



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

G05-06

Directives sur le pompage des explosifs à base d'eau

Première révision,
08 juin 2026

Canada



Also available in English under the title: Guidelines for the Pumping of Water-Based Explosives
Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources
naturelles Canada à copyright-droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

M37-53/2026F-PDF

ISBN: 978-0-662-43499-3

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles, 2026

Table des matières

Directives sur le pompage des explosifs à base d'eau	0
1. Introduction	3
1.1 Objectif	3
1.2 Portée	3
1.3 Définitions	3
2. Exigences réglementaires	4
2.1 Activités ne nécessitant pas de licence	4
2.2 Activités nécessitant une licence	5
2.3 Comparaison des exigences réglementaires	5
3. Sélection de la pompe.....	7
3.1 Généralités	7
3.2 Températures d'exploitation	7
3.3 Pressions d'exploitation.....	7
3.3.1 Pression minimale de combustion	7
3.4 Viscosité des explosifs	8
4. Dangers liés au pompage et dispositifs de sécurité	8
4.1 Dangers.....	8
4.2 Examens des dangers relatifs aux procédés d'exploitation (HAZOP)	8
4.3 Évaluations quantifiées des risques (EQR)	9
4.4 Dispositifs de sécurité	9
4.4.1 Dispositifs de sécurité primaires	9
4.4.2 Les dispositifs de sécurité primaires doivent être à sécurité intégrée (dans la mesure du possible), de sorte qu'en cas de défaillance, ils déclenchent l'arrêt du système. Dispositifs de sécurité secondaires	10
5. Exploitation et entretien	10
5.1 Procédures d'exploitation.....	10
5.1.1 Mise en service	10
5.1.2 Vérifications préalables à l'exploitation et mise en service	11
5.1.3 Exploitation de la pompe	11
5.1.4 Arrêt et remise en marche	12
5.2 Entretien.....	12

5.2.1	Calibration de la pompe	12
5.2.2	Instrumentation	12
5.2.3	Documentation	13
6.	Formation.....	13
Annexe A – Explosifs à base d’eau		14
Annexe B – Dangers généraux liés aux pompes		15
B.1	Accumulation d’énergie.....	15
B.2	Fonctionnement à débit nul.....	15
B.3	Fonctionnement à sec.....	15
B.4	Allumage par compression.....	16
B.5	Dangers mécaniques	16
B.6	Dangers chimiques	16
Annexe C – Types de pompes et dangers associés		17
C.1	Pompes à membrane	17
C.1.1	Principe de fonctionnement	17
C.1.2	Considérations sur les dangers liés aux pompes.....	17
C.2	Pompes à vis excentrée	19
C.2.1	Principe de fonctionnement	19
C.2.2	Considérations sur les dangers liés aux pompes.....	19
C.3	Pompes à engrenages et à lobes.....	22
C.3.1	Principes de fonctionnement	22
C.3.2	Considérations sur les dangers liés aux pompes.....	22
C.4	Pompes à piston	24
C.4.1	Principes de fonctionnement	24
C.4.2	Considérations sur les dangers liés aux pompes.....	24
C.5	Pompes péristaltiques	26
C.5.1	Principe de fonctionnement	26
C.5.2	Considérations sur les dangers liés aux pompes.....	26

1. INTRODUCTION

1.1 Objectif

Ce document est conçu pour être utilisé comme guide sur la façon de satisfaire aux exigences du *Règlement de 2013 sur les explosifs* (le Règlement/RE) pour la sélection, l'exploitation et l'entretien des pompes utilisées pour les explosifs à base d'eau. Ces directives peuvent également être utilisées par la Division de la réglementation des explosifs (DRE) pour l'aider à évaluer les demandes de licence et à effectuer des vérifications de conformité des sites pompant des explosifs à base d'eau.

Le titulaire d'une licence doit se conformer à toutes les exigences applicables du Règlement. Ces directives ne se substituent pas au *Règlement* et, en cas de désaccord entre ces deux documents, le Règlement doit prévaloir.

Ces directives ne remplacent aucun autre règlement ou loi, qu'il soit fédéral, provincial ou municipal, ni aucun code mentionné dans cette législation.

1.2 Portée

Ces directives couvrent les exigences en matière de licences, la sélection des pompes, les dangers liés au pompage, les dispositifs de sécurité, l'exploitation et l'entretien des pompes utilisées pour les explosifs à base d'eau qui sont classés comme explosifs de sautage de type E.1 en vertu du Règlement (explosifs ONU 0332 ou ONU 3375), ce qui inclut les explosifs à émulsion, les bouillies et les explosifs en bouillie à base aqueuse.

Le pompage d'explosifs ONU 1.1 dans des installations de fabrique fixes serait traité au cas par cas lorsque les informations contenues dans les présentes lignes directrices ne sont pas applicables.

1.3 Définitions

débit nul est un dysfonctionnement de la pompe où aucun explosif ne circule à l'intérieur de celle-ci pendant son fonctionnement. Ceci est généralement dû à un fonctionnement à débit nul ou un fonctionnement à sec.

engorgement est le fonctionnement à débit nul s'agit du fonctionnement d'une pompe sans débit explosif en raison d'une sortie fermée ou obstruée.

évaluations quantifiées des risques (EQR) sont des outils ou des méthodes qui peuvent être utilisés pour quantifier le risque associé à une opération de pompage précise.

examen des dangers relatifs aux procédés d'exploitation (HAZOP) est un examen structuré et systématique d'un processus visant à établir les dangers.

explosifs à base d'eau sont classés comme type E.1 en vertu du Règlement, et comprennent des explosifs tels que les émulsions, les bouillies ou les gels aqueux (typiquement classés ONU 0332), et les émulsions de nitrate d'ammonium (ANE, classées UN3375).

fabrication comprend les activités suivantes :

- a) Produire ou fabriquer des matières explosives provenant de matières premières ou d'autres matières explosives.
- b) Produire ou fabriquer des objets explosifs, notamment par l'assemblage de composants explosifs et non explosifs.
- c) Modifier ou refaire des matières explosives ou des objets explosifs par modification de leur composition chimique (par exemple, par gazage ou mélange) ou par traitement au moyen d'un processus physique qui transmet de l'énergie (par exemple, manipulation pneumatique, pompage, cisaillement ou épaissement).
- d) Diviser des explosifs en leurs composants constitutifs, les défaire, les briser ou les détruire d'une façon quelconque.
- e) Emballer des explosifs.
- f) Soumettre des explosifs non autorisés à des essais ou soumettre des explosifs à des essais visant à évaluer s'ils peuvent être utilisés à une fin autre que celle autorisée.

Fonctionnement à sec consiste à faire fonctionner une pompe sans qu'aucun explosif ne circule dans la pompe.

unité de fabrication est un bâtiment, une structure, une pièce ou un lieu dans lequel une opération de fabrication d'explosifs est effectuée dans une fabrique.

unité de fabrication mobile (UFM) est un véhicule ou une machine portable utilisée dans une usine, un site satellite ou un site client pour réaliser une opération de fabrication d'explosifs.

2. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

2.1 Activités ne nécessitant pas de licence

Les activités de pompage suivantes ne nécessitent pas de licence en vertu de la partie 5 du *Règlement* (RE, art. 136) si elles sont menées dans une mine souterraine ou un projet de construction souterraine :

- a) Le pompage, l'épaississement ou le gazage d'explosifs à base d'eau pendant le chargement de trous de sautage.
- b) Le mélange d'explosifs à base d'eau avec du nitrate d'ammonium ou avec des mélanges de nitrate d'ammonium et mazout (ANFO) pendant le chargement des trous de sautage.

Note – si ces activités sont réalisées en surface, une licence est requise en vertu de la Partie 5, Division 1 du Règlement.

Bien que ces activités ne nécessitent pas de licence, les exigences suivantes doivent être respectées pour le pompage des explosifs (RE, art. 136) :

- a) Les explosifs doivent être sur la liste des explosifs autorisés.
- b) L'équipement utilisé pour le pompage, l'épaississement, le gazage ou le mélange d'explosifs à base d'eau doit être conçu de manière à réduire au minimum la probabilité d'un allumage, y compris l'allumage résultant de problèmes liés aux pompes dont le tuyau de refoulement est obstrué ou de pompes qui tournent à sec.
- c) Les pompes à vis excentrée doit être munies d'au moins deux mécanismes d'arrêt de sécurité indépendants servant à prévenir toute hausse de température excessive.
- d) Si une personne est assistée par une autre personne, cette dernière doit être formée à l'utilisation de l'équipement.
- e) Une procédure d'entretien préventif de l'équipement doit être mise en place, y compris les pompes
- f) L'entretien doit être effectué par des travailleurs qui possèdent des connaissances à l'égard de l'équipement faisant l'objet de l'entretien.
- g) Des précautions qui réduisent au minimum la probabilité d'un allumage doit être prises.

2.2 Activités nécessitant une licence

Toutes les autres opérations de pompage d'explosifs nécessitent un permis en vertu de la partie 5 du Règlement.

Pour de plus amples renseignements sur les demandes de licence d'explosifs, veuillez consulter le document [*G05-13 – Lignes directrices relatives aux demandes de licence de fabrication de la section 1.*](#)

Toutes les demandes de licence de fabrication d'explosifs où des activités de pompage sont effectuées, y compris tout certificat de site satellite associé et tout site client, devraient comprendre une évaluation quantifiée des risques (EQR) ou un examen des dangers relatifs aux procédés d'exploitation (HAZOP) des pompes [RE, art. 60(6)c)], et une description de la pompe et de ses dispositifs de sécurité [RE, art. 60(3)d)].

2.3 Comparaison des exigences réglementaires

Les références réglementaires figurant dans le présent document concernent les installations fixes des fabriques autorisées; toutefois, les principes peuvent également s'appliquer aux unités de fabrication mobiles et au pompage souterrain ne nécessitant pas de licence. Le tableau 2.1 présente les exigences réglementaires équivalentes pour les unités de fabrication mobiles et les activités souterraines de pompage ne nécessitant pas de licence.

Exigences	Pompage sous licence		Pompage souterrain ne nécessitant pas de licence
	Installations fixes	Unités de fabrication mobiles	
Sélection de la pompe	Toutes les pompes sont conçues, construites et installées conformément aux bonnes pratiques d'ingénierie [RE, art. 64(1)].	Toutes les pompes sont conçues, construites et installées conformément aux bonnes pratiques d'ingénierie [RE, art. 93(3)].	Toutes les pompes sont conçues, construites et installées conformément aux bonnes pratiques d'ingénierie (RE, art. 136(2)(b)).
Dangers liés aux pompes et dispositifs de sécurité	Toutes les pompes doivent être équipées de dispositifs de sécurité sélectionnés en fonction des résultats d'une EQR ou d'une HAZOP [RE, art. 60(6)c)].	Toutes les pompes doivent être équipées de dispositifs de sécurité sélectionnés en fonction des résultats d'une EQR ou d'une HAZOP [RE, art. 60(6)c)].	Les pompes à vis excentrée sont munies d'au moins deux dispositifs de sécurité indépendants [RE, art. 136(2)c)]. Toutes les autres pompes doivent être équipées de dispositifs de sécurité sélectionnés en fonction des résultats d'une EQR ou d'une HAZOP [RE, art. 20 et 136(2)g)].
Procédures d'exploitation	Des procédures d'exploitation sont en place pour toutes les pompes (RE, art. 86).	Des procédures d'exploitation sont en place pour toutes les pompes [RE, art. 96(1)].	Des procédures d'exploitation sont en place pour toutes les pompes (RE, art. 19).
Entretien	Un programme d'entretien préventif est mis en place pour toutes les pompes, et l'entretien est effectué par des travailleurs qui connaissent bien la pompe à entretenir (RE, art. 68).	Un programme d'entretien préventif est mis en place pour toutes les pompes, et l'entretien est effectué par des travailleurs qui connaissent bien la pompe à entretenir [RE, art. 98(1)].	Un programme d'entretien préventif est mis en place pour toutes les pompes, et l'entretien est effectué par des travailleurs qui connaissent bien la pompe à entretenir [RE, art. 136(2)e) et f)].
Formation	Le personnel utilisant les pompes a reçu une formation appropriée (RE, art. 80).	Le personnel utilisant les pompes a reçu une formation appropriée (RE, art. 80).	Le personnel utilisant les pompes a reçu une formation appropriée [RE, art. 136(2)d)].

Tableau 2.1 – Comparaison des exigences réglementaires

3. SÉLECTION DE LA POMPE

Une procédure devrait être établie pour la sélection des pompes et de l'équipement associé pour les nouveaux systèmes ou pour la modification des systèmes existants. Cette procédure doit comprendre une EQR ou une HAZOP pour toute opération de fabrication innovatrice au Canada pour fabriquer cet explosif [RE, art. 60(6)c)]. Tout procédé impliquant une modification des explosifs, de la conception de l'équipement, des matériaux de procédé ou des procédures serait considéré comme une nouvelle opération de fabrication.

3.1 Généralités

La pompe et tous les accessoires connexes (c.-à-d. les joints, les tuyaux, etc.) sélectionnés doivent être conçus, construits et installés conformément aux bonnes pratiques d'ingénierie [RE, art. 64(1)] et doivent être compatibles avec les explosifs qui sont pompés [RE, art. 64(2)].

3.2 Températures d'exploitation

La pompe devrait être conçue pour fonctionner de façon sécuritaire aux températures extrêmes rencontrées sur les sites de sautage où les activités de pompage des explosifs à base d'eau sont effectuées. Les températures des explosifs au moment du pompage ne devraient pas dépasser la valeur maximale recommandée par le fabricant de la pompe ni celle recommandée par le fabricant des renforçateurs et des détonateurs dans un trou de forage. La pompe devrait fonctionner dans la plage de températures recommandée par le fabricant d'explosifs pour les explosifs pompés.

3.3 Pressions d'exploitation

La pompe devrait être conçue pour fonctionner de façon sécuritaire aux pressions généralement rencontrées lors du pompage d'explosifs à base d'eau sur les sites de sautage. La pression de pompage ne devrait pas dépasser les limites maximales précisées par le fabricant de la pompe ni celle recommandée par le fabricant des explosifs pompés.

3.3.1 Pression minimale de combustion

Les systèmes de pompage devraient être conçus, dans la mesure du possible, pour empêcher que les pressions de pompe dépassent la pression minimale de combustion du produit pompé. Si l'allumage se produit dans un explosif à base d'eau à des pressions supérieures à la pression minimale de combustion, une combustion soutenue des explosifs peut se produire, entraînant une augmentation rapide des pressions jusqu'au point de déflagration qui peut être suivie d'une détonation à l'intérieur de la pompe.

3.4 Viscosité des explosifs

La pompe choisie devrait tenir compte de la viscosité apparente à la plus basse température prévue pour le pompage des explosifs, de manière à maintenir un débit maximal à l'entrée de la pompe pour réduire le risque de cavitation dans la pompe ou d'entraînement d'air dans les explosifs.

4. DANGERS LIÉS AU POMPAGE ET DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

4.1 Dangers

Des conditions dangereuses peuvent se développer à l'intérieur d'une pompe dans diverses circonstances, y compris lorsque les pompes fonctionnent à débit nul ou à sec. Ces situations peuvent souvent entraîner un chauffage excessif, ce qui peut augmenter le risque d'une explosion ultérieure à l'intérieur de la pompe. Des EQR ou des HAZOP doivent être utilisées pour déterminer les dispositifs de sécurité appropriés pour un système de pompage, si ce système est innovateur au Canada [RE, art. 60(6)c)].

4.2 Examens des dangers relatifs aux procédés d'exploitation (HAZOP)

Une HAZOP est un examen structuré et systématique d'un système pour identifier les risques. Elle doit inclure les considérations suivantes:

- a) Nature des explosifs pompés (y compris la pression de brûlage minimum des explosifs)
- b) Les conditions à l'entrée et à la sortie de la pompe
- c) La conception de la pompe et la source d'alimentation
- d) Les contrôles de la pompe (notamment la vitesse, la pression, la température et le débit)
- e) L'environnement autour de la pompe
- f) L'instrumentation
- g) L'exploitant et les procédures d'exploitation

L'HAZOP devrait prendre en compte les éléments suivants pour éviter les excès d'énergie ou les concentrations d'énergie, les incompatibilités et les conditions dangereuses :

- a) Le confinement des explosifs
- b) Le fonctionnement de la pompe en sens inverse
- c) Le couple de la pompe
- d) Pression interne ou de refoulement
- e) La friction
- f) La température élevée des explosifs

- g) Les chocs (en particulier métal sur métal)
- h) La compatibilité des matériaux de construction, y compris les métaux (p. ex., le cuivre et les alliages de cuivre comme le laiton ou le bronze ne doivent pas entrer en contact avec les produits à base de nitrate d'ammonium), les lubrifiants et les explosifs pompés
- i) La compatibilité des classifications électriques et de l'environnement d'utilisation
- j) Les propriétés des explosifs en relation avec le type de pompe utilisé
- k) Les vides ou les fissures dans les composants métalliques
- l) La contamination des explosifs par des impuretés métalliques, de la saleté ou des gravillons
- m) L'énergie cinétique

L'HAZOP doit être fondé sur les conditions d'exploitation prévues des explosifs à pomper. L'HAZOP devrait faire intervenir le concepteur ou le fabricant de la pompe, au besoin, et devrait être réalisé par des personnes qualifiées. Des essais devraient être effectués avant la mise en place de toute nouvelle pompe.

Avant l'introduction d'une conception nouvelle ou modifiée du système de pompage (y compris des changements dans les explosifs, la conception de l'équipement, les matériaux de processus ou les procédures), la modification de la conception doit être évaluée dans le cadre d'un programme de gestion des modifications. La gestion du changement déterminera si des HAZOP supplémentaires doivent être réalisés avant la mise en œuvre de la conception nouvelle ou modifiée [RE, art. 87(1)].

4.3 Évaluations quantifiées des risques (EQR)

Une EQR est un outil ou une méthode qui peut être utilisée pour quantifier le risque associé à une opération de pompage spécifique. . Comme il existe de nombreuses façons d'effectuer une EQR, la méthodologie proposée doit être approuvée par la DRE avant son utilisation.

4.4 Dispositifs de sécurité

Les dispositifs de sécurité des pompes devraient être choisis pour assurer la protection contre les dangers liés à la pompe déterminés à partir d'un HAZOP ou d'une EQR.

Les dispositifs de sécurité des pompes sont installés et maintenus en bon état de manière à fonctionner comme prévu lorsque la pompe est utilisée [RE, art. 64(4)].

4.4.1 Dispositifs de sécurité primaires

Les dispositifs de sécurité primaires sont conçus pour prévenir tout dysfonctionnement de la pompe en arrêtant automatiquement la pompe, si la pompe :

- a) subit un sec;
- b) fonctionne à vide;

- c) dépasse la température de fonctionnement de conception;
- d) dépasse la pression maximale de conception; ou
- e) dépasse le temps de fonctionnement maximal spécifié.

Le nombre et les types de dispositifs de sécurité primaires requis ne peuvent être déterminés que par un HAZOP ou une EQR.

Voici quelques exemples de dispositifs de sécurité primaires :

- a) Capteur de débit et interrupteur d'arrêt
- b) Capteur de température/thermocouple et interrupteur d'arrêt
- c) Capteur de haute et basse pression et interrupteur d'arrêt
- d) Minuterie et interrupteur d'arrêt

4.4.2 Les dispositifs de sécurité primaires doivent être à sécurité intégrée (dans la mesure du possible), de sorte qu'en cas de défaillance, ils déclenchent l'arrêt du système. Dispositifs de sécurité secondaires

Les dispositifs de sécurité secondaires servent de dispositifs de secours aux dispositifs de sécurité primaires. Ils sont généralement considérés comme des dispositifs d'extinction qui sont utilisés pour dissiper l'énergie de la pompe vers l'environnement extérieur en cas de défaillance du dispositif de sécurité principal. Voici quelques exemples de dispositifs de sécurité secondaires :

- a) Disques de rupture
- b) Thermofusibles

5. EXPLOITATION ET ENTRETIEN

5.1 Procédures d'exploitation

Toutes les pompes doivent avoir des procédures d'exploitation (y compris des procédures visant à réduire à minimiser les risques d'inflammation accidentelle) doivent être mises en place pour chaque opération de fabrication [RE, art. 86(1)]. Ces procédures d'exploitation doivent être tenues à jour et révisées annuellement [RE, art. 86(2)]. Les procédures d'exploitation des pompes devraient comprendre au moins les éléments suivants :

5.1.1 Mise en service

Toutes les pompes neuves et toutes les parties d'un nouveau système d'exploitation devraient être vérifiées avant leur mise en service afin de détecter la présence de corps étrangers (p. ex., laitier de soudure, produit d'étanchéité, limailles métalliques, gravillons, etc.).

Un essai d'étanchéité du système devrait être effectué pour s'assurer que tous les raccords des tuyaux sont bien étanches et ne présentent pas de fuites.

Les pompes devraient être calibrées avant d'être mises en service.

5.1.2 Vérifications préalables à l'exploitation et mise en service

Avant de faire fonctionner une pompe à explosifs, cette dernière devrait être vérifiée (et mise à l'essai si nécessaire) pour s'assurer qu'elle est en état de fonctionner en toute sécurité. Les vérifications préalables à l'exploitation peuvent comprendre ce qui suit :

- a) Vérification et mise à l'essai des dispositifs de sécurité installés afin de s'assurer qu'ils sont en bon état de fonctionnement et qu'ils sont adéquatement réglés.
- b) Vérification de l'état de toutes les conduites d'aspiration et de refoulement de la pompe.
- c) Vérification que toutes les soupapes sont dans la position appropriée.
- d) Vérification que la pompe est lubrifiée avec un lubrifiant compatible avec les explosifs et conforme aux spécifications du fabricant de la pompe.
- e) Vérification des niveaux de fluide hydraulique.
- f) Vérification que les systèmes de décharge de la pression (s'ils sont installés) sont en place et ont le taux de défaillance précisé.
- g) Vérification que les conduites d'évacuation des disques de rupture sont dégagées et ouvertes (le cas échéant).
- h) Vérification que la pompe tourne dans le bon sens.
- i) Vérification que le système d'anneau d'eau (s'il est installé) est fonctionnel.

5.1.3 Exploitation de la pompe

Les pompes ne devraient pas être mise en fonction à des pressions supérieures aux recommandations de pression maximale du fabricant de la pompe ou du fabricant de l'explosif.

La pompe devrait opérer et demeurer à l'intérieur de la plage de température de l'explosif pompé et ne devrait pas excéder la température maximum recommander par le manufacturier des renforceurs et détonateurs se trouvant dans le trou de forage.

Les interrupteurs, les alarmes et les minuteries ne devraient pas être déconnectés sur une pompe pendant son fonctionnement. En cas d'activation ou de lecture inhabituelle d'un dispositif de sécurité ou de l'instrumentation, les opérations de pompage devraient être arrêtées immédiatement jusqu'à ce que le problème à l'origine de l'activation ait été trouvé et corrigé.

Si l'opérateur de la pompe remarque des conditions anormales, les opérations de pompage devraient être arrêtées immédiatement jusqu'à ce que le problème ait été trouvé et corrigé.

5.1.4 Arrêt et remise en marche

Avant l'arrêt prolongé d'une pompe, les réservoirs de produit devraient être vidés, les tuyaux purgés et les tarières vidées de toute accumulation de produit. Lors du redémarrage d'une pompe après un arrêt prolongé, les recommandations du fabricant de la pompe et des explosifs devraient être suivies, en plus des procédures de démarrage de la pompe.

5.2 Entretien

Toutes les pompes font l'objet d'un programme d'entretien préventif formel établi et suivi [RE, art. 68(1)]. Le programme d'entretien devrait être basé sur les recommandations du fabricant et sur l'historique d'exploitation et d'entretien de la pompe.

Des travaux d'entretien mineurs peuvent être effectués pendant que l'unité est en service si l'entretien est courant, intégré à l'utilisation de la pompe et effectué par une personne compétente [RE, art. 68(2)]. Tous les autres travaux d'entretien ou de réparation effectués à la fabrique ou au site satellite sont réalisés par une personne compétente à laquelle a été délivré un permis de travail [RE, art. 68(3)].

Si les travaux d'entretien ou de réparation sont effectués à l'extérieur de la fabrique ou au site satellite, ils sont réalisés par une personne compétente [RE, art. 68(6)]. Toute pompe contaminée doit être décontaminée avant de quitter le site pour entretien, réparation ou élimination [RE, art. 68(5)].

5.2.1 Calibration de la pompe

Les pompes devraient être recalibrées périodiquement, selon les recommandations du fabricant.

Des tolérances pour les vérifications de la calibration des pompes devraient être établies. Les pompes qui ne satisfont pas aux vérifications d'étalonnage devraient être mises hors service jusqu'à ce qu'elles puissent satisfaire aux vérifications d'étalonnage.

Remarque : L'échec d'une pompe à un contrôle d'étalonnage pourrait indiquer une usure excessive de la pompe, une fuite d'air dans le tuyau d'aspiration, ou un tuyau d'aspiration ou de refoulement partiellement bloqué.

Les pompes devraient être calibrées selon la procédure de calibration recommandée par le fabricant de la pompe.

Les pompes qui ont été hors service pendant de longues périodes devraient être recalibrées avant d'être remises en service.

5.2.2 Instrumentation

Les instruments doivent être entretenus et calibrés de façon régulière [RE, art. 64(4)]. Le programme d'entretien devrait être basé sur les recommandations du fabricant et sur l'historique d'exploitation et d'entretien de l'instrument.

5.2.3 Documentation

Les permis de travail délivrés pour les travaux d'entretien ou de réparation d'une pompe doivent établir les procédures à suivre pour les travaux d'entretien ou de réparation et les mesures qui doivent être prises avant, pendant et après les travaux pour éliminer toute possibilité d'un allumage [RE, art. 68(4)].

Un dossier des travaux d'entretien et de réparation effectués sur chaque pompe à explosifs est conservé pendant deux ans après la date de la dernière entrée. Les permis de travail pour les travaux d'entretien et de réparation sont également conservés pendant deux ans après la date d'achèvement des travaux [RE, art. 68(7)]. Les livrets d'entretien devraient être utilisés pour mettre à jour les cycles d'entretien préventif et les exigences de réparation.

Chaque pompe à une large gamme doit faire l'objet d'un livret distinct qui retrace l'historique de l'utilisation de la pompe, ainsi que les travaux d'entretien et de réparation effectués. Ce livret doit être conservé à la fabrique pendant toute la durée de vie de la pompe [RE, art. 68(8)].

6. FORMATION

Tous les opérateurs de pompes devraient être formés de manière approfondie à toutes les étapes du fonctionnement des pompes par une personne compétente (RE, art. 82). Lorsque les employés ont terminé la formation, ils reçoivent une attestation [RE, art. 83 (1)]. Cette attestation doit être un dossier de formation ou un document signé par la personne qui a donné la formation [RE, art. 83(2)]. La durée de validité de l'attestation est d'au plus cinq ans après la date de l'attestation.

Un dossier de formation sur l'expérience de travail est tenu à jour pour chaque employé à la fabrique ou au site satellite où il exerce ses fonctions. Ce dossier est conservé pendant deux ans après la date d'expiration de l'attestation de l'employé [RE, art. 83(4)].

Si une modification intervient dans les procédures d'exploitation pour lesquelles l'employé avait reçu l'attestation, l'employé doit être formé aux nouvelles procédures d'exploitation, mais la date d'expiration de l'attestation demeure inchangée [RE, art. 83(3)].

ANNEXE A – EXPLOSIFS À BASE D’EAU

Les explosifs à base d’eau peuvent présenter un large éventail de propriétés physiques et chimiques.

Les **bouillies** sont typiquement classifiées comme UN 0332 et sont des solides en suspension dans une solution aqueuse épaissie d’oxydants. Les solides sont des combustibles, auto-explosifs ou non, souvent accompagnés de cristaux d’oxydant. Des combustibles dissous ou liquides peuvent être présents. L’épaississant est généralement une farine d’origine naturelle semblable à l’amidon avec de longues molécules filiformes. Les bouillies à haute densité sont normalement insensibles à un détonateur, et peuvent nécessiter un renforçateur minimal de 100 g ou plus de pentolite, même si elles sont sensibilisées avec un ingrédient auto-explosif. À des masses volumiques réduites, elles peuvent présenter une sensibilité pratique à un détonateur aux températures d’utilisation courantes.

Les **explosifs en gel** sont typiquement classifiés comme UN 0332 et sont formés en liant les molécules filiformes de l’épaississant dans une bouillie par des liaisons chimiques, gélifiant ainsi la solution. C’est ce qu’on appelle la réticulation de l’épaississant. Le gel obtenu peut être étonnamment résistant à l’eau. En général, un gel bien formé ne peut pas être pompé, c’est pourquoi les bouillies sont habituellement réticulées par l’ajout de quelques dixièmes de pour cent des produits chimiques appropriés pendant le pompage. De quelques secondes à quelques minutes plus tard, la gélification est obtenue. Parfois, un gel partiellement réticulé est pompé.

Les **émulsions** sont typiquement classifiées comme UN 0332 et sont des explosifs dans lesquelles une solution aqueuse sursaturée d’oxydant est dispersée dans une huile ou un liquide huile-cire. Le terme n’est pas couramment utilisé pour un explosif dans lequel un combustible liquide est dispersé dans une solution aqueuse d’oxydant. Dans un explosif à émulsion, un mélange intime est réalisé entre un oxydant liquide et un combustible liquide. Les explosifs qui en résultent présentent une réaction chimique très rapide dans la tête de détonation. Néanmoins, comme pour les bouillies, une haute densité entraîne une insensibilité, et une diminution de la densité est nécessaire pour atteindre la sensibilité du détonateur ou même généralement pour atteindre la sensibilité du renforçateur. Ces explosifs sont généralement mélangés avec de l’ANFO ou à du nitrate d’ammonium afin de former un mélange sensible au renforçateur qui peut être pompé ou acheminé, à l’aide d’une tarière, dans un trou de sautage. Les explosifs à émulsion et de nombreux mélanges ont une résistance élevée à l’eau.

Les **mélanges** sont des mélanges d’ANFO ou de nitrate d’ammonium avec un explosif à base d’eau. Ils peuvent être sensibles au détonateur ou au renforçateur. Un mélange aura, en général, une énergie propulsive supérieure à une bouillie à base aqueuse ou une émulsion.

Les **nitrate d’ammonium en émulsion** sont des émulsions, des suspensions ou des gels à base de nitrate d’ammonium classés sous le numéro UN 3375 et répondant aux exigences de la disposition spéciale 309 du *Règlement type pour le transport des marchandises dangereuses*, publié par les Nations Unies.

Les explosifs à base d’eau sont généralement incompatibles avec les acides/bases forts, le cuivre et certains élastomères.

ANNEXE B – DANGERS GÉNÉRAUX LIÉS AUX POMPES

La plupart des dangers liés aux pompes résultent d'une certaine forme d'accumulation d'énergie, ou d'un ajout rapide d'énergie au sein d'une pompe, qui peut potentiellement conduire à une explosion.

B.1 Accumulation d'énergie

Le pompage des explosifs à base d'eau est dangereux, car il introduit de l'énergie (chaleur et pression) dans les explosifs, généralement sous confinement. Dans des conditions normales d'exploitation, l'accumulation d'énergie provenant de la pompe est minime, et l'écoulement de matière explosive dans la pompe atténue toute accumulation excessive d'énergie. Dans des circonstances anormales, la pompe peut être soumise à des conditions de non-écoulement (fonctionnement à débit nul ou à sec), ce qui entraîne une accumulation excessive d'énergie à l'intérieur de la pompe. Cette accumulation d'énergie peut provoquer une augmentation de la température, entraînant une décomposition thermique des explosifs pompés. Dans les scénarios les plus défavorables, cela peut potentiellement entraîner une explosion à l'intérieur de la pompe. De l'énergie peut également s'accumuler à l'intérieur de la pompe si les explosifs pompés recirculent en boucle fermée. Les dangers liés à l'accumulation d'énergie sont généralement traités par des procédures d'exploitation sécuritaires, la conception des pompes et l'utilisation de dispositifs de sécurité.

B.2 Fonctionnement à débit nul

Fonctionnement à débit nul est une condition de dysfonctionnement grave où la pompe fonctionne avec un refoulement bloqué. Cette situation est particulièrement dangereuse, car l'énergie maximale est appliquée à une pompe pleine. Souvent, les causes de l'engorgement sont les suivantes :

- a) Explosifs se solidifiant ou devenant trop visqueux du côté du refoulement de la pompe ou dans les tuyaux
- b) Activation de la pompe avec une soupape fermée du côté du refoulement de la pompe
- c) Des corps étrangers pénétrant dans le refoulement de la pompe et l'obstruant
- d) Le blocage de l'équipement en aval
- e) Des tuyaux pliés ou obstrués
- f) Fonctionnement involontaire des pompes (défaillances électriques ou hydrauliques)

B.3 Fonctionnement à sec

Fonctionnement à sec est une autre condition de perturbation grave qui se produit lorsque la pompe continue de fonctionner sans que des explosifs soient fournis à l'aspiration de la pompe. Le pompage à vide peut causer une accumulation rapide de chaleur dans la pompe. Souvent, les causes du pompage à vide sont les suivantes :

- a) Explosifs se solidifiant ou devenant trop visqueux du côté de l'aspiration de la pompe ou dans les tuyaux
- b) Activation de la pompe avec une soupape fermée du côté de l'aspiration de la pompe
- c) Corps étrangers pénétrant dans l'aspiration de la pompe et l'obstruant (notamment l'accumulation sur les tamis ou le mauvais mélange des ingrédients secs)
- d) Manque d'explosifs (défaut d'alimentation)
- e) Conditions d'aspiration inadéquates pour la viscosité des explosifs et le débit
- f) Tuyau d'aspiration trop long ou de diamètre trop petit
- g) Fonctionnement involontaire des pompes (défaillances électriques ou hydrauliques)

Un blocage partiel de l'aspiration ou un manque d'alimentation peut également entraîner une cavitation ou un entraînement d'air à l'intérieur de la pompe, ce qui peut l'endommager.

B.4 Allumage par compression

L'allumage par compression est une condition où la compression rapide d'une bulle de gaz contenant du carburant et de l'air dans les bonnes proportions pourrait s'enflammer et se propager aux explosifs. Les conditions dans lesquelles ce danger peut se produire se retrouvent souvent dans les pompes à piston. Lors du fonctionnement de ces pompes, il existe un vide pendant la course d'aspiration qui peut (si la pompe n'est pas défaut) potentiellement aspirer des gouttelettes d'huile dans une poche d'air provenant d'explosifs à base d'eau. Cela est à son tour immédiatement suivi d'une pressurisation, qui pourrait provoquer un échauffement adiabatique conduisant à l'allumage des gouttelettes d'huile.

En raison de la nature rapide de ce danger, les dispositifs de sécurité sont souvent inefficaces. Ce danger devrait être évité par la conception des pompes et le contrôle des conditions d'exploitation qui pourraient conduire à un événement d'allumage par compression. Veuillez-vous référer à la section C.4.2 de l'annexe C pour obtenir des renseignements plus détaillés.

B.5 Dangers mécaniques

Les dangers mécaniques dépendront en grande partie de la pompe utilisée. Les principaux dangers mécaniques seraient liés à un choc, ou à un événement de friction résultant de la défaillance d'une pièce de la pompe ou de l'entrée d'un objet étranger dans la pompe. Une limitation de la vitesse en bout de pompe et de l'énergie cinétique qui lui est associée peut réduire les dangers liés à la pénétration de corps étrangers dans la pompe.

B.6 Dangers chimiques

Les principaux dangers chimiques liés au pompage d'explosifs sont liés à la compatibilité des explosifs pompés et des matériaux utilisés dans le système de pompage. Plus précisément, le nitrate d'ammonium

peut réagir avec le cuivre et les alliages contenant du cuivre dans les bonnes conditions pour former le composé explosif nitrate de tétraamminecuivre (II) (NTAC), qui est très sensible aux chocs.

ANNEXE C – TYPES DE POMPES ET DANGERS ASSOCIÉS

Les sections suivantes sont un recueil de renseignements et de bonnes pratiques utilisés par l'industrie des explosifs par le passé. Les renseignements contenus dans cette annexe ne doivent pas être considérés comme des directives sur le choix d'une pompe. Il incombe aux parties prenantes de procéder à une analyse adéquate pour déterminer ce qui convient à leurs propres opérations.

C.1 Pompes à membrane

C.1.1 Principe de fonctionnement

Les pompes à membrane sont souvent utilisées lorsque des pressions élevées ne sont pas nécessaires, et qu'un débit pulsé est acceptable.

Les pompes à double membrane mettent alternativement sous pression une chambre de membrane tout en évacuant simultanément la chambre opposée, ce qui entraîne le déplacement longitudinal des membranes, qui sont reliées par un arbre. La pression d'air est appliquée sur toute la surface de la membrane, forçant la décharge des explosifs. Les dispositifs antiretour (généralement des clapets antiretours à bille) sont raccordés à un collecteur pour garantir que l'écoulement se fait dans un seul sens. Une vanne de distribution d'air à quatre voies dirige l'application de pression et permet l'échappement. La ou les vannes de distribution sont généralement montées à l'extérieur. Le débit est pulsé et égal dans les deux chambres. Certaines pompes peuvent contenir un fluide de barrage.

Les pompes à membrane n'ont pas d'éléments rotatifs et, si la sortie devient bloquée, la pompe s'arrête et soumet l'explosif à une pression égale à la pression d'exploitation de l'air comprimé qui alimente la pompe. La plupart des pompes à membrane fonctionnent avec un taux de pressurisation qui se développe lentement, ce qui laisse généralement le temps de dissiper la chaleur générée.

C.1.2 Considérations sur les dangers liés aux pompes

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Fonctionnement à débit nul ou à sec	Les pompes à membrane sont généralement considérées comme intrinsèquement sûres contre le fonctionnement à débit nul ou à sec. Les dispositifs de sécurité ne sont généralement pas requis pour ce danger.
Allumage par compression	Les événements d'allumage par compression ne constituent généralement pas un danger pour les pompes à membrane.

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Cavitation et entraînement d'air	La cavitation et l'entraînement d'air devraient être évités grâce à la conception du système de pompage. Il convient de tenir compte de la vitesse de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité des explosifs et des fuites.
Corps étrangers pénétrant dans la pompe	Il faut éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans l'aspiration de la pompe (par exemple, en utilisant un tamis).
Raccords filetés	Si des raccords filetés sont utilisés, il ne faut pas chauffer le joint pour le desserrer en vue du démontage avant que la pompe n'a pas été décontaminée. Des précautions devraient être prises lors du démontage des raccords filetés.
Friction (en particulier le contact métal sur métal entre le piston extérieur ou le dispositif de retenue du piston et le carter)	La friction excessive devrait être évitée grâce à la conception de la pompe et à un programme d'entretien de routine. Les dégagements de la pompe devraient être vérifiés avant l'utilisation et modifiés si nécessaire pour éviter tout contact métal sur métal. La pression d'air de la pompe doit être limitée à la plus faible des valeurs recommandées par le fabricant de la pompe ou des explosifs. Les presse-garnitures ne devraient pas être utilisés.
Compatibilité chimique	Les matériaux de pompe (y compris les vannes directionnelles, les membranes, etc.) qui ne sont pas compatibles avec les explosifs pompés ne devraient pas être utilisés.
Défaillance de la membrane entraînant des fuites ou, dans les cas extrêmes où la sortie est bloquée, le travail sur des explosifs qui s'échauffent lorsqu'ils sont pompés dans les deux sens à travers un trou dans la membrane.	Les pompes à membrane doivent être régulièrement démontées pour vérifier l'état des diaphragmes et de la tige de soupape qui les relie. Les fuites d'air dans l'explosif et la possibilité de corrosion sont ainsi évitées. S'il existe un risque que de l'air sous haute pression atteigne la pompe à la suite d'une défaillance du régulateur, et si l'équipe d'examen des dangers considère qu'il s'agit d'un danger, une soupape de décharge de

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
	pression devrait être installée entre le régulateur et la pompe.
Vannes d'air gelant dans certaines conditions d'exploitation	Les vannes d'air devraient faire l'objet d'une inspection et d'un entretien de routine si le gel constitue une préoccupation.

C.2 Pompes à vis excentrée

C.2.1 Principe de fonctionnement

Les pompes à vis excentrée sont parmi les plus populaires pour le pompage d'explosifs à base d'eau pour les applications de surface et souterraines : à deux étages pour les applications de surface et à trois ou quatre étages pour les applications souterraines. Elles assurent un débit presque sans pulsation à toutes les pressions et peuvent être conçues pour supporter différentes pressions maximales.

Une pompe à vis excentrée est constituée d'un rotor hélicoïdal unique à l'intérieur d'un stator hélicoïdal à double filetage. Au fur et à mesure qu'une cavité diminue, la cavité opposée se forme au même rythme pour fournir un débit constant, uniforme et presque sans pulsation ainsi qu'un déplacement positif. Le rotor est typiquement métallique, et le stator est typiquement un élastomère enfermé dans un boîtier métallique et forme des cavités à 180 degrés d'écart. Le rotor peut être relié à l'entraînement par divers mécanismes comme un arbre flexible, un double joint universel ou un joint d'engrenage.

Une pompe peut avoir un rotor et un stator correspondant suffisamment longs pour avoir plus d'une cavité fermée à la fois. Chaque cavité fermée supplémentaire est appelée un « étage ».

C.2.2 Considérations sur les dangers liés aux pompes

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Fonctionnement à débit nul ou à sec	Les pompes à vis excentrée devraient généralement être équipées de deux dispositifs de sécurité primaires indépendants pour prévenir le fonctionnement à débit nul ou à sec. Le fonctionnement à débit nul peut se produire lorsque le stator est usé peut présenter un danger unique en ce sens que l'augmentation de la pression est insuffisante pour déclencher un arrêt alors que l'augmentation de la température n'est pas perçue par le capteur de température habituel situé à la sortie de la pompe. Il s'agit

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
	probablement du problème le plus grave pour ces pompes. Le moteur d'entraînement de la pompe devrait être dimensionné et conçu de manière à limiter la puissance qu'il peut fournir à la pompe à ce qui est nécessaire à son exploitation dans des conditions normales. On ne peut pas compter sur son arrêt lorsque la sortie de la pompe est bloquée, car un stator usé continuera à tourner, d'où la nécessité de considérer l'instrumentation. Les pompes à vis excentrée doivent également être équipées d'un dispositif de sécurité secondaire pour décharger la pression en cas de combustion ou de réaction des explosifs sous pression.
Allumage par compression	Les événements d'allumage par compression ne constituent généralement pas un danger pour les pompes à vis excentrée.
Cavitation et entraînement d'air	La cavitation et l'entraînement d'air devraient être évités grâce à la conception du système de pompage. Il convient de tenir compte de la vitesse de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité des explosifs et des fuites.
Corps étrangers pénétrant dans la pompe	Il faut éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans l'aspiration de la pompe (par exemple, en utilisant un tamis). La limite maximale de la vitesse d'exploitation de la pompe indiquée par le fabricant, c'est-à-dire la vitesse périphérique, devrait être prise en compte après l'examen des dangers possibles liés à l'énergie cinétique des pièces mobiles. De plus, la vitesse de la pompe choisie devrait dépendre des caractéristiques de l'explosif pompé et de la taille de la pompe.
Raccords filetés	Si des raccords filetés sont utilisés, la chaleur ne devrait pas être appliquée pour desserrer le joint en vue du démontage tant que la pompe n'a pas été décontaminée. Des précautions devraient être prises lors du démontage des raccords filetés.

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Friction	La friction excessive devrait être évitée grâce à la conception de la pompe et à un programme d'entretien de routine. Les presse-garnitures ne devraient pas être utilisés.
Compatibilité chimique	Les matériaux de pompe (y compris le stator, le rotor, etc.) qui ne sont pas compatibles avec les explosifs pompés ne doivent pas être utilisés.
Pénétration de l'explosif dans un rotor ou un arbre de transmission creux	Les rotors et les arbres de transmission creux ne devraient pas être utilisés.
Défaillance des roulements due à la contamination par des particules abrasives, au manque de graisse et à une vitesse de rotation élevée	Les roulements devraient être montés à l'extérieur et étanches. Ils devraient être inspectés et entretenus de façon routinière.
Défaillance prématurée de la liaison rotor-entraînement (si elle est interne) ou du joint d'un assemblage flexible ou d'un arbre flexible en raison d'une vitesse de rotation élevée. Les explosifs à base d'eau chaud peuvent causer l'usure et la rupture des revêtements en caoutchouc des engrenages.	Des arbres de transmission flexibles devraient être utilisés pour réduire les problèmes de sécurité et d'entretien liés aux diverses conceptions de joints internes. Lorsqu'un arbre se rompt, l'énergie accumulée est libérée. Certaines conceptions comportent un espace clos à l'extrémité d'entraînement où les explosifs peuvent potentiellement s'accumuler et être confinés. Si des arbres avec des joints internes sont choisis, les joints devraient être du type à faible pression de surface et correctement scellés.
Accumulation d'explosifs dans le carter d'aspiration qui nuit à la rotation libre essentielle des joints	Les pompes à vis excentrée devraient être démontées à intervalles réguliers pour vérifier l'état du stator et l'étanchéité des joints flexibles. La fréquence d'entretien et d'inspection devrait être fondée sur les recommandations du fabricant et sur l'historique d'exploitation de la pompe.
Écrous de retenue internes et pièces connexes se desserrant	Tous les écrous internes de la pompe devraient être bloqués ou câblés en place.
Migration d'explosifs dans les joints avec une pompe fonctionnant en sens inverse	La prévention de la migration des explosifs dans les joints lorsque la pompe fonctionne en sens inverse devrait être assurée par la conception de la pompe.

C.3 Pompes à engrenages et à lobes

C.3.1 Principes de fonctionnement

Les pompes à engrenages et à lobes sont des pompes volumétriques fonctionnant selon les mêmes principes, la principale différence étant la forme des éléments rotatifs à l'intérieur du carter de la pompe.

Les pompes à engrenages contiennent, à l'intérieur du carter, une paire d'engrenages à déplacement fixe de taille égale et engrenés, dont l'un ou les deux peuvent être entraînés. Les rotors des pompes à engrenages sont recouverts d'un élastomère pour éviter tout contact métal sur métal. Les explosifs sont évacués de l'orifice d'entrée par des dents d'engrenage qui entraînent les explosifs dans l'espace entre les dents et le carter de pompe. Les explosifs balayés sont transportés jusqu'à l'orifice de sortie. Les explosifs ne peuvent pas revenir par le chemin court entre les engrenages en rotation vers l'orifice d'entrée, car les engrenages s'engrènent étroitement. La pompe à engrenages est une pompe volumétrique. Le glissement dépend de la viscosité des explosifs et des tolérances entre les engrenages et le carter, tant sur les côtés des engrenages que sur leur périmètre. Le débit de la pompe est pulsé, mais en raison de la vitesse et du nombre d'engrenages, les pulsations ne sont généralement pas importantes.

Les pompes à lobes comportent généralement deux ou trois lobes à l'intérieur du carter. Les lobes se séparent à l'opposé de l'orifice d'entrée, et les explosifs sont aspirés dans les espaces entre eux. Les explosifs sont transportés entre les lobes et le carter jusqu'à l'orifice de refoulement. Le taux de fuite ou de glissement dépend des dégagements entre les lobes et le carter, comme pour les pompes à engrenages. Certaines pompes à lobes peuvent avoir des manchons, des plaques d'usure latérales, ou les deux. Les deux rotors d'une pompe à lobes doivent être entraînés, et les pompes à lobes sont donc plus robustes que les pompes à engrenages.

C.3.2 Considérations sur les dangers liés aux pompes

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Fonctionnement à débit nul ou à sec	Les pompes à engrenages et à lobes devraient généralement être équipées d'un dispositif de sécurité primaire pour prévenir le fonctionnement à débit nul ou à sec.
Allumage par compression	L'allumage par compression ne constitue généralement pas un danger pour les pompes à engrenages et à lobes.
Cavitation et entraînement d'air	La cavitation et l'entraînement d'air devraient être évités grâce à la conception du système de pompage. Il convient de tenir compte de la vitesse de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité des explosifs et des fuites.

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Corps étrangers pénétrant dans la pompe	Il faut éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans l'aspiration de la pompe (par exemple, en utilisant un tamis).
Raccords filetés	Si des raccords filetés sont utilisés, la chaleur ne devrait pas être appliquée pour desserrer le joint en vue du démontage tant que la pompe n'a pas été décontaminée. Des précautions devraient être prises lors du démontage des raccords filetés.
Friction (spécifiquement liée à un ajustement étroit aux plaques latérales).	Les engrenages et les lobes devraient être recouverts d'un élastomère compatible avec les explosifs pompés. Les pompes à engrenages et à lobes ne devraient pas être utilisées avec des mélanges d'émulsions contenant du nitrate d'ammonium en sphérules ou des solides abrasifs semblables. La friction des plaques latérales devrait être examinée avant la mise en service de la pompe.
Compatibilité chimique	Les matériaux de pompe qui ne sont pas compatibles avec les explosifs pompés ne devraient pas être utilisés.
Confinement des explosifs dans la zone des bagues à haute vitesse pourrait produire de la chaleur dans les explosifs plus rapidement que la capacité de dissipation de la pompe	Les composants internes devraient être inspectés et entretenus de façon régulière.
Défaillance du roulement (le roulement est proche des explosifs s'il n'est pas monté à l'extérieur)	Des roulements externes devraient être utilisés.
Cisaillement élevé (augmentant la sensibilité de certaines formulations)	Si les explosifs pompés ne conviennent pas à un environnement à cisaillement élevé, une pompe à engrenages ou à lobes ne devrait pas être utilisée.
Bague non lubrifiée ou fuite dans les roulements	Des roulements externes devraient être utilisés pour éviter les fuites dans les roulements. La lubrification devrait être effectuée selon les recommandations du fabricant et l'historique d'exploitation de la pompe.

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Délamination du caoutchouc des engrenages ou des lobes en acier, particulièrement causée par des explosifs chauds	Utiliser des engrenages et des lobes recouverts d'élastomère ou en élastomère plein. Le rotor devrait être non métallique et d'un matériel qui est compatible avec les explosifs pompés.
Défaillance des joints à lèvre sur les pompes à roulements externes	Les pompes devraient être démontées et vérifiées régulièrement pour détecter les dommages mécaniques et vérifier l'état des joints.
Serrage excessif des presse-garnitures sur l'arbre de transmission	Les presse-garnitures ne devraient pas être utilisés. Si des presse-garnitures sont utilisés, ils devraient être serrés conformément aux spécifications du fabricant.
Réaction thermité entre l'aluminium des ingrédients et la rouille d'un carter en acier	Si des explosifs à base d'aluminium doivent être pompés, un carter antirouille devrait être utilisé.

C.4 Pompes à piston

C.4.1 Principes de fonctionnement

Ces pompes sont constituées d'un piston dans un cylindre avec un dispositif antiretour. Un volume fixe d'explosifs est aspiré sous des conditions d'aspiration et, au fur et à mesure que le piston se déplace, il est comprimé à la pression de refoulement et extrudé par la buse de refoulement de la pompe. Le débit est pulsé. Avec un piston à simple effet, le volume pompé est moindre lors de la course de retour. Le débit dans un sens est contrôlé par des clapets antiretours internes ou externes ou par une vanne directionnelle activée de l'extérieur.

C.4.2 Considérations sur les dangers liés aux pompes

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Fonctionnement à débit nul ou à sec	Les pompes à piston devraient généralement être équipées d'un dispositif de sécurité primaire pour prévenir le fonctionnement à débit nul ou à sec. Dans des circonstances anormales, une pompe à piston peut s'engorger. Si le joint du piston d'une pompe à double effet présente une fuite importante, les explosifs sont poussés d'une chambre à l'autre, ce qui provoque une accumulation de chaleur. De plus, si le volume mort est important et que la force d'entraînement de la pompe est élevée, la pompe ne se bloquera

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
	pas. Ces événements pourraient entraîner une accumulation excessive de chaleur.
Allumage par compression	Les événements d'allumage par compression devraient être évités par la conception des pompes et le contrôle des conditions d'exploitation. Les contrôles opérationnels comprennent la limitation de la quantité de substances volatiles présentes dans les explosifs, la limitation de la fréquence des courses de la pompe (en particulier lors du démarrage), la limitation de la taille des bulles de gaz, la limitation des pressions d'exploitation de la pompe, l'augmentation de la teneur en eau des explosifs et l'assurance que la pression de service de la pompe est inférieure à la pression minimale de combustion. Les pompes à piston à commande hydraulique peuvent nécessiter une attention particulière lors des phases d'accélération des courses de refoulement et d'aspiration.
Cavitation et entraînement d'air	La cavitation et l'entraînement d'air devraient être évités grâce à la conception du système de pompage. Il convient de tenir compte de la vitesse de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité des explosifs et des fuites.
Corps étrangers pénétrant dans la pompe	Il faut éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans l'aspiration de la pompe (par exemple, en utilisant un tamis).
Raccords filetés	Si des raccords filetés sont utilisés, la chaleur ne devrait pas être appliquée pour desserrer le joint en vue du démontage tant que la pompe n'a pas été décontaminée. Des précautions devraient être prises lors du démontage des raccords filetés.
Friction	Une friction excessive peut se produire si la capacité de cycles est trop élevée. La fréquence des courses devrait être limitée pour éviter à la fois la production de chaleur par friction et le

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
	risque d'allumage par compression. L'utilisation de pièces mobiles métal sur métal devrait être évitée.
Compatibilité chimique	Les matériaux de pompe qui ne sont pas compatibles avec les explosifs pompés ne doivent pas être utilisés.

C.5 Pompes péristaltiques

C.5.1 Principe de fonctionnement

Ce type de pompe est constitué d'un tuyau résilient à l'intérieur d'un carter métallique. Le tuyau est comprimé par un élément de rotor. Le pompage résulte du déplacement de la zone comprimée du tuyau vers l'aval lorsque le rotor tourne, poussant les explosifs devant lui et créant une aspiration derrière lui au fur et à mesure que la partie précédemment comprimée se dilate. Les explosifs ne sont en contact qu'avec la paroi intérieure du tuyau. Le rotor peut être équipé de galets ou de patins glissants pour comprimer le tuyau. Un lubrifiant liquide dans le carter minimise la friction. La capacité d'aspiration et la pression de refoulement peuvent être modifiées en ajustant le degré de compression du tuyau.

C.5.2 Considérations sur les dangers liés aux pompes

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Fonctionnement à débit nul ou à sec	Les pompes péristaltiques devraient généralement être équipées d'un dispositif de sécurité primaire pour prévenir le fonctionnement à débit nul ou à sec.
Allumage par compression	L'allumage par compression ne constitue généralement pas un danger pour les pompes péristaltiques.
Cavitation et entraînement d'air	La cavitation et l'entraînement d'air devraient être évités grâce à la conception du système de pompage. Il convient de tenir compte de la vitesse de la pompe, de la configuration du côté aspiration, de la viscosité des explosifs et des fuites.

Dangers liés aux pompes	Éléments à considérer
Corps étrangers pénétrant dans la pompe	Il faut éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans l'aspiration de la pompe (par exemple, en utilisant un tamis).
Raccords filetés	Si des raccords filetés sont utilisés, la chaleur ne devrait pas être appliquée pour desserrer le joint en vue du démontage tant que la pompe n'a pas été décontaminée. Des précautions devraient être prises lors du démontage des raccords filetés.
Friction	Une friction excessive peut se produire si la capacité de cycles est trop élevée. La fréquence des courses devrait être limitée pour éviter à la fois la production de chaleur par friction et le risque d'allumage par compression. L'utilisation de pièces mobiles métal sur métal devrait être évitée.
Compatibilité chimique	Les matériaux de pompe qui ne sont pas compatibles avec les explosifs pompés ne doivent pas être utilisés.
Perte de lubrifiant/lubrifiant incompatible, et rupture consécutive du tuyau	Les pompes péristaltiques devraient être régulièrement vérifiées pour s'assurer que la pression d'exploitation est correcte afin d'éviter la rupture du tuyau de pompage. Le programme d'entretien préventif devrait porter sur les patins ou les galets du rotor ainsi que sur le niveau de lubrifiant et l'état du tuyau lui-même.