

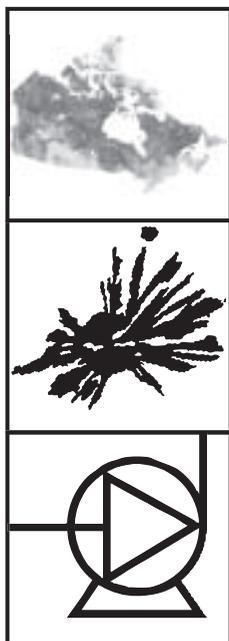


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Division de la
réglementation
des explosifs

Explosives
Regulatory
Division



www.rncan.gc.ca/smm/explosif

Réimpression de
l'édition du
30 novembre 1998

Directives sur le pompage des explosifs à base d'eau

Canada

Table des matières

	Page
Avant-propos	1
1. Vue d'ensemble	3
1.1 Domaine d'application	3
1.2 Généralités	3
1.3 Définitions	3
2. Philosophie en matière de sécurité et mises en garde générales	5
3. Responsabilités de la direction	7
4. Les explosifs	9
4.1 Types	9
4.2 Propriétés explosives et conditions d'utilisation pouvant influencer sur le danger	10
5. Matériaux constituant les pompes	11
6. Facteurs influant sur le choix d'une pompe	13
6.1 Températures de fonctionnement	13
6.2 Pressions de fonctionnement	13
6.3 Viscosité du produit	14
6.4 Capacité des pompes	14
6.5 Élimination des dangers d'ordre chimique	14
6.6 Élimination des dangers d'ordre mécanique	15
6.7 Effets de l'usure de la pompe	16
6.8 Puissance requise	16
6.9 Joints et roulements	16
7. Principaux risques présentés par le pompage	17

8. Mise en marche et arrêt des pompes	19
8.1 Mise en service	19
8.2 Vérifications avant usage	19
8.3 Mise en marche	19
8.4 Arrêt et remise en marche	20
9. Utilisation des pompes	23
9.1 Précautions à prendre pendant le pompage	23
9.2 Chargement des trous de mine	23
9.3 Dégorgement des tuyaux de chargement	24
10. Types de pompes : principes de fonctionnement, avantages, inconvénients et recommandations	25
10.0 Arbre de décision pour le choix des pompes	26
10.1 Pompes à membrane	26
10.2 Pompes péristaltiques	29
10.3 Pompes à rotor hélicoïdal excentré (à vis excentrée)	30
10.4 Pompes à engrenages	34
10.5 Pompes à piston	36
10.6 Pompes à lobes	37
10.7 Pompes centrifuges	39
11. Instruments et autres dispositifs de protection	43
11.1 Choix et emplacement des détecteurs et des autres dispositifs de protection	43
11.2 Commentaires au sujet de l'instrumentation	46
11.3 Utilisation en usine (installations permanentes)	48
11.4 Utilisation sur le terrain, en surface	49
11.5 Utilisation sur le terrain, sous terre	50
11.6 Résumé de l'instrumentation	51
12. Analyse des risques posés par le procédé	55
13. Formation	57
14. Mesures générales de sécurité	59
15. Procédures d'entretien et liste de vérification	61

16. Appendices	63
I. Liste de vérification provisoire aux fins d'entretien	65
II. Liste de vérification aux fins de dépannage	67
III. Philosophie de la FEEM en matière de sécurité	69
IV. Formulaire de rapport d'incident causé par une pompe	71
V. Approche d'un comité chargé d'étudier la question de l'instrumentation	73
VI. Approche de l'ISO en matière d'entretien	79
17. Index	81

Avant-propos

La mise sur le marché des explosifs gélifiés au milieu des années 60 et des émulsions explosives par la suite représente un pas de géant en matière de sécurité. En dépit de l'amélioration de la sécurité au cours de la fabrication des explosifs, des pompes causent encore de nombreux accidents dans le monde et certains d'entre eux sont mortels.

La Division de la réglementation des explosifs (DRE) a été alertée par les bouleversements qui sont survenus ces dernières années dans l'industrie des explosifs. À la suite des réductions d'effectif et des fusions, l'industrie a perdu un bon nombre d'employés expérimentés et hautement spécialisés. Au même moment, d'importants fabricants ont transféré la nouvelle technologie du repompage à des clients dont les employés étaient moins bien formés et ne possédaient pas toute l'expérience et les connaissances acquises dans l'industrie traditionnelle des explosifs. Cette situation ainsi que l'incident survenu en Papouasie-Nouvelle-Guinée ont incité la DRE à étudier de manière plus formelle la question du pompage des explosifs.

Un comité a donc été formé. Il était constitué des grands fabricants et distributeurs d'explosifs au Canada et aux États-Unis, de représentants d'entreprises spécialisées dans l'exploitation minière souterraine, de fabricants de matériel, de l'Institute of Makers of Explosives (IME) ainsi que d'organismes de réglementation provinciaux. Dès le départ, il y a eu unanimité des participants sur l'utilité de rendre publiques les directives en usage dans l'industrie.

Notre intention n'était pas d'utiliser ces directives pour formuler un nouveau règlement fédéral en cette matière. Nous souhaitions plutôt élaborer un ensemble de directives qui, en recevant l'aval de l'industrie des explosifs et du gouvernement du Canada, contribueraient à rendre le pompage des explosifs plus sécuritaire.

Le présent document repose en général sur des bases techniques solides. Nous convenons toutefois qu'il faudra effectuer encore beaucoup de recherche pour caractériser les nouveaux explosifs et leur comportement en présence de différentes formes d'énergie.

Ces directives ont été produites par les deux co-auteurs dont le nom figure ci-dessous. Elles font état de certaines de leurs opinions, bien qu'il s'agisse avant tout d'un ouvrage qui regroupe les idées en cours dans l'industrie et les meilleures pratiques en usage dans celle-ci. Si ces directives se révèlent utiles, ce sera grâce à l'ouverture d'esprit manifestée par l'industrie au cours de toutes les discussions sur la sécurité.

J. Peter Hanley
Téléphone : (613) 948-5180
Télécopieur : (613) 948-5195
Courriel : phanley@rncan.gc.ca

Richard Shaw
(retraité)

1. Vue d'ensemble

1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les directives que nous présentons s'appliquent à toutes les méthodes de pompage d'explosifs de sautage à base d'eau, qu'il s'agisse d'émulsions explosives, de bouillies explosives ou d'explosifs gélifiés. Les méthodes de pompage sont celles qui sont employées en usine et sur le terrain pour l'exploitation minière à ciel ouvert ou souterraine, pour l'abattage en carrière et pour les travaux de construction.

Bien qu'il soit reconnu que les explosifs sensibles au détonateur de la classe ONU 1.1 sont pompés en usine (installations permanentes) avec toutes les précautions nécessaires, il faut souligner que le présent document n'aborde pas le pompage des explosifs de la classe ONU 1.1 sur le terrain ou pour le sautage souterrain. En effet, les directives contenues dans ce document concernent les explosifs et les mélanges d'explosifs ONU 1.5D classés en vertu des recommandations de l'ONU sur le transport des marchandises dangereuses. Si la question du pompage à ciel ouvert ou sous terre des produits sensibles au détonateur de la classe ONU 1.1 doit être étudiée, elle devra l'être au cas par cas par l'industrie en collaboration avec les organismes de réglementation.

1.2 GÉNÉRALITÉS

Le pompage des explosifs à base d'eau peut être extrêmement dangereux. Il doit être l'élément central à considérer lors de la conception d'une installation de pompage et de son fonctionnement sécuritaire. Le pompage est le procédé qui permet la mise en cartouche à l'usine et le chargement des trous de mine sur le terrain. L'expérience démontre que le danger des opérations varie en fonction de l'installation de pompage choisie. L'information fournie dans ce document constitue un guide pour l'évaluation d'une installation de pompage et la conception d'un système de sécurité approprié. L'usage qui sera fait de ces directives mettra en lumière leurs points forts et leurs points faibles de même que les erreurs qu'elles peuvent renfermer. Ces directives ne visent pas à freiner l'innovation en ce qui concerne le choix des pompes et leur fonctionnement en toute sécurité.

1.3 DÉFINITIONS

Agent de sautage - Explosif conforme aux exigences du code de classification ONU 1.5D.

Autorité compétente - Organisme gouvernemental ou personne ayant la responsabilité d'approuver une activité d'exploitation, y compris le matériel utilisé.

Bouchon de dégorgeement (dégorger) - Bouchon, habituellement en polyuréthane, de forme, de densité et de taille variables qu'on introduit et pousse hydrauliquement dans un tuyau pour le dégorger. On utilise couramment de l'air comprimé pour dégorger une conduite.

Bouillie - Explosif formé de solides mélangés à une solution épaissie d'un ou de plus d'un oxydant.

Chargement - Pompage d'un explosif pour le remplissage d'un trou de mine ou pour l'alimentation d'une machine à encartoucher.

Émulsion explosive - Explosif formé entièrement ou principalement d'une solution sursaturée d'agents oxydants sous forme de gouttelettes microscopiques en suspension dans de l'huile ou dans un mélange d'huile et de paraffine.

Explosif gélifié - Explosif en bouillie dont les molécules de l'épaississeur ont été liées chimiquement pour que la solution épaissie forme une gelée.

Explosif sensible au détonateur - Aux fins de classement en vertu des recommandations de l'ONU en matière de transport, on établit qu'un explosif est sensible au détonateur en le soumettant à l'essai ONU 5(a) à une température comprise entre 28 et 30 °C. Aux fins de pompage, il peut être nécessaire de réaliser l'essai à une température supérieure, davantage conforme au risque auquel l'explosif sera exposé.

Fonctionnement à sec (Dry Running) - Fonctionnement d'une pompe dans laquelle aucun produit ne circule.

Fonctionnement avec engorgement au refoulement (Deadhead, Deadheading) - Fonctionnement d'une pompe lorsqu'il y a blocage ou fermeture à l'aval de celle-ci.

Matrice - Explosif à base d'eau hautement insensible. Il s'agit habituellement d'une émulsion explosive qui peut être rendue suffisamment sensible par l'incorporation de vides, c'est-à-dire de microsphères, de bulles formées par un agent chimique, de bulles d'air ou d'autres types de bulles. Pour obtenir un explosif de sautage utile, on mélange généralement la matrice à du nitrate d'ammonium ou à de l'ANFO. (À noter - Dans certains pays, les matrices hautement insensibles sont classées parmi les oxydants, mais ici, au Canada, elles sont considérées comme des explosifs.)

Mélange - Explosif à base d'eau mélangé à du nitrate d'ammonium ou à de l'ANFO.

Repompable - Qualité d'un produit qui peut être transvasé à plusieurs reprises sans se dégrader. Le transvasement par pompage se fait entre des installations de fabrication en vrac, entre des citernes de stockage, des citernes de transport et des installations de mélange.

Rhéologie - Relation entre le taux de cisaillement et la contrainte de cisaillement dans un fluide. Dans les fluides newtoniens, le taux de cisaillement est directement proportionnel à la contrainte de cisaillement. Les explosifs à base d'eau ne se comportent pas de cette manière et leur viscosité apparente en fonction de différents taux de cisaillement ne peut être déterminée à partir d'une seule mesure obtenue dans un viscosimètre.

Viscosité - Rapport entre la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement dans un fluide newtonien.

Viscosité apparente - Rapport entre la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement pour un taux de cisaillement donné dans un fluide non newtonien.

2. Philosophie en matière de sécurité et mises en garde générales

- 2.1 Les méthodes d'exploitation et les mises en garde s'inscrivent dans une philosophie générale en matière de sécurité. Les principes qui s'appliquent spécialement à la sécurité des explosifs à base d'eau ont été décrits et commentés par la Federation of European Explosives Manufacturers (FEEM) dans un excellent document intitulé *Code of Good Practice on Safety of Machine Design in the Processing of Emulsions and Water-Gels*. Le document de la FEEM, qui figure à l'appendice III, met le lecteur en garde contre la complaisance à l'égard de la sûreté des explosifs à base d'eau. **Toute personne qui manipule des explosifs devrait le lire.**
- 2.2 Toutes les opérations de pompage, en particulier l'apport d'énergie et le débit, doivent être surveillées en tout temps. Si, pour quelque raison, l'écoulement cesse ou est interrompu, l'opérateur doit arrêter le pompage immédiatement même s'il a toutes les raisons de croire que les déclencheurs automatiques obligatoires arrêteront la pompe dans les instants qui suivront. S'il note une anomalie quelconque dans la pression de chargement, dans l'apport d'énergie ou dans l'écoulement, l'opérateur doit arrêter le pompage sur-le-champ et déterminer la cause de l'anomalie.
- 2.3 Un explosif et une pompe font partie d'un système qui a été mis au point par le fabricant d'explosifs et le fournisseur de la pompe. C'est au fabricant d'explosifs qu'il revient de déterminer les spécifications définitives du système.
- 2.4 L'expérience de l'installation de pompage sert de critère pour vérifier, ou ne pas vérifier, s'il y a engorgement dans les tuyaux avant d'entreprendre le chargement. Souvent, c'est le temps d'immobilisation qui détermine si l'installation doit ou non être rincée. Il ne faut donc pas hésiter à évacuer le produit de la pompe avant un arrêt prolongé de celle-ci. Si le rinçage survient à l'étape d'émulsification d'une émulsion explosive, il doit être effectué avec un agent approprié comme de l'huile; ce produit est souvent incorporé dans les installations permanentes. S'il survient à une autre étape de la formation de l'émulsion explosive ou à une étape quelconque de la formation d'un explosif gélifié, il doit être effectué avec de l'eau. Dans l'un ou l'autre des cas, il faut procéder à une évaluation des dangers et déterminer si les résidus du rinçage doivent être récupérés et séparés pour être détruits ou recyclés.
- 2.5 La température maximale des explosifs ne doit pas excéder la température recommandée par le fabricant d'explosifs ni celle recommandée par le fabricant de la pompe.
- 2.6 La pression de pompage ne doit pas dépasser la valeur la plus faible des maxima recommandés par le fabricant de la pompe et le fabricant d'explosifs. Le fonctionnement de certaines pompes à une pression supérieure à leur pression nominale maximale, en particulier les pompes à rotor hélicoïdal excentré, très répandues, peut entraîner un accroissement du patinage et une diminution de l'efficacité. De plus l'échauffement produit peut causer un bris mécanique de la pompe.
- 2.7 La pompe choisie doit être du type recommandé par le fabricant pour les produits visqueux, tels les explosifs à pomper. Il ne faut pas oublier que les explosifs peuvent quelquefois être pompés à des températures inférieures à celle planifiée et qu'ils peuvent alors avoir une viscosité apparente de 100 000 centipoises ou plus.

- 2.8 Les matériaux constitutifs de chaque pompe doivent être compatibles avec les ingrédients contenus dans les explosifs à pomper, et leur choix définitif revient au fabricant d'explosifs. Il faut accorder une attention particulière aux incompatibilités possibles entre les stators fixes en caoutchouc, ou en d'autres polymères, et les différents ingrédients huileux. De plus, les oxydants peuvent former des composés sensibles au contact du cuivre et du laiton.
- 2.9 Il faut vérifier régulièrement les dispositifs d'arrêt installés sur les pompes (y compris les manostats à maximum, les déclencheurs thermiques et les fluxostats) pour détecter les situations dangereuses et activer les alarmes sonores (si on le souhaite) afin de s'assurer qu'ils sont fiables.
- 2.10 Dans la mesure du possible, il ne doit pas y avoir de raccords filetés dans une installation de pompage d'explosifs. Bien que les raccords filetés se comportent bien dans les conduites de pompage des émulsions explosives et des explosifs gélifiés, certains considèrent qu'ils posent un risque au moment du démontage, en particulier s'ils ont séché parce qu'ils n'ont pas été utilisés depuis longtemps. Si des joints filetés ont été en contact avec des explosifs, il ne faut jamais les chauffer pour les desserrer sans qu'ils aient été décontaminés au préalable selon la méthode approuvée. Les raccords filetés ne doivent jamais être employés là où ils sont susceptibles d'entrer en contact avec des explosifs moléculaires comme le TNT. Voir les remarques supplémentaires à la section 6.6.

3. Responsabilités de la direction

La direction de la compagnie d'explosifs doit établir des critères pour le choix des pompes et du matériel connexe à employer dans de nouvelles installations ou dans des installations existantes. Les critères doivent au moins comporter :

- une évaluation des dangers effectuée en collaboration avec le concepteur de la pompe ou le fabricant de celle-ci;
- des essais avant la commercialisation de la pompe.

Les essais doivent être réalisés sous étroite surveillance dans des conditions précises établies par le fabricant d'explosifs.

Le responsable du pompage d'explosifs en usine ou sur le terrain, qu'il s'agisse du fabricant ou de l'utilisateur, doit :

- s'assurer qu'il existe des consignes écrites d'exploitation;
- s'assurer que les consignes d'exploitation sont revues périodiquement afin de leur apporter des modifications ou de relever et corriger les modifications non approuvées qui peuvent avoir été apportées avec le temps;
- établir un programme d'entretien préventif;
- établir un programme de formation comportant des évaluations à l'intention des nouveaux employés de même qu'un programme de recyclage à l'intention des employés d'expérience.

4. Les explosifs

4.1 TYPES

Les explosifs à base d'eau présentent une variété de propriétés physiques et explosives.

Les *bouillies* sont des solides en suspension dans une solution aqueuse épaissie qui renferme des oxydants. Les solides sont des combustibles, explosifs ou non, souvent associés à un oxydant sous forme de cristaux. Certains combustibles liquides ou dissous peuvent être présents. L'épaississeur est habituellement une farine naturelle comme l'amidon, formée de molécules linéaires. Les bouillies à haute densité sont normalement insensibles au détonateur et nécessitent parfois un renforçateur d'au moins 100 grammes de pentolite, même si elles sont sensibilisées avec un ingrédient explosif. Si leur densité est réduite, elles peuvent présenter une sensibilité utile au détonateur aux températures courantes d'utilisation.

Les *explosifs gélifiés* sont formés par réticulation. Les molécules linéaires de l'épaississeur sont reliées entre elles par des liaisons chimiques qui provoquent la gélification de la bouillie. Le produit obtenu peut offrir une forte résistance à l'eau. En général, un explosif gélifié bien formé ne peut être pompé. Pour cette raison, la réticulation de la bouillie est habituellement effectuée pendant le pompage par l'ajout d'un agent chimique approprié dans une proportion de quelques dixièmes d'un pour cent. La gélification survient ensuite en quelques secondes ou en quelques minutes. Le produit pompé a parfois subi une réticulation partielle.

L'*émulsion explosive* est généralement une émulsion formée d'une solution aqueuse sursaturée d'oxydant, dispersée dans de l'huile ou dans un mélange d'huile et de paraffine. Ce type d'explosif n'englobe pas le combustible dispersé dans un oxydant en solution aqueuse. Dans une émulsion explosive, un mélange intime est obtenu entre un oxydant liquide et un combustible liquide. Le produit obtenu se caractérise par une très grande vitesse de détonation et, par conséquent, une très grande brisance. Néanmoins, comme dans le cas des bouillies, une densité élevée est synonyme d'insensibilité. Il faut donc abaisser la densité pour obtenir une sensibilité au détonateur et même une sensibilité à un renforçateur. Un grand nombre d'émulsions explosives à haute densité sans sensibilisant sont, à toutes fins utiles, complètement insensibles même à un puissant renforçateur. On emploie souvent l'expression «matrice d'émulsion» pour les décrire parce qu'elles ne sont pas conçues pour être employées sans être modifiées au préalable. On les mélange généralement à de l'ANFO ou à du nitrate d'ammonium pour former un mélange sensible au renforçateur, qui peut être pompé dans un trou de mine ou introduit dans celui-ci au moyen d'une vis sans fin. Les émulsions explosives, tout comme un grand nombre de mélanges, offrent une résistance élevée à l'eau.

Les *mélanges* sont constitués d'ANFO ou de nitrate d'ammonium et d'un explosif à base d'eau qui peut être une émulsion ou une matrice d'émulsion conforme à la description qui précède, ou un explosif gélifié. Les mélanges peuvent être sensibles au détonateur ou sensibles au renforçateur. En règle générale, un mélange a une brisance légèrement moins grande qu'un explosif gélifié ou une émulsion explosive, mais il produit un souffle plus important.

4.2 PROPRIÉTÉS EXPLOSIVES ET CONDITIONS D'UTILISATION POUVANT INFLUER SUR LE DANGER

4.2.1 Les propriétés explosives qui ont une incidence sur le danger du pompage sont énumérées ci-après. L'ordre d'énumération n'est pas représentatif de leur importance. La liste se veut simplement un guide à l'intention de l'ingénieur chargé de la conception des installations de pompage. En la consultant, l'ingénieur risquera moins d'oublier une ou plusieurs conditions d'utilisation et propriétés explosives qui s'avèrent importantes dans une installation.

- a) Propriétés rhéologiques, y compris la pseudo-plasticité ou thixotropie.
- b) Énergie minimale d'allumage.
- c) Pression minimale de combustion.
- d) Diamètre critique en confinement.
- e) Sensibilité à l'impact et à la friction sous confinement et pression.
- f) Stabilité thermique sous pression.
- g) Température minimale utile de pompage.
- h) Présence ou absence de solides en suspension.
- i) Nature des solides en suspension :
 - fragiles
 - friables
 - explosifs
 - abrasifs
- j) Teneur en eau.
- k) Présence ou absence de sensibilisants :
 - explosifs comme le TNT
 - non explosifs comme les perchlorates
- l) Nature de la phase continue : huile ou eau.
- m) Conductivité thermique.
- n) Présence ou absence de bulles de gaz.
- o) Composition chimique des bulles de gaz.
- p) Gaz encapsulé ou non.
- q) Pression du gaz encapsulé.
- r) Nature chimique des capsules (microsphères).
- s) Présence ou absence de gaz volatils inflammables.
- t) Degré d'homogénéité (taille des gouttelettes ou des particules).

4.2.2 Les trois principales conditions d'utilisation qui influent sur le danger sont les suivantes :

- a) Vitesse de mise sous pression/écart de pression.
 - Lors du pompage, il est possible de passer du vide à une pression très élevée en un court laps de temps. Inversement, le vide peut causer la formation de bulles rapidement.
- b) Cavitation causée par une alimentation insuffisante.
- c) Corps étrangers : présumez qu'il pourra y en avoir.

5. Matériaux constituant les pompes

- a) Les corps de pompe sont généralement en aluminium, en acier inoxydable, en fonte ou en acier au carbone.
- b) Les rotors sont constitués ou recouverts d'élastomère ou d'un plastique plus dur, sauf si le stator est en élastomère. Dans ce cas, les rotors peuvent être constitués d'acier inoxydable ou d'un autre métal.
- c) Les stators des pompes à rotor hélicoïdal excentré sont fabriqués en un élastomère compatible avec le produit pompé.
- d) Les joints à lèvres sont habituellement en caoutchouc nitrile, en Téflon ou en Viton. Les joints mécaniques doivent être du type céramique–céramique ou céramique–carbone.
- e) Tous les tuyaux sont constitués de matériaux qui doivent être compatibles avec les produits pompés. Les tuyaux de refoulement doivent supporter les températures et les pressions exigées par l'installation de pompage. Les tuyaux d'aspiration ne doivent pas s'écraser sous l'effet de la pression.
- f) Les raccords des tuyaux doivent être en acier inoxydable ou en aluminium. Dans la tuyauterie à basse pression, des raccords en PVC peuvent être employés.
- g) La robinetterie est habituellement en acier inoxydable ou en acier au carbone; dans ce dernier cas, les éléments internes sont en acier inoxydable. Les sièges de soupape sont en Téflon ou en caoutchouc nitrile.

6. Facteurs influant sur le choix d'une pompe

6.1 TEMPÉRATURES DE FONCTIONNEMENT

Le choix de d'une pompe doit tenir compte de la plage des températures de fonctionnement.

La température des explosifs pendant le pompage ne doit pas dépasser la température maximale recommandée par le fabricant de la pompe et par le fabricant des renforçateurs et des détonateurs placés dans le trou de mine.

Lorsqu'on pompe des explosifs très chauds au moyen d'une pompe froide, la dilatation des stators en caoutchouc et des tubes en acier des pompes à rotor hélicoïdal excentré peut poser un problème. Des consignes spéciales d'exploitation peuvent être nécessaires, en particulier dans le cas des explosifs gélifiés. Il est donc important de spécifier la plage de températures des explosifs lors du choix d'une pompe. La dilatation thermique du stator étant au moins six fois plus grande que celle de l'acier, un usinage un peu lâche du stator sera nécessaire pour permettre son expansion.

L'usage de chemises chauffées n'est habituellement pas recommandé parce qu'il communique de la chaleur au produit ou aux résidus en cas d'arrêt de l'écoulement ou d'engorgement au refoulement, ce qui accroît le danger.

La plupart des explosifs gélifiés se cristallisent à basse température. Si l'on prévoit pomper l'explosif à basse température, il faut communiquer les valeurs de viscosité apparente au fabricant pour lui permettre de réaliser des essais préliminaires.

6.2 PRESSIONS DE FONCTIONNEMENT

Les pressions de refoulement, c'est-à-dire de déchargement, ne doivent pas dépasser la plus basse des valeurs maximales recommandées par le fabricant d'explosifs et par le fabricant de la pompe. Il est possible de réduire les pressions de refoulement en plaçant un dispositif d'injection d'eau dans le tuyau de refoulement, en aval de la pompe, afin de lubrifier le tuyau. Ce dispositif doit être inspecté et étalonné.

L'installation de pompage doit être conçue de manière à ce que le tuyau d'alimentation soit rempli totalement de produit et qu'il soit ainsi possible de maintenir un écoulement optimal afin d'éliminer la cavitation et la formation de bulles d'air dans le produit. Il faut contrôler l'étanchéité à l'aspiration pour s'assurer qu'il n'y pas d'infiltration d'air. Le tuyau doit toujours être de diamètre maximal et de longueur minimale.

Dans la mesure du possible, l'installation doit être conçue pour employer des pompes à rotor hélicoïdal excentré à deux et à trois étages, qui produisent des pressions de refoulement respectives ne dépassant pas 180 à 270 psi (1 241 à 1 862 kPa). À l'occasion, pour le chargement de trous ascendants, il peut être nécessaire d'avoir recours à une pompe à rotor hélicoïdal excentré à

quatre étages en mesure de fournir des pressions pouvant atteindre ou dépasser 300 psi (2 068 kPa) parce qu'elle a moins tendance à tourner à vide. En général, les pompes à deux étages conviennent aux travaux en surface. Des stators d'épaisseur de paroi uniforme permettent l'obtention de pressions deux fois supérieures à ce que procurent les stators classiques entièrement réalisés en élastomère, pour un couple moindre. Le revêtement plus mince dissipe mieux la chaleur, mais la diminution de pression attribuable à l'usure survient plus rapidement.

En général, les explosifs doivent être pompés à des pressions qui excèdent leur pression minimale (seuil) de combustion. Les explosifs industriels à base d'eau s'éteignent généralement d'eux-mêmes s'ils s'allument à la pression atmosphérique. La pression minimale qui permet la combustion autoentretenu d'un explosif varie selon la taille de l'échantillon, la température initiale, la taille des gouttelettes de l'émulsion, l'âge du produit, la présence ou l'absence d'ingrédients explosifs sensibles, le TNT par exemple, mais surtout selon la teneur en eau. Il existe aussi d'autres facteurs, mais ils sont moins importants. Pour autant que la taille de l'échantillon soit suffisante et que l'âge ainsi que la température de celui-ci au moment de l'essai correspondent aux conditions d'utilisation sur le terrain, les pressions mesurées en laboratoire constituent probablement une bonne indication du comportement du produit dans une installation de pompage.

Dans la mesure du possible, les installations de pompage doivent être conçues pour que les pressions produites n'excèdent pas la pression minimale de combustion du produit pompé. Si un explosif à base d'eau s'allume lorsqu'il se trouve à une pression supérieure à la pression minimale de combustion, la pression peut augmenter rapidement au point d'entraîner un bris catastrophique de la pompe.

6.3 VISCOSITÉ DU PRODUIT

Il faut faire part au fournisseur de la pompe des données de viscosité apparente sur les explosifs qu'on prévoit pomper. Ces données doivent inclure la viscosité apparente à la température de pompage la plus basse qui est prévue de même que les taux de cisaillement inférieur et supérieur à moins que le fabricant se satisfasse d'une estimation. Le froid fait augmenter la viscosité d'un produit en vrac à un point tel qu'il peut devenir impossible de le pomper sans le réchauffer de nouveau. Lorsque des produits très visqueux sont pompés, il y a toujours un risque d'engorgement et d'infiltration d'air à l'orifice d'aspiration de la pompe. De la cavitation peut alors se produire si un écoulement adéquat n'est pas maintenu, ce qui accroît la sensibilité du produit. **Le pompage doit être interrompu si un écoulement adéquat n'est pas maintenu à l'entrée de la pompe.**

6.4 CAPACITÉ DES POMPES

Informez bien le fournisseur de toute la plage des débits prévus aux températures et aux pressions indiquées. Évaluez ensuite dans quelle mesure il serait utile de surdimensionner légèrement la pompe pour réduire la vitesse des pièces internes. Cependant, il faut se garder d'exagérer, car la surdimension excessive réduira l'efficacité du pompage.

6.5 ÉLIMINATION DES DANGERS D'ORDRE CHIMIQUE

Les principaux dangers d'ordre chimique sont les suivants :

- Une réaction en présence de cuivre. Il faut éviter l'utilisation du cuivre ou des alliages de cuivre dans toutes les pièces de la pompe ou de l'installation de pompage. En se combinant avec le nitrate d'ammonium, les sous-produits de la corrosion du cuivre forment des explosifs hautement sensibles.
- La dégradation des élastomères employés dans la construction des pompes ou des tuyaux. Les responsabilités à cet égard sont décrites dans les sections 2.3 et 2.8.
- Des phénomènes dus à la chaleur peuvent se produire dans des espaces morts à l'intérieur de la pompe si une certaine quantité d'explosif emprisonné dans des cavités subit une friction là où il n'y a pas d'écoulement. L'incident peut se manifester sous sa forme la plus dangereuse dans un rotor creux. Les arbres creux et les fouloirs de presse-garniture sont des éléments dont le comportement à cet égard est suspect. Consultez les sections 6.9 et 10.3.2 (b) et (e).
- Une réaction aluminothermique qui entraîne un dégagement de chaleur important peut provoquer l'allumage du produit. Il s'agit d'une réaction de l'aluminium au contact de l'oxyde de fer. Cette réaction peut être dangereuse si des explosifs contenant de l'aluminium sont mis en contact avec des pièces d'une pompe en acier doux ou en fonte.
- Un autre phénomène dû à la chaleur, quoique moins courant, peut aussi se produire entre le nitrate d'ammonium et les fines particules métalliques libérées sous l'effet de la dégradation mécanique des pompes.

6.6 ÉLIMINATION DES DANGERS D'ORDRE MÉCANIQUE

Les dangers d'ordre mécanique sont les suivants :

- Impact brutal ou friction importante en cas de bris d'une pièce ou d'introduction d'un objet dur dans la pompe. Au cours de l'analyse des risques, il faut tenir compte de la vitesse périphérique et de l'énergie cinétique correspondante car la limitation de ce facteur offre la seule protection réelle contre les corps étrangers.
- Friction continue provoquant un échauffement de l'explosif qui stagne dans des cavités; ce risque est abordé à la rubrique des cas d'échauffement.
- Alimentation discontinue de la pompe donnant lieu à la formation de poches d'air qui favorisent la présence de chaleur de compression.
- Écrasement d'un tuyau interrompant l'alimentation de la pompe. Les tuyaux d'alimentation doivent résister à l'écrasement parce que le plein écoulement doit être maintenu en tout temps. Les tuyaux d'aspiration doivent être aussi courts que possible et, de préférence, rigides.
- Serrage ou desserrage des joints filetés : se reporter à la section 2.10. S'il faut absolument employer des joints filetés, on doit appliquer généreusement un composé d'étanchéité compatible sur les filets au moment du montage et accorder une attention toute particulière à la sécurité au cours du démontage en suivant, de préférence, une procédure de décontamination approuvée au préalable.
- Engorgement de la pompe et de la conduite. Ce problème risque de survenir si la teneur en solides de la composition explosive est égale ou supérieure à 40 %.

Il est possible d'éliminer la plupart des dangers d'ordre mécanique en employant des pompes légèrement surdimensionnées, en portant toute l'attention nécessaire au jeu des pièces mobiles, en réduisant fortement la friction par l'emploi d'élastomères appropriés sur les rotors et les stators et en choisissant des pompes exemptes d'espaces morts.

6.7 EFFETS DE L'USURE DE LA POMPE

L'usure accroît la probabilité de bris soudain des pompes à rotor hélicoïdal excentré dont le rotor est creux, des pompes à membrane et des pompes péristaltiques. L'usage des pompes à rotor hélicoïdal excentré dont le rotor est creux est à proscrire systématiquement parce que le bris d'une soudure permettra au rotor de se remplir de composition susceptible d'exploser en cas de fonctionnement à sec. Pour prévenir la défaillance d'une pompe, l'opérateur doit la faire réviser dès qu'il note une diminution prédéterminée de la pression de refoulement et du débit. Voir le paragraphe 10.3.3 (j). Il est capital que les pièces détériorées soient remplacées par des pièces d'origine ou des pièces autorisées.

6.8 PUISSANCE REQUISE

La puissance requise dépend des débits et de la contre-pression. Elle doit donc être estimée avec soin afin que les installations électriques ou hydrauliques d'alimentation soient conçues pour limiter le régime ou l'alimentation électrique/hydraulique de la pompe. L'utilisation d'air comprimé comme source d'énergie pose problème pour la régulation de la puissance d'alimentation et du régime. On ne doit pas l'employer à moins que la pompe ne se trouve continuellement sous surveillance et que son régime soit régulé par un opérateur. Si l'électricité est la source d'énergie, il faut respecter les articles du code. Dans le cas d'un circuit hydraulique, celui-ci doit être à pression constante ou protégé contre la surpression par des soupapes de sûreté.

6.9 JOINTS ET ROULEMENTS

Dans la mesure du possible, notamment dans le cas des pompes à engrenages et à lobes, des roulements extérieurs doivent être utilisés. Les pompes munies de fouloirs de presse-garniture ne sont pas recommandées parce qu'elles présentent un risque d'échauffement sous l'effet de la friction dans des espaces confinés. Si elles sont employées, elles doivent être munies d'un dispositif de surveillance de température et d'un déclencheur à haute température conçu pour arrêter le pompage en cas de dépassement d'une température prédéterminée.

7. Principaux risques présentés par le pompage

7.1 Les pompes à explosifs sont dangereuses :

- si on les laisse tourner à sec;
- si elles fonctionnent sans écoulement du produit (engorgement au refoulement);
- si elles sont employées pour le déblocage de conduites engorgées.

Les situations susmentionnées peuvent mener à un échauffement suivi d'une explosion.

7.2 À moins que leur sécurité dans les situations susmentionnées n'ait été démontrée expérimentalement, la plupart des pompes à explosifs présentent un risque d'explosion en cas de fonctionnement à sec, particulièrement dans les usines, si elles ne sont pas munies d'un dispositif de protection. La plupart des pompes à explosifs, en particulier celles employées en usine, doivent être conçues pour s'arrêter automatiquement :

- si l'écoulement cesse en raison d'un engorgement;
- si l'écoulement cesse en raison d'un problème d'alimentation;
- en cas de dépassement de la température nominale;
- en cas de dépassement de la pression nominale;
- en cas de dépassement du temps maximal de fonctionnement sans surveillance.

Les pompes servant au transvasement d'explosifs insensibles au détonateur et maintenues sous la surveillance immédiate d'un opérateur sur le terrain, peuvent nécessiter une instrumentation moins élaborée. Il est difficile de faire l'unanimité sur ce point parce que cela dépend en partie du choix de la pompe.

7.3 L'utilisateur doit respecter les pratiques recommandées qui sont décrites ci-après, sinon il s'expose aux risques susmentionnés et à d'autres dangers.

- Maintenir la pression de pompage de l'émulsion chaude à une pression égale ou inférieure à celle recommandée par le fabricant d'explosifs, le maximum étant de 300 psi (2 068 kPa), ou de 400 psi (2 758 kPa) dans le cas de trous ascendants. Il est risqué d'excéder la pression minimale de combustion ou de faire fonctionner l'installation à des pressions (et à des températures subséquentes) qui se situent au-dessus du point d'éclair de la plupart des produits volatils (voir plus bas).
- Surveiller si possible la température interne de la pompe, ou contrôler la température du produit à la sortie de la pompe pour être en mesure d'agir en cas d'élévation de la température.
- S'assurer qu'il n'y a pas d'espaces morts où des explosifs peuvent s'accumuler, s'échauffer et se dégrader. Il est à noter qu'un fouloir de presse-garniture peut constituer un espace mort et qu'il faut suivre les recommandations de la section 6.9 à cet égard.

- Procéder à une évaluation des dangers avant d'apporter des changements à une pompe ou à un produit.
- Éviter tout contact entre l'explosif et des corps étrangers.
- Inspecter fréquemment les joints et les raccords de l'arbre de la pompe.
- Trouver la cause des arrêts à répétition déclenchés par le dispositif de protection.
- N'utiliser que des pièces de rechange approuvées pour l'entretien et la réparation des pompes.
- S'assurer qu'il n'y a pas d'infiltration d'air à l'aspiration de la pompe.
- Former parfaitement tout le personnel chargé de faire fonctionner une installation de pompage d'explosifs.
- Réduire la vitesse d'élévation de la pression autant que possible pour limiter les pointes de température dans les poches d'air comprimé. Cette mesure vise à empêcher l'allumage des éléments volatils du mélange qui peut survenir si leur température dépasse le point d'éclair.
- Concevoir les pompes et les faire fonctionner de manière que leur vitesse périphérique soit sécuritaire, même en cas d'introduction d'un corps étranger. Voir les sections 6.6, 1^{er} paragraphe, et 10.3.3 (a) qui traitent de l'énergie cinétique.

8. Mise en marche et arrêt des pompes

8.1 MISE EN SERVICE

Il faut vérifier les nouvelles pompes et toutes les pièces d'une nouvelle installation pour s'assurer qu'elles ne renferment pas de corps étrangers (bavures, matériau de joint, limaille, saletés et particules abrasives dans la pompe, les citernes, les bacs et les conduites). **Il ne faut pas utiliser la pompe pour rincer l'installation.**

L'étanchéité de l'ensemble de l'installation doit être contrôlée avec de l'eau.

8.2 VÉRIFICATIONS AVANT USAGE

La lubrification de la pompe doit être effectuée à l'aide d'un lubrifiant compatible avec l'explosif et qui satisfait aux exigences du fabricant de celle-ci. De l'eau ou une solution oxydante sont recommandées dans une installation de pompage d'explosifs gélifiés. Les pompes neuves et les pompes qui viennent d'être révisées peuvent être lubrifiées avec de l'huile minérale si elles sont destinées au pompage d'une émulsion ou avec de l'éthylène glycol si l'installation doit servir à pomper un explosif gélifié. Une fois mise en contact avec une émulsion, une pompe renferme généralement une quantité d'huile résiduelle qui suffit à assurer sa lubrification. En usine, l'émulsion est généralement éclaircie et enrichie en huile au départ.

Vérifier les points énumérés ci-après et faire des essais au besoin :

- a) disque de rupture en place et tuyau d'évent du disque bien dégagé;
- b) alarmes et déclencheurs automatiques bien réglés et en bon état;
- c) dispositif d'injection d'eau fonctionnel;
- d) opérateur parfaitement formé.

8.3 MISE EN MARCHÉ

L'opérateur doit prendre connaissance de toutes les consignes écrites d'exploitation sauf s'il a fait fonctionner le matériel récemment ou s'il fait fonctionner le même matériel depuis un certain temps. Néanmoins, il doit revoir les consignes d'exploitation périodiquement pour ne pas risquer de s'en écarter.

L'opérateur doit s'assurer que :

- a) les commandes hydrauliques sont à « off »;
- b) les niveaux du fluide hydraulique sont adéquats;
- c) les conduites d'aspiration de la pompe sont parfaitement étanches;
- d) les conduites et les tuyaux de refoulement sont en bon état et exempts de pincements;

- e) le robinet de la citerne contenant l'explosif est ouvert;
- f) le tuyau d'évent du réservoir est dégagé;
- g) le tuyau d'évent du disque de rupture est dégagé;
- h) le disque de rupture est de calibre approprié et bien installé;
- i) le niveau du fluide et le débit d'injection d'eau (s'il y a un dispositif) servant à lubrifier le tuyau de refoulement pour empêcher la contre-pression sont adéquats.

Si une pompe munie d'un rotor ou d'un stator en élastomère est inutilisée depuis un certain temps et ne renferme plus de résidus de solution huileuse ou aqueuse, pomper une petite quantité d'eau avant d'entreprendre le pompage des explosifs. Un lubrifiant recommandé par le fabricant de la pompe et compatible avec les explosifs peut aussi être employé. Si le produit à pomper est très visqueux, il faut d'abord alimenter la pompe avec une petite quantité de celui-ci dont la phase continue a été diluée pour permettre une bonne lubrification du rotor ou du stator en élastomère. Gratter les parois des réservoirs et des caisses pour éviter le séchage du produit et pour s'assurer que le produit plus âgé est employé en premier. Laisser sécher le produit risque d'engorger l'aspiration de la pompe et de causer de la cavitation.

ATTENTION : Ne jamais faire fonctionner à sec une pompe à explosifs. Le fonctionnement à sec cause rapidement des dommages et un échauffement qui peut provoquer un incendie ou une explosion.

ATTENTION : Ne jamais faire fonctionner une pompe lorsqu'une soupape est fermée ou qu'une conduite est engorgée. L'échauffement causera très probablement une explosion. Aucune soupape ne doit se trouver en aval d'une pompe à explosifs à moins d'une absolue nécessité. Consulter le dernier paragraphe de la section 11.4 qui peut également s'appliquer au pompage en usine ou depuis un véhicule citerne.

S'assurer que la pompe tourne dans le bon sens.

Une pompe neuve doit être étalonnée conformément aux instructions du fabricant, puis réétalonnée périodiquement par la suite aussi souvent qu'il est jugé nécessaire. Il faut également réétalonner une pompe qui n'a pas fonctionné depuis longtemps avant de s'en servir de nouveau. De plus, il faut établir des tolérances d'étalonnage qui, lorsqu'elles sont atteintes, commandent impérativement le retrait du service de la pompe aux fins de révision.

ATTENTION : Si une vérification de l'étalonnage révèle que la pompe est défectueuse, il faut s'assurer que c'est bien le cas. Il peut y avoir infiltration d'air ou engorgement partiel à l'aspiration ou au refoulement.

8.4 ARRÊT ET REMISE EN MARCHÉ

Si une pompe s'arrête automatiquement ou est arrêtée par l'opérateur en raison du déclenchement d'une alarme, le pompage ne doit pas reprendre tant que le problème n'a pas été déterminé et solutionné.

Avant de procéder à un arrêt prolongé, vider et nettoyer les réservoirs contenant le produit, dégorger et nettoyer les tuyaux, puis nettoyer les vis d'alimentation. L'explosif retiré de l'installation de pompage avant ou après l'arrêt de celle-ci doit être inspecté et il faut le détruire adéquatement en tenant compte de son état. La tuyauterie d'aspiration de la pompe doit être démontée et nettoyée.

Pour remettre l'installation de pompage en marche après un arrêt prolongé, procéder de la manière suivante :

- a) inspecter la chambre d'aspiration de la pompe et enlever tous les dépôts;
- b) inspecter le tuyau de refoulement pour voir s'il est engorgé ou abîmé;
- c) enlever le disque de rupture et en inspecter le côté sous pression pour voir s'il porte des accumulations de produit. Voir les sections 11.1 et 11.2, 5^e paragraphe. Le tuyau d'évent du disque de rupture doit être bien dégagé pour être efficace;
- d) vérifier tous les raccords de la tuyauterie;
- e) voir s'il y a des substances durcies dans les vis d'alimentation;
- f) réétalonner la pompe;
- g) s'assurer que tous les dispositifs de protection fonctionnent correctement.

9. Utilisation des pompes

9.1 PRÉCAUTIONS À PRENDRE PENDANT LE POMPAGE

Ne jamais faire fonctionner une pompe à une pression supérieure au plus faible des maxima recommandés par le fabricant de la pompe et le fabricant d'explosifs.

Vérifier régulièrement les instruments qui servent à détecter les pressions de pompage excessives et à interrompre le fonctionnement du moteur d'entraînement pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.

Ne jamais débrancher un interrupteur, une alarme ou une minuterie reliés à une pompe. Cesser le pompage dès qu'un dispositif de sécurité se déclenche ou donne une lecture anormale et ne pas remettre l'installation en marche tant que le problème n'a pas été décelé et éliminé.

9.2 CHARGEMENT DES TROUS DE MINE

Dans une mine ou une carrière, un camion, un dévidoir de tuyau et une vis sans fin montée à l'intérieur d'une flèche posent autant de dangers que l'explosif lui-même.

Il faut déplacer les camions avec beaucoup de prudence sur un chantier où ont lieu des travaux de sautage.

Il faut déplacer avec précaution les dévidoirs et les flèches actionnées par voie hydraulique et garder toujours à l'esprit la sécurité du personnel. Avant de déplacer un véhicule d'une zone de sautage à l'autre, il faut toujours replacer la flèche dans le berceau.

Les explosifs doivent être pompés dans un trou de mine uniquement lorsque l'équipe de sautage indique que le trou a été vérifié et qu'il est prêt à être chargé.

Après la mise en marche de la pompe à explosifs, s'assurer que le produit s'écoule dans le tuyau de chargement. Il s'agit de voir :

- s'il y a des pulsations dans le tuyau;
- si l'explosif s'écoule d'une trémie ouverte vers la pompe;
- si l'explosif s'écoule à l'extrémité du tuyau.

L'opérateur doit s'assurer que le régime et la pression de pompage sont appropriés.

Les concepteurs et les opérateurs doivent savoir que certains mécanismes d'entraînement sans protection contre la survitesse peuvent s'emballer en cas de délestage soudain.

9.3 DÉGORGEMENT DES TUYAUX DE CHARGEMENT

Pour dégorger un tuyau de chargement sans utiliser d'air comprimé, essayer les méthodes décrites ci-après.

- a) Faire fonctionner la pompe par saccades à l'aide des commandes. Sur le terrain, il peut y avoir un dispositif d'injection d'eau; on peut en régler le débit au maximum avant de commencer à faire fonctionner la pompe par saccades.
- b) Évaluer en profondeur les dangers que pose l'installation, puis faire fonctionner la pompe par saccades et en marche arrière en alternance si l'opération est possible et autorisée dans les consignes d'exploitation. Il est important de souligner que nombreux sont ceux qui hésitent à recommander l'inversion du mouvement de la pompe, en particulier dans le cas d'une pompe à rotor hélicoïdal excentré, même s'il s'agit de la faire fonctionner par saccades, car ce mode de fonctionnement entraîne la mise sous pression de la chambre d'aspiration et rend les dispositifs de sécurité inopérants (voir 10.3.2 (b)). Si l'on inverse le mouvement d'une pompe à rotor hélicoïdal excentré, il est possible que :
 - du produit soit poussé dans des espaces morts et que des joints éclatent sous l'effet d'une pression excessive en sens opposé;
 - du produit demeure longtemps dans le joint et soit soumis à une friction continue;
 - du produit sensibilisé qui se trouve en aval soit refoulé dans la pompe;
 - l'arbre d'entraînement soit soumis à des contraintes susceptibles de causer un jeu dans les joints ou les raccords, ou une défaillance prématurée de ceux-ci.

De manière générale, on ne pense pas que l'inversion du mouvement d'une pompe à engrenages ou d'une pompe à lobes puisse causer les problèmes mentionnés. Cependant, les dangers liés à ce mode de fonctionnement méritent d'être pris en compte. Les pompes centrifuges, les pompes à membrane et la plupart des pompes à piston ne peuvent fonctionner en marche arrière.

Chaque fois qu'on tente de dégorger un tuyau à l'aide de la pompe, il faut en surveiller le fonctionnement car elle risque de se bloquer sous l'effet de la pression élevée. Il faut se tenir prêt à en réduire le régime ou à arrêter le pompage. S'il a fallu réduire le régime de la pompe en raison d'une obstruction partielle du tuyau, il faut l'accroître graduellement une fois que l'écoulement de l'explosif a été rétabli.

S'il faut utiliser de l'air comprimé pour dégorger un tuyau, prendre soin d'orienter l'extrémité de celui-ci vers un réservoir de produit ou un trou de mine et prendre les mesures nécessaires pour éviter tout risque de fouettement du tuyau. Avant de placer l'extrémité du tuyau dans un réservoir, il faut s'assurer qu'elle est propre pour ne pas contaminer le produit et, encore une fois, il faut bien immobiliser le tuyau pour éviter le fouettement. Il faut aussi s'assurer que l'air ne peut être refoulé dans la pompe. Dans le cas des pompes autres que celles à engrenages et à rotor hélicoïdal excentré, une soupape est nécessaire pour éviter le refoulement. Lorsqu'on utilise de l'air pour dégager la tuyauterie, ouvrir la soupape d'air par saccades et observer les résultats.

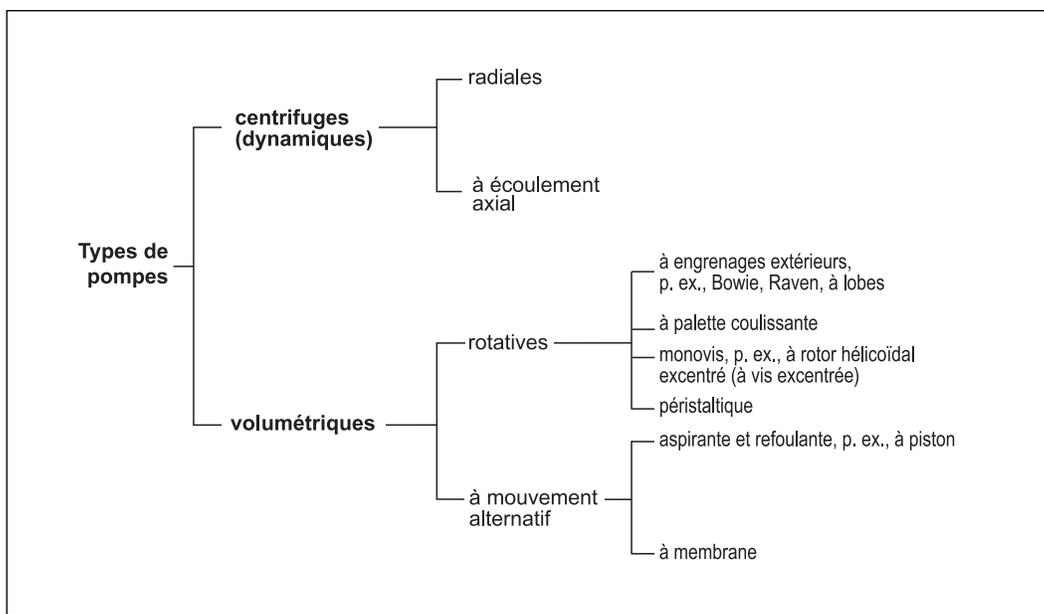
Si le pompage a lieu à l'extérieur, en particulier par temps froid, il peut être nécessaire de nettoyer le tuyau avec un bouchon de polyuréthane après l'avoir dégorgé pour qu'il soit plus efficace par la suite.

10. Types de pompes : principes de fonctionnement, avantages, inconvénients et recommandations

TYPES DE POMPES

Il existe deux grandes catégories de pompes : les *pompes centrifuges (dynamiques)* et les *pompes volumétriques*. Les différents types de pompes en usage dans l'industrie des explosifs sont énumérés dans la figure ci-dessous. La plupart sont des pompes volumétriques. Il existe un grand nombre d'autres pompes de type commercial qui ne sont pas énumérées ci-dessous.

Figure 1
Classement des types de pompes

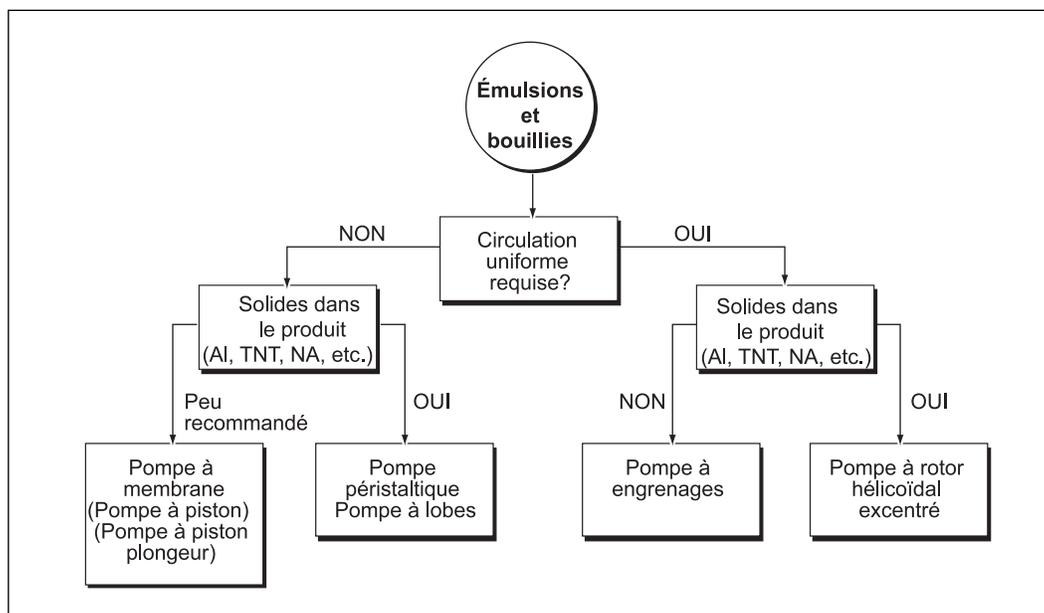


Une importante société a produit un arbre de décision pour faciliter le choix des pompes. Nous avons obtenu l'autorisation de le reproduire et il figure ci-après. Nous l'avons légèrement modifié afin de regrouper les pompes péristaltiques et les pompes à lobes (servant au transvasement de produits qui renferment des solides dans des situations où un écoulement uniforme n'est pas requis). Dans l'arbre de décision d'origine, ces pompes figurent dans la catégorie « peu recommandées » avec les pompes à membrane servant au transvasement de produits qui renferment des solides dans des situations où un

écoulement uniforme n'est pas nécessaire. En consultant l'arbre de décision, il faut noter qu'il est possible de choisir des pompes qui assurent un écoulement uniforme même si celui-ci n'est pas nécessaire. L'usage fort répandu des pompes à rotor hélicoïdal excentré constitue un très bon exemple à cet égard.

Il est à noter que le choix de chaque type de pompe doit tenir compte des valeurs maximales de pression, de régime et de viscosité recommandées par le fabricant. Voir les sections 6.1 à 6.4 inclusivement.

Figure 2
Arbre de décision pour le choix des pompes



10.1 POMPES À MEMBRANE

10.1.1 Principe de fonctionnement

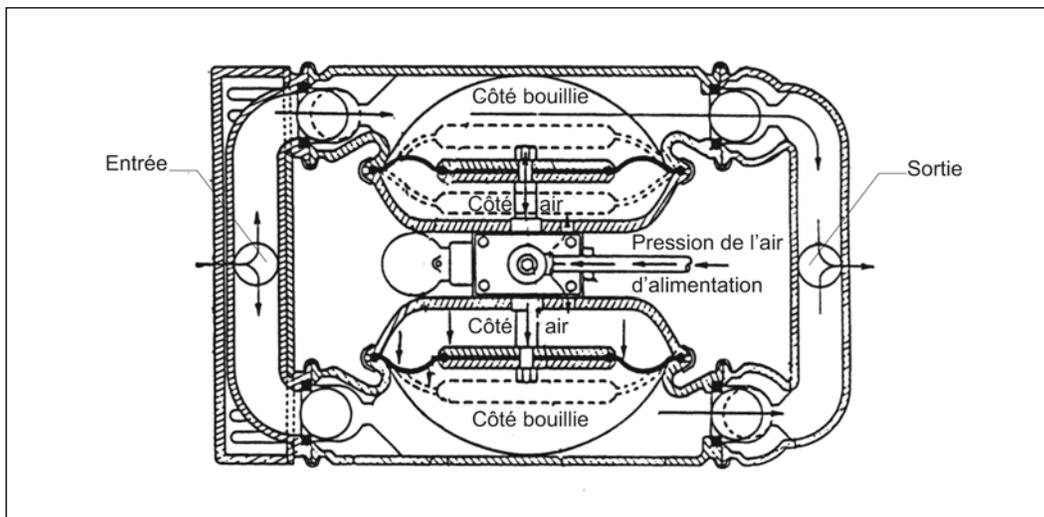
Les pompes à membrane sont celles qui conviennent le mieux lorsqu'une pression élevée n'est pas requise et qu'un écoulement pulsé est acceptable.

Dans les pompes à deux membranes, une chambre à membrane est mise sous pression pendant que la chambre opposée se vide, ce qui fait déplacer les membranes reliées par un arbre. La pression d'air s'exerce sur toute la surface de la membrane et provoque l'expulsion du produit. Des dispositifs anti-retour (il s'agit généralement de clapets à bille) sont employés au besoin pour assurer l'écoulement du produit en sens unique. Un distributeur pneumatique à quatre voies dirige l'application de la pression et permet l'écoulement de l'explosif. Le distributeur, ou la robinetterie, sont généralement montés à l'extérieur. L'écoulement est pulsé et identique à la sortie des deux chambres. Certaines pompes peuvent comporter une cloison liquide. Les clapets anti-retour peuvent être regroupés dans une même chambre.

Les pompes à membrane ne comportent pas de pièces rotatives. En cas d'engorgement de la sortie, la pompe s'arrête simplement et la pression à laquelle est soumis l'explosif ne

dépasse pas celle de l'air comprimé qui sert à entraîner la pompe. La plupart des pompes à membrane utilisées pour le transvasement d'explosifs en vrac fonctionnent généralement à une pression de 80 à 125 psi (552 à 862 kPa). La montée en pression se fait lentement de sorte que la chaleur a généralement le temps de se dissiper. Il existe de nouvelles pompes à membrane à entraînement pneumatique capables de produire une pression pouvant atteindre 250 psi (1 724 kPa) (voir 10.1.5 (i)).

Figure 3
Pompe à membrane



10.1.2 Problèmes possibles

Les problèmes que nous avons notés dans le cas des pompes vendues dans le commerce sont les suivants :

- a) Contact métal sur métal entre l'extérieur du piston ou la pièce de retenue du piston et l'enveloppe.
- b) Mauvaise qualité des pièces coulées et possibilité de rupture des guides à rotule.
- c) Rupture d'une membrane entraînant une fuite ou, dans les cas extrêmes d'engorgement de la sortie, échauffement du produit qui est soumis à un mouvement de va-et-vient de part et d'autre de la perforation dans la membrane.
- d) Incompatibilité entre certains matériaux de fabrication menant à la rupture de la membrane ou à la corrosion des soupapes à bille.
- e) Obstruction de la soupape à bille par des corps étrangers.
- f) Givrage des soupapes d'air dans certaines conditions de fonctionnement.
- g) Ce type de pompe est susceptible de s'emballer fortement au moment du vidage d'un réservoir ou d'une trémie. La survitesse peut occasionner des problèmes (voir (a)).

- h) Des raccords filetés peuvent poser un danger au moment du démontage (voir la section 2.10).
- i) La rupture de la membrane peut donner lieu à une migration du produit vers les distributeurs d'air en laiton qui peuvent se corroder et libérer du nitrate cupro-ammoniacal sensible.

10.1.3 Avantages

L'engorgement de la sortie entraîne normalement l'arrêt de la pompe et une faible élévation de la pression. La pression du produit ne dépasse pas la pression maximale ambiante dans le circuit pneumatique d'entraînement. Par conséquent, dans le cas des pompes à basse pression, il n'existe aucun risque d'élévation de la pression de façon adiabatique. Il n'y a pas de pièces mobiles susceptibles de causer de la friction ou des impacts. Pour la même raison, les joints ne sont pas vulnérables.

10.1.4 Inconvénients

L'écoulement est pulsé et la pression est limitée.

10.1.5 Recommandations

- a) Les jeux internes de la pompe doivent être vérifiés avant usage et modifiés au besoin afin qu'il n'y ait pas contact métal sur métal.
- b) Sur certains modèles, il peut être nécessaire de régler la longueur du guide de soupape si le porte-à-faux est prononcé.
- c) Il faut démonter les pompes à membrane régulièrement pour vérifier l'état des membranes et de l'arbre qui les relie. Cette mesure vise à empêcher l'infiltration d'air dans l'explosif et la corrosion.
- d) Si une pression d'air élevée peut atteindre la pompe en cas de défaillance du régulateur et que l'équipe d'évaluation des dangers considère qu'il y a danger réel, une soupape de sûreté doit être montée entre le régulateur et la pompe.
- e) S'assurer que tous les matériaux sont compatibles avec les produits pompés.
- f) Le calendrier d'inspection et d'entretien préventif du fabricant d'explosifs doit être respecté.
- g) Les raccords filetés peuvent présenter un danger au moment du démontage (voir la section 2.10).
- h) Dans la mesure du possible, l'installation doit être exempte de distributeurs d'air en laiton ou en bronze, sinon elle doit être nettoyée à fond, en particulier à la suite d'une rupture de membrane.
- i) Les pompes à membrane à entraînement pneumatique qui produisent des pressions pouvant atteindre 250 psi (1 724 kPa) ne sont pas plus dangereuses que celles qui fonctionnent dans une plage comprise entre 80 et 125 psi (552 et 862 kPa). Ce qui importe, c'est que le choix soit fondé sur une évaluation approfondie des dangers.

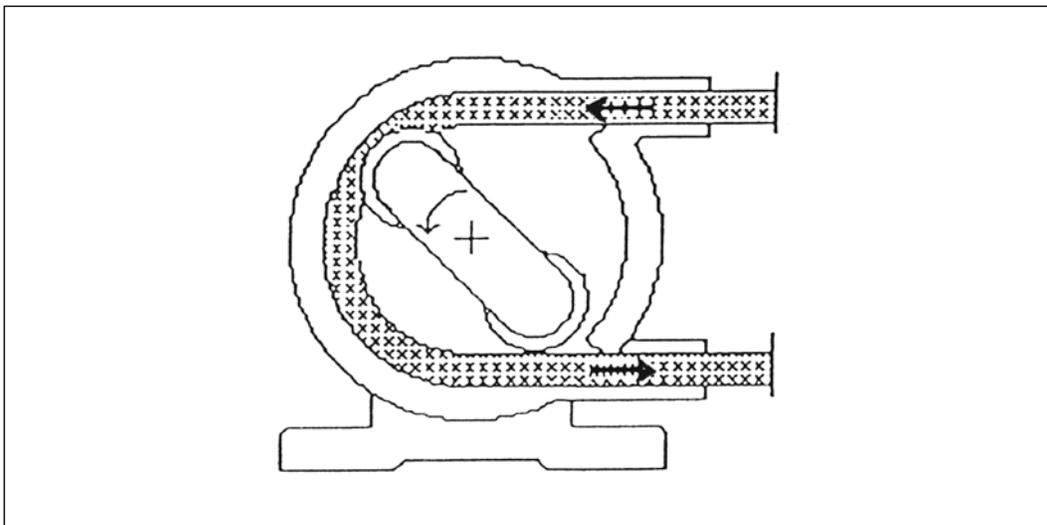
10.2 POMPES PÉRISTALTIQUES

10.2.1 Principe de fonctionnement

Cette pompe consiste en un tuyau en matériau souple placé dans une enveloppe métallique. Le tuyau est comprimé par un rotor. Le pompage résulte du déplacement de la section comprimée du tuyau vers l'aval sous l'effet de la rotation du rotor, ce qui pousse le produit à l'avant et crée une aspiration à l'arrière à mesure que la section comprimée se dilate. Le produit est en contact uniquement avec la paroi interne du tuyau. Le rotor peut être muni de rouleaux ou de mâchoires à bride qui servent à comprimer le tuyau. Un lubrifiant liquide à l'intérieur de l'enveloppe réduit la friction. Il est possible de modifier la puissance d'aspiration et la pression de refoulement en réglant la compression du tuyau.

En cas de blocage de la sortie de la pompe par l'explosif, une surchauffe peut se produire. Le fonctionnement à sec entraînera l'éclatement du tuyau de pompage. Pour éviter un tel incident, un débitmètre, un régulateur de débit et un disque de rupture sont nécessaires du côté sous pression. La trémie d'alimentation doit être munie de déclencheurs qui interrompent automatiquement le fonctionnement de la pompe en cas de baisse excessive du niveau.

Figure 4
Pompe péristaltique



10.2.2 Problèmes possibles

Les problèmes que pose ce type de pompe sont les suivants :

- bris du tuyau sous l'effet d'un manque de lubrifiant;
- incompatibilité du lubrifiant;
- rupture du tube;
- fonctionnement à sec de la pompe;
- présence de corps étrangers créant des perturbations dans le tuyau;
- engorgement au refoulement donnant lieu à un échauffement à l'intérieur de la pompe;
- matériaux de construction incompatibles favorisant la corrosion et les bris.

Il faut inspecter les pompes péristaltiques régulièrement dans le cadre d'un programme d'entretien préventif pour s'assurer qu'elles fonctionnent à la pression voulue et que le tuyau de pompage ne risque pas d'éclater. Il s'agit notamment de vérifier l'état des mâchoires à bride et des rouleaux du rotor, le niveau du lubrifiant et l'état du tuyau de pompage.

10.2.3 Recommandations

- a) Ne pas faire fonctionner la pompe à sec ou lorsqu'elle est engorgée au refoulement. La pompe doit néanmoins être dotée de dispositifs assurant sa protection dans une telle éventualité.
- b) Établir un calendrier d'inspection et d'entretien préventif conforme aux recommandations du fabricant d'explosifs et du fabricant de la pompe.

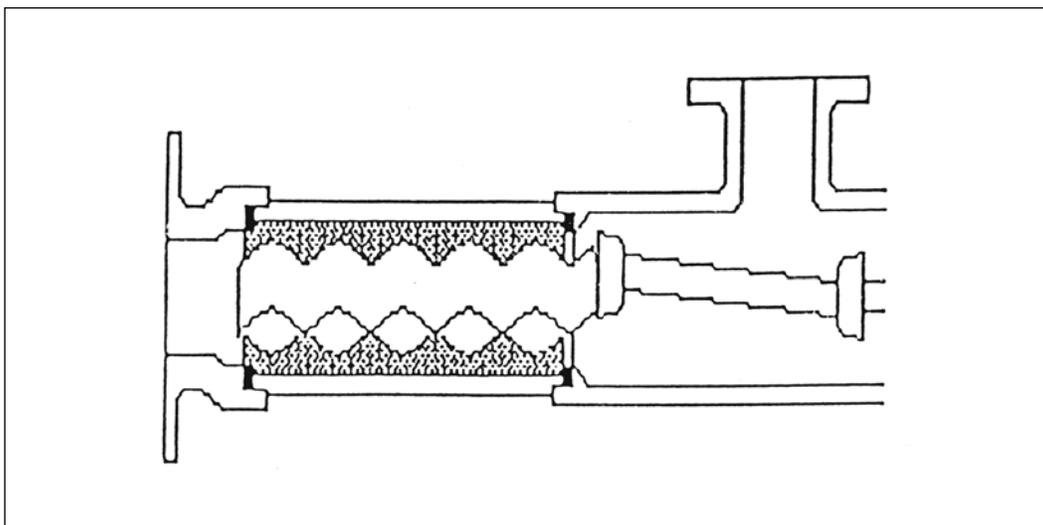
10.3 POMPES À ROTOR HÉLICOÏDAL EXCENTRÉ (À VIS EXCENTRÉE)

10.3.1 Principe de fonctionnement

Ces pompes figurent parmi celles qu'on emploie le plus souvent pour le pompage d'explosifs à base d'eau en surface et sous terre. Celles utilisées en surface sont bi-étagées et celles employées sous terre comportent trois ou quatre étages. Ces pompes procurent un écoulement presque exempt de pulsations à toutes les pressions de service et elles peuvent être conçues pour supporter différentes pressions maximales.

La pompe à vis excentrée est constituée d'un seul rotor hélicoïdal excentré qui tourne dans un stator hélicoïdal à deux filets. À mesure que le volume d'une cavité diminue, celui de la cavité subséquente augmente, ce qui produit un écoulement constant, uniforme, presque sans pulsations ainsi qu'un déplacement direct. Le rotor est en métal. Le stator est fabriqué en élastomère et emprisonné dans une enveloppe en métal; les cavités sont situées à 180 degrés l'une de l'autre. Le rotor peut être raccordé au mécanisme d'entraînement par un arbre flexible, un joint universel double ou un engrenage.

Figure 5
Pompe à rotor hélicoïdal excentré



Une pompe peut être dotée d'un rotor et d'un stator correspondant dont la longueur procure plus d'une cavité fermée simultanément. On appelle « étage » chaque cavité fermée supplémentaire. En général, chaque étage peut supporter un écart de pression d'environ 80 à 90 psi (552 à 621 kPa). Cette caractéristique est particulièrement importante pour la durée utile dans le cas des liquides abrasifs.

10.3.2 Problèmes possibles

Les problèmes que posent ces pompes sont les suivants :

- a) Le fonctionnement à sec provoque une surchauffe. Voir (c) et (h) ci-dessous.
- b) La migration de l'explosif dans un rotor creux. **Les rotors creux sont à proscrire absolument.** On soupçonne les arbres d'entraînement creux de produire les mêmes problèmes, en particulier si le sens du fonctionnement de la pompe est inversé, même momentanément. L'explosif peut alors s'infiltrer par un joint torique usé ou un autre joint et être soumis à un échauffement dans un espace restreint par un roulement chaud. Voir la section 9.3 (b).
- c) Une surchauffe attribuable à un engorgement au refoulement. L'engorgement peut être causé par une soupape fermée, un corps étranger ou un tuyau qui renferme un explosif réticulé ou un explosif froid. Voir (a) et (h).
- d) La cavitation ou l'infiltration d'air.
- e) De la friction à l'intérieur de la pompe ou des joints. L'usage de fouloirs de presse-garniture n'est pas recommandé. Voir tout de même la section 6.9.
- f) La défaillance des roulements attribuable à la présence de particules abrasives, au manque de graisse ou à un régime élevé de fonctionnement.
- g) Le bris prématuré du raccord entre le rotor et le mécanisme d'entraînement (s'il se trouve à l'intérieur) ou de la garniture d'un joint souple ou encore d'un arbre flexible sous l'effet d'un régime élevé. Une émulsion très chaude à repomper peut provoquer l'usure et le bris du revêtement de caoutchouc des pignons.
- h) Une surchauffe du fait que la pompe patine en raison de son usure excessive ou d'une surpression si le stator est usé. Dans ce dernier cas, le fonctionnement lorsque la sortie est engorgée peut présenter un danger particulier car l'élévation de la pression n'est pas assez importante pour déclencher l'arrêt de la pompe et la hausse de température n'est pas détectée par le capteur de température à la sortie de la pompe. **Il s'agit probablement de la situation la plus dangereuse que puisse présenter le fonctionnement de ces pompes.** Voir le paragraphe 10.3.3 (j) sur l'entretien et le paragraphe 10.3.3 (o) sur la protection redondante contre la chaleur.
- i) L'accumulation de produit dans le carter d'aspiration, ce qui gêne la rotation des joints.
- j) Le desserrage d'écrous internes et des pièces retenues par ceux-ci.
- k) La migration du produit dans les joints lorsque le sens du fonctionnement de la pompe est inversé. Voir les remarques à la section 9.3 (b).
- l) L'usure et le bris des joints protégés par une gaine sur les arbres de raccord.

10.3.3 Recommandations

Étant largement répandues, les pompes à rotor hélicoïdal excentré font l'objet de recommandations précises sur les précautions qui doivent être prises lors de leur conception et de leur exploitation. Ces recommandations sont les suivantes :

- a) La viscosité du produit et la conception de l'entrée de la pompe sont des facteurs importants dont il faut tenir compte pour que le régime de la pompe soit sans danger. Le régime doit être assez faible pour empêcher l'infiltration d'air ou la cavitation, en particulier lorsque le produit est froid et visqueux. De plus, il ne doit jamais excéder le régime calculé de la pompe ou le régime recommandé par le fabricant. Le régime maximal de la pompe, c'est-à-dire le régime périphérique, doit être pris en compte une fois que les dangers présentés par l'énergie cinétique des pièces mobiles de la pompe ont été évalués. De plus, le régime de la pompe choisie doit être déterminé en fonction des caractéristiques de l'explosif à pomper et de la taille de la pompe plutôt que d'une manière arbitraire.
- b) Le stator doit être non métallique et être constitué d'un matériau compatible avec l'explosif.
- c) Le stator et le rotor doivent être en mesure de supporter les températures de service.
- d) Le rotor doit être massif pour ne pas comporter de cavités susceptibles de retenir l'explosif.
- e) Des arbres flexibles sont recommandés parce qu'ils éliminent les problèmes d'entretien et de sécurité que posent les différents types de joints internes. Cependant, il faut admettre que ces derniers ont également des faiblesses et qu'ils deviennent vulnérables à la fatigue sous l'effet des dommages faits à leur surface par les corps étrangers et les particules abrasives. Lorsqu'un arbre se rompt, l'énergie emmagasinée par celui-ci (elle est difficile à quantifier) est libérée. Certains modèles comportent un espace confiné où le produit peut s'accumuler à l'extrémité du mécanisme d'entraînement. Si des arbres munis de joints internes sont retenus, ceux-ci doivent être du type à faible pression superficielle et bien étanches.
- f) Les roulements doivent être montés à l'extérieur et être étanches.
- g) Toute pompe servant au transvasement d'un explosif sensible au détonateur doit être munie d'un disque de rupture ayant pour rôle de relâcher la pression en cas de combustion ou de réaction du produit sous pression, peu importe que la combustion ait été amorcée en raison d'un engorgement de la sortie ou pour une autre raison. Voir 10.3.2 (h) et 11.3 pour plus de renseignements sur les effets de l'usure du stator.
- h) Le moteur de la pompe doit être dimensionné et conçu pour fournir à la pompe une puissance ne dépassant pas celle qui est nécessaire dans des conditions normales de fonctionnement. En cas d'engorgement de la sortie, il risque de continuer à tourner si le rotor est usé. Des instruments sont donc nécessaires.
- i) Il faut démonter les pompes à vis excentrée à intervalles réguliers pour vérifier l'état du stator et l'étanchéité des joints flexibles. Une vérification aux 1 000 tonnes de produit pompé est recommandée, mais la fréquence est fonction de la teneur en solides du produit et d'autres facteurs. La fréquence réelle d'inspection doit être déterminée à la lumière de l'expérience des produits utilisés, des installations et des conditions d'exploitation.

- j) Sous l'effet de l'usure causée par l'utilisation normale, la pression et le débit diminuent. Pour compenser ce phénomène, on augmente progressivement le régime, mais la pompe a alors tendance à tourner à vide et à occasionner une dégradation du produit. Le fait d'accroître le régime pour compenser l'usure d'un stator (et pour augmenter la capacité) entraîne une augmentation de la vitesse périphérique, une usure prématurée des joints et d'autres problèmes liés à l'énergie cinétique, en particulier lorsque des corps étrangers pénètrent dans la pompe (impacts et friction). Des problèmes similaires surviennent également si la pompe est sous-dimensionnée et si elle est poussée au-delà du régime maximal recommandé par le fabricant d'explosifs.

La dégradation du produit et la diminution de l'efficacité signifient souvent que la pièce en élastomère doit être remplacée. Un fabricant d'explosifs recommande le remplacement du stator lorsque le débit réel arrive à 80 % du débit calculé (voir la section 6.7). Au moment de la vérification du stator, il faut également vérifier le rotor, bien que sa durée utile soit plusieurs fois supérieure à celle du stator. Souvent, une inspection visuelle suffit. Si le chrome est usé et que le métal de base est apparent, le rotor doit être remplacé.

Un important fabricant recommande de contrôler l'usure du rotor en comparant le diamètre crête à crête avec la valeur indiquée par le fabricant. Si l'écart entre les deux valeurs est inférieur à 0,254 mm et si le rotor est exempt d'entailles, de marques ou de piqûres, celui-ci peut encore être utilisé. Bien que le rendement soit la meilleure mesure de l'ajustement du rotor dans le stator, il est facile de faire une évaluation rapide. Si un rotor sec peut être introduit dans un stator neuf, il faut le remplacer. S'il est possible d'introduire un rotor mouillé sans trop forcer, c'est qu'il est usé, mais probablement encore utilisable.

- k) Les pièces essentielles comme les roulements, les raccords internes, les joints et les arbres flexibles doivent faire l'objet d'un programme d'entretien préventif.
- l) Tous les écrous internes d'une pompe doivent être calés ou freinés au fil.
- m) Les joints à lèvre sont fortement recommandés et quelques fabricants en montent deux en rattrapage (un pour la marche arrière) en plaçant de la graisse compatible entre les deux, malgré le fait que le produit peut s'infiltrer entre ceux-ci si leur face interne n'est pas lubrifiée correctement. L'explosif peut servir de lubrifiant et, de plus, les fabricants ont ajouté un matériau résistant à l'usure sur l'arbre pour empêcher les joints de former des sillons.
- n) Des raccords filetés peuvent présenter un danger au moment du démontage (voir la section 2.10).
- o) L'échauffement du produit dans les pompes à rotor hélicoïdal excentré est tout à fait unique (voir 10.3.2 (h)) et il faut le prévenir. Une protection redondante contre l'échauffement est essentielle. La principale cause d'échauffement est l'absence d'écoulement.

10.4 POMPES À ENGRENAGES

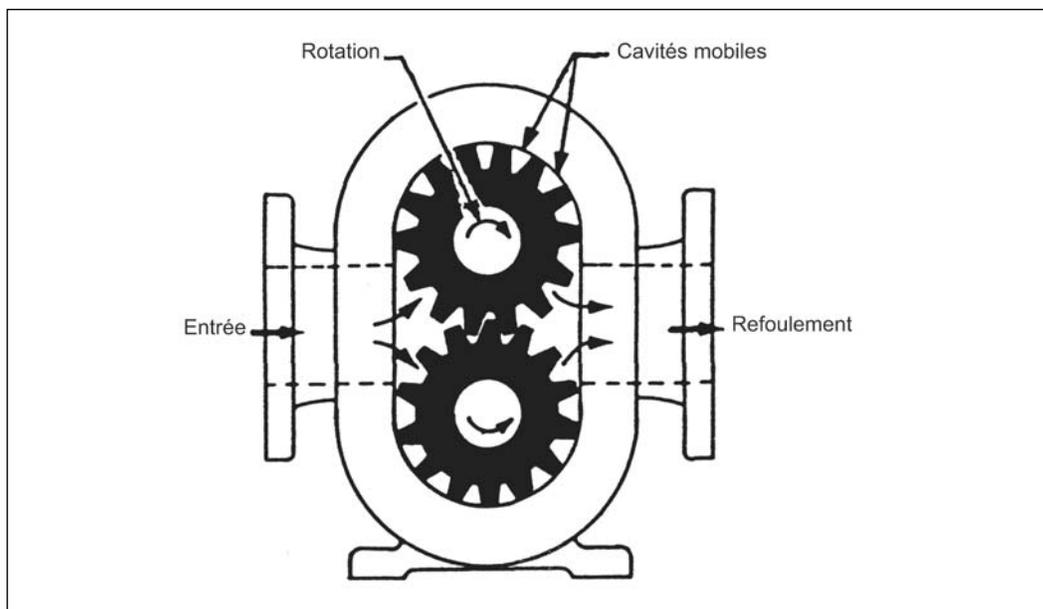
10.4.1 Principe de fonctionnement

Les pompes à engrenages consistent en une enveloppe dans laquelle sont emprisonnés deux pignons engrenés de taille égale qui déplacent un volume constant. L'un de ces pignons est entraîné. Les pignons des pompes à engrenages sont recouverts d'un élastomère qui empêche le contact métal sur métal. Le produit est emporté depuis l'orifice d'entrée par les dents qui le transportent entre elles jusqu'à l'orifice de sortie. Le produit ne peut court-circuiter le trajet et retourner vers l'entrée étant donné le jeu serré entre les pignons qui tournent. La pompe à engrenages est une pompe volumétrique. Le patinage varie en fonction de la viscosité du produit ainsi que du jeu entre les pignons et l'enveloppe sur les côtés et en périphérie. L'écoulement est pulsé, mais en raison du régime et du nombre de pignons, il est généralement peu perceptible.

L'utilisation des pompes à engrenages pour le pompage des explosifs soulève des questions de sécurité. Cependant, les grandes plaques latérales sur ces pompes pourraient servir de disques de rupture, en particulier si elles étaient retenues en place par des boulons de résistance conçus et calculés pour céder.

Certains élastomères se dégradent avec le temps, en particulier lorsqu'ils sont exposés à la lumière fluorescente ou au rayonnement solaire. Des conditions d'entreposage appropriées sont donc essentielles.

Figure 6
Pompe à engrenages



10.4.2 Problèmes possibles

Les problèmes que les pompes à engrenages sont susceptibles de poser sont énumérés ci-après.

- a) Friction importante (jeu très serré entre les pignons et les plaques latérales).
- b) L'accumulation de produit aux environs des bagues dans des conditions de régime élevé peut donner lieu à un échauffement de l'explosif qui sera plus rapide que la dissipation de l'énergie par la pompe.
- c) Défaillance des roulements (les roulements sont près du produit s'ils ne sont pas montés à l'extérieur).
- d) Fonctionnement à sec de la pompe.
- e) Présence de corps étrangers.
- f) Un engorgement au refoulement peut entraîner un échauffement de l'explosif dans la pompe. Le choix du mécanisme d'entraînement est important. Voir la section 11 qui traite de l'instrumentation et de l'évaluation des dangers.
- g) Infiltration d'air dans le produit.
- h) Matériaux constitutifs non compatibles.
- i) Cisaillement important (augmentant la sensibilité de certaines formules).
- j) Manque de lubrification des bagues et/ou infiltration dans les roulements.
- k) Arrachement du revêtement de caoutchouc sur les pignons en acier occasionné surtout par les explosifs chauds.
- l) Défaillance des joints à lèvres sur les roulements extérieurs.
- m) Pression de la pompe excédant les recommandations du fabricant.
- n) Serrage excessif des fouloirs de presse-garniture sur l'arbre d'entraînement.
- o) Réaction aluminothermique entre l'aluminium contenu dans l'explosif et l'oxyde de fer libéré par l'enveloppe d'acier.

10.4.3 Recommandations

- a) Inspecter régulièrement les pièces internes.
- b) Effectuer l'entretien préventif des composants et les lubrifier conformément aux recommandations du fabricant d'explosifs ou du fabricant de la pompe.
- c) Effectuer des étalonnages fréquemment pour contrôler l'usure.
- d) Aucun pignon en métal sans revêtement ne doit être utilisé. Les pignons doivent porter un revêtement d'élastomère ou être entièrement fabriqués en élastomère.

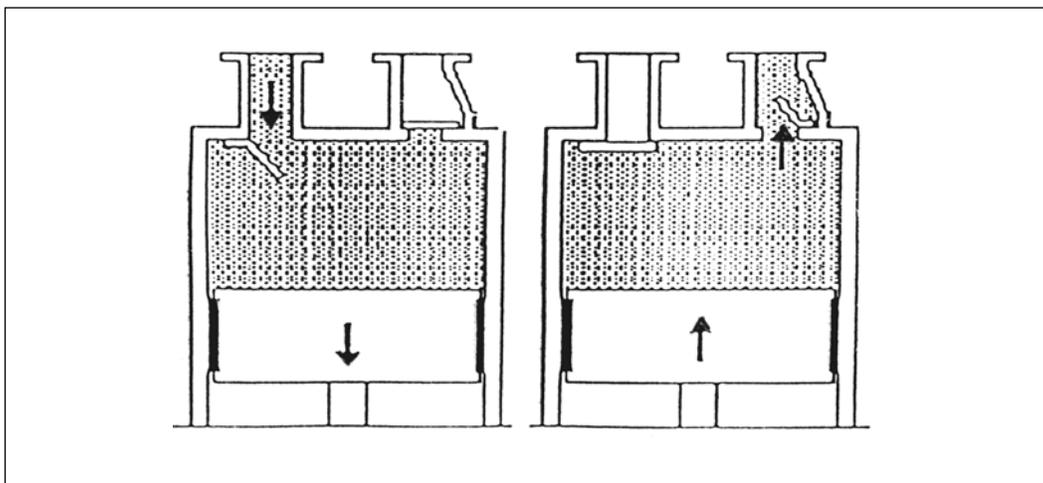
- e) La viscosité du produit et la conception de l'entrée de la pompe constituent un facteur important à considérer dans l'établissement du régime sécuritaire de la pompe. Le régime doit être assez faible pour empêcher l'infiltration d'air ou la cavitation lorsque le produit est froid et visqueux.
- f) Des roulements extérieurs sont fortement recommandés.
- g) Des joints à lèvres sont fortement recommandés.
- h) Si le produit à pomper contient de l'aluminium, il est recommandé d'employer une pompe dont le boîtier n'est pas susceptible de rouiller.
- i) Les réserves exprimées quant à l'usage des pompes à engrenages pour le transvasement d'explosifs ont moins d'importance si on utilise des tuyaux courts de grand diamètre.
- j) Des raccords filetés peuvent présenter un danger au moment du démontage. Voir la section 2.10.

10.5 POMPES À PISTON

10.5.1 Principe de fonctionnement

Ces pompes sont constituées d'un piston dans un cylindre muni d'un dispositif anti-retour. Un volume fixe de produit est entraîné dans la pompe pendant le cycle d'aspiration et, comme le piston se déplace, le produit est comprimé à la pression de refoulement et extrudé par l'orifice de refoulement. L'écoulement est pulsé. Un piston à simple effet procure un volume de pompage moindre au cours de la course de retour. L'écoulement dans un sens est régulé par des clapets internes ou externes ou par un distributeur commandé de l'extérieur.

Figure 7
Pompe à piston



10.5.2 Problèmes possibles

Les problèmes possibles sont les suivants :

- a) Une pompe à piston peut fonctionner même si elle est engorgée au refoulement. Si la garniture du piston d'une pompe à double effet fuit beaucoup, le produit est poussé d'une chambre vers l'autre, ce qui occasionne un échauffement. De plus, si le volume mort est important et que le mécanisme d'entraînement est puissant, la pompe ne s'arrête pas et il y a échauffement.
- b) Une forte cadence peut occasionner une friction excessive.
- c) Compression adiabatique de l'air emprisonné à l'intérieur de la chambre ou de l'explosif, en particulier si le produit est visqueux. Une dépression se forme dans ces pompes au cours de la course d'aspiration ce qui peut (si le tuyau n'est pas totalement rempli) occasionner l'aspiration dans une poche d'air de fines gouttelettes d'huile provenant de l'émulsion. Une montée en pression susceptible de causer un échauffement adiabatique suivi de l'allumage des gouttelettes d'huile peut survenir sur-le-champ.
- d) Formation d'une pression très élevée qui entraînera une combustion très rapide de l'explosif si celui-ci s'allume.
- e) Présence de constituants en matériaux non compatibles.

10.5.3 Recommandations

- a) Munir la pompe de dispositifs de protection l'empêchant de fonctionner à sec.
- b) Empêcher l'infiltration de corps étrangers métalliques.
- c) Nettoyer la pompe à fond avant de l'entreposer.
- d) Il ne doit y avoir aucun contact métal sur métal.
- e) Il peut y avoir des raccords filetés susceptibles de présenter un danger au moment du démontage. Voir la section 2.10.
- f) Dans le cas des pompes à piston hydraulique, il faut accorder une attention particulière aux courses d'aspiration et de compression.

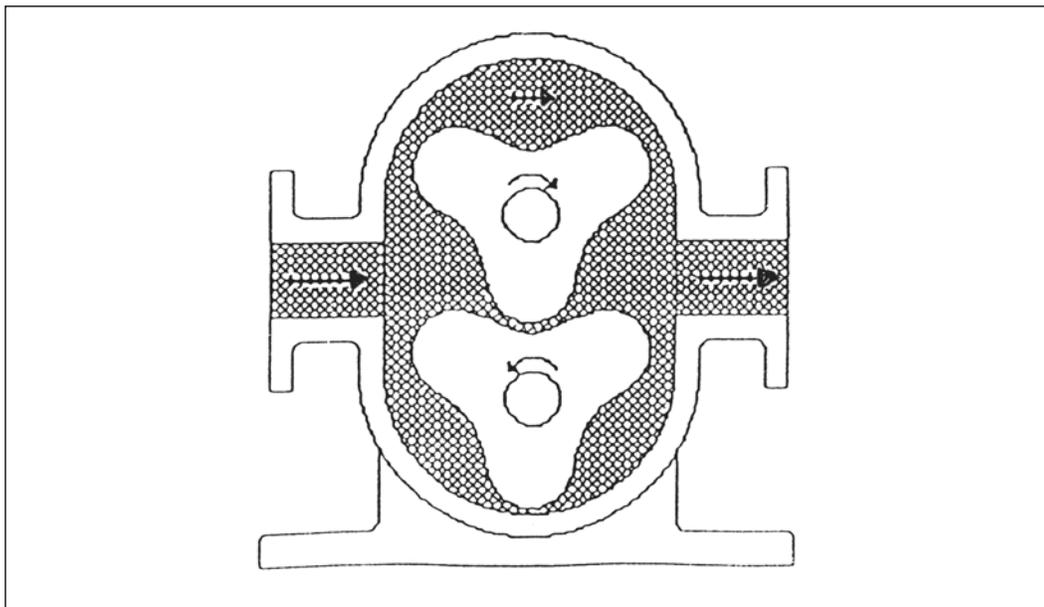
10.6 POMPES À LOBES

10.6.1 Principe de fonctionnement

Ce type de pompe convient à presque tous les genres de pompage d'explosifs à base d'eau.

Une pompe à lobes est une pompe dont le principe de fonctionnement ressemble à celui de la pompe à engrenages (deux ou trois lobes généralement). Comme les lobes s'écartent du côté opposé à l'orifice d'entrée, le produit est aspiré dans l'espace qui se forme entre eux. Le produit est alors transporté par les lobes jusqu'à l'orifice de sortie. Les pompes à lobes sont des pompes volumétriques. De la même manière que dans une pompe à engrenages, les fuites ou

Figure 8
Pompe à lobes



le patinage varie selon le jeu entre les lobes et l'enveloppe. Certaines pompes à lobes sont munies de chemises et/ou de plaques d'usure latérales. Dans une pompe à lobes, les deux rotors sont entraînés. Cette pompe est donc beaucoup plus robuste qu'une pompe à engrenages.

10.6.2 Problèmes possibles

Les problèmes que peuvent poser ces pompes sont énumérés ci-après.

- a) Friction importante attribuable au jeu serré entre les lobes et les plaques latérales.
- b) Fonctionnement à sec.
- c) Blocage, surchauffe ou destruction de la pompe résultant de l'infiltration de corps étrangers.
- d) L'engorgement au refoulement peut entraîner un échauffement des explosifs à l'intérieur de la pompe. Il est important de bien choisir le mécanisme d'entraînement. Voir la partie de la section 11 qui traite de l'instrumentation et de l'évaluation des dangers.
- e) Cavitation et infiltration d'air dans le produit.
- f) Accumulation du produit à proximité des roulements/bagues.
- g) Bris des roulements.
- h) Présence de matériaux incompatibles dans les éléments constitutifs.

- i) Arrachement du revêtement de caoutchouc sur les lobes d'acier.
- j) Formation de pressions supérieures à celle recommandée par le fabricant.

10.6.3 Recommandations

Étant largement répandues, les pompes à lobes font l'objet de nombreuses recommandations quant à leur mode d'emploi. Plus particulièrement, les précautions à prendre pour les utiliser en toute sécurité sont les suivantes :

- a) La viscosité du produit et la conception de l'entrée de la pompe sont des facteurs importants à considérer lorsqu'il s'agit de déterminer le régime auquel la pompe peut fonctionner en toute sécurité. Ce régime doit être assez faible pour empêcher la cavitation et l'emprisonnement d'air lorsque le produit est froid et visqueux.
- b) Le rotor doit être constitué d'un matériau non métallique qui soit compatible avec les explosifs pompés.
- c) La pompe doit pouvoir supporter les températures de service prévues.
- d) Les pompes à lobes doivent être démontées et vérifiées après avoir pompé au plus un millier de tonnes d'explosifs. Il s'agit de voir si elles présentent des dommages d'ordre mécanique et de contrôler l'état des joints.
- e) Les mécanismes d'entraînement doivent être lubrifiés aux intervalles recommandés par le fabricant.
- f) Les lobes métalliques dans une enveloppe métallique doivent être recouverts de caoutchouc ou d'un autre élastomère et il faut les étalonner souvent pour en contrôler l'usure.
- g) Les raccords filetés peuvent poser un danger au moment du démontage. Voir la section 2.10.

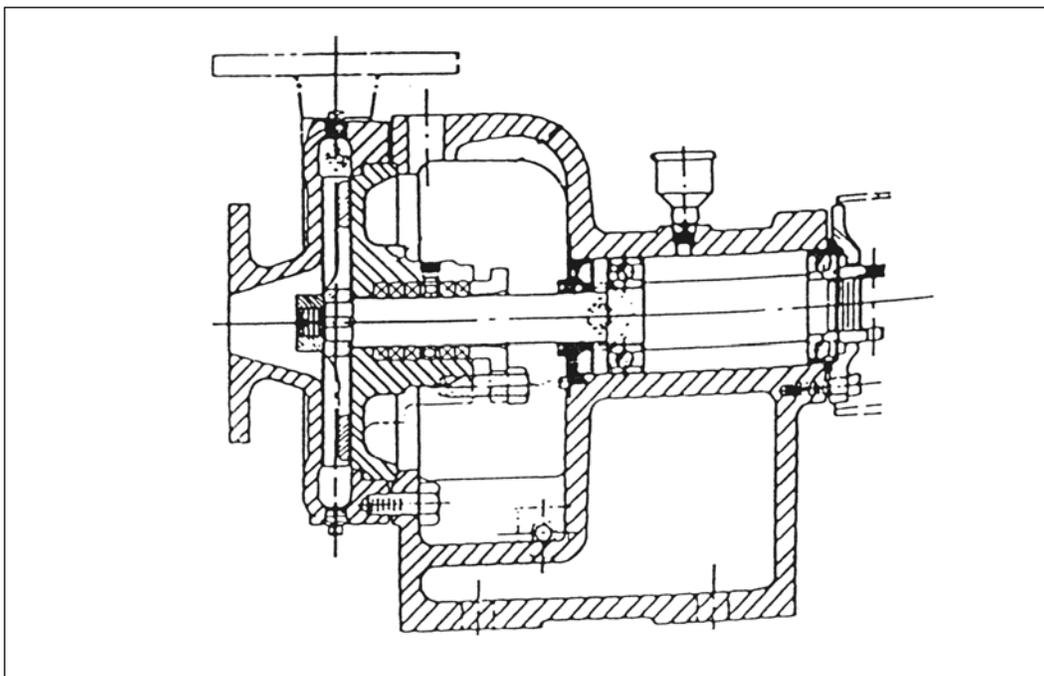
10.7 POMPES CENTRIFUGES

10.7.1 Principe de fonctionnement

Les pièces essentielles d'une pompe centrifuge sont l'élément rotatif, composé de l'arbre et de la roue à aubes, et l'élément immobile, composé de l'enveloppe et des roulements. À l'intérieur de la pompe, la pression atmosphérique, ou une autre pression, pousse le liquide dans les aubes de la roue et celle-ci le déplace vers la périphérie en accroissant sa pression et sa vitesse.

Les pompes centrifuges servent uniquement au transvasement d'explosifs par l'intermédiaire de courtes sections de tuyauterie qui offrent peu de résistance à l'écoulement et, même pour cet usage, elles sont peu employées. Elles sont plutôt réservées au pompage de solutions oxydantes.

Figure 9
Pompe centrifuge



10.7.2 Avantages

Une pompe centrifuge présente les avantages suivants :

- a) faible coût;
- b) écoulement non pulsé;
- c) pression maximale limitée par le régime du moteur d'entraînement;
- d) faibles pressions internes à proximité de l'arbre d'entraînement, ce qui simplifie la conception ou le choix du joint.

10.7.3 Inconvénients

La pompe centrifuge présente les inconvénients suivants :

- a) Aucune élévation de pression n'avertit l'opérateur d'un engorgement au refoulement. La pompe doit donc être munie d'un débitmètre fiable ou d'une sonde de température sensible raccordée à un déclencheur à haute température.
- b) Une pompe centrifuge ne s'arrête pas en cas d'obstruction au refoulement et, bien que la demande d'énergie diminue de manière appréciable, l'énergie transmise aux explosifs ou aux oxydants à l'intérieur de celle-ci peut provoquer très rapidement une élévation de température.

- c) Cette pompe est sujette à la cavitation sauf si la viscosité du produit est très faible.
- d) Sa vitesse périphérique fait peur.

10.7.4 Problèmes possibles

- a) Friction élevée.

ATTENTION : Sur certains modèles, l'enlèvement des cales peut donner lieu à un jeu serré entre les plaques d'extrémité.

- b) Présence de matériaux non compatibles dans les éléments constitutifs de la pompe.
- c) Sur certains modèles, les joints sont lubrifiés par une conduite de purge. Dans ce cas, un apport d'eau distinct pour lubrifier les garnitures mécaniques est préférable à la solution pompée.
- d) Sur certains modèles, l'écrou du fouloir de presse-garniture (s'il y en a un) sur l'arbre d'entraînement peut être trop serré.

10.7.5 Recommandations

La plupart des fabricants d'explosifs ne recommandent pas les pompes centrifuges et certains vont même jusqu'à les interdire.

Si, en dépit de ses inconvénients, on utilise une pompe centrifuge, celle-ci doit absolument être munie d'une sonde de température reliée à un déclencheur à haute température. Cette exigence absolue vaut également pour les solutions oxydantes. Le nitrate d'ammonium peut exploser dans une pompe de transvasement de solution oxydante qui fonctionne sans qu'il y ait écoulement du produit.

Il est fortement recommandé de ne pas mettre de fouloirs de presse-garniture en contact avec les explosifs et les oxydants.

11. Instruments et autres dispositifs de protection

Les dispositifs de protection font partie intégrante d'une installation de pompage et ils doivent être étudiés soigneusement. La plupart des installations de pompage servant au chargement des trous de mine (voir les sections 11.4 (ii) et 11.5) et toutes les installations servant à encartoucher des explosifs doivent être munies de dispositifs de protection visant à prévenir ou à signaler les conditions de pompage dangereuses apparentées aux risques abordés dans la section 7 et en particulier en 7.2. Les pompes à membrane et les pompes de transvasement (en général des pompes à engrenages) qui sont raccordées à une tuyauterie n'offrant pas de résistance à l'écoulement nécessitent moins d'instruments. Les décisions touchant la sécurité doivent être basées sur une analyse des risques assortie d'essais consistant à faire fonctionner la pompe à son régime d'utilisation sans alimentation (à sec) ou lorsqu'il y a engorgement en aval.

Les opérateurs doivent recevoir la formation leur permettant de comprendre le rôle des dispositifs de protection et de s'assurer que les instruments ainsi que le matériel connexe sont entretenus le plus soigneusement possible et ne sont jamais négligés. Vérifier les installations pour s'assurer de leur bon fonctionnement signifie qu'elles ne fonctionnent pas toujours correctement. Même les meilleurs dispositifs de protection ne peuvent jouer leur rôle que si l'opérateur adopte une attitude de prudence au travail et qu'il a reçu la formation nécessaire.

Les dispositifs de protection ne sauraient être substitués à des instructions écrites bien pensées et respectées à la lettre.

L'appendice V résume l'approche adoptée par un comité qui a étudié la question de l'instrumentation. Sans être exhaustive, cette approche montre comment établir un lien systématique entre les précautions à prendre et les dangers connus. Voir également la section 11.6 qui traite brièvement de l'instrumentation.

Après avoir étudié une installation de pompage, certains seront d'avis que des instruments supplémentaires seraient utiles.

11.1 CHOIX ET EMPLACEMENT DES DÉTECTEURS ET DES AUTRES DISPOSITIFS DE PROTECTION

Idéalement, les *détecteurs de débit* doivent être situés à la sortie de la pompe et être en mesure de déceler un ralentissement ou un arrêt de l'écoulement. Ils doivent être étalonnés régulièrement. À ce jour toutefois, leur fiabilité n'a pas été démontrée.

Il est préférable, sur le plan technique, de détecter les faibles débits en utilisant un manostat à minimum réglé pour la détection de pressions inférieures à la pression normale et minimale d'exploitation. Une minuterie, intégrée au manostat, permet d'arrêter la pompe lorsque le fonctionnement à faible débit se maintient pendant un certain temps. Des moyens appropriés

sont à prévoir pour faire redémarrer la pompe ou pour procéder à son entretien une fois le problème corrigé.

Des *capteurs de pression* pouvant être lus sur place ou dans le poste de l'opérateur doivent être situés au refoulement de la pompe. Leur emplacement n'est pas aussi crucial que celui des capteurs de température. Le capteur de pression fonctionnera tant qu'il ne sera pas isolé de la pompe par une obstruction. Des manostats couplés aux capteurs de pression doivent déclencher l'arrêt de la pompe ou déclencher un signal d'alarme bien avant que la pression d'éclatement du disque de rupture ne soit atteinte. Ces dispositifs de sécurité doivent être vérifiés et entretenus périodiquement dans le cadre d'un programme d'entretien préventif. Les mauvais fonctionnements sont faciles à déceler du fait de l'obtention de lectures différentes au réglage maximum et, dans de tels cas, des correctifs doivent être apportés immédiatement.

Il est possible de vérifier le fonctionnement des interrupteurs d'avertissement ou des déclencheurs en obstruant momentanément le refoulement pour produire une pression demeurant inférieure de 25 % à la pression d'éclatement du disque de rupture. Certains fabricants considèrent qu'une marge de 25 % est trop élevée et recommandent plutôt une marge de 25 psi (172 kPa). Les pressions *de service* sont plus faibles que les pressions d'essai mentionnées.

Des *disques de rupture* doivent être situés directement au refoulement de la pompe. Idéalement, ils doivent être en contact avec le produit qui circule et être facilement accessibles, c'est-à-dire qu'il doivent se trouver dans l'axe de la surface interne de la tuyauterie afin qu'il n'y ait pas d'espace mort. L'utilisation d'un bloc usiné par un fabricant d'explosifs a été concluante. Une solution moins souhaitable consiste à employer un raccord ou une bride spécialement adaptés avec une section de tuyauterie (si elle est absolument nécessaire) très courte et droite. L'installation de disques dans des raccords en T ou des coudes n'est pas recommandée parce qu'elle forme des espaces morts où l'explosif peut s'accumuler.

Pour éviter les bris nuisibles, il vaut la peine de procéder à une évaluation des dangers, d'avoir recours à l'expérimentation ou de se fier à l'expérience acquise de manière que les dispositifs de protection qui entrent en jeu en dernier recours agissent tout à fait à l'intérieur du facteur de sécurité et en fonction de la rhéologie du produit pompé.

L'étiquette apposée par le fabricant du disque de rupture doit servir à déterminer le calibre du disque à employer pour que la pression d'éclatement soit toujours inférieure à la pression de service maximale de la pompe, peu importent les circonstances.

Les disques de rupture doivent être installés conformément aux recommandations du fabricant de disques et être remplacés aux intervalles recommandés par le fabricant d'explosifs afin que leur pression de rupture nominale soit toujours valable. Cette consigne est importante parce qu'il n'existe pas de façons de contrôler la pression de rupture des disques de rupture.

Les disques de rupture ne signalent pas la présence d'une obstruction en amont d'eux ou en aval dans la tuyauterie d'évent. Pour cette raison, l'orifice d'accès et le tuyau d'évent doivent être inspectés chaque jour et après chaque période de repos prolongé de la pompe (voir la section 11.2). La connaissance de l'installation déterminera le meilleur délai de vérification. Il faut manipuler le disque de rupture avec soin lorsqu'on l'enlève pour le vérifier et qu'on le remet en place parce qu'il est possible de l'endommager en le manipulant. On ne peut présumer que l'accès au disque est bien dégagé sous prétexte que la pompe et la tuyauterie ont été rincés normalement au moment de la mise au repos de l'installation.

Le personnel doit être protégé contre les effets de l'éclatement d'un disque (présence d'un déflecteur).

L'utilisation d'un tuyau de faible résistance et ayant une pression de rupture connue, au lieu d'un disque de rupture, n'est pas recommandée par un grand nombre d'intéressés au sein de l'industrie. Ce tuyau n'est pas fiable parce que le facteur de sécurité devient beaucoup plus élevé, ce qui peut avoir des *conséquences graves*. De plus, les émulsions et les explosifs gélifiés à forte teneur en solides usent rapidement les tuyaux, ce qui influe sur leur degré de résistance à la rupture.

Les *thermocouples* doivent être installés de manière à mesurer la température de l'explosif dans la pompe et à arrêter celle-ci en cas de dépassement d'un maximum prédéterminé. Cependant, leur installation peut altérer l'enveloppe et, en formant une cavité, elle favorise l'accumulation du produit. Celle-ci peut isoler le thermocouple et rendre la pompe plus difficile à entretenir. Dans la plupart des cas, il est préférable de placer la sonde de température directement au refoulement de la pompe ou de la fixer sur sa surface externe avec de la colle ayant une bonne conductivité thermique.

Dans les pompes à engrenages ou les pompes à lobes, l'orifice de refoulement est court et l'enveloppe ainsi que les minces plaques d'extrémité en métal dissipent la chaleur rapidement. Le thermocouple peut alors être placé directement au refoulement ou sur la surface de l'enveloppe ou des plaques latérales.

Dans les pompes à rotor hélicoïdal excentré, l'explosif et l'enveloppe externe sont séparés par un excellent isolant qui rend moins efficace la protection offerte par un thermocouple placé directement sur la surface extérieure de l'enveloppe. Le thermocouple est donc souvent installé immédiatement au refoulement de la pompe, mais jamais à plus de 5 cm de l'extrémité du rotor. Des fabricants l'ont placé directement dans l'élastomère du stator en un point situé entre les 2/3 et les 3/4 de la longueur de celui-ci. Des thermocouples ont aussi été placés à l'entrée et à la sortie; dans ce genre de configuration, l'écart de température mesuré déclenche l'arrêt de la pompe lorsqu'il dépasse une valeur prédéterminée. Voir le paragraphe 10.3.2 (h) qui traite des dangers que présente une élévation de température dans les pompes à rotor hélicoïdal excentré.

Les *limiteurs d'énergie, de couple et de régime* doivent limiter l'énergie et la force transmises à une pompe en fonction des tolérances de fabrication établies au moment de l'analyse des risques effectuée pour la pompe et l'installation de pompage. Si l'on utilise un moteur hydraulique ou pneumatique, il est pratique courante d'en choisir un dont la puissance et le régime intrinsèques sont limités, ce qui élimine la nécessité d'avoir recours à des dispositifs de commande électriques ou mécaniques. Les recommandations du fabricant en ce qui concerne le mécanisme d'entraînement doivent être respectées et les pièces de rechange utilisées doivent avoir tout à fait les mêmes caractéristiques que les pièces d'origine.

Les *compteurs* ou les *minuterics* employés couramment pour le dosage des explosifs dans les trous de mine sont utiles au cours de l'étalonnage pour mesurer l'usure de la pompe, en particulier dans le cas des pompes à engrenages, et l'on peut s'en servir dans le cadre d'un programme d'entretien préventif. En règle générale, on doit réviser ou remplacer une pompe lorsqu'on note une diminution de 20 % de son débit. Raccordés à un interrupteur d'arrêt, ces appareils servent aussi de dispositifs de sécurité parce qu'ils limitent la durée du pompage en l'absence d'écoulement ou lorsque le débit est faible, conditions qui peuvent avoir échappé aux autres dispositifs de surveillance et d'arrêt. Des compteurs ou des minuterics sont recommandés pour toutes les pompes à rotor hélicoïdal excentré qui servent au chargement des trous de mine. Dans l'industrie, certains sont d'avis qu'un compteur ou une minuterie couplés à un interrupteur d'arrêt sont essentiels sur toutes les pompes employées pour le chargement des trous de mine.

Dans le cas des *sources d'énergie*, qu'elles soient pneumatiques ou hydrauliques, des fuites par les soupapes de régulation peuvent occasionner l'emballement du moteur ou de la pompe. Il est possible d'atténuer le problème en montant des soupapes de dérivation normalement ouvertes dans le circuit. Toute fuite sera ainsi retournée au réservoir et n'agira pas sur le moteur. Un fabricant recommande d'employer ces soupapes comme mécanisme redondant pour éviter la surpression dans les installations munies de pompes à rotor hélicoïdal excentré.

Des *dispositifs radiofréquence (RF) à basse puissance* sont employés plus fréquemment avec d'autres dispositifs, principalement, mais sans s'y limiter, dans les unités mobiles de pompage d'explosifs. Dans de tels cas, le signal RF agit sur d'autres composants par l'intermédiaire d'un signal électrique qui commande les fonctions hydrauliques avec l'aide de pilotes pneumatiques.

Un point est cependant source de préoccupations. Le brouillage RF peut soumettre le pont électrique d'un détonateur à un niveau d'énergie égal ou supérieur à 40 milliwatts. Au-delà de ce niveau, les détonateurs commerciaux peuvent exploser. Voir la publication n° 20 de l'Institute of Makers of Explosives (IME), intitulée *Safety Guide for the Prevention of Radio Frequency Radiation Hazards in the Use of Commercial Electric Detonators* (Guide de sécurité sur la prévention des dangers que pose le rayonnement radiofréquence dans l'emploi des détonateurs électriques commerciaux). Un danger peut exister lorsque des détonateurs électriques sont très rapprochés d'un émetteur RF, peu importe qu'ils soient stockés temporairement ou en cours d'utilisation. Dans un grand nombre de cas, la publication n° 20 de l'IME ne traite pas adéquatement de la faible puissance de transmission et du champ RF à basse fréquence, mais la plupart des intéressés dans ce métier conviennent que le danger posé par l'énergie rayonnée varie selon l'emplacement de la source, les caractéristiques d'émission et l'efficacité de l'antenne d'interception. Pour s'assurer que le rayonnement ne cause pas de problèmes en présence de détonateurs électriques, il faut quantifier les caractéristiques susmentionnées en faisant des essais et des calculs dans le cadre de l'évaluation des dangers.

La même préoccupation est justifiée dans le cas des nouveaux détonateurs électroniques à haute précision dont les caractéristiques électromagnétiques doivent être bien définies.

11.2 COMMENTAIRES AU SUJET DE L'INSTRUMENTATION

Les *détecteurs de débit* servent d'alerte en cas d'absence d'écoulement ou d'engorgement au refoulement. Le fonctionnement de la pompe sans écoulement des explosifs est la situation la plus dangereuse que les dispositifs de protection servent à prévenir. Un bon débitmètre est le meilleur instrument à employer à cet effet. Les dispositifs de protection décrits ci-après peuvent aussi empêcher la pompe de fonctionner en l'absence d'écoulement.

- i) Pression de refoulement insuffisante ou excessive. Il est préférable d'installer une soupape de décharge ou un manostat plutôt que de s'en remettre à l'opérateur qui doit lire le manomètre et arrêter le moteur. Une installation munie d'un manostat à minimum doit prévoir un mode de démarrage.
- ii) Niveau insuffisant dans la trémie d'alimentation. L'opérateur doit en tenir compte à moins que la trémie ne soit munie d'un déclencheur à bas niveau qui arrête la pompe. On recommande aussi l'installation dans la trémie d'un déclencheur à haut niveau pour empêcher les débordements.
- iii) Système décrit dans la section 11.1.

Les *capteurs de pression* et les *manostats* font partie d'un mécanisme redondant et ne constituent pas un système totalement sûr. Ces appareils doivent être entretenus périodiquement. Dans le cas des pompes à rotor hélicoïdal excentré, il est hautement probable qu'un manostat ne fonctionnera pas comme il le devrait si le stator est usé. Voir le paragraphe 10.3.2 (h) qui traite de l'échauffement tout à fait particulier qui se produit en cas d'engorgement au refoulement.

Un *disque de rupture* à la sortie de la pompe peut constituer un dispositif de secours efficace, généralement considéré comme un dispositif d'extinction parce qu'il stoppe une déflagration en faisant rapidement baisser la pression. Il faut être conscient qu'il s'agit d'un appendice en impasse qui est efficace si la conduite qui le dessert est nettoyée assez fréquemment pour être exempte d'explosifs cristallisés ou d'autres obstructions. La fréquence des nettoyages dépend du type d'explosifs et de l'installation. Le pompage de mélanges ou de produits aluminisés exige un entretien plus fréquent. En l'absence d'inspections périodiques, tous les explosifs à base d'eau finissent tôt ou tard par se cristalliser, certains en une nuit et d'autres après une semaine. Les disques de rupture perdent alors leur efficacité.

Les disques de rupture standard sont conçus pour éclater à une pression égale à plus ou moins 10 % de leur pression nominale. Lorsqu'on commande un disque destiné à un usage particulier, il faut préciser la température de service. Les disques en graphite sont recommandés parce qu'ils sont beaucoup moins vulnérables à la température et aux mises en charge répétées, qui causent la fatigue.

La pression d'éclatement du disque choisi doit être égale à la pression maximale admissible de pompage moins la tolérance d'éclatement du disque.

En l'absence de données expérimentales, il faut considérer que l'élévation de pression résultant d'une combustion est très rapide. Par conséquent, la conduite de desserte du disque de rupture doit avoir au moins 50 mm de diamètre et le diamètre du disque ne doit pas être inférieur à 40 mm. Le disque doit se trouver immédiatement en aval de la sortie de la pompe et il ne doit pas y avoir d'obstacle à l'écoulement comme des coudes ou des accumulations de matériau en amont. Voir également la partie de la section 11.1 qui traite des disques de rupture.

Thermocouples et bouchons thermofusibles. La plupart des pompes s'échauffent si le mécanisme d'entraînement continue à fonctionner lorsque le produit ne s'écoule pas. Si le produit cesse de s'écouler, un bouchon thermofusible (un bouchon en matériau qui fond sous l'effet de la chaleur), un thermocouple relié à un déclencheur à haute température ou un rotor à maillon fusible assurent une protection en dernier recours. Idéalement, chaque pompe devrait comporter une protection intrinsèque contre la surchauffe et toutes les pompes devraient être dotées d'instruments appropriés. Un déclencheur actionné par un capteur thermique placé à l'intérieur de la pompe ou immédiatement en aval de celle-ci devrait être réglé pour stopper la pompe lorsque la température de service augmente de 10 à 12 °C. En aucune circonstance, la température ne doit dépasser la plage de 100 à 110 °C. Toute élévation de température de 10 à 20 °C au-delà de cette plage permet à l'eau de s'évaporer de l'explosif.

Tous les déclencheurs critiques doivent être câblés de manière à pouvoir arrêter la pompe.

Les *compteurs* ne doivent pas être les seuls indicateurs des besoins d'entretien et de révision. Employés avec d'autres instruments, ils peuvent contribuer à empêcher le bris des pompes ou prévenir d'autres situations dangereuses.

11.2.1 Apport excessif d'énergie

En cas d'apport excessif d'énergie, il est possible d'avoir recours à un ou à plus d'un dispositif pour stopper le mécanisme d'entraînement de la pompe lorsqu'il y a dépassement de certains critères prédéterminés. Voici certains de ces dispositifs et de ces critères :

- intensité du courant,
- débit ou pression hydraulique du liquide,
- limiteur de couple muni d'un embrayage de sécurité ou d'un autre dispositif,
- vitesse de rotation,
- minuterie.

Si un apport excessif d'énergie provoque une élévation de la température des explosifs refoulés par la pompe, on peut se servir de thermocouples pour activer un interrupteur situé dans le circuit d'alimentation du moteur de la pompe, ou d'un bouchon thermofusible qui met la pompe à l'air libre. Le bouchon thermofusible n'arrêtera toutefois pas la pompe. Il est particulièrement important de compter sur un déclencheur thermique ou sur un capteur de température si l'explosif est remis en circulation.

Dans des conditions normales de fonctionnement, un limiteur de couple sera utile parce qu'il fera caler la pompe en cas d'introduction d'un corps étranger. Une entreprise a fait remarquer qu'il est presque impossible de faire démarrer à froid une pompe à rotor hélicoïdal excentré munie d'un limiteur de couple. Il faut donc avoir recours à une autre forme de protection.

11.3 UTILISATION EN USINE (INSTALLATIONS PERMANENTES)

NOTE : Voir le résumé à la section 11.6.

En général, dans les installations permanentes, il doit y avoir au moins deux dispositifs de sécurité indépendants et l'un d'eux doit être un déclencheur qui réagit à l'arrêt de l'écoulement. La redondance des dispositifs de protection contre l'arrêt de l'écoulement est fortement recommandée, en particulier dans les pompes à rotor hélicoïdal excentré. Les installations dotées de pompes à membrane et d'autres pompes volumétriques qui sont raccordées à une tuyauterie n'offrant pas de résistance à l'écoulement nécessitent une instrumentation moins élaborée. Le choix de l'instrumentation doit être fondé sur une analyse des risques et sur des essais qui comportent l'interruption de l'alimentation de la pompe (fonctionnement à sec) ou l'obstruction du circuit de refoulement lorsque la pompe tourne à son régime nominal.

Dans le cas d'une pompe volumétrique, le meilleur dispositif de protection consiste en un déclencheur à haute température ainsi qu'en un manostat à minimum et à maximum qui provoquent l'arrêt de la pompe.

Un disque de rupture est généralement considéré comme un dispositif d'extinction (voir la section 11.2). De ce fait, nombreux sont ceux qui le recommandent comme dispositif de protection secondaire sur toutes les pompes volumétriques dans les installations permanentes et qui le considèrent comme essentiel si l'explosif pompé est du type sensible au détonateur. Voir le paragraphe 10.3.3 (g).

Les pompes à rotor hélicoïdal excentré présentent un danger particulier lorsque leur stator est usé. Voir le paragraphe 10.3.2 (h). Pour prévenir une élévation de pression relativement

faible en cas d'engorgement au refoulement ou d'arrêt de l'écoulement, il faut un fluxostat, placé en aval de la pompe, un thermocouple à haute température placé dans le stator ou un thermocouple différentiel placé de part et d'autre de la pompe. Voir le paragraphe 10.3.3 (o).

11.4 UTILISATION SUR LE TERRAIN, EN SURFACE

NOTE : Voir le résumé de la section 11.6 et l'appendice V pour l'approche adoptée par un comité d'étude qui associe les précautions à prendre aux dangers connus.

Par le passé, de nombreuses opinions ont été exprimées sur l'instrumentation nécessaire à un véhicule de fabrication lorsqu'un opérateur surveille constamment la pompe et le tuyau, comme c'est le cas pour le chargement des trous de mine dans les carrières et les exploitations à ciel ouvert. Des divergences d'opinion subsistent, mais elles semblent moins importantes qu'auparavant. Les recommandations qui suivent font état de l'instrumentation minimale nécessaire, mais **certains sont d'avis qu'une instrumentation plus élaborée est préférable. Voir l'appendice V.**

- i) *Si l'opérateur est près de la pompe et supervise le pompage en palpant le tuyau, il doit y avoir au moins un dispositif, comme une minuterie (environ 3 minutes*), un manostat, un déclencheur thermique, un fluxostat, un tachymètre à rebours ou un déclencheur à bas niveau de réservoir. Il doit y avoir un thermomètre et un manomètre (ces instruments sont utiles pour tous les travaux de pompage) qui permettent à l'opérateur de déceler les signes avant-coureurs d'une situation anormale et d'agir avant qu'elle ne survienne. Si ce n'est pas le cas, deux déclencheurs automatiques indépendants sont requis, en particulier si la pompe employée est du type à rotor hélicoïdal excentré. La plupart des représentants de l'industrie sont d'avis qu'un thermomètre n'est pas nécessaire sur les pompes à membrane à entraînement pneumatique.*
- ii) *Si l'opérateur n'est pas toujours près de la pompe et en mesure de superviser le pompage en palpant le tuyau, mais qu'il surveille l'opération de l'intérieur du véhicule, deux instruments distincts sont nécessaires. Il peut s'agir d'un manostat à minimum et à maximum, d'un déclencheur thermique, d'un capteur de niveau de trémie ou d'un débitmètre qui provoquent l'arrêt de la pompe en cas de dépassement des valeurs limites de fonctionnement. Certains représentants de l'industrie recommandent que l'un des ces dispositifs soit une minuterie. Si la pompe est du type à rotor hélicoïdal excentré, l'installation doit être munie de deux déclencheurs automatiques indépendants et l'un d'eux doit pouvoir détecter l'arrêt du débit. On recommande en plus l'installation d'un disque de rupture qui agira en dernier recours.*

Lorsque des dispositifs RF à basse fréquence et de faible puissance sont employés, il faut tenir compte de la puissance du champ RF si des détonateurs électriques sont stockés ou employés tout près. Voir la partie de la section 11.1 qui traite des dispositifs radiofréquence à faible puissance.

Un dispositif d'injection d'eau au refoulement peut être nécessaire dans certains cas pour réduire la pression et faciliter le chargement.

* Note - Si une minuterie est utilisée, la durée de fonctionnement doit être sélectionnée selon des données expérimentales démontrant qu'elle ne permettra pas au produit d'atteindre une température critique et que celui-ci pourra être manipulé en toute sécurité.

Lorsqu'ils effectuent le **transvasement d'explosifs** sur le terrain, les opérateurs ont tendance à négliger la surveillance par moments. Les pompes de transvasement du type à rotor hélicoïdal excentré doivent être protégées des conditions de fonctionnement hors limites tout comme les installations de chargement de trous de mine décrites en 11.4 (ii) même lorsqu'elles sont raccordées à des tuyaux courts de grand diamètre. Pour d'autres pompes, il faut mettre au point des instruments en fonction de la tendance de celles-ci à surchauffer lorsqu'elles fonctionnent avec un engorgement au refoulement ou qu'elles fonctionnent à sec. Voir les remarques de la section 11.1 et du paragraphe 5 de la section 11.2 sur l'emploi de disques de rupture comme dispositifs de secours. En ce qui concerne les autres types de pompes en général et pour certains types en particulier, voir les sections 11.0 et 10 respectivement, qui mettent l'accent sur la protection contre l'échauffement.

Bien qu'il soit fortement recommandé de ne pas employer de robinetterie en aval des pompes, on voit maintenant que la plomberie du côté refoulement devient de plus en plus compliquée dans un grand nombre d'installations mobiles et qu'elle comprend des appareils commandés pneumatiquement au lieu de l'être à la main. Dans de nombreuses installations, la robinetterie est aussi présente en amont de la pompe. Il est donc essentiel que les robinets pneumatiques commandés par des solénoïdes soient protégés contre la fermeture accidentelle, c'est-à-dire qu'ils soient du type à défaillance en position normalement ouverte, pour qu'il ne se produise pas d'engorgement au refoulement ou que la pompe ne fonctionne pas à sec en cas de baisse de pression dans le circuit pneumatique.

11.5 UTILISATION SUR LE TERRAIN, SOUS TERRE

NOTE : Voir le résumé à la section 11.6.

Sous terre, les pressions de pompage sont généralement plus élevées qu'en surface parce que des tuyaux plus petits sont utilisés pour le transvasement dans des trous descendants et parce que la viscosité du produit pompé dans les trous ascendants est généralement plus élevée. Pour cette raison, on a souvent recours à des pompes à trois ou quatre étages.

Il s'ensuit que les pompes volumétriques à rotor hélicoïdal excentré utilisées sous terre doivent être mieux protégées que les pompes employées en surface peu importe qu'elles soient utilisées par le fabricant d'explosifs ou l'équipe de sautage de la mine. Il faut donc envisager sérieusement de protéger l'installation avec la même instrumentation que si elle se trouvait en usine. Une protection redondante contre l'arrêt de l'écoulement et l'échauffement est essentielle. Voir le paragraphe 10.3.2 (h). Un disque de rupture bien entretenu peut être utile comme dispositif de secours. Voir la section 11.1 et le paragraphe 5 de la section 11.2. Dans le cas des autres pompes, l'instrumentation doit être choisie en fonction de leur tendance à s'échauffer lorsqu'elles fonctionnent à sec ou que le refoulement est engorgé.

Il est recommandé d'alimenter le dispositif d'injection d'eau avec de l'eau potable car l'eau de la mine (non potable) peut réagir avec les explosifs.

On recommande également de placer un tamis sur les bacs d'explosifs pour empêcher des morceaux de roc de tomber dans ceux-ci et d'atteindre la pompe. Dans la plupart des cas, il ne faut pas installer de tamis à l'entrée de la pompe car celui-ci se colmate facilement, causant une sous-alimentation de la pompe qui entraîne de la cavitation et peut donner lieu à un échauffement. Dans ce genre de situation, il y a probablement plus de risques que d'avantages à employer un tamis. Voir la section 6.6, 1^{er} paragraphe.

Les pompes à rotor hélicoïdal excentré servant au pompage d'explosifs dans les trous de mine ont quelquefois été utilisées en sens inverse comme pompes de transfert. Voir les remarques en 9.3 (b) sur l'emploi en sens inverse des pompes à rotor hélicoïdal excentré. Le déclencheur à haute température ne sera efficace que si les capteurs se trouvent dans la pompe. En général, les capteurs se trouvent à la sortie de la pompe. Cependant, lorsque la pompe est employée en sens inverse, la sortie devient l'entrée et les déclencheurs à haute température sont inutiles.

Les progrès de la technologie ont donné lieu à la mise au point d'installations de pompage télécommandées. Si des installations de ce genre sont utilisées, l'évaluation approfondie des dangers doit tenir compte des effets possibles de l'énergie RF en présence de détonateurs électriques et des nouveaux détonateurs électroniques. Voir la partie de la section 11.1 qui traite des dispositifs radiofréquence de faible puissance.

11.6 RÉSUMÉ DE L'INSTRUMENTATION

La question de l'instrumentation est complexe et nous avons pensé que deux résumés seraient utiles. D'autres peuvent être d'avis qu'une instrumentation plus élaborée serait avantageuse (voir la section 11.3).

- La première section (section 11.6.1) est un résumé de l'instrumentation jugée nécessaire selon le type de pompage. Il s'agit d'un «code de pratique» basé sur les meilleures techniques et sur l'expérience acquise par l'industrie.
- La deuxième section (section 11.6.2) est un résumé des dispositifs de protection et des dangers contre lesquels ces dispositifs protègent l'installation. **Ces résumés se veulent le complément des sections 11 à 11.5 et ne visent pas à les remplacer.**

11.6.1 Résumé des instruments à employer selon les opérations

NOTE : Une instrumentation plus élaborée peut être avantageuse.

A) OPÉRATIONS DE POMPAGE EN USINE (INSTALLATIONS PERMANENTES)

- Au moins **deux** dispositifs de sécurité indépendants sont nécessaires. L'un d'eux doit interrompre le fonctionnement de la pompe en cas d'arrêt de l'écoulement. Un bon dispositif est constitué d'un déclencheur à haute température doublé d'un manostat à minimum et à maximum.
- De plus, un thermocouple qui mesure la température à l'intérieur de la pompe et qui interrompt le fonctionnement de celle-ci en dernier recours est généralement recommandé pour les installations permanentes, peu importe le type de pompe.
- Une protection redondante contre l'arrêt de l'écoulement est fortement recommandée, en particulier dans le cas des pompes à rotor hélicoïdal excentré. D'autres dispositifs peuvent aussi être employés. Ce sont les suivants :
 - déclencheur à bas niveau de trémie,
 - débitmètre,
 - minuterie,

- thermocouple à l'intérieur de la pompe,
 - thermocouple aux roulements/joints,
 - thermocouple différentiel de part et d'autre de la pompe.
- Un disque de rupture ou un bouchon thermofusible employés comme dispositifs secondaires de secours sont fortement recommandés si l'installation sert à pomper des explosifs sensibles au détonateur.
 - La robinetterie pneumatique en aval de l'installation de pompage d'explosifs doit être conçue pour **demeurer ouverte** en cas de chute de pression de l'air. De plus, la chute de pression de l'air doit déclencher l'arrêt de la pompe.
 - Les installations dotées de pompes à membrane ou d'autres pompes volumétriques, comme les pompes à engrenages, peuvent nécessiter moins d'instruments. Le choix de l'instrumentation doit être basé sur l'analyse des risques.

B) OPÉRATIONS DE POMPAGE SUR LE TERRAIN, EN SURFACE

B1) Camions de transport en vrac (voir la section 11.4)

- i) Les opérateurs sont présents et surveillent le pompage (tuyau et trémie volante). Généralement deux personnes sont nécessaires.
 - Au moins **un** dispositif doit interrompre automatiquement le fonctionnement de la pompe. Il peut s'agir :
 - d'une minuterie,
 - d'un manostat à maximum,
 - d'un déclencheur à haute température,
 - d'un tachymètre (à rebours),
 - d'un déclencheur à bas niveau de réservoir,
 - d'un fluxostat.
 - Un thermomètre et un manomètre sont également requis.
 - Un dispositif d'injection d'eau au refoulement. Celui-ci réduit la pression de refoulement et facilite le chargement dans la plupart des cas.
 - Considérer la force du champ RF si la pompe est commandée par des dispositifs RF à basse fréquence.
- ii) L'opérateur **n'est pas** constamment sur les lieux en train de superviser le pompage, mais il assure une surveillance de l'intérieur de la cabine pour arrêter la pompe si une situation hors limites est détectée. Il n'y a généralement qu'un seul opérateur. Voir la section 11.4 (ii).
 - **Deux** instruments indépendants doivent interrompre automatiquement le fonctionnement de la pompe :
 - manostat à maximum et à minimum,
 - thermomètre,
 - minuterie,

- déclencheur à bas niveau de trémie,
- débitmètre.
- Dans le cas d'une pompe à rotor hélicoïdal excentré, **deux** instruments automatiques indépendants sont nécessaires et l'un d'eux doit être un fluxostat. L'autre dispositif peut être l'un des suivants :
 - manostat à minimum et à maximum avec thermomètre,
 - déclencheur à bas niveau de trémie, manostat à maximum et thermomètre.
- Un disque de rupture est recommandé comme dispositif secondaire de secours.
- L'injection d'eau au refoulement est recommandée pour réduire la pression et faciliter le chargement.
- La robinetterie pneumatique en aval de l'installation de pompage d'explosifs doit être conçue pour **demeurer ouverte** en cas de chute de la pression d'air. De plus, la chute de la pression d'air doit déclencher l'arrêt de la pompe.

B2) *Opérations de transvasement (Note - Les opérateurs sont tentés de laisser l'installation sans surveillance par moments.)*

- S'il s'agit d'une pompe à rotor hélicoïdal excentré, **deux** instruments indépendants sont nécessaires et l'un d'eux doit être un fluxostat. L'autre dispositif peut être l'un des suivants :

<ul style="list-style-type: none"> - manostat à minimum et à maximum avec thermomètre, - minuterie, 	OU	<ul style="list-style-type: none"> - déclencheur à bas niveau de trémie, manostat à maximum et thermomètre, - minuterie.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
- Un disque de rupture est recommandé.
- Dans le cas d'autres pompes comme celles à membranes et à engrenages, le choix des instruments doit tenir compte des possibilités d'échauffement en cas de fonctionnement à sec ou d'engorgement au refoulement.

C) OPÉRATIONS DE POMPAGE SUR LE TERRAIN, SOUS TERRE

- De nombreux types de pompes exigent une protection redondante contre l'arrêt de l'écoulement et l'échauffement. Consulter la partie qui traite des opérations de pompage en usine pour déterminer l'instrumentation appropriée. La décision doit être basée sur une évaluation des dangers qui tiennent compte de l'environnement où se déroulent les opérations de pompage.
- Les pompes à rotor hélicoïdal excentré nécessitent un disque de rupture bien entretenu, qui peut constituer un bon dispositif de secours pour d'autres pompes.

11.6.2 Résumé des dispositifs de protection et des dangers qu'ils préviennent

Ce résumé sous forme de tableau est tiré en partie de la documentation d'un fournisseur de matériel. Les déclencheurs à haute température, les tachymètres à rebours et les bouchons thermofusibles ont été ajoutés.

Les dispositifs de protection font partie intégrante du système de sécurité de la pompe. Il faut les entretenir correctement et les vérifier régulièrement pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

Dispositif	Protection	Danger
Fluxostat	Arrêt de l'écoulement	Fonctionnement à sec
Manostat à minimum	Arrêt de l'écoulement	Fonctionnement à sec
Manostat à maximum	Pression excessive	Engorgement au refoulement
Disque de rupture	Pression excessive	Engorgement au refoulement
Minuterie ou tachymètre à rebours	Fonctionnement sans surveillance	Échauffement
Soupape de décharge	Limitation du couple	Échauffement
Déclencheur à haute température	Engorgement au refoulement ou faible débit	Échauffement
Bouchon thermofusible et/ou rotor à maillon fusible	Engorgement au refoulement ou faible débit	Échauffement

12. Analyse des risques posés par le procédé

Du fait que chaque type d'explosif a une sensibilité qui lui est propre, la pompe et l'explosif pompé doivent être considérés comme un tout. Chaque installation de pompage doit faire l'objet d'une analyse des risques posés par le procédé et cette analyse doit être refaite périodiquement par la suite, aux trois ans environ. Il est nécessaire d'établir un processus exigeant de signaler les changements à apporter aux méthodes d'exploitation et aux matériels afin que toute modification ne soit effectuée qu'après avoir été étudiée et approuvée par la direction. Tous les changements susceptibles de se répercuter sur la sécurité doivent faire l'objet d'une évaluation des dangers avant d'être mis en oeuvre.

L'analyse des risques posés par le procédé doit porter aux moins sur les aspects suivants :

- a) nature du produit à pomper;
- b) conditions à l'entrée et à la sortie de la pompe;
- c) pompe et source d'énergie;
- d) commandes de la pompe, y compris régime, pression, température et débit;
- e) environnement de la pompe;
- f) instrumentation;
- g) opérateur et consignes d'exploitation.

L'évaluation des dangers doit envisager au moins certaines possibilités comme la présence d'un surplus d'énergie et la concentration de celle-ci, certains problèmes de compatibilité et les dangers qu'il faut prévenir :

- a) confinement du produit;
- b) couple de la pompe;
- c) pression interne ou pression de refoulement ;
- d) friction;
- e) température élevée du produit;
- f) impacts (en particulier, les impacts métal sur métal);
- g) compatibilité des matériaux constitutifs de la pompe, des lubrifiants et du produit pompé;
- h) compatibilité des installations électriques et de l'environnement;
- i) compatibilité de la pompe et du produit compte tenu de la sensibilité de celui-ci;
- j) présence de pailles ou de fissures dans les composants métalliques;
- k) contamination du produit par des corps étrangers métalliques, des saletés ou des particules abrasives;
- l) énergie cinétique.

Une évaluation des dangers est une tâche qui exige des compétences. Toute entreprise qui ne possède pas les compétences nécessaires devrait avoir recours à une firme d'expertise-conseil. Celle-ci pourrait effectuer l'évaluation ou former le personnel de l'entreprise dans ce domaine.

13. Formation

Tous les membres du personnel qui utilisent, réparent, entretiennent ou modifient des pompes employées pour des explosifs doivent recevoir une formation et des cours de perfectionnement conformément aux exigences énoncées dans les consignes permanentes d'exploitation. Les principales étapes à suivre sont décrites ci-après.

- a) Déterminer les compétences nécessaires.
- b) Déterminer si l'entreprise possède les compétences nécessaires à l'interne. Le recours aux services d'une firme d'expertise-conseil pourra être nécessaire.
- c) Mettre sur pied des programmes de formation. Il doit y avoir un programme de formation distinct pour chaque type de pompe et un module de formation pour chaque type de compétence à acquérir.
- d) Un plan de formation doit être établi pour chaque employé et la formation doit faire l'objet d'un suivi qui doit être consigné dans un dossier.
- e) S'assurer qu'il existe un manuel d'exploitation ainsi qu'un journal d'exploitation pour chaque pompe et le matériel employé avec cette pompe.
- f) La formation doit consister en des sessions théoriques dispensées en salle de cours de même qu'en des travaux pratiques effectués sous la supervision d'un opérateur expérimenté. La formation doit porter sur les points décrits ci-après sans nécessairement s'y limiter.
 - L'employé doit absolument se familiariser avec le manuel d'exploitation et le manuel du fabricant de la pompe. Des modèles, des écorchés, des dessins et des schémas du débit de la pompe et de la tuyauterie sont très utiles pour faciliter la compréhension.
 - Il est possible d'avoir recours à de courtes présentations sur vidéo pour faire connaître les types de pompes et pour aborder des scénarios montrant la marche à suivre en cas de mauvais fonctionnement de la pompe.
 - On peut se servir de vidéos et de documents comme des rapports d'incidents pour démontrer que la plupart des incendies et des explosions associés à des explosifs à base d'eau ont débuté dans la pompe, en raison d'un bris de celle-ci ou d'une mauvaise méthode d'exploitation.
 - Décrire l'allumage, la combustion, la transition vers la détonation et la mise à feu entraînant directement la détonation des explosifs à base d'eau de même que les caractéristiques d'allumage des explosifs sous l'effet de la friction, d'un impact ou de la chaleur.
 - La formation pratique doit aborder les opérations normales de même que le démontage, l'inspection et l'entretien de la pompe dont il est question. Il faut traiter de la marche à suivre pour établir les modèles d'étalonnage nécessaires au dépannage ainsi que pour assurer le bon fonctionne-

ment des instruments et des dispositifs de verrouillage de sécurité. La formation doit aussi aborder la tenue des journaux d'exploitation et la marche à suivre pour signaler les incidents.

Il ne faut pas négliger non plus d'autres aides didactiques au cours de la mise sur pied du programme de formation : tableaux noirs, rétroprojecteurs, projecteurs de diapositives, vidéos sur la sécurité, films et cahiers de formation.

- g) Les personnes ayant participé à un programme de formation ne devraient être autorisées à faire fonctionner une pompe qu'après avoir obtenu une note satisfaisante à un examen qui devrait être théorique et pratique.
- h) Les personnes ayant obtenu une note satisfaisante devraient recevoir un certificat et ce fait devrait être consigné dans leur dossier.
- i) Les opérateurs devraient participer à un programme de recyclage au moins aux deux ans ou dès que des modifications sont apportées à l'installation de pompage dont ils ont la responsabilité.
- j) En plus d'offrir des programmes de recyclage à ses employés, toute entreprise qui utilise des pompes à explosifs dans le cadre de ses activités devrait tenir des discussions périodiques (au moins aux trois mois) avec ses employés sur les mesures de sécurité relatives au pompage des explosifs.

14. Mesures générales de sécurité

Les opérateurs d'installations de pompage d'explosifs doivent s'assurer qu'ils comprennent bien les consignes de sécurité avant de mettre les installations en marche et ils doivent respecter ces consignes en tout temps.

Il faut mettre sur pied un programme efficace de formation et de recyclage qui traite de la sécurité du personnel, de la manipulation des matières explosives, des consignes d'exploitation et du matériel.

Le personnel qui travaille à proximité du matériel de chargement en vrac doit porter des lunettes et des chaussures de sécurité en tout temps de même qu'un masque anti-poussière pendant le chargement des granules de nitrate d'ammonium. Partout où des objets risquent de chuter, le casque de sécurité est de rigueur en tout temps.

Pour le pompage depuis un camion, l'opérateur doit porter des vêtements qui lui couvrent les bras et les jambes.

Ne pas porter de vêtements amples, de collier, de chaînette ou de bague à proximité du matériel de chargement en vrac ou des installations d'encartouchage en usine.

Porter des gants lorsqu'il est impossible d'éviter le contact avec les substances qui entrent dans la composition des explosifs. Consulter un médecin en cas d'éruption cutanée ou de dermatite.

Les coupures ouvertes doivent être protégées de manière à ne pas entrer en contact avec les explosifs et les ingrédients contenus dans ceux-ci.

Le contact avec des explosifs ou leurs ingrédients, en particulier le contact prolongé, peut causer des démangeaisons, une sensation de brûlure ou une dermatite. **Consulter les fiches de sécurité des produits pertinents.**

En cas de contact, les explosifs et leurs ingrédients peuvent causer des lésions aux yeux même si les symptômes (brûlures, inconfort) ne se manifestent pas dans l'immédiat. Asperger les yeux avec de l'eau pendant 15 minutes au moins et consulter un médecin sans tarder.

L'ingestion d'explosifs ou d'ingrédients contenus dans ceux-ci peut être nocive même en l'absence de symptômes comme la nausée. Consulter un médecin aussitôt.

Les vêtements contaminés peuvent constituer un risque d'incendie ou causer une dermatite en cas de contact prolongé. Enlever les vêtements contaminés et les laver avant de les porter de nouveau.

Tous les explosifs renversés, en particulier sur les échelles et dans les voies de circulation, doivent être récupérés sur-le-champ, parce qu'ils rendent souvent les surfaces glissantes. La récupération doit être effectuée selon les consignes en vigueur sur la réglementation environnementale et la sécurité relative aux explosifs. En cas de déversement important, consulter le fabricant.

Les joints tournants doivent être recouverts d'un carter de protection.

Des vis sans fin sont souvent employées dans les installations de pompage sur le terrain. Les portes de nettoyage doivent être fermées et verrouillées avant la mise en marche des vis sans fin. Avant de tenter de nettoyer une vis sans fin coincée ou de la réparer, il faut toujours débrayer la prise de force. Examiner la vis sans fin pour voir si les extrémités de celle-ci portent des marques ou si des objets y sont coincés. Au besoin, la réparer avant de s'en servir. Avant d'entreprendre des réparations ou des travaux à haute température sur une vis sans fin, il faut la laver ou la nettoyer à la vapeur. En raison de leur conception, les vis sans fin à arbre creux, qui équipent principalement le matériel mobile, sont généralement faciles à démonter sur le terrain et permettent de nettoyer l'intérieur du tube d'entraînement à la vapeur. Les opérateurs doivent savoir comment effectuer cette décontamination avant d'entreprendre des travaux à chaud de quelque nature que ce soit.

Les consignes de verrouillage et de pose d'étiquettes doivent être respectées au cours des travaux d'entretien.

Inspecter visuellement les supports de la pompe et du moteur hydrauliques.

Inspecter visuellement les tuyaux. Remplacer immédiatement les tuyaux usés ou endommagés. Éviter le pincement du tuyau sur le dévidoir.

Inspecter visuellement le disque de rupture. S'assurer qu'un disque de calibre approprié est en place et que le tuyau d'évent qui dessert le disque est bien dégagé.

Ne jamais débrancher une alarme ou contourner un dispositif de sécurité de l'installation de pompage. Dès qu'une alarme se déclenche, l'installation de pompage doit être arrêtée et elle ne doit pas être remise en marche tant que le problème n'a pas été solutionné.

L'emploi de fouloirs de presse-garniture n'est pas recommandé. Si toutefois l'installation en comporte, prendre garde de trop serrer leur écrou.

Respecter le règlement en vigueur sur les lieux ou à l'usine en ce qui concerne l'interdiction de fumer, les allumettes, les articles générateurs de flamme, les flammes nues, les armes à feu et les munitions.

Lorsqu'ils exécutent des travaux de réparation ou d'entretien sur les camions de transport en vrac, les opérateurs doivent respecter les consignes de sécurité établies.

Toutes les pompes à explosifs et leur tuyauterie doivent être démontées avant de subir des réparations importantes. S'il y a des cavités, des filets ou d'autres espaces semi-confinés difficiles à nettoyer, une décontamination peut être nécessaire avant le démontage. La décontamination doit être effectuée conformément à la méthode approuvée et uniquement après consultation d'une personne ayant les connaissances et l'expérience nécessaires.

Aucun travail à chaud de quelque nature que ce soit ne doit être exécuté sur une pompe ou un matériel connexe ou sur le véhicule à bord duquel est montée la pompe tant que tous les matériaux oxydants, les combustibles et les matériaux explosifs n'ont pas été enlevés et que l'équipement n'a pas été lavé à fond ou nettoyé à la vapeur. Les effluents provenant du lavage doivent satisfaire aux exigences de la réglementation environnementale. Il faut les traiter avant de les rejeter dans l'environnement ou les expédier aux fins de traitement.

L'extérieur du camion de transport en vrac doit être nettoyé avant l'exécution de petits travaux de réparation et d'entretien.

15. Procédures d'entretien et liste de vérification

Il faut établir un calendrier et tenir un dossier d'entretien pour chaque pompe. Tout programme de formation doit familiariser le personnel avec cette façon de faire et mettre l'accent sur la nécessité d'une telle approche.

Les calendriers d'entretien doivent être établis par le fabricant d'explosifs après consultation avec le fabricant de la pompe.

En l'absence d'autres renseignements utiles, on peut utiliser le tableau de l'appendice I pour déterminer la fréquence des travaux d'entretien préventif à effectuer sur une installation de pompage.

Un journal d'exploitation doit accompagner chaque pompe et faire état des révisions, des problèmes, etc. On doit également tenir un dossier d'entretien qui permet de s'assurer que l'entretien nécessaire a été effectué et sur lequel on s'appuiera pour modifier au besoin le calendrier d'entretien.

Un facteur de totalisation doit être utilisé pour faciliter l'établissement du calendrier d'entretien préventif ou pour déterminer la fréquence des entretiens; il peut s'agir, par exemple, du nombre de tours effectués par la pompe ou du nombre de livres pompées.

Seuls des pistolets de graissage manuels doivent être employés pour le graissage des pompes.

Les normes ISO de gestion de la qualité font l'unanimité partout dans le monde. Un document présenté à l'assemblée générale annuelle de l'Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole (ICM) qui a eu lieu en 1997 pourrait être utile aux responsables de la gestion de l'entretien. Ce document, produit par Ken Musgrave, s'intitule *Managing Maintenance in the 21st Century*. Bien qu'il s'applique à l'exploitation minière du métal commun, les mesures qu'il décrit sont facilement adaptables à l'industrie des explosifs.

L'article susmentionné de l'ICM comprend l'appendice VI qui établit une comparaison entre la norme ISO 9001 et la norme relative au système de gestion de l'entretien (SGE). Les mêmes numéros apparaissent mais des modifications ont été apportées pour mettre l'accent sur l'entretien.

16. Appendices

L'appendice I présente une liste de vérification provisoire aux fins d'entretien.

L'appendice II présente une liste de vérification aux fins de dépannage.

L'appendice III présente la philosophie de la Federation of European Explosives Manufacturers en matière de sécurité.

L'appendice IV propose un formulaire pour communiquer à l'industrie les incidents causés par des pompes.

L'appendice V décrit l'approche adoptée par un comité chargé d'étudier la question de l'instrumentation. Il s'agit d'une méthode systématique employée pour établir un lien entre des dangers connus et des précautions à prendre.

L'appendice VI présente l'approche de l'ISO en matière d'entretien.

Appendice I

FRÉQUENCE DE L'ENTRETIEN

	Quotidien	Hebdo- madaire	Mensuel	Trimestriel	Semestriel	Annuel	Bisannuel
Pompe à explosifs				X	X		
Croisillons d'accouplement	X						
Purge sous pression des tuyaux	X						
Boulons transversaux de la vis sans fin	X						
Capteur de pression						X	
Manostat			X				
Alarme de faible aspiration						X	
Pompe d'injection d'eau		X					
Dévidoir de tuyau		X					
Réservoir de fluide hydraulique	X						
Conduite et soupape du circuit hydraulique	X						
Réservoir d'explosifs	X	X	X			X	X
Extincteur			X				
Tuyauterie d'aspiration de la pompe		X					
Soupape D.O.T.	X						
Réservoir d'air (avec purgeur) du système pneumatique			X				
Chambre d'aspiration de la pompe					X		
Tuyau de refoulement	X	X	X				
Disque de rupture	X	X	X				

En l'absence d'autres renseignements utiles, on peut utiliser ce tableau pour établir la fréquence des travaux d'entretien d'une installation de pompage.

Appendice II

Pas de démarrage de la pompe	Pas d'amorçage de la pompe	Faible débit du produit	Pression de refoulement élevée	Débit irrégulier de la pompe	Pompe bruyante	Pompe arrêtée ou grippée	Usure du stator ou des pignons	Débit d'injection d'eau inopérant	Alarme d'aspiration	Alarme haute pression	Dévidoir inopérant (défectueux)	Dévidoir inopérant	Haute pression	Tachymètre et totalisateur	
x															Mauvais fonctionnement de la pompe
x															Pression excessive entre le stator et le rotor
x															Prise de force non embrayée
	x								x						Soupape du réservoir du produit fermée
				x											Réservoir du produit vide ou presque vide
			x												Défectuosité du dispositif d'injection d'eau
			x					x							Vérifier le niveau du réservoir d'eau
x			x				x			x					Tuyau du produit engorgé
													x		Soupape de refoulement non ouverte complètement
x						x					x	x			Mauvais fonctionnement du système hydraulique
x															Manque de fluide hydraulique
x		x									x	x			Faible pression de la pompe hydraulique
x									x		x	x			Fuite par le distributeur hydraulique
x									x		x	x			Défectuosité du distributeur hydraulique
x									x		x	x			Raccord du moteur hydraulique brisé
											x	x			Chaîne d'entraînement du dévidoir brisée
			x	x											Mauvais réglage du régime des composants
											x				Capteur dérégulé
										x					Manostat dérégulé
										x	x			x	Défectuosité d'ordre électrique
														x	Borniers sales
														x	Fils vers transducteur coupés ou court-circuités
														x	Transducteur dérégulé
x														x	Relais défectueux
x	x														Sens de rotation de la pompe inversé
						x									Joints de l'arbre d'entraînement usés
x						x	x								Corps étrangers dans la pompe
						x									Manque de jeu des bielles et axes d'accouplement
x						x									Pompe mal positionnée
x															Clavettes cisailées ou manquantes
		x						x							Défaut d'étanchéité, aspiration ou joint d'arbre

Appendice III

PHILOSOPHIE EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ

Depuis toujours, les risques que pose la manutention des explosifs classiques sont attribuables à la présence de sensibilisants comme la nitroglycérine et le TNT ainsi qu'à la présence de particules abrasives ou de particules qui accroissent la sensibilité en produisant des impacts ou de la friction.

Dans le cas des nouveaux explosifs à base d'eau, ce risque a été réduit considérablement du fait que le sensibilisant, principal composant dangereux, a été enlevé.

Cependant, il ne faut jamais oublier que même si la sensibilisation se fait différemment, la détonation d'un explosif à base d'eau est tout aussi dévastatrice que celle produite par un explosif classique. La reconnaissance de ce fait a donné lieu à une école de pensée selon laquelle les techniques de fabrication et les précautions à prendre doivent être les mêmes pour les émulsions explosives et les explosifs gélifiés que pour les explosifs à base de nitroglycérine. Pour sa part, la Federation of European Explosives Manufacturers prétend que, même si cette opinion se défend, il n'est pas nécessaire d'adopter une position aussi extrême pour autant qu'on comprenne bien les causes des accidents, que ces causes soient analysées correctement et qu'on accorde à chaque facteur l'importance voulue dans le cadre de l'évaluation de sécurité.

Au cours des enquêtes portant sur des accidents, on cherche la plupart du temps à trouver une seule cause. En réalité, une explosion accidentelle est souvent le résultat d'un enchevêtrement complexe de facteurs mécaniques, physiques, chimiques et psychologiques. Regrouper ces facteurs de façon à pouvoir les interpréter n'est pas une mince tâche. Aux fins des présentes, il suffit de considérer que la sécurité de l'environnement dans lequel un explosif est fabriqué est déterminée par la capacité de cet explosif de tolérer un certain nombre de facteurs humains et techniques défavorables qui, isolément, ne compromettent pas la sécurité de l'explosif. Pour chaque explosif, cependant, il existe un seuil au-delà duquel les facteurs mentionnés excèdent la tolérance de sécurité de cet explosif, ce qui entraîne une mise à feu accidentelle. Ce seuil critique varie d'un explosif à l'autre, mais les facteurs en cause sont toujours les mêmes.

Facteurs humains liés au danger

- Conscience du risque
- Style de gestion
- Supervision
- Vérification et contrôle
- Information et formation
- Cadence de production et méthode de rémunération
- Relations interpersonnelles dans les équipes de travail
- Tenue des lieux
- Négligence
- Violation des règlements en vigueur
- Ignorance, erreurs
- Facultés intellectuelles et capacités physiques insuffisantes
- Maladie grave
- Alcool, drogues

Facteurs techniques liés au danger

- Conception et construction des installations de fabrication
- Mauvais fonctionnement des machines et des instruments
- Entretien
- Gradients de pression, de température et de vitesse
- Friction, impact, bulles d'air
- Particules abrasives et corps étrangers
- Électricité statique
- Conditions atmosphériques
- Modifications apportées à la composition
- Modification de la matière première
- Stabilité chimique
- Type de pompe
- Instructions de travail inadéquates
- Mauvais outils ou outils défectueux
- Environnement de travail

Selon la Federation of European Explosives Manufacturers, la plupart des entreprises réussissent à créer un environnement tel que tous ces facteurs sont pris en compte. Toutefois, dans certaines circonstances, divers facteurs peuvent s'accumuler et influencer sur le niveau total des contraintes. Dans des conditions normales, les contraintes demeurent bien en-deçà du seuil critique, mais, à l'occasion, certains facteurs peuvent jouer simultanément, entraîner le dépassement du seuil critique et provoquer un accident.

La mise en service des explosifs à base d'eau a permis une hausse considérable du niveau critique des contraintes ou de la tolérance. Du fait qu'ils peuvent supporter des charges mécaniques très élevées, ces explosifs devraient procurer une très grande marge de sécurité au cours de leur fabrication. Malheureusement, cela n'a pas été le cas. La Federation of European Explosives Manufacturers est d'avis que la situation est attribuable à un changement d'attitude à l'égard des facteurs influant sur la sécurité.

Un facteur à tout le moins a été négligé, celui de la conscience du danger. Il a été démontré en laboratoire que les nouveaux explosifs peuvent supporter à peu près n'importe quelle charge mécanique. Dans la pratique, on a profité de cet avantage. Les gradients de pression, de température et de vitesse ont été accrus et on a adopté des méthodes de fabrication qui peuvent et qui ont occasionné des élévations de température inacceptables ayant causé décompositions, déflagrations et détonations. Le travail est donc exécuté dans un environnement où le niveau de contraintes est beaucoup plus élevé que s'il s'agissait d'explosifs classiques. Cette pratique est acceptable pour autant que le seuil critique s'appliquant aux explosifs à base d'eau ne soit pas atteint.

Étant donné l'amélioration de la sécurité intrinsèque, nous prétendons, sans grand risque de nous tromper, que l'application aux explosifs à base d'eau des régimes de sécurité et des règlements qui sont recommandés pour les explosifs classiques entraînerait l'élimination de presque toutes les explosions accidentelles au cours de la fabrication. La plus grande sécurité des techniques de fabrication peut inciter la direction et les opérateurs à faire preuve de laxisme, ce qui équivaut trop souvent à ne pas bénéficier de cet avantage. Cette tendance peut mener à une accumulation de manquements à la sécurité susceptible d'entraîner, même dans le cas de compositions à sécurité intrinsèque, un dépassement du seuil critique se soldant par un accident.

Remerciements :

Federation of European Explosives Manufacturers, *Code of Good Practice on Safety of Machine Design in the Processing of Emulsions and Water-Gels* (publication n° 18).

Appendice IV

RAPPORT D'INCIDENT CAUSÉ PAR UNE POMPE

ENTREPRISE : _____ SOCIÉTÉ MÈRE : _____

LIEU : _____ LIEU : _____

DATE : _____

OPÉRATEUR(S) : _____

DESCRIPTION DE L'INCIDENT (y compris le lieu et la date de l'événement) :

RENSEIGNEMENTS SUR LE PRODUIT (indiquer les unités)

Nom du produit : _____ Température : _____

Sensibilisant : Oui Non Densité : _____

Type : _____

Teneur en eau (%) : _____ Viscosité à : _____

DONNÉES SUR LA POMPE (indiquer les unités)

Type de pompe : _____ Modèle : _____ Nombre d'étages : _____

Pression de refoulement : _____ Cadence de pompage : _____

Application : _____

Disque de rupture : Oui Non Type : _____ Réglage : _____

Injection d'eau : _____

Type de tuyau de refoulement : _____ Longueur du tuyau : _____ Diamètre du tuyau : _____

Dispositif d'arrêt (description) : _____

Date d'installation de la pompe : _____ Débit estimé : _____

Date du dernier entretien : _____

Description : _____

Rempli par : _____ Poste : _____

Adresse : _____

Date : _____ Téléphone : _____ Télécopieur : _____

Mesures correctives prises : _____



Appendice V

Type de pompe	Situation dangereuse	Mesure de protection recommandée
Pompe à rotor hélicoïdal excentré	Fonctionnement à sec de la pompe	Présence d'un opérateur formé, manomètre facile à observer pour l'opérateur et dispositif de sécurité redondant. L'un des dispositifs de sécurité redondants suivants peut être employé : manostat à minimum, déclencheur à minuterie, fluxostat, déclencheur à thermocouple ou bouchon thermofusible; et deux dispositifs de sécurité indépendants (un manomètre ne peut être relié à un manostat).
	Engorgement au refoulement	Présence d'un opérateur formé, manomètre facile à observer pour l'opérateur, étalonnage périodique pour déceler le patinage et un dispositif de sécurité redondant. Compte tenu des exigences des fabricants d'explosifs, l'un de ces dispositifs de sécurité redondants peut être employé : disque de rupture calibré à une pression inférieure à celle causée par un engorgement au refoulement, manostat à maximum, limiteur de couple, bouchon thermofusible ou fluxostat; et deux dispositifs de protection indépendants.
	Corps étrangers	Aucun dispositif de sécurité n'est obligatoire. Si un tamis est installé, la taille des mailles doit être conforme aux exigences du fabricant.
	Cavitation	L'installation doit être conçue pour empêcher la cavitation. Il faut tenir compte du régime de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité du produit et des fuites. Il est impossible de définir une norme parce que la cavitation est difficile à mesurer.
	Friction	L'installation doit être conçue pour empêcher la friction. Les fouloirs de presse-garniture ne sont pas recommandés.
	Régime excessif	Le fabricant d'explosifs doit préciser le régime maximal de la pompe du fait qu'un apport d'énergie excessif favorise la cavitation, les impacts, la friction, l'engorgement au refoulement et le fonctionnement à sec. Le fabricant doit préciser les caractéristiques du moteur et de la robinetterie de même que les réglages de puissance de sorte que le régime de la pompe ne dépasse pas le régime recommandé.
	Patinage de la pompe	Il peut être contrôlé au cours de l'étalonnage de la pompe (voir engorgement au refoulement).
	Accumulation de produit	Elle doit être réduite autant que possible et chaque fabricant d'explosifs doit fournir des précisions à cet égard.

Type de pompe	Situation dangereuse	Mesure de protection recommandée
Pompe à rotor hélicoïdal excentré (suite)	Desserrage des boulons et des écrous de retenue	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et les vérifications nécessaires doivent être effectuées au cours de l'entretien.
	Bris des joints	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et l'état des joints doit être contrôlé au cours de l'entretien.
Pompe à engrenages et pompe à lobes	Friction	Les pignons doivent être recouverts de caoutchouc. Ils ne sont pas recommandés pour le pompage d'émulsions qui renferment des granules de nitrate d'ammonium ou des particules abrasives semblables. La friction occasionnée par les plaques latérales doit être examinée par le fabricant d'explosifs.
	Bagues et roulements	Des roulements extérieurs doivent être employés afin d'éviter l'infiltration du produit dans ceux-ci. Pas de laiton.
	Fonctionnement à sec de la pompe	Le fabricant d'explosifs doit préciser les mesures de protection.
	Engorgement au refoulement	Un dispositif de sécurité conforme aux exigences du fabricant d'explosifs. Il peut s'agir de l'un ou l'autre des dispositifs suivants : disque de rupture calibré à une pression inférieure à celle causée par un engorgement au refoulement, manostat à maximum, limiteur de couple, bouchon thermofusible ou fluxostat; et essais en cours d'étalonnage visant à limiter les effets de l'usure et à maintenir la limite de pression supérieure à la pression de déclenchement de tout dispositif de sécurité employé.
	Corps étranger	Aucun dispositif de sécurité n'est obligatoire. Si un tamis est installé, la taille des mailles doit être conforme aux exigences du fabricant.
	Cavitation	L'installation doit être conçue pour empêcher la cavitation. Il faut tenir compte du régime de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité du produit et des fuites. Il est impossible de définir une norme parce que la cavitation est difficile à mesurer.
	Friction	L'installation doit être conçue pour empêcher la friction. Les fouloirs de presse-garniture ne sont pas recommandés.
	Régime excessif	Le fabricant d'explosifs doit préciser le régime maximal de la pompe du fait qu'un apport d'énergie excessif favorise la cavitation, les impacts, la friction, l'engorgement au refoulement et le fonctionnement à sec. Le fabricant doit préciser les caractéristiques du moteur et de la robinetterie de même que les réglages de puissance afin que le régime de la pompe ne dépasse pas le régime recommandé.

Type de pompe	Situation dangereuse	Mesure de protection recommandée
Pompe à engrenages et pompe à lobes (suite)	Patinage de la pompe	Il peut être contrôlé au cours de l'étalonnage de la pompe (voir engorgement au refoulement).
	Accumulation du produit	Elle doit être réduite autant que possible et chaque fabricant d'explosifs doit fournir des précisions à cet égard.
	Desserrage des boulons et des écrous de retenue	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et les vérifications nécessaires doivent être effectuées au cours de l'entretien.
	Bris des joints	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et l'état des joints doit être contrôlé au cours de l'entretien.
Pompe à piston	Fonctionnement à sec	Le fabricant d'explosifs doit préciser quelles sont les pompes acceptables et les mesures de sécurité requises. Il faut tenir compte de la puissance d'alimentation, des impacts, de la dissipation de la chaleur et du produit. Les dispositifs de sécurité conseillés sont les suivants : manostat à minimum, déclencheur à minuterie, fluxostat, déclencheur à thermocouple ou bouchon thermofusible.
	Engorgement au refoulement	La pompe doit être conçue pour caler à une pression inférieure à la pression maximale recommandée par le fabricant d'explosifs compte tenu des conditions de pompage et du produit pompé. Le fabricant d'explosifs doit recommander une pompe dont le piston cesse de se déplacer en cas d'arrêt de l'écoulement du produit.
	Compression adiabatique des bulles d'air	Le fabricant d'explosifs doit évaluer ce point en fonction de l'installation de pompage et du produit.
	Corps étrangers	Aucun dispositif de sécurité n'est obligatoire. Si un tamis est installé, la taille des mailles doit être conforme aux exigences du fabricant.
	Cavitation	L'installation doit être conçue pour empêcher la cavitation. Il faut tenir compte du régime de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité du produit et des fuites. Il est impossible de définir une norme parce que la cavitation est difficile à mesurer.
	Friction	L'installation doit être conçue pour empêcher la friction. Les fouloirs de presse-garniture ne sont pas recommandés.

Type de pompe	Situation dangereuse	Mesure de protection recommandée
Pompe à piston (suite)	Régime excessif	Le fabricant d'explosifs doit préciser le régime maximal de la pompe du fait qu'un apport d'énergie excessif favorise la cavitation, les impacts, la friction, l'engorgement au refoulement et le fonctionnement à sec. Le fabricant doit préciser les caractéristiques du moteur et de la robinetterie de même que les réglages de puissance de sorte que le régime de la pompe ne dépasse pas le régime recommandé.
	Bris d'un joint et/ou d'un arbre	Le fabricant d'explosifs doit déterminer les spécifications de la pompe ainsi que les exigences en matière d'entretien. Les joints doivent être étanches.
	Patinage de la pompe	Il peut être contrôlé au cours de l'étalonnage de la pompe (voir engorgement au refoulement).
	Accumulation de produit	Elle doit être réduite autant que possible et chaque fabricant d'explosifs doit fournir des précisions à cet égard.
	Desserrage des boulons et des écrous de retenue	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et les vérifications nécessaires doivent être effectuées au cours de l'entretien. Une attention particulière doit être accordée à l'impact qui peut être occasionné par le piston en cas de desserrage de la bielle.
	Bris des joints	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et l'état des joints doit être contrôlé au cours de l'entretien.
Pompe à membrane à entraînement pneumatique	Contact métal sur métal	(Voir les recommandations dans le document de l'IME.) Limiter la pression d'air d'alimentation de la pompe ou suivre les recommandations du fabricant d'explosifs (valeur la plus faible des deux).
	Bris de membrane	Prise en compte par les fabricants des problèmes d'entretien découlant de l'incompatibilité de certains matériaux.
	Corps étrangers	Aucun dispositif de sécurité n'est obligatoire. Si un tamis est installé, la taille des mailles doit être conforme aux exigences du fabricant.
	Cavitation	L'installation doit être conçue pour empêcher la cavitation. Il faut tenir compte du régime de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité du produit et des fuites. Il est impossible de définir une norme parce que la cavitation est difficile à mesurer.

Type de pompe	Situation dangereuse	Mesure de protection recommandée
Pompe à membrane à entraînement pneumatique (suite)	Friction	L'installation doit être conçue pour empêcher la friction. Les fouloirs de presse-garniture ne sont pas recommandés.
	Patinage de la pompe	Il peut être contrôlé au cours de l'étalonnage de la pompe (voir engorgement au refoulement).
	Accumulation de produit	Elle doit être réduite autant que possible et chaque fabricant d'explosifs doit fournir des précisions à cet égard.
	Desserrage des boulons et des écrous de retenue	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et les vérifications nécessaires doivent être effectuées au cours de l'entretien.
	Bris des joints	Ce risque doit être évalué par le fabricant d'explosifs et l'état des joints doit être contrôlé au cours de l'entretien.

Appendice VI

Comparaison de la norme ISO 9001 et de la norme SGE*

ISO 9001	Norme SGE
1 Portée	1 Portée
2 Référence normative	2 Textes de référence
3 Définitions	3 Définitions
4 Exigences du système qualité	4 Exigences du système d'entretien
4.1 Responsabilité de la direction	4.1 Responsabilité de la direction
4.2 Système qualité	4.2 Système d'entretien
4.3 Revue de contrat	4.3 Revue de contrat (peut être sans objet)
4.4 Contrôle de la conception	4.4 Contrôle de la conception
4.5 Contrôle des données et des documents	4.5 Contrôle des données et des documents
4.6 Achats	4.6 Achats
4.7 Contrôle du produit fourni par le client	4.7 Contrôle du produit fourni par le client (sans objet)
4.8 Identification et traçabilité des produits	4.8 Identification et traçabilité des produits
4.9 Contrôle de procédé	4.9 Contrôle de l'entretien. Il s'agit de l'aspect le plus important qui doit comprendre les pratiques normalisées, les consignes de sécurité et l'entretien préventif
4.10 Inspection et essai	4.10 Inspection et essai
4.11 Contrôle du matériel d'inspection, de mesure et d'essai	4.11 Contrôle du matériel d'inspection, de mesure et d'essai
4.12 État d'avancement des essais et des inspections	4.12 État d'avancement des essais et des inspections
4.13 Contrôle des produits non conformes	4.13 Contrôle des non-conformités
4.14 Mesures préventives et correctives	4.14 Mesures préventives et correctives
4.15 Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison	4.15 Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison
4.16 Contrôle des dossiers en matière de qualité	4.16 Contrôle des dossiers d'entretien
4.17 Vérifications internes de la qualité	4.17 Vérifications internes de l'entretien
4.18 Formation	4.18 Formation
4.19 Entretien et réparation	4.19 Entretien et réparation (peut être sans objet)
4.20 Techniques statistiques	4.20 Techniques statistiques (mesure du rendement en matière d'entretien)

* Norme relative au système de gestion de l'entretien (SGE)

17. Index

Arbres d'entraînement flexibles	10.3.3 (e)
Arrêt de l'écoulement	
engorgement au refoulement	7.2; 10.4.2 (f); 10.6.2 (d)
fonctionnement à sec	7.2; 10.3.2 (a); 10.4.2 (d)
Bouchons thermofusibles	11.2
Bouillies	4.1
Carrières	9.2; 11.4
Cas d'échauffement	6.5; 7.1; 7.3; 10.3.2 (h)
Cavitation	10.3.2 (d); 10.6.2 (e)
Combustion (pression minimale de combustion)	6.2
Compression adiabatique	7.3; 10.5.2 (c)
Compteurs	11.1; 11.2
Consignes d'exploitation	3 (b)
Corps étrangers	10.1.2 (e); 10.3.3 (a); 10.3.3 (j)
Cuivre	2.8; 6.5
Débitmètres	11.1; 11.2
Définitions	1.3
Dispositifs radiofréquence	11.1
Disques de rupture	8.2; 10.3.3 (g); 11.1; 11.2; 11.3
Échauffement sous l'effet de la compression	6.6
Émulsion explosive	1.3; 4.1
Énergie cinétique	6.6; 7.3; 10.3.3 (a)
Engorgement au refoulement	Voir arrêt de l'écoulement
Entretien	Voir entretien préventif
Entretien préventif	3 (b); 15
Évaluation des dangers	3 (a); 7.3; 12
Exploitation à ciel ouvert	9.2; 11.4
Explosifs gélifiés	1.3; 4.1
Formation	3 (b); 13
Fouloirs de presse-garniture	6.5; 6.9; 10.7.5; 14
Instrumentation	
dispositifs	11.1; 11.6.2
usine	11.3; 11.6
pompage en surface	11.4; 11.6
pompage sous terre	11.5; 11.6; 10.3.3 (j)
Inversion du sens de fonctionnement	9.3 (b); 10.3.2 (b) et (k); 11.5
Joint à lèvre	5; 6.9; 10.3.2 (f); 10.3.3 (m); 10.4.3 (g)
Laiton	2.8; 6.5; 10.1.2 (i); 10.1.5 (h)
Manostats à minimum	11.1
Manuel d'exploitation	13 (e)
Mélanges	4.1
Minuterie	11.1; 11.4
Pompage sous terre	11.5

Pompes	
centrifuge	10.7
à membrane	6.7; 10.1
à engrenages	10.4
à lobes	10.6
péristaltique	6.7; 10.2
à piston	10.5
à rotor hélicoïdal excentré	10.3
choix	10
Précautions	8.3; 9.1
Pression	
de fonctionnement	6.2; 6.6; 7.3; 10.1.1; 10.1.5 (i); 10.3.1; 10.3.3 (a) et (j)
surpression	6.8
capteurs	11.1; 11.2
Raccords filetés	2.10; 6.6
Réaction aluminothermique	6.5; 10.4.2
Responsabilités	2.3; 2.8
Risques	
principaux risques	7.1; 7.2; 7.3; 9.2
Roulements	6.9; 10.3.3 (f); 10.4.3 (f)
Rotors	
creux	6.5; 6.7; 10.3.2 (b)
usure	10.3.2 (g) et (h); 10.3.3 (j)
Stators	10.3.2 (h); 11.3
Tamis	11.5; 6.6
Thermocouples	11.1
Tuyau	
construction	5; 6.6
compatibilité	6.5
Usine	11.3
Viscosité	6.3