 LES PROJECTIONS

Le risque de projections est lié à la formation d'une onde de choc acoustique et donc à la taille de la bulle gazeuse. Si le rayon de celle-ci est inférieure à la hauteur d'eau, les projections éventuelles seront freinées par la masse d'eau.

Dans le cas contraire, des projections plus ou moins violentes peuvent se produire.



Charge d'ébranlement en eau peu profonde

CHAPITRE - 7 - L'ORGANISATION ET LES HOMMES

1 Les Régimes sociaux des salariés sur les chantiers subaquatiques.

Les gens de la mer.

Ce sont les marins de la profession. Ils dépendent du régime dit « Inscrit Maritime » et les cotisations sont payées à la caisse des Invalides. Ils dépendent des Affaires Maritimes en général et de l'inspection du travail maritime en particulier.

Sur un chantier de travaux maritimes les marins sont embarqués sur les engins munis d'un rôle. Ces engins sont généralement auto propulsés et le rôle remplace l'autorisation de circulation (Ponton de charge multi-cat).

Les ouvriers du régime général.

Ce sont les techniciens des spécialités mise en œuvre sur le support maritime (foreur, batteur, plongeurs, grutier, conducteur de pelle mécanique, etc...). Ils dépendent du régime dit « Général » et les cotisations sont payées à la caisse de l'URSSAF. Ils sont soumis aux exigences de la CRAM et de l'inspection chargée du travail. Des dérogations sont nécessaires pour adapter les horaires et les conditions du travail aux impératifs des chantiers en travaux maritimes.

2 Qualification des personnels

Il n'existe pas aujourd'hui de cadre officiel des qualifications requises pour les opérations de travaux maritimes. Cependant, les us et coutumes établissent les compétences comme suit :

2.1 L'ingénieur concepteur

C'est le cadre du chantier. Il a, généralement, participé à l'étude du chantier et a élaboré la méthode. Il maîtrise parfaitement l'ensemble des techniques de mise en œuvre des explosifs et artifices dont il a fait les choix pour le chantier. Il est l'interlocuteur des autorités administratives pour la réglementation en vigueur. Il est le concepteur du plan de tir et peut à tout moment, à la demande de l'artificier, intervenir pour modifier le chargement ou les séquences. L'ingénieur concepteur est informé d'une situation de « raté » et prend les dispositions techniques qui s'imposent. Sa présence n'est pas indispensable en permanence sur le site mais il doit être joignable à tout moment.

L'ingénieur concepteur participe aux réunions de phasage du chantier et est, dans le cas de travaux de minage sous-traités, le lien entre l'entrepreneur principal et l'entreprise sous-traitante.

2.2 Le chef mineur

C'est le cadre du chantier. Il assure la coordination entre l'ingénieur concepteur et l'artificier et le chef de ponton. Il peut être ingénieur concepteur. Il assure en collaboration avec l'ingénieur concepteur la liaison avec les autorités administrative en cours de réalisation de chantier.

Il intervient pour l'organisation des approvisionnements, des postes, des phasages et participe aux réunions de chantiers.

Il peut être en permanence sur le site et être éventuellement joignable à tout moment.

Il fait appliquer le plan de tir.

2.3 Le chef de ponton

Sans être particulièrement un spécialiste en minage ou en forage, c'est un meneur d'hommes qui doit se faire obéir et doit :

- Organiser
- Prévoir
- Anticiper
- Commander
- Juger une situation
- Décider
- Rendre compte
- Rédiger les rapports journaliers
- Faire les pointages

C'est un poste clé de l'opération. Il prend ses ordres auprès du chef mineur.

2.4 L'artificier

Spécialiste et principalement agréé conformément à la réglementation en vigueur dans le pays pour réaliser ce travail, cet ouvrier qualifié doit être précis et calme et savoir parfaitement lire un plan de tir.

Il doit être en mesure de régler à tout moment les problèmes de minage dont il a la charge :

- Modification d'une charge à la suite d'un forage mal nettoyé.
- Impossibilité de mettre une charge en place.
- Mise à feu d'un tir en urgence
- Morcellement d'un tir.
- Traitement d'un raté.
- Tenue des documents de police entrée et sortie.
- Relevé des sismographes.

L'artificier est le responsable de la procédure de mise à feu dont il est l'initiateur de chacun des points de sécurité.

L'artificier est civilement et pénalement responsable de la mise en œuvre des explosifs en sécurité.

L'artificier est un ouvrier méticuleux qui doit être conscient de l'importance de la précision de son travail. Il doit avoir la connaissance et l'autorité suffisante pour s'opposer à une situation périlleuse.

Il prend ses ordres auprès de l'ingénieur concepteur du plan de tir et du chef mineur.

2.5 Le foreur

C'est le poste le plus technique de l'opération. Il est indispensable que cet ouvrier maîtrise parfaitement plusieurs disciplines de forages (fond de trou, pré tubage, hors trou, etc...) Le foreur doit avoir une expérience importante et une maîtrise du métier.

Il dépend de l'artificier.

2.6 Le matelot

Préposé au déplacement du ponton, il est le responsable de toute la maintenance maritime à bord, en France, c'est souvent le seul Inscrit Maritime du bord.

Il a en charge :

- Amarrage des Nonels sur le bord
- Préparation et élinguage des colis et pièces
- Vérification du brochage des pieux
- Déplacement du plateau de forage
- Fixation de la foreuse en position de déplacement du ponton

Cet ouvrier doit être attentif et doit savoir anticiper les manœuvres qui sont à réaliser.

Il prend ses ordres auprès du chef de ponton.

2.7 Le tigeur

C'est l'aide du foreur. Il présente, déplace, range, fixe, dévisse les allonges et le train de sur-forage.

Il a pour principale qualité son endurance et sa force. En phase de déplacement du ponton, il est à bord avec le chef de ponton. Il prend ses ordres auprès du foreur.

3 ORGANISATION ADMINISTRATIVE

Nous aborderons dans ce chapitre la réglementation générale connue à ce jour pour l'utilisation d'explosif en milieu maritime.

3.1 Organisation générale

- Le Décret n° 87- 231 du 27 mars 1987 concerne les prescriptions particulières relatives à l'emploi des explosifs dans les travaux publics. Il définit les dispositions applicables à tous les tirs de mines.
- L'arrêté du 3 mars 1982 concerne le contrôle de la circulation des explosifs.
- L'arrêté du 27 avril 1999 concerne la surveillance des dépôts d'explosif ainsi que la tenue des registres d'entrée et de sortie des produits explosifs.
- Le Décret 80 – 1022, 1980 – 12 – 15, pris pour l'application de la loi 79519 du 02 – 07 – 1979 réprimant le défaut de déclaration de la disparition de produits explosifs.
- L'arrêté du 3 mars 1982 concerne l'acquisition des produits explosifs.
- Le décret n° 90 – 153 du 16 février 1990 concerne le stockage des produits explosifs.

Ces dispositions réglementent en site terrestre :

- L'acquisition
- La circulation
- Le stockage et la surveillance
- L'emploi des explosifs

Les conditions d'utilisation d'explosifs en travaux maritimes sont donc soumises à des prescriptions particulières qui sont précisées dans le Plan Général de coordination.

Une modification du texte concernant l'emploi des explosifs dans les travaux publics est à l'étude au Ministère des Affaires Sociales et de l'emploi.

Une nouvelle réglementation plus axée sur la sureté devrait émaner du Ministère de l'Intérieur dans les mois à venir. Ces dispositions devraient pouvoir être applicables sur le stockage et la surveillance des explosifs et artifices placés provisoirement à bord de la plateforme dans un container aménagé.

Cette évolution touche aussi la réglementation concernant les dépôts d'explosifs, mobiles ou non car celle-ci n'est pas non plus, pour l'heure, satisfaisante.

Le dépôt mobile est utilisé, sur les chantiers subaquatique, pour :

- Bénéficier du court délai qui, par son intermédiaire, permet d'obtenir un certificat d'acquisition.
- Rapatrier vers un dépôt fixe les imbrûlés de la journée ou de la nuit ou tout simplement en fin de poste.

Avant le démarrage de chaque chantier maritime mettant en œuvre des explosifs, il convient obligatoirement d'informer les Administrations ou les services suivants :

- La Préfecture.
- Le Directeur Régional de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement.

- Le Commandant de la Gendarmerie.
- Le Maire.
- Le Centre de Sécurité des Navires.
- Le Directeur Départemental des Affaires Maritimes.

Ce courrier n'est pas une demande d'autorisation (Les autorisations sont toutes préalables à l'ouverture du chantier) mais une information qui doit parvenir aux destinataires au moins huit jours avant le premier tir.

3.2 L'obtention du certificat d'acquisition.

Le certificat d'acquisition est le seul document administratif exigé obligatoirement par le fournisseur d'explosif pour délivrer en toute légalité, les produits à l'entrepreneur désigné par le certificat pour les types et les quantités qui y sont portées.

Le certificat d'acquisition est délivré par la Préfecture du lieu d'utilisation pour une demande d'Utilisation Dès Réception (U.D.R.) ou par la Préfecture du siège social de l'entreprise dans le cas d'un dépôt mobile.

Pour obtenir un certificat d'acquisition il faut :

- Soit l'acceptation de reprise en consignation d'un fournisseur d'explosif.
- Soit le titre permettant d'exploiter un dépôt d'explosif.
- Soit un arrêté Préfectoral d'Utilisation Dès Réception (U. D. R.).

Le certificat d'acquisition fixe la durée du chantier (Donc les périodes de livraison), les types de produits explosifs et artifices pouvant être utilisés, les quantités journalières maximum pouvant être livrées.

Dans le cas du dépôt mobile, seule la quantité journalière maximum, figure sur l'arrêté Préfectoral renouvelable chaque année pour 5 ou 3 ans.

Cet arrêté Préfectoral prévoit également les conditions d'utilisation du dépôt mobile.

Les services de la Préfecture n'ayant pas toujours la capacité d'instruire un dossier technique d'explosif, ils ont alors la possibilité de déléguer à une Administration de leur choix :

- La DRIRE est généralement la plus qualifiée et seule compétente pour les carrières.
- La DDE peut aussi instruire un dossier.
- L'Inspection du travail est parfois sollicitée.
- La Protection Civile (essentiellement en Méditerranée).

Les documents obligatoires pour l'Artificier sur un chantier subaquatique sont :

- Le C. P. T. Diplôme professionnel délivré par l'Education Nationale.
- L'option subaquatique. (extension du même diplôme).
- L'Habilitation Préfectorale.
- Le permis de tir Entreprise (document interne)
- Visite médicale spécifique.

- La procédure de tir.
- Le registre d'entrée sortie des explosifs.

3.3 Documents obligatoires pour l'entreprise sur un chantier subaquatique

- Le Certificat d'Acquisition.
- L'Arrêté Préfectoral (dépôt mobile ou U.D.R).
- Le P. P. S. P. S.
- Le Document Unique Relatif à l'Evaluation des Risques.
- Le Plan Général de Coordination fourni par le Maître d'Ouvrage, qui sert à la rédaction du PPSPS.
- La Déclaration d'Intention de Commencer les Travaux.
- La consigne du dépôt mobile
- La fiche émargée par l'ensemble du personnel sur la perte et vol d'explosif.
- La procédure de tir émargée par les intervenants concernés.
- Le panneau d'affichage des horaires de travail et des numéros de sécurité.
- L'affichage de la procédure de tir

PROCEDURE DE TIR EN SITE MARITIME

L'unique responsable de l'ensemble de la procédure est l'Artificier.

Il est le seul à prendre la décision de poursuivre ou d'arrêter la procédure.

Cette procédure sera proposée aux autorités compétentes au début de chaque chantier. Elle peut être modifiée sa forme compte tenu des impératifs du chantier. Chaque intervenant doit être en possession d'un exemplaire de la procédure agréée.

La procédure est affichée sur le ponton.

Préparation à la procédure :

- Prévenir Autorités compétentes Tirs 30 mn
- Hisser pavillons :
 - 1 pavillon à damiers rouge et blanc
 - 1 pavillon rouge 2 pointes
 - 1 pavillon blanc et bleu si le chantier nécessite l'intervention de plongeurs.
- La position précise du lieu de pétardement est balisée par une bouée
- Le bâtiment « atelier de mise à feu » mouillé à une distance de cette bouée, variable avec la quantité d'explosifs mise en œuvre
 - et sous le vent de la bouée (ou sous le courant si celui-ci est plus fort que le vent)
- La ligne de tir Nonel est légèrement tendue pour :
 - 1°) Constater qu'elle part bien en direction du tir
 - 2°) Diminuer les contraintes sur la ligne
- L'embarcation de surveillance inspecte le plan d'eau selon les directives du tableau suivant :
-

CHARGE TOTALE	DISTANCE MINIMA DE SECURITE		
	En mètres		
	Plongeurs ou Baigneurs	Navires et Embarcations	Atelier de mise à feu
1 Kg	300	10	10
3 Kg	500	25	15
10 Kg	700	40	20
30 Kg	1000	60	30
100 Kg	1500	100	50
300 Kg	2000	200	150
1000 Kg	3000	350	200

Procédure

1°) - Prévenir par corne de brume **3 coups** (tir à 5 mn)

à partir de ce moment, seul le chef de tir (Artificier) est habilité à donner des instructions, il doit :

- Vérifier que sa ligne de tir est « claire »
- S'assurer par VHF avec l'embarcation vérifiant le plan d'eau que le tir va pouvoir être réalisé
- S'assurer du regroupement de l'ensemble du personnel sur l'atelier de mise à feu

2°) - Prévenir par corne de brume : **2 coups** (tir immédiat)

- Tir
- S'il n'est décelé aucun incident, prévenir l'autorité portuaire de la fin du tir

3°) - Annoncer la fin du tir par corne de brume : **1 coup** (fin de tir)

- Abaisser le pavillon explosion (damiers rouge et blanc)

Traitement des ratés

Le traitement des ratés en site maritime ne permet pas d'utiliser une méthode conventionnelle comme en site terrestre, il devra toujours faire l'objet d'une visite par plongeurs après un délai d'attente de 30 mn et d'une information immédiate à la direction du chantier.

Modèle d'affiche de la procédure de tir

3.4 Diffusion de l'information des travaux auprès des diverses autorités compétentes

Les autorités compétentes varient en fonction de la zone de travail.

Lors de travaux réalisés en pleine mer, une information aux affaires maritimes suffit généralement.

Lorsque les travaux sont réalisés dans les ports ou à proximité de ceux-ci, les autorités portuaires ainsi que la police maritime doivent également être mis au courant des travaux.

Pour les travaux sur les cours d'eau ou les plans d'eau situés à l'intérieur du pays, le service des voies navigables, les écluses situées en amont et en aval de la zone, ainsi qu'éventuellement la gendarmerie locale doivent aussi être mis au courant.

Ces différentes autorités pourront alors diffuser des notes de service aux usagers passant à proximité du chantier.

3.5 Diffusion de l'information auprès du public

La diffusion des travaux doit être réalisée auprès du public concerné (habitations, vacanciers, plaisanciers, nageurs, etc.) dès qu'il existe le moindre risque ou nuisance.

Les avis de tirs avec annonce des signaux et mesures de sécurité à suivre doivent être affichés en divers endroits bien visibles.

Bon nombre de réclamations ou de plaintes émanent souvent du public suite à un manque de communication entre ce dernier et l'entreprise.

Dans bien des cas, une séance d'information préalable concernant la nature et le but des travaux, décrivant les règles de sécurité mise en place et documentant les gens sur les quelques nuisances qu'ils risquent de subir, suffit généralement à rassurer les personnes concernées.

Un état des lieux réalisés avant et après le chantier dans les habitations ou sur les structures les plus proches, permet aussi de se prémunir contre certaines plaintes non fondées.

4 Le langage spécifique

La profession utilise des termes techniques provenant du langage maritime, des termes techniques concernant la plongée sous-marine et le forage minage.

Ce glossaire est forcément incomplet mais permet une meilleure compréhension des termes utilisés.

4.1 Maritime

Accostage : S'amarrer à un quai ou un autre bateau

Amer : Objet, bâtiment fixe et visible situé sur une côte et servant de repère à la navigation

Ancre ou pioche : mouillage d'un support flottant

Aussière : Gros cordage pour l'amarrage ou les manœuvres des supports maritimes

B.M. : Basse mer

Bachot : Canot de service

Bateau en coupe : Bateau amarré le long d'un autre bateau

Bittard : Petite bitte d'amarrage

Bitte d'amarrage : fût cylindrique fixé au pont d'un support maritime pour s'amarrer

Bollard : Gros fût cylindrique coulé dans un quai pour amarrage des bateaux

Bord à quai : Partie du support maritime qui se trouve en porte à faux sur un des bords

Bouée couronne : Engin de sauvetage fixé sur les chandeliers du support maritime

Bout : Petit cordage

Brochage de pieux : Système permettant de bloquer les pieux en sécurité

C. M. : Cote marine. Les cotes marine sont déterminées en 9 zones sur la manche, 7 sur l'atlantique, et 1 zone sur la méditerranée. Ces cotes sont rattachées généralement à la cote IGN 69 ou au NGF. Il existe un tableau indiquant la valeur des cotes de rattachement

Calepinage : Plan indiquant la position précise du support maritime pour la réalisation de la maille des forages

Chaland fendable : Bateau à double coque transportant les matériaux chargés au dipper. Le déchargement se réalise en ouvrant le bateau dans le sens de la longueur

Chaumard à rouleaux : ouverture sur le bordé guidant les lignes de mouillage

Seatruck : Engin flottant de servitude généralement muni d'une grue hydraulique

Couille de loup : Petite bouée permettant de matérialiser la position du tir

Décostage : Quitter le quai ou un autre bateau

Déradeur : Bout relié d'un côté à la pioche et de l'autre à une bouée

D.G.P.S : Differential Global Position System. Moyen de positionnement par satellite

Dipper : Support maritime stabilisé portant un équipement de travail

Ecope : Outil destiné à vider l'eau d'une coque

Estran : Portion du littoral comprise entre les plus hautes mers et les plus basses mers (ligne d'estran : position de la mer en fonction des coefficients de marée)

Etale : Courte période entre jusant et flot ou flot et jusant

Feux retournement : signalisation lumineuse liée à la bouée couronne

Flot : Marée montante (flux)

Fondrier : Faire couler dans l'eau

Fontaine : Guide de pieux solidaire du support maritime

Fumigène : Engin pyrotechnique de signalisation

Fusée : Engin pyrotechnique utilisé en cas de détresse pour signaler la position

Gaffe : Long manche muni d'un crochet pour récupérer bouées et cordages

Gilet (auto) : Brassière de sécurité se gonflant automatiquement en tombant dans l'eau

Houle significative : H.S.

Houle : H.max

Hydroclap : Bateau à double coque transportant les matériaux chargés au dipper et déchargeant en s'ouvrant dans le sens de la longueur (idem chaland fendable)

I.G.N. 69 : Côte du zéro hydro par rapport au zéro nivellement IGN 69

Jusant : Marée descendante (reflux)

Lance amarre : Ou ligne à jet. Petite longueur de bout lestée qui est lancée avant une aussière

M. E. : Mortes eaux

Marinage : Terrassement des produits de déroctage

Marnage : Différence entre la hauteur de pleine mer et de basse mer

Mille nautique : Unité de mesure de distance (1 mille = 1852 m)

Multicat : Engin flottant de servitude généralement muni d'une grue hydraulique

N. G. F. : Nivellement Général de la France

Nœud nautique : Unité de vitesse utilisée en navigation 0,5144 m/seconde

P. M. : Pleine mer

Papillonnage : Déplacement du support maritime sur ses ancrs par enroulage des câbles sur les treuils de papillonnage

Pare battage : Enveloppe souvent souple servant à protéger la coque du bateau

Pavillon : Drapeau permettant une signalisation visuelle

Quai à dangereux : Désignation d'un quai prévu par les autorités portuaires pour le chargement ou le

déchargement des matières dangereuses

Reverse : Suit immédiatement le moment d'étalement de marée

Sous le vent : Coté opposé d'où souffle le vent

Survie : Canot pneumatique à gonflage automatique

Touline : Petit cordage notamment pour le lance amarre

V. E : Vives eaux

V. H. F : Very High Frequency. Moyen de communication haute fréquence

Vacation : Conversation VHF à heure prédéfinie

4.2 Plongée

Scaphandrier : Toute personne intervenant en milieu subaquatique et soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique, titulaire de la carte professionnelle mention A classe 1,2 ou 3.

Tubiste (abusivement nommé hyperbariste) : Toute personne intervenant sans immersion dans un milieu à une pression supérieure à la pression atmosphérique.

Surveillant de surface : (cf décret) Désigné par l'employeur ou son représentant sur le site, il est chargé exclusivement de veiller à la sécurité des personnes intervenant en hyperbarie jusqu'à leur retour à la pression atmosphérique.

Chef d'opération hyperbare : (cf décret) Désigné par l'employeur ou son représentant sur le site, il supervise la totalité des opérations hyperbares

Chef de caisson/chef de sas : (cf décret) Le chef de caisson ou le chef de sas est un technicien, scaphandrier ou non, capable d'assurer l'entretien et la mise en œuvre des caissons hyperbares et des sas de transfert. Il contrôle et fait appliquer les procédures impliquant l'utilisation du caisson ou des sas sous la responsabilité du chef d'opération hyperbare, il tient alors le poste de surveillant.

Chef de tourelle : Le chef de tourelle est le scaphandrier chargé de la conduite de la tourelle pendant l'intervention. Il remplit les fonctions de scaphandrier de secours.

Assistant de surface : toute personne, scaphandrier ou non, qui assiste en surface le chef d'opération hyperbare (marin, grutier, technicien...).

Scaphandrier ou hyperbariste de secours : Scaphandrier ou hyperbariste ne participant pas directement aux travaux en cours, mais, restant en état d'alerte et immédiatement prêt à assister tout personnel immergé ou comprimé en difficulté. Il doit être titulaire du certificat à l'hyperbarie requis pour les activités en cours. Dans le cas d'une plongée avec système, le chef de tourelle assure cette fonction.

Caisson : Enceinte résistante à la pression intérieure utilisée pour maintenir les travailleurs sous pression.

Ligne à paliers : Dispositif immergeable, relié à la surface et permettant au scaphandrier d'identifier la profondeur à laquelle il doit effectuer ses paliers de décompression.

Ligne de vie : Dispositif permettant à un scaphandrier de retrouver son chemin vers l'eau libre et la surface.

Bulle de plongée : Dispositif immergeable contenant un mélange respiratoire, relié à l'installation de surface par un câble porteur, constituant un abri pour le scaphandrier au voisinage du lieu de travail et/ou pendant la décompression, mais ne permettant pas le transfert sous pression dans un équipement hyperbare de surface.

Système de plongée : Ensemble d'équipements hyperbares d'intervention subaquatique et de manutention permettant le séjour et le transfert des scaphandriers sous pression.

Tourelle de plongée : Engin subaquatique habité résistant à la pression intérieure et/ou extérieure relié à une installation de surface par un câble porteur pouvant être clampé sur un équipement hyperbare de surface.

Sous-marin porte scaphandrier : Sous-marin comportant un compartiment pressurisable permettant aux scaphandriers de sortir et d'effectuer, dans l'eau, une activité.

Transfert sous pression : Procédé permettant aux travailleurs d'être transférés d'une enceinte hyperbare à une autre sans variation significative de pression.

Clampage- déclampage : Opération qui consiste à connecter (clampage) ou à déconnecter (déclampage) deux enceintes hyperbares dans le cadre d'un transfert de personnel sous pression.

Plongée d'incursion : Plongée au cours de laquelle le scaphandrier dont l'organisme n'a pas atteint la saturation en gaz, est décomprimé jusqu'à la pression atmosphérique immédiatement après son intervention.

Intervention à saturation : Intervention hyperbare au cours de laquelle l'organisme du travailleur, arrive à l'équilibre des gaz dissous et pour laquelle le profil de décompression est indépendant de la durée de séjour.

Plongée en scaphandre autonome : La plongée en scaphandre autonome est la méthode pour laquelle le scaphandrier porte sur lui sa réserve de gaz respiratoire indépendamment de toute autre source d'alimentation.

Plongée avec narguilé : Méthode de plongée sans utilisation de système de plongée pour laquelle le scaphandrier est directement relié à la surface par son narguilé qui assure son alimentation en mélange respiratoire.

Plongée en bulle : Méthode d'intervention subaquatique utilisant une bulle de plongée.

Plongée avec système : Méthode de plongée dans laquelle les moyens mis en œuvre permettent le transfert sous pression du personnel entre le chantier immergé et une installation hyperbare.

Ombilical : Ensemble des éléments de liaison (électrique, pneumatique, hydraulique) reliant la surface à un engin immergé.

Narguilé : Ensemble des éléments de liaison reliant le scaphandrier à son alimentation principale.

Héliox : Mélange respiratoire à base d'hélium et d'oxygène.

Nitrox : Mélange respiratoire à base d'azote et d'oxygène sauf air comprimé.

Fil d'ariane : Fil marqué, déroulé et fixé aux parois d'une galerie, permettant à un scaphandrier de

retrouver la sortie même en l'absence de visibilité ou d'éclairage.

Pression partielle : Pression propre à chacun des gaz constituant un mélange et dont la somme est égale à la pression absolue du mélange.

Profondeur équivalente : Profondeur fictive utilisée pour déterminer la procédure de décompression à partir des tables ordinaires lorsque les conditions de plongée (mélanges, altitude, densité du milieu...) impliquent une correction de ces tables.

4.3 Forages

Allonge : Tiges démontables permettant la transmission des efforts de coupe

Bourroir à corde : Jauge et calibre de forage agréé. Permet de contrôler la position des explosifs

Bourroir : cylindre plein en PVC antistatique agréé permettant de calibrer, de jauger, de pousser les explosifs dans un forage

Découpage : méthode consistant à exécuter des forages rapprochés en périmètre du volume à découper pour créer une faiblesse mécanique dans le sol

Glissière de forage : Support mécanique permettant la translation et le guidage des outils

Forage : Terrassement de section cylindrique dans le sol

Marteau fond de trou : Marteau dont la percussion se fait au fond du trou

Marteau hors trou : Marteau transmettant la percussion au taillant par l'intermédiaire du train de tige

Plateforme : Support maritime de travaux

Plateforme stabilisatrice : Support maritime stabilisé par 3 ou 4 pieux

Plateforme élévatrice : Support maritime s'élevant sur ses pieux au-dessus de l'eau

Pré découpage : Action de forer et de miner pour créer une microfissuration rectiligne dans le sol

Pré tubage : Action de neutraliser les zones non consolidées pour réaliser le forage en sécurité

Rideau de bulles : Conduite perforée sous pression d'air permettant de créer un rideau de bulles entre le tir et l'ouvrage à protéger

Sur profondeur : Linéaire de forage sous la côte projet

Taillant : Outil de coupe du diamètre du forage

Taillant annulaire : Outil de coupe du diamètre du pré tubage (Permettant le passage à l'intérieur de l'outil de forage)

Tubage à l'avancement : Tube de protection suivant le taillant qui réalise le forage

Tubage O.D. : Overburden Drilling Equipment (Méthode de tubage à l'avancement)

4.4 Minage

Accessoire de tir : Produit explosif permettant d'amorcer ou de transmettre une inflammation ou une détonation telle que détonateur, mèche, cordeau détonant, etc...

Accélération : C'est la variation de vitesse de déplacement d'une particule depuis son point d'origine.

Amorçage : Ensemble des éléments conduisant à la mise à feu des explosifs. Opération qui consiste à mettre en place un détonateur. Si le détonateur est placé du côté du bourrage, l'amorçage est dit «antérieur». Si le détonateur est placé du côté du fond du trou, l'amorçage est dit «postérieur».

Amorce, détonateur : Explosif initialisant la détonation dans la charge

Anneau de récupération : Dispositif permettant la récupération d'un système d'amorçage sous l'eau

Appareil de chargement utilisant l'énergie : Appareil utilisé pour la mise en place de l'explosif en utilisant l'énergie produite par un moteur, l'air comprimé, etc...

Artifices : Matériel permettant l'initiation d'une chaîne pyrotechnique.

Banquette : Une des cotes entre forages de la maille

Bourrage : Matériau neutre mis en place dans un trou de mine à la suite d'une charge pour faciliter son travail pendant l'explosion et réduire les projections. Désigne aussi l'opération de mise en place de ce matériau

Boutefeu Artificier : Travailleur effectuant ou surveillant les opérations de mise en œuvre des produits explosifs

Cartouche amorce : Cartouche munie d'un détonateur. Ensemble cartouche et amorce

Cartouche : Conditionnement de la matière explosive

Chaîne pyrotechnique : Ensemble d'un dispositif de mise à feu

Charge : Ensemble de produits explosifs mis en place définitivement dans un trou de mine ou contre un bloc

Charge amorcée : Charge contenant une amorce de mise à feu

Charge appliquée : Charge posée directement sur la surface à fracturer

Charge concentrée : Charge placée à l'intérieur d'une structure à démolir

Charge confinée : Charge placée à l'intérieur d'un trou de mine

Charge creuse : Charge ayant une cavité sous l'explosif

Charge de collision : Charge amorcé simultanément aux deux extrémités de manière à profiter de la convergence des ondes de choc

Charge linéaire de découpage : Charge creuse spéciale pour le découpage de l'acier

Charge de perforation : Support équipé de nombreuses petites charges creuses

Charge formée : Charge aménagée pour obtenir un effet dirigé. Une charge creuse est une charge formée particulière

Charge libre : Charge en pleine eau

Charge par trou de mine : Total des charges étagées ou non contenues dans un trou de mine

Charge préfabriquée : Ensemble de cartouche emballée pour descendre dans un forage

Charge unitaire : Charge initiée par un seul numéro d'amorce

Charge spécifique : Charge par mètre cube de matériau à détruire

Circuit de tir : Ensemble des circuits électriques ou non électriques qui sont raccordés entre eux au moment de la mise à feu

Cordeau détonant : Cordeau transmettant la détonation à la charge

Cordeau maître : Cordeau principal alimentant les cordeaux secondaires

Coupe : Hauteur de roche à extraire en minage

Date (de départ) : La date de départ se calcule à partir du temps 0 qui est donnée par l'impulsion de l'artificier. C'est donc l'instant où la charge pyrotechnique comprise dans le système d'amorçage est mise à feu.

Désensibilisation : Explosif rendu inerte par la suppression d'explosion voisine

Détonateur électrique : Mise à feu du détonateur par explosif électrique

Détonateur NONEL : Mise à feu non électrique (par onde de choc)

Détonation par influence : Explosion intempestive d'une charge par la détonation d'une autre

Double amorçage : Charge unitaire comprenant deux amorces

Dynamite : Explosif à base de nitroglycérine

Emulsion : Explosif à base de nitrates minéraux

Energie spécifique : Energie explosive par m³ de matériaux à détruire

Espace : Autre cote entre forage de la maille (banquette et espace)

Exploseur : Générateur électrique pour mise à feu des détonateurs

Explosif liquide : Explosif deux composants, un oxydant, un réducteur

Fragmentation : Réduction de la taille des blocs par action de l'explosif.

Hydrophone : Dispositif servant à mesurer la surpression aquatique

Incident de tir : Dito raté

Initiation : Action d'initier un explosif ou un artificier.

Ligne de tir : Partie du circuit de tir entre le poste de tir et le site du tir

Maille : Distance entre les trous d'une rangée et la banquette. (Banquette x Espace)

Matériaux de couverture : Sable ou vase sur le socle

Matériel de tir : Matériel non pyrotechnique tel que : appareil de mise à feu, vérificateur de circuit de tir, bourroir, etc...

Micro retard : Départ différé entre deux charges. (En 1/1000 de sec)

Mine : Forage ayant reçu sa charge

Nitraté : Explosif à base de nitrates pulvérulents

Onde de choc : Onde de pression (aérienne ou sous marine) induite par la détonation ou la déflagration d'une charge explosive.

Pyrotechnique : Assemblage de différents éléments permettant de transmettre et de provoquer la détonation ou la déflagration.

Pistolet de mise à feu : Mise à feu des Nonels (T C O C)

Raté : Tir, en partie ou en totalité, n'ayant pas détonné

Relais retardateur : Accessoire de tir inséré entre deux cordeaux détonant pour retarder la transmission de l'explosion

Retard : Départ différé entre deux charges.

Séquence : Ordre dans lequel s'effectue le départ des charges
Sismographe : Dispositif permettant de mesurer les vibrations
Socle : Matériaux à extraire en déroctage
Substance explosive : Matière pouvant engendrer une explosion
T. C. O. C. : Tube Conducteur d'Onde de Choc
Tir fente : Tir effectué en plaçant l'explosif dans une fente naturelle du massif
Tir par charge superficielle : Ou tir à l'anglaise - tir effectué sans forage
Trou canon : Forage retrouvé pratiquement intacte après le tir
Trou de mine : Trou obtenu par forage destiné à recevoir une charge
Trou raté : Trou dont la charge n'a pas explosé en totalité lors de la mise à feu
Volée : Ensemble de plusieurs mines mises à feu simultanément.
Vibrations : Ebranlement consécutif à un tir d'explosif dans le sol.

4.5 Administratif et réglementation

Affaires fluviales : Administration dépendant du secrétariat d'Etat des transports
Affaires maritimes : Administration dépendant du secrétariat d'Etat des transports et de la mer s/couvert du Ministère des transports
Capitainerie du port : Organisation généralement concédée.
Certificat d'acquisition : C. A. Délivré par le Préfet du département du lieu d'emploi ou du siège social, il fixe la quantité maximum et la catégorie de produit qui peuvent être achetés ainsi que le nombre de livraison et les dates de validité
Certificat de préposé au tir : C.P.T. Diplôme délivré par l'éducation nationale après formation et examen
Coordonnateur : Personne mandatée, par le maître d'ouvrage, pour mettre en œuvre les principes généraux de prévention.
Consignes de tir : notice d'instructions à l'attention des opérateurs et définissant les consignes relatives à la mise en œuvre des explosifs
Contraintes environnementales : Mesures à respecter de manière à limiter les nuisances
C. S. E. : Commission des Substances Explosives. Elle valide la mise sur le marché des explosifs ainsi que leur sécurité d'emploi.
Habilitation : Document d'autorisation délivré par la Préfecture après enquête, à chaque personnel intervenant au niveau du gardiennage, du transport ou de la mise en œuvre des explosifs
Inspection du travail : Administration chargée du contrôle du travail (ou régime général ou affaires maritimes).
Maître d'ouvrage : Propriétaire du site et/ou financier du projet.
Maître d'œuvre : Choisi par le maître d'ouvrage pour concevoir le projet et le faire exécuter.
Permis de tir : Document interne délivré par le chef d'entreprise qui autorise un employé à exécuter un

type de tir

Plan de tir : Détail des chargements et de l'amorçage d'un tir

Préfecture maritime : Division administrative et militaire qui se rapporte à une zone géographique maritime.

Préfecture : Administration représentant l'Etat dans un département terrestre ou maritime

Document relatif à la procédure de tir : Document précisant la méthode de mise en sécurité du chantier avant un tir. Cette procédure est distribuée contre émargement aux intervenants concernés par la mise en œuvre et l'application de cette procédure

S. N. E. T. I. : Syndicat de spécialités à la FNTP – Syndicat National des Entreprises de Travaux Immergés

Synduex : SYNdicat Des Utilisateurs d'EXplosifs. Regroupe les entreprises spécialisées en syndicat de spécialité à la F. N. T. P.

Utilisation dès réception : Une des formes du certificat d'acquisition

V. N. F. : Voies navigables de France

BIBLIOGRAPHIE

Les techniques de l'industrie minérale n° 13 mars 2002 Tirs théorie et technologies

Les techniques de l'industrie minérale n° 14 juin 2002 Tirs application et implications

LANGFORS U et KIHSTROM B 1973 The modern technique of blasting Stockholm Halted Press

Mines et Carrières les techniques 4-5-91 volume 73

Foration et tir Mines et Carrières les techniques 1-93 volume 75

REMERCIEMENTS

Ont participé à la rédaction et à la réalisation de cet ouvrage :

- Mme M.C MICHEL (OPPBTB)
- MM Jacques GUILLORE, Dominique GUILLORE (TRAFORDYN), Jean-Pierre MARCHAL (SYNDUEX), Francis HERMANS (Benelux Diving), Eric LE MAITRE (GRETA), Yves VIAL (STIPS/SIMECO), Pascal MONTAGNEUX (NITRO-BICKFORD), Jean-François ANCELIN (EMCC)
- Jean-Yves LEMOAL (LRPC Saint Brieuc), Gilles CHAPRON (LRPC Saint Brieux)
- Photographie de couverture : M. Bertrand SCIBOZ (CERES)

Imprimé en décembre 2008