



Pompe à vide et systèmes de vide

MANUEL DE SÉCURITÉ

Droits d'auteur

©Edwards Limited 2019. Tous droits réservés.

Sommaire

1. Introduction.	5
1.1 Portée de cette publication.	5
1.2 Risques d'explosion.	5
2. En cas de dangers.	7
2.1 Structure.	7
2.2 Construction.	7
2.3 Fonctionnement/mise en service.	8
2.4 Entretien/mise hors service.	8
3. Dangers d'origine chimique.	9
3.1 Réactions et explosions chimiques.	9
3.1.1 Réactions homogènes.	9
3.1.2 Réactions hétérogènes.	9
3.2 Problèmes causés par des réactions anormales.	9
3.3 Risques d'explosion.	10
3.3.1 Oxydants.	10
3.3.2 Substances explosives/inflammables.	11
3.3.3 Substances pyrophoriques.	11
3.3.4 Azide de sodium.	12
3.4 Substances toxiques ou corrosives.	12
3.4.1 Substances toxiques.	13
3.4.2 Substances corrosives.	13
3.5 Résumé - Dangers d'origine chimique.	14
4. Dangers d'origine physique.	16
4.1 Types de risque de surpression.	16
4.2 Refoulement de la pompe en surpression.	16
4.3 Protection contre la surpression au refoulement.	16
4.4 Surpression à l'admission.	17
4.4.1 Alimentations en gaz comprimé et en contre-pression.	17
4.4.2 Fonctionnement incorrect de la pompe.	18
4.5 Résumé - Dangers d'origine physique.	18
5. Analyse des dangers.	19
6. Conception du système.	20
6.1 Pressions nominales dans un système.	20
6.2 Élimination de volumes stagnants.	20
6.3 Systèmes d'extraction de l'échappement.	21
6.4 Sources de mélanges de vapeur ou de gaz potentiellement explosifs.	21

6.5 Éviter la zone inflammable.	22
6.6 Niveaux d'intégrité du système.	25
6.7 Utilisation de systèmes de protection par pare-flammes.	25
6.8 Sources d'ignition.	26
6.9 Résumé - Conception du système.	27
7. Le bon choix en matière d'équipement.	29
7.1 Pompes à piston et pompes rotatives à palettes à joint d'huile.	30
7.2 Pompes sèches Edwards.	30
7.3 Conception des conduites.	30
7.3.1 Soufflets.	30
7.3.2 Connexions flexibles.	31
7.3.3 Points d'ancrage.	31
7.3.4 Joints.	31
7.4 Protection contre la surpression physique.	31
7.4.1 Détente.	32
7.4.2 Déclencheur/alarme de surpression.	32
7.4.3 Régulateurs de pression.	32
7.4.4 pare-flammes.	32
7.5 Systèmes de purge.	33
7.6 Résumé - Le bon choix en matière d'équipement.	33
8. Procédures de fonctionnement et formation.	34
9. Résumé.	35

Edwards Ltd décline toute responsabilité et ne donne aucune garantie concernant l'exactitude, la pratique, la sécurité et les résultats des informations, des procédures et de leurs applications décrites dans le présent document. Edwards Ltd décline toute responsabilité pour toute perte ou tout dommage découlant de la confiance accordée aux informations contenues dans cette présentation, ou si les informations fournies s'avèrent inexactes ou incomplètes de quelque manière que ce soit. Veuillez noter que les informations contenues dans le présent document sont uniquement fournies à titre indicatif et, bien qu'Edwards puisse fournir des conseils quant aux risques potentiels liés à l'utilisation de produits dangereux, il est de la responsabilité de l'utilisateur final d'effectuer une évaluation des risques/analyse des dangers propre à ses opérations et son environnement et de se conformer aux règlements gouvernementaux.

1. Introduction

1.1 Portée de cette publication

Ce document contient des informations de sécurité associées aux spécifications, à la conception, au fonctionnement et à l'entretien de pompes à vide et de systèmes de vide.

Il identifie certains dangers potentiels qui peuvent exister, et propose des directives permettant de réduire la probabilité de risques de sécurité au minimum et de s'assurer que tout risque éventuel est traité comme il se doit.

Ce document doit être lu par toutes les personnes qui rédigent des spécifications, conçoivent, installent, utilisent ou entretiennent des pompes à vide et des systèmes de vide. Nous recommandons de le lire en association avec les documents suivants :

- les modes d'emploi fournis avec votre équipement ;
- les informations fournies par les fournisseurs de gaz et de produits chimiques de procédé ;
- les informations fournies par votre service chargé de la sécurité.



AVERTISSEMENT :

Le non-respect des instructions de sécurité fournies dans le présent manuel, ainsi que dans le manuel d'instructions de la pompe concernée, peut entraîner des blessures graves ou la mort.

Pour toute autre information permettant de définir si les produits d'Edwards sont adaptés à votre application de traitement, ou toute question de sécurité concernant vos pompes à vide ou systèmes de vide, merci de contacter votre fournisseur ou Edwards.

1.2 Risques d'explosion

Remarque :

Les pompes d'Edwards sont conformes à la directive européenne ATEX qui s'applique aux équipements utilisés en atmosphères potentiellement explosives.

Les explosions inattendues découlent invariablement d'un non-respect des directives de sécurité. Néanmoins, dans certains cas, les explosions étaient extrêmement violentes et auraient pu provoquer des blessures graves, voire la mort.

La cause la plus fréquente de rupture violente d'un composant de système de vide est le colmatage ou la restriction du refoulement de la pompe ou lorsque des substances inflammables prennent feu. Pour contribuer à garantir un fonctionnement en toute sécurité de vos pompes à vide et de systèmes de vide, vous devez prêter une attention toute particulière aux remarques suivantes :

- À moins que votre système ne soit conçu pour le pompage de substances à des concentrations pouvant s'enflammer dans la pompe à vide, assurez-vous que les mélanges de substances inflammables et d'oxydants sont tenus à l'écart de la zone inflammable. L'utilisation d'une purge inerte permet d'y parvenir. Consultez [Éviter la zone inflammable](#) à la page 22.
- Assurez-vous que le refoulement ne peut pas être obstrué pendant le fonctionnement, soit en raison de composants mécaniques (par exemple, vannes

ou obturateurs), soit en raison de dépôts de substances de procédé ou de sous-produits dans les conduites, filtres et autres composants du refoulement, à moins que votre système ne soit conçu pour s'y adapter.

- Utilisez seulement des huiles PFPE (perfluoropolyéther) sur les mécanismes de pompe qui sont exposés à de grandes concentrations d'oxygène ou d'autres oxydants. D'autres types d'huile vendus comme "inflammables" peuvent être utilisés uniquement dans le cas de concentrations d'oxydant atteignant jusqu'à 30 % en volume.
- Assurez-vous qu'une surpression accidentelle d'un système de vide intentionnellement fermé et isolé est impossible, par exemple suite à une panne d'un régulateur de pression ou d'un système de commande de purge.
- Si le produit pompé peut réagir violemment avec l'eau, il est recommandé d'utiliser une substance de refroidissement autre que de l'eau (par exemple, du fluide de transfert thermique) dans le circuit de refroidissement. Contactez Edwards pour obtenir des conseils.

2. En cas de dangers

Des dangers peuvent survenir à toutes les phases de la vie d'un système. Ces phases sont les suivantes :

- Structure
- Construction
- Fonctionnement/mise en service
- Entretien/mise hors service.

Les types de problème pouvant survenir dans chaque phase sont résumés ci-dessous. Dans tous les cas, sachez que vous pouvez minimiser les risques dans votre système en connaissant bien l'équipement et le procédé/l'application qu'il contient. En cas de doute, vous devez demander de plus amples informations ou des conseils à vos fournisseurs.

2.1 Structure

Lorsque vous concevez votre système, vous devez choisir le type d'équipement adapté à votre application. Vous devez prendre en compte :

- les caractéristiques techniques de l'équipement ;
- les matériaux utilisés pour construire l'équipement ;
- les consommables de fonctionnement utilisés avec l'équipement (comme des lubrifiants et fluides de fonctionnement) ;
- les conditions et substances de procédé.

Vous devez également vérifier si l'équipement est bien adapté à votre application, et vous assurer qu'il sera toujours utilisé dans ses conditions de fonctionnement spécifiées.

Vous devez définir des procédures de conception afin de vous assurer que les erreurs soient réduites au minimum. Ces procédures devraient comprendre une vérification indépendante des calculs de conception, ainsi qu'une consultation concernant les paramètres de conception.

Votre examen de conception doit toujours comprendre une analyse des dangers. Vous pouvez éliminer un grand nombre de risques potentiels en réfléchissant à l'utilisation de l'équipement dans votre système.

2.2 Construction

Réduisez la probabilité d'un risque pendant la construction en utilisant un personnel qualifié et compétent, ainsi que des procédures d'assurance de qualité. Un personnel qualifié peut identifier les composants corrects qui sont requis pendant le montage, ainsi que l'équipement et les composants défectueux ou de mauvaise fabrication. Les procédures d'assurance de qualité permettront d'identifier et de rectifier tout défaut de fabrication, et de s'assurer de la stricte conformité aux caractéristiques de conception.

Le personnel doit porter une attention toute particulière aux précautions de sécurité et les respecter lors de l'installation de nouveaux équipements dans lesquels des substances toxiques, corrosives, inflammables, asphyxiantes, pyrophoriques ou d'autres substances dangereuses ont été pompées, produites ou peuvent être encore présentes.

L'équipement électrique doit être installé par un personnel qualifié/compétent, conformément à toutes les réglementations électriques locales et nationales en vigueur.

2.3 Fonctionnement/mise en service

Des dangers peuvent survenir pendant le fonctionnement suite à une panne d'un équipement ou d'un composant, causée par l'âge, la mauvaise utilisation ou le mauvais entretien de celui-ci. Réduisez la probabilité de ces dangers en mettant en place une formation adéquate sur l'utilisation (et l'entretien) de l'équipement. Le cas échéant, reportez-vous aux informations fournies par Edwards et vos autres fournisseurs dans les modes d'emploi, lors de formations et par le service après-vente.

2.4 Entretien/mise hors service

Pour éviter que le personnel n'entre en contact avec des substances dangereuses, il convient de faire particulièrement attention et de respecter toutes les précautions de sécurité pendant l'entretien d'un système dans lequel ont été pompées ou produites des substances toxiques, corrosives, inflammables, pyrophoriques, asphyxiantes ou toute autre substance.

Il convient également de planifier un programme d'entretien et de mettre au rebut en toute sécurité des composants pouvant être contaminés par des substances dangereuses. Vous devez suivre les conseils d'entretien donnés dans les modes d'emploi de tout équipement, afin d'assurer un fonctionnement sûr et fiable. Généralement, les systèmes ATEX présentent des exigences supplémentaires.

3. Dangers d'origine chimique

3.1 Réactions et explosions chimiques

Réfléchissez bien à toutes les réactions chimiques possibles qui pourraient se produire à n'importe quel moment dans votre système de vide, dans des conditions d'utilisation normales, en cas de mauvaise utilisation et de panne. En particulier, vous devez prendre en compte les réactions impliquant des gaz et vapeurs pouvant causer des explosions. L'expérience a montré que certaines explosions ont impliqué des substances qui n'avaient pas été prises en compte par le concepteur du système lors de la phase initiale, ou ont impliqué le mode panne d'un équipement qui n'avait pas été pris en compte.

3.1.1 Réactions homogènes

Les réactions homogènes surviennent dans la phase gazeuse entre deux types de molécules de gaz ou plus. Les réactions de combustion de gaz sont généralement homogènes. Par exemple, à notre connaissance, la réaction entre le silane (SiH_4) et l'oxygène (O_2) est toujours homogène. C'est pourquoi, si de telles réactions surviennent dans un procédé de fabrication, vous devez contrôler minutieusement la pression de procédé et les concentrations de réactifs, pour éviter des taux de réaction excessifs.

3.1.2 Réactions hétérogènes

Les réactions hétérogènes ont besoin d'une surface solide. Par exemple, certaines molécules de gaz ne réagissent que lorsqu'elles sont adsorbées sur une surface, mais ne réagissent pas en phase gazeuse à faibles pressions. Ce type de réaction est idéal pour certains procédés puisqu'il minimise les effets de réactions qui ont lieu à l'intérieur de la chambre de procédé, réduit la génération de particules et diminue la probabilité de contamination.

La plupart des réactions hétérogènes deviennent homogènes à des pressions plus élevées, généralement bien en dessous de la pression atmosphérique. Cela signifie que le mode de réaction des gaz dans les chambres de procédé n'a pas nécessairement de lien avec leur mode de réaction lorsqu'ils sont comprimés par une pompe à vide.

3.2 Problèmes causés par des réactions anormales

Des réactions anormales peuvent avoir lieu quand des produits chimiques entrent en contact avec des gaz ou des substances que le concepteur du système n'avait pas envisagés. Cela se produit, par exemple, en cas de fuite permettant à des gaz atmosphériques de pénétrer dans le système ou à des gaz toxiques, inflammables, explosifs ou d'autres gaz nocifs d'être rejetés dans l'atmosphère.

Pour éviter que ces réactions ne surviennent, vous devez maintenir une étanchéité inférieure ou égale à $1 \times 10^{-3} \text{ mbar l s}^{-1}$ ($1 \times 10^{-1} \text{ Pa l s}^{-1}$) dans votre système. Des applications à vide poussé maintiennent généralement une étanchéité inférieure ou égale à $1 \times 10^{-5} \text{ mbar l s}^{-1}$ ($1 \times 10^{-3} \text{ Pa l s}^{-1}$). Assurez-vous également que toutes les vannes du système sont étanches au niveau de leurs sièges.

Les gaz qui n'entrent normalement pas en contact les uns avec les autres pendant le cycle de procédé peuvent être mélangés dans le système de pompage et les conduites de refoulement.

De la vapeur d'eau ou des solutions nettoyantes peuvent se trouver dans la chambre de procédé après des procédures d'entretien de routine. Cela peut se produire une fois que la chambre de procédé a été vidée et nettoyée. De la vapeur d'eau peut également pénétrer dans le système à partir des systèmes de lavage et des conduites de refoulement.

Lorsque des solvants sont utilisés pour rincer les dépôts de procédé et les éliminer du système de vide, il est important que le solvant choisi soit compatible avec toutes les substances de procédé dans le système de vide.

3.3 Risques d'explosion

Les risques d'explosion ont généralement l'une des origines suivantes :

- Oxydants
- Substances explosives/inflammables
- Substances pyrophoriques
- Azoture de sodium.

Veillez noter que, dans les pays de l'Union européenne (et d'autres pays), les fournisseurs de substances de procédé ont l'obligation légale de publier des données physiques et chimiques pour les substances qu'ils vendent (normalement sous forme de fiches de données de sécurité). Les données concernant une substance doivent comprendre, le cas échéant, des informations sur les limites supérieure et inférieure d'explosion, les propriétés physiques et thermodynamiques de la substance et tous les risques pour la santé associés à l'utilisation de cette substance. Consultez-les pour plus d'informations.

3.3.1 Oxydants

Les oxydants, comme l'oxygène (O_2), l'ozone (O_3), le fluor (F_2), le trifluorure d'azote (NF_3) et l'hexafluorure de tungstène (WF_6), sont souvent pompés dans des systèmes de vide. Les oxydants réagissent rapidement avec une large gamme de substances et de matériaux, et la réaction produit souvent de la chaleur et une pression de gaz accrue. Cela peut créer des risques potentiels comme un incendie ou une surpression dans le système de pompage et/ou d'échappement.

Pour pomper ces gaz en toute sécurité, veuillez suivre les instructions de sécurité du fournisseur de gaz, ainsi que les recommandations suivantes :

- Utilisez toujours un lubrifiant PFPE (perfluoropolyéther) dans les pompes qui sont utilisées pour pomper de l'oxygène dans des concentrations supérieures à 25 % en volume dans un gaz inerte.
- Utilisez des lubrifiants PFPE dans des pompes qui sont utilisées pour pomper des gaz dont le pourcentage d'oxygène est normalement inférieur à 25 % en volume, mais pourrait dépasser les 25 % dans des conditions de panne. Si des oxydants autres que l'oxygène sont pompés, veuillez contacter le fournisseur de lubrifiants pour connaître les niveaux recommandés d'oxydants présents.
- Les lubrifiants PFPE sont les lubrifiants préférés, mais des lubrifiants à base d'hydrocarbures peuvent être utilisés si une purge de gaz inerte adaptée est utilisée pour garantir que l'huile n'est pas exposée à des niveaux d'oxydant dangereux.

Dans des circonstances normales, les lubrifiants PFPE ne s'oxydent ou ne se décomposent pas dans une boîte d'engrenages ou un carter d'huile de pompe à piston ou une pompe rotative à palettes à joint d'huile, ce qui réduit la probabilité d'une explosion.

Veillez noter que la décomposition thermique des lubrifiants PFPE peut avoir lieu à une température supérieure ou égale à 290 °C en présence d'air et de métaux ferreux. Cependant, la température de décomposition thermique baisse à 260 °C en présence de titane, de magnésium, d'aluminium ou de leurs alliages.

Si vous ne voulez pas utiliser des lubrifiants PFPE dans des pompes à vide à piston ou des pompes à vide rotatives à palettes à joint d'huile, vous pouvez diluer l'oxydant jusqu'à une concentration sûre à l'aide d'un gaz inerte, comme de l'azote sec. Cette approche ne peut être mise en œuvre qu'à des bas débits de gaz oxydants. Vous devez installer des fonctions de sécurité dans votre système pour vous assurer que le débit minimal de gaz de dilution inerte requis pour réduire la concentration de l'oxydant à un niveau sûr est toujours disponible, et pour vous assurer que le débit d'oxydant ne dépasse pas le débit maximal autorisé. Vous devez concevoir votre système de telle sorte que le débit d'oxydant s'arrête immédiatement si ces conditions ne sont pas remplies.

Nous recommandons l'utilisation de pompes sèches Edwards pour le pompage d'oxydants (voir [Pompes sèches Edwards](#) à la page 30). Les pompes sèches ne présentent pas de liquide d'étanchéité dans le volume engendré, la probabilité d'une explosion donc est largement réduite si vous utilisez une pompe sèche pour acheminer les oxydants. Edwards recommande une purge de gaz inerte pour les roulements, ainsi qu'à l'intérieur de la boîte d'engrenages, lorsqu'un lubrifiant hydrocarboné est utilisé.

3.3.2 Substances explosives/inflammables

De nombreux types de gaz et poussière, comme l'hydrogène (H₂), l'acétylène (C₂H₂), le propane (C₃H₈) et la poussière fine de silicium, sont inflammables et/ou explosifs à certaines concentrations en oxydant et en présence d'une source d'ignition. Une accumulation de chaleur localisée peut, par exemple, être une source d'ignition. Ce point est traité dans [Sources d'ignition](#) à la page 26.

Vous pouvez éviter les risques d'explosion en veillant à ce que la concentration du mélange potentiellement inflammable soit tenue à l'écart de la zone inflammable. Vous trouverez de plus amples détails dans la section [Éviter la zone inflammable](#) à la page 22.

Vous pouvez également réduire le risque d'explosion en éliminant la source d'ignition. Vous trouverez de plus amples détails dans la section [Sources d'ignition](#) à la page 26.

Lorsqu'il est impossible d'éviter la zone inflammable, vous devez vous assurer que l'équipement est conçu pour empêcher ou confiner toute explosion résultante, sans se rompre ou transmettre une flamme vers l'atmosphère extérieure. L'utilisation de pare-flammes est traitée dans la section [Utilisation de systèmes de protection par pare-flammes](#) à la page 25. Si l'atmosphère extérieure de votre système de vide présente des risques, vous devez vous assurer que tous les équipements sont adaptés.

Au sein de l'Union européenne, la directive ATEX fournit des indications claires pour la conception d'un équipement destiné à être utilisé dans des atmosphères potentiellement explosives.

Lorsqu'il est possible d'éviter de pomper des atmosphères potentiellement explosives dans toutes les conditions, tous les types de pompes à vide d'Edwards peuvent être utilisés pour pomper des vapeurs ou des gaz inflammables.

3.3.3 Substances pyrophoriques

Dans la plupart des conditions, des gaz pyrophoriques, comme le silane (SiH₄), la phosphine (PH₃) ou la poudre pyrophorique, réagissent spontanément dans l'air à la pression atmosphérique, une combustion pourrait donc se produire lorsque ces gaz entrent en

contact avec l'air ou un autre oxydant, lorsque la pression est suffisamment élevée pour entretenir la combustion. Cela peut se produire si de l'air pénètre dans le système ou si l'échappement du système entre en contact avec l'atmosphère. La chaleur produite par la réaction d'un oxydant et d'un gaz pyrophorique peut constituer une source d'ignition pour les substances explosives.

Si des gaz d'échappement de différents procédés sont remis à l'air par l'intermédiaire d'un système d'extraction commun, cela peut causer une combustion et/ou une explosion. Il est donc recommandé que vous utilisiez des systèmes d'extraction indépendants lorsque vous pompez des substances pyrophoriques.

Les procédés qui utilisent du phosphore peuvent provoquer la condensation de phosphore solide dans le système de vide ou dans le refoulement. En présence d'air, et sous réserve d'une légère agitation mécanique (par exemple, activation d'une soupape ou rotation de pompe causée par une pression différentielle), le phosphore peut s'enflammer spontanément et rejeter des gaz toxiques. Il est recommandé de faire fonctionner les pompes avec une purge de gaz inerte et de les faire suffisamment chauffer pour réduire la condensation de phosphore.

Les lubrifiants PFPE peuvent absorber les gaz de procédé qui, en présence de substances pyrophoriques, peuvent causer une inflammation locale lorsqu'ils sont exposés à l'air. Ce risque peut, en particulier, survenir pendant l'entretien ou lorsqu'un oxydant est pompé dans le système après un gaz ou une poudre pyrophorique. Vous pouvez réduire la probabilité de ce danger en utilisant des pompes sèches Edwards, qui ne contiennent pas de lubrifiant dans le volume engendré. Vous devez vous assurer que toutes les substances pyrophoriques ont été passivées avant de les remettre à l'air ou les manipuler.

3.3.4 Azide de sodium

L'azide de sodium est parfois utilisé pour préparer des produits en vue de leur lyophilisation et dans d'autres procédés de fabrication. Il peut produire de l'acide hydrazoïque. Les vapeurs d'acide hydrazoïque peuvent réagir avec des métaux lourds pour former des azides métalliques instables. Ces azides peuvent exploser spontanément.

Les métaux lourds comprennent :

- | | | |
|---|-------------|-------------|
| • Baryum | • Cadmium | • Césium |
| • Calcium | • Cuivre | • Plomb |
| • Lithium | • Manganèse | • Potassium |
| • Rubidium | • Argent | • Sodium |
| • Strontium | • Étain | • Zinc |
| • Alliages de cuivre/zinc (comme le laiton) | | |

Le laiton, le cuivre, le cadmium, l'étain et le zinc sont souvent utilisés dans de nombreux composants de pompes à vide, accessoires et tuyaux. Si votre système de procédé utilise ou produit de l'azide de sodium, vous devez vous assurer que le trajet des gaz dans votre système de procédé ne contient pas de métaux lourds.

3.4 Substances toxiques ou corrosives

De nombreuses applications sous vide impliquent le traitement et la manipulation de substances toxiques et corrosives et nécessitent donc des procédures spécifiques.

3.4.1 Substances toxiques

De par leur nature, les substances toxiques sont dangereuses pour la santé. Cependant, la nature du risque est spécifique à la substance et à sa concentration relative. Vous devez respecter les procédures de manipulation correctes prévues par le fournisseur de la substance et la législation applicable.

Vous devez également tenir compte des points suivants :

- **Dilution de gaz** - Il existe des installations qui permettent de diluer les gaz de procédé toxiques lorsqu'ils passent dans la pompe à vide et le refoulement. Vous pouvez utiliser cette dilution pour réduire la concentration en dessous de la limite toxique. Il est recommandé de surveiller l'alimentation en gaz de dilution afin qu'une alarme soit émise si l'alimentation est défaillante. Pour les pompes à joint d'huile, reportez-vous au mode d'emploi de la pompe pour de possibles kits retour d'huile requis.
- **Détection de fuites** - Les systèmes de vide d'Edwards sont généralement conçus pour être étanches à un niveau inférieur à 1×10^{-3} mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹). Il n'est cependant pas possible de garantir l'étanchéité du système adjacent. Vous devez utiliser une méthode de détection de fuites adaptée (par exemple, détection de fuites par spectrométrie de masse à l'hélium) pour confirmer l'intégrité du système de vide et d'échappement.
- **Étanchéités d'arbre (pompes sèches Edwards)** - De nombreuses pompes à vide sèches utilisent un système de purge de gaz pour garantir que les gaz de procédé ne pénétreront pas dans la boîte d'engrenages et en conséquence ne seront pas en contact avec l'atmosphère entourant le système de vide. Vous devez assurer l'intégrité de cette alimentation en gaz lors de la manipulation de substances toxiques. Des régulateurs sans remise à l'air doivent être utilisés en association avec un clapet anti-retour, comme indiqué en détail dans la section [Régulateurs de pression](#) à la page 32.
- **Étanchéités d'arbre (autres pompes Edwards)** - Les joints d'axe à huile (par exemple, pompes mécaniques Roots EH et pompes rotatives à palettes EM) doivent permettre de réduire le risque de fuites de gaz de procédé (ou d'air) et peuvent donner un avertissement visuel (fuite d'huile ou réduction du niveau d'huile) avant qu'un danger ne survienne. D'autres types de joint ne donnent peut-être pas d'avertissement de panne adapté.
- **Entraînements magnétiques** - Lorsqu'une étanchéité hermétique et totale est nécessaire, les pompes à vide sèches EDP d'Edwards peuvent être fournies avec un entraînement magnétique employant une cuve de rétention en céramique qui permet de se passer de l'installation de joints sur l'arbre d'entrée du moteur.

Si des clapets de détente ou disques de rupture sont utilisés pour réduire l'excès de pression, assurez-vous qu'ils sont mis à l'air en toute sécurité dans un système d'échappement adapté, afin d'empêcher tout danger toxique.

Lorsque vous renvoyez à Edwards du matériel sous vide contaminé pour en assurer l'entretien ou le service, vous devez respecter les procédures spécifiques (Formulaire HS1) et remplir la déclaration (Formulaire HS2) qui se trouvent dans le mode d'emploi remis avec cet équipement.

3.4.2 Substances corrosives

Lors du pompage de substances corrosives avec des pompes à vide Edwards, vous devez tenir compte des points suivants :

- **Entrée d'humidité** - Vous devez faire très attention afin d'éviter la pénétration d'air humide qui peut accélérer les effets corrosifs. Il convient d'utiliser une purge inerte dans le cadre de la procédure d'arrêt afin de rincer les substances corrosives et de les évacuer hors du système avant l'arrêt.
- **Dilution** - Utilisez un gaz de dilution adapté pour empêcher la condensation de substances corrosives et donc atténuer toute corrosion.
- **Température** - Augmentez la température de la conduite d'échappement et de la pompe pour empêcher toute condensation de vapeur d'eau et, par conséquent, limiter toute corrosion. Dans les cas où des températures élevées peuvent augmenter les taux de corrosion, veuillez vous référer au paragraphe ci-dessous.
- **Corrosion de l'équipement de sécurité** - Lorsqu'un équipement critique pour la sécurité (comme des éléments de pare-flamme, des capteurs de température, etc.) peut être endommagé par des produits corrosifs dans le débit de gaz de procédé, il convient de bien choisir ses matériaux de construction pour éliminer ce risque.
- **Changements de phase** - Les changements de phase imprévus peuvent causer une condensation. Il convient de prendre en compte les changements de température et de pression pour éviter ce risque.
- **Réactions imprévues** - Des réactions chimiques imprévues peuvent amener à la génération de produits corrosifs. Il convient de bien prendre en compte la possibilité de contamination croisée lorsque l'équipement est utilisé pour diverses applications.

Certaines substances corrosives comme le fluor, le chlore ou d'autres halogènes ou halogénures, ainsi que des agents oxydants tels que l'ozone ou des agents réducteurs comme le sulfure d'hydrogène, peuvent également attaquer les matériaux avec lesquels elles entrent en contact, sans nécessiter la présence d'un liquide. Dans ces cas, la pression partielle de la substance corrosive doit être réduite au minimum à l'aide d'un gaz de dilution approprié. Les matériaux de construction du système de vide et du modèle de pompe doivent être sélectionnés selon leur compatibilité avec le gaz concerné dans les concentrations prévues. Des températures élevées peuvent accélérer la corrosion et doivent donc être réduites au minimum lorsqu'un autre processus le permet. Les intervalles d'entretien doivent être revus pour prendre en compte l'effet des substances corrosives sur le système.

3.5 Résumé - Dangers d'origine chimique

- Envisagez toutes les réactions chimiques pouvant survenir à l'intérieur de votre système.
- Tenez compte des réactions chimiques anormales, y compris celles qui pourraient se produire dans des conditions de panne.
- Reportez-vous aux fiches de données de sécurité lorsque vous évaluez les risques potentiels associés à vos substances de procédé.
- Utilisez des techniques de dilution pour limiter au minimum les réactions avec des oxydants et des substances inflammables.
- Au sein de l'UE, lorsqu'une zone inflammable a été spécifiée, vous devez utiliser une pompe à vide appropriée certifiée ATEX. Pour toutes les autres régions, Edwards recommande l'utilisation, dans la mesure du possible, de pompes certifiées en vertu de la directive ATEX.
- Utilisez le type de lubrifiant adapté à votre pompe lorsque vous pompez des oxydants, et envisagez d'utiliser une pompe sèche.
- N'utilisez pas de métaux lourds dans le trajet des gaz de votre système de procédé si votre procédé utilise ou produit de l'azide de sodium.

- Faites tout particulièrement attention lorsque vous manipulez des substances toxiques, corrosives ou instables.

4. Dangers d'origine physique

4.1 Types de risque de surpression

La surpression de composants d'un système de vide peut être le résultat de l'un des événements suivants :

- l'introduction de gaz haute pression dans le système ;
- la compression du gaz par le système ;
- une augmentation soudaine de la température du gaz volatil dans le système ;
- un changement de phase causant le dépôt de produit solide ;
- une réaction à l'intérieur du système de vide ;
- un refoulement bloqué.

D'autres causes sont possibles.

4.2 Refoulement de la pompe en surpression

Une des causes courantes d'un refoulement en surpression est une obstruction ou un étranglement dans le système d'échappement. Cela peut causer une panne de la pompe ou d'autres composants du système.

Les pompes à vide sont des compresseurs qui sont spécialement conçus pour fonctionner à des taux de compression sortie/admission élevés.

En plus de la surpression potentielle causée par le fonctionnement de la pompe, l'introduction d'un gaz comprimé (comme un gaz de purge ou de dilution) peut également mettre le système en surpression si le système d'échappement est obstrué ou bloqué.

Lorsqu'une pompe est équipée de pare-flammes ou d'autres équipements, comme des filtres ou des condenseurs, du côté de l'échappement, il est essentiel que la contre-pression à l'échappement ne dépasse pas la limite maximale indiquée dans le mode d'emploi du système de vide. Un programme d'entretien adapté doit être mis en place pour s'assurer que des dépôts de procédé ne bloquent pas le système d'échappement et le pare-flamme. Si cela n'est pas pratique, un capteur de pression doit être installé entre la pompe et le pare-flamme pour détecter toute obstruction. Des considérations similaires doivent s'appliquer aux autres équipements de refoulement, notamment les filtres et les condenseurs.

Une sublimation ou un changement de phase peut causer une obstruction, par des dépôts solides, des canalisations de procédé et présenter un risque de surpression.

Consultez les modes d'emploi fournis avec le système de pompe à vide pour connaître les contre-pressions maximale et continue recommandées pour tous les composants de refoulement, notamment votre pompe à vide. Concevez le système d'échappement de sorte que ces contraintes puissent être satisfaites.

Pour connaître les limites lors d'un fonctionnement en continu, consultez le mode d'emploi de la pompe.

4.3 Protection contre la surpression au refoulement

Nous recommandons généralement que les pompes soient utilisées lorsque l'échappement est raccordé à un système de refoulement mis à l'air libre. Votre système d'échappement peut toutefois intégrer des composants qui peuvent causer une obstruction ou un

étranglement du système. Dans ce cas, vous devez également mettre en place des systèmes de protection adaptés contre la surpression. Ces systèmes peuvent, entre autres, être :

Composant	Système de protection
Soupape dans la conduite de refoulement	Verrouillage de la soupape pour qu'elle reste ouverte lorsque la pompe fonctionne
	Intégration d'un bypass de détente
Système de lavage au refoulement	Intégration d'un bypass de détente
	Intégration d'un contrôleur de pression et verrouillage de celui-ci avec la pompe de sorte que la pompe soit mise hors tension quand la pression de refoulement est trop élevée.
Pare-flammes	Mesure de pression de refoulement.
	Mesure de pression différentielle
Condenseur de brouillard d'huile	Intégration d'un dispositif de détente

En résumé, si la pression dans le système d'échappement s'approche de la pression maximale admissible :

- Réduisez la pression en utilisant un dispositif dans un trajet des gaz parallèle à l'obstruction ou à l'étranglement.
- Réduisez la source de la pression. Arrêtez la pompe ou fermez les éventuelles alimentations en gaz comprimé.

4.4 Surpression à l'admission

4.4.1 Alimentations en gaz comprimé et en contre-pression

La pression nominale requise de la conduite reliant la pompe au système de vide est souvent sous-estimée, car on pense que cette conduite ne sera pas soumise à des pressions supérieures à la pression atmosphérique. Dans la pratique, cela est seulement vrai dans des conditions de fonctionnement nominales normales. Vous devez évaluer la pression nominale requise en tenant compte des pressions plus élevées causées par des conditions anormales ou par des conditions de panne.

Une cause courante d'une surpression dans les conduites d'admission de la pompe est l'introduction de gaz comprimés (comme des gaz de purge) lorsque la pompe ne fonctionne pas. Si des composants de la conduite d'admission ne sont pas adaptés aux pressions résultantes, la conduite se rompt et les gaz de procédé du système fuient. Un reflux de gaz du système vers une chambre de procédé qui n'est pas en mesure de résister à la pression résultante causera également des ruptures et des fuites.

Lorsque vous raccordez des alimentations en gaz comprimé à votre système par l'intermédiaire de régulateurs de pression conçus pour fournir un flux de pression réduit, assurez-vous que la pression est adaptée au système.

Les régulateurs de pression sans remise à l'air souvent utilisés causeront une augmentation de la pression dans le système à la pression de l'alimentation en gaz du régulateur, en l'absence de débit de gaz de procédé dans le système. Vous devez par conséquent suivre l'une des deux méthodes suivantes pour éviter toute surpression :

- réduire la pression, et permettre au gaz de contourner la pompe et de s'écouler dans un refoulement mis à l'air libre ;
- contrôler la pression du système et utiliser une soupape à fermeture positive pour fermer l'alimentation en gaz comprimé à un niveau de pression prédéterminé.

4.4.2 Fonctionnement incorrect de la pompe

Il convient de prendre des précautions particulières jusqu'à ce qu'il soit établi que la pompe fonctionne correctement.

Si le sens de rotation de la pompe est incorrect et si la pompe est utilisée alors que l'admission est obstruée ou bloquée, la pompe générera une pression élevée dans la conduite d'admission. Cela peut entraîner la rupture de la pompe, des conduites et/ou des composants de celles-ci.

Utilisez toujours une plaque d'obturation fixée à l'admission de la pompe par des vis sans être serrée, jusqu'à ce que vous ayez établi que le sens de rotation de la pompe est correct.

Un fonctionnement à des vitesses de rotation élevées peut causer une rupture de la pompe. N'utilisez pas la pompe à des vitesses de rotation supérieures à la vitesse de rotation nominale maximale. Cela est particulièrement important lorsque vous utilisez des variateurs de fréquence pour contrôler la vitesse.

4.5 Résumé - Dangers d'origine physique

- Lorsque vous effectuez des calculs de sécurité, assurez-vous de bien prendre en compte les pressions de travail sûres pour tous les composants du système.
- Assurez-vous que le refoulement de la pompe ne peut pas s'obstruer ou se restreindre.
- Si un risque de hautes pressions supérieures à la pression nominale d'une partie de votre système de vide existe, nous vous recommandons d'intégrer à votre système un équipement de mesure de la pression correctement positionné. L'équipement doit être raccordé à votre système de commande afin de mettre le système en situation de sécurité, si une condition de surpression est détectée.
- Tenez compte des conditions anormales et des conditions de panne quand vous évaluez la pression nominale requise pour le système de vide et les composants de la pompe.
- Assurez-vous d'intégrer le type correct de dispositif de détente adapté à votre application.
- Assurez-vous que les alimentations en gaz comprimé sont régulées et contrôlées correctement. Fermez ces alimentations si la pompe est arrêtée.
- Dans la mesure du possible, assurez-vous que la pression d'alimentation de toutes les purges régulées est inférieure à la pression statique maximale admissible du système. Vérifiez également qu'un dispositif de détente est disponible en cas de panne des composants.

5. Analyse des dangers

Les techniques d'analyse des dangers offrent une approche structurée d'identification et d'analyse des dangers dans un système utilisé dans des conditions normales, et des dangers qui peuvent survenir dans des conditions de panne et de défaillance. Ces techniques donnent une méthode de gestion des dangers et leur utilisation peut, dans certains cas, être une obligation légale. Pour être vraiment efficace, une analyse des dangers doit commencer pendant la conception initiale d'un système et se poursuivre tout au long de l'installation et du fonctionnement, ainsi que lors de l'entretien et de la mise hors service du système.

Une étude détaillée des techniques d'analyse des dangers sort du champ d'application de la présente publication. De nombreuses techniques d'analyse des dangers sont toutefois décrites dans d'autres documents. Par exemple, l'industrie du traitement chimique utilise souvent les études HAZOP (portant sur les dangers et l'opérabilité). Cette procédure d'analyse des dangers porte sur l'identification des dangers et des problèmes de fonctionnement potentiels.

En général, une analyse de dangers génère des informations sur le type de dangers, leur gravité et la probabilité qu'ils surviennent. Ces informations peuvent être utilisées pour décider du meilleur moyen de réduire les effets des dangers à des niveaux acceptables. Selon l'origine du danger, il peut être possible d'éliminer celui-ci, de limiter sa gravité et/ou de réduire la probabilité qu'il survienne. Il est toutefois rare de pouvoir les éliminer complètement.

Vous devez envisager tous les effets possibles d'un danger lorsque vous décidez du meilleur moyen de le gérer. Par exemple, une surface chaude de petite taille peut présenter un danger mineur pour un opérateur, car elle pourrait causer une brûlure. Pour réduire la probabilité d'une brûlure, le concepteur du système peut prévoir un avertissement visible de la surface chaude ou peut installer un dispositif de protection autour de cette surface. L'analyse des dangers du système peut aussi toutefois indiquer que cette même surface chaude pourrait être une source d'ignition pour des vapeurs inflammables, ce qui pourrait causer une explosion ou le rejet d'un nuage de vapeur toxique. Pour réduire la probabilité de l'inflammation, le concepteur du système doit réduire la température de la surface chaude ou s'assurer que des vapeurs inflammables ne peuvent pas entrer en contact avec la surface chaude.

6. Conception du système

6.1 Pressions nominales dans un système

Comme indiqué dans la section *Dangers d'origine physique* à la page 16, les conduites et composants du système de vide sont conçus pour fonctionner à des pressions internes inférieures à la pression atmosphérique. Dans la pratique, vous devez toutefois également concevoir votre système pour une utilisation à des pressions internes supérieures à la pression atmosphérique. Le cas échéant, vous devez intégrer des dispositifs de détente pour empêcher toute surpression.

Il est important de ne pas laisser les tuyaux d'admission et d'autres composants d'admission devenir la pièce la plus faible du système, en supposant qu'ils fonctionneront toujours sous vide, même dans des conditions de panne.

Les systèmes d'échappement doivent toujours être conçus pour fournir à la pompe la contre-pression la plus basse possible pendant le fonctionnement. Il est toutefois important que vous conceviez votre système d'échappement avec une pression nominale adaptée à une utilisation aux pressions pouvant être générées par la pompe et, par exemple, par l'introduction d'un gaz comprimé dans le système. Il doit également pouvoir être utilisé avec les mesures de protection contre la surpression mises en place.

Lorsque vous réalisez votre analyse des dangers, vous devez toujours prendre en compte :

- les admissions externes, comme des raccords de gaz inerte ;
- l'isolation et l'étranglement de toutes les sources, en particulier dans les conduites d'échappement ;
- les réactions entre les gaz de procédé.

Il convient de noter que, lorsqu'un récipient contient un liquide volatil et peut être isolé du reste du système, l'application d'une chaleur externe (par exemple, lors d'un incendie) peut causer des pressions internes plus élevées que la pression nominale du récipient. Vous devez envisager de mettre en place une détente adaptée dans ce cas.

6.2 Élimination de volumes stagnants

Un volume stagnant est un volume dans un tuyau de vide ou composant qui n'est pas traversé par un débit de gaz. Il peut, par exemple, être la boîte d'engrenages d'une pompe mécanique Roots ou la tête de jauge d'un instrument. Des canalisations équipées de vannes et des tuyaux d'admission d'azote gazeux peuvent également devenir des volumes stagnants lorsqu'ils sont isolés.

Vous devez prendre en compte les volumes stagnants lorsque vous réfléchissez au mélange et à la réaction des gaz de procédé qui ne se trouvent normalement pas ensemble dans la chambre de procédé. Les tuyaux, pompes et chambres de procédé transportent généralement des gaz de manière linéaire, un gaz ou mélange de gaz après l'autre. Les gaz transportés dans ces débits linéaires ne se mélangent normalement pas à moins que la vitesse du gaz d'échappement ne soit réduite par une obstruction ou un étranglement. Un volume stagnant n'est pas purgé et peut être rempli de gaz de procédé au fur et à mesure de l'augmentation et de la réduction de la pression dans le système. Des gaz traversant le système au niveau d'une étape du procédé peuvent ainsi être retenus. Ils peuvent alors réagir avec des gaz provenant d'une phase suivante du procédé. Une bonne évacuation de la chambre entre l'introduction de gaz incompatibles assurera une protection contre le risque d'explosion.

Faites tout particulièrement attention lorsque vous réfléchissez à la contamination croisée dans des volumes stagnants et lorsque les gaz sont potentiellement explosifs. En particulier, vous devez prendre en compte le risque d'accumulation dans les filtres et séparateurs, ainsi que d'autres composants. Le cas échéant, utilisez des débits de gaz de purge inerte continus et à haute intégrité pour réduire la probabilité de contamination croisée.

Lorsque vous pompez des substances inflammables, il est possible que les volumes stagnants se remplissent de vapeurs ou de gaz potentiellement explosifs qui ne peuvent pas être éliminés par une purge normale. Si une source d'ignition est également potentiellement présente, vous pouvez envisager de purger spécifiquement ce volume stagnant.

6.3 Systèmes d'extraction de l'échappement

Il est important que vous utilisiez le type de système d'extraction de l'échappement adapté à votre procédé. Comme indiqué précédemment, le système d'extraction doit être conçu pour résister aux pressions de fonctionnement et, en cas de production ou de traitement de produits dangereux, doit être suffisamment étanche pour contenir les substances de procédé et leurs sous-produits tout en évitant des émissions dangereuses dans l'atmosphère.

6.4 Sources de mélanges de vapeur ou de gaz potentiellement explosifs

Lorsqu'une vapeur ou un gaz inflammable est mélangé avec une concentration correcte d'oxygène ou d'un autre oxydant adapté, cela forme un mélange potentiellement explosif qui peut s'enflammer en présence d'une source d'ignition.

Même s'il est généralement évident qu'une substance pompée est potentiellement explosive, selon l'expérience d'Edwards, il existe des cas où un mélange potentiellement explosif est produit en raison de conditions qui ne sont pas prises en compte lors de la conception du système pour le procédé. Vous devez identifier toutes les conditions de procédé possibles et toutes les sources possibles de mélanges potentiellement explosifs qui pourraient être générés par votre équipement. Vous trouverez quelques exemples tirés de l'expérience d'Edwards ci-dessous, mais cette liste n'est pas du tout exhaustive :

- **Contamination croisée** - Lorsqu'une pompe à vide est utilisée pour différentes tâches, elle peut parfois être utilisée en toute sécurité avec certaines substances, mais, si elle n'est pas purgée avant d'être utilisée avec d'autres substances, cela peut entraîner une contamination croisée avec des réactions inattendues.
- **Liquides de nettoyage** - Une application peut être considérée comme bénigne, mais, lorsque des liquides de nettoyage inflammables sont utilisés puis séchés par évacuation de la pompe à vide, cela peut créer un mélange potentiellement explosif.
- **Substances inattendues** - Lors de tâches de « centrale de vide », dans lesquelles la pompe à vide sert de système de vide par répartition, il est possible de pomper des substances inflammables qui n'ont pas été prises en compte pendant la conception du système. Ces substances peuvent avoir des températures d'auto-inflammation inférieures aux températures internes ou à la température nominale de la pompe à vide.
- **Vapeurs dissoutes** - Ces vapeurs peuvent évoluer pendant le fonctionnement du procédé et des précautions doivent être prises pour sélectionner la température nominale interne correcte pour celui-ci. Généralement, sur le marché des procédés chimiques, elles sont couvertes par les exigences de la directive ATEX.

- **Fuites d'air** - Lorsque de l'air ou un oxydant pénètre accidentellement dans un système, cela peut changer la concentration d'une vapeur ou d'un gaz inflammable et créer un mélange potentiellement explosif.
- **Liquides d'étanchéité inflammables** - Lorsqu'un liquide inflammable est utilisé comme liquide d'étanchéité dans une pompe à vide à anneau liquide et que de l'air pénètre dans le système, cela crée un mélange interne potentiellement explosif.
- **Substances de procédé condensées** - Si la présence d'une substance inflammable condensée dans votre système est possible, vous devez être conscient qu'elle peut réagir au contact des oxydants des autres étapes du procédé ou de l'air (par exemple, dans le refoulement). Cette situation peut être évitée grâce à une température adaptée ou au contrôle de la pression partielle.

6.5 Éviter la zone inflammable

Une substance inflammable ne créera une atmosphère potentiellement explosive que si elle est combinée avec de l'air, de l'oxygène ou d'autres oxydants et si sa concentration est comprise entre la limite inférieure d'inflammabilité (LII) (ou limite inférieure d'explosivité, LIE) et la limite supérieure d'inflammabilité (LSI) (ou limite supérieure d'explosivité, LSE). Veuillez noter que la plupart des données trouvées dans la documentation se réfèrent aux limites d'inflammabilité dans l'air, c'est-à-dire lorsque l'oxygène correspond à l'oxydant. Toutes les informations fournies ci-dessous sont fondées sur cette supposition.

Pour être potentiellement explosive, la concentration d'oxygène doit également être supérieure à la concentration minimale en oxygène (CMO) (ou concentration limite en oxygène, CLO). La CMO (CLO) de la plupart des gaz inflammables est supérieure ou égale à 5 % en volume. (Remarque : cela ne s'applique pas aux substances pyrophoriques qui nécessitent de prendre des précautions particulières.)

Il existe de nombreuses stratégies pouvant être utilisées pour éviter un fonctionnement avec des mélanges de gaz dans la zone inflammable. Le choix de la stratégie dépendra des conclusions de l'évaluation des risques (analyse des dangers) pour le procédé et le système de pompage :

- **Maintien de la concentration en gaz inflammable en dessous de la LII (LIE)**
 Pour réduire au minimum le risque de pénétration accidentelle du gaz inflammable dans la zone inflammable, il convient d'utiliser une marge de sécurité pour un fonctionnement en dessous de la LII (LIE).
 Une marge de sécurité doit être déterminée par l'utilisateur à la suite d'une évaluation des risques. Certaines autorités suggèrent le maintien de la concentration à un niveau inférieur à 25 % de la LII (LIE).
 La méthode la plus utilisée pour maintenir une concentration convenable à un niveau inférieur à la LII (LIE) consiste à effectuer une dilution en introduisant une purge de gaz inerte (par exemple, de l'azote) dans l'admission de la pompe et/ou les raccords de purge. L'intégrité requise du système de dilution et des alarmes ou verrouillages dépendra de la zone de danger qui résulterait si le système de dilution ne marchait pas.

Remarque :

Assurez-vous que des précautions appropriées ont été prises pour éviter tout risque d'asphyxie.

- **Maintien de la concentration en oxygène en dessous de la CMO (COF)**

Ce mode de fonctionnement nécessite de contrôler la concentration en oxygène des gaz pompés pour assurer un fonctionnement en toute sécurité. Pour réduire au minimum le risque de pénétration accidentelle du gaz inflammable dans la zone inflammable, il convient d'utiliser une marge de sécurité pour un fonctionnement en dessous de la CMO (COF). Les normes du secteur en vigueur pour contrôler la concentration en oxygène en continu consistent à maintenir cette concentration à un niveau inférieur à 2 % en volume en dessous de la CMO (COF) la plus basse publiée pour le mélange de gaz. Sauf si la CMO (COF) est inférieure à 5 %, la concentration en oxygène doit être maintenue en dessous de 60 % de la CMO (COF). Si la surveillance se fait uniquement sous forme de vérifications régulières des niveaux d'oxygène, ces derniers ne doivent pas dépasser 60 % de la CMO (COF) la plus basse publiée, sauf si la CMO (COF) est inférieure à 5 %, dans ce cas la concentration d'oxygène doit être maintenue en dessous de 40 % de la CMO (COF).

La méthode préférée pour maintenir le niveau d'oxygène en dessous de la CMO (COF) la plus basse publiée consiste à exclure rigoureusement l'air et l'oxygène du procédé et du système de pompage, tout en diluant le gaz pompé avec un gaz de purge inerte (comme de l'azote) introduit dans l'admission de la pompe et/ou les raccords de purge, le cas échéant. L'intégrité requise des mesures d'exclusion d'air/oxygène et des alarmes ou verrouillages dépendra de la zone de danger qui résulterait si les systèmes d'exclusion et de dilution ne marchaient pas.

Vous trouverez les précautions généralement requises pour exclure rigoureusement l'air du procédé et du système de pompage à la fin de cette section.

- **Maintien de la concentration en gaz inflammable au-dessus de la LSI (LSE)**

Lorsque les concentrations en gaz inflammable sont élevées, un fonctionnement à un niveau supérieur à la LSI (LSE) peut être plus adapté. Pour réduire au minimum le risque d'intrusion accidentelle dans la zone inflammable, il convient d'utiliser une marge de sécurité pour un fonctionnement à un niveau supérieur à la LSI (LSE). Il est recommandé de maintenir le niveau d'oxygène résiduel dans le gaz à moins de 60 % du niveau d'oxygène absolu normalement présent à la concentration de LSI (LSE) du gaz inflammable.

La méthode préférée pour maintenir le niveau d'oxygène en dessous de cette marge de sécurité consiste à exclure rigoureusement l'air et l'oxygène du procédé et du système de pompage. Il peut également être nécessaire de diluer le gaz pompé avec un gaz de purge inerte (comme de

l'azote) ou un autre gaz inflammable (« gaz de remplissage ») introduit dans l'admission de la pompe et/ou les raccords de purge. L'intégrité requise des mesures d'exclusion d'air, du système d'introduction de gaz de purge éventuel et des alarmes ou verrouillages dépendra de la zone de danger qui résulterait si les systèmes d'exclusion et de dilution ne marchaient pas.

- **Maintien de la concentration de gaz inflammable en dessous de la pression d'explosion minimale**

Chaque substance inflammable possède une pression minimale en dessous de laquelle une explosion peut être contenue. Si la pression à l'admission de la pompe à vide peut être maintenue en toute sécurité en dessous de cette pression, les ignitions qui se déclenchent à l'intérieur de la pompe à vide ne seront pas en mesure de se propager vers l'admission. Des précautions doivent cependant être prises pour le refoulement de la pompe à vide.

Les précautions généralement requises pour exclure rigoureusement l'air du procédé et du système de pompage sont les suivantes :

- **Élimination des fuites d'air**

Utilisez un détecteur de fuites ou réalisez un test d'augmentation de pression. Avant d'introduire des substances inflammables dans la chambre de procédé, vous pouvez réaliser un test pour établir si cette fuite d'air (oxygène) dans le système de vide est comprise dans les limites admissibles.

Pour réaliser un test d'augmentation de pression, la chambre de procédé vide est évacuée à une pression juste en dessous de la pression de fonctionnement normale, avant d'être isolée de la pompe à vide. La pression dans la chambre de procédé est alors enregistrée pendant une période fixe. Puisque l'on connaît le volume de la chambre de procédé ainsi que la fuite d'air maximale admissible, il est possible de calculer une augmentation de pression maximale admissible pouvant survenir au cours de la période fixe. Si cette limite de pression maximale est dépassée, il convient de prendre des mesures pour colmater la source de la fuite d'air (oxygène) dans la chambre de procédé. Le test doit alors être de nouveau réalisé avant de permettre l'admission de substances inflammables dans la chambre de procédé.

Dans certains cas, la capacité du système de vide à arriver à une bonne pression de base peut être utilisée pour indiquer l'étanchéité du système.

- **Éliminer tout l'air du système avant le début du procédé**

Avant d'introduire des gaz inflammables dans le procédé, le système doit être complètement évacué et/ou purgé au gaz inerte (comme l'azote), afin d'éliminer tout l'air se trouvant dans le système. À la fin du procédé, répétez cette procédure pour éliminer tout gaz inflammable avant que le système ne soit remis à l'air.

- **Pour les pompes à vide sèches**

Assurez-vous que le gaz ou la purge de joint d'axe éventuel ne peut, en aucun cas, être fourni avec de l'air ou contaminé par de l'air, et vérifiez que l'orifice de lest d'air est fermé hermétiquement ou seulement utilisé pour introduire du gaz inerte.

- **Pour les pompes à vide à huile (par exemple, les pompes rotatives à palettes ou à piston)**

Entretenez les joints d'axe conformément aux instructions du fabricant et utilisez un système de lubrification à pompe sous pression équipé d'une alarme indiquant toute perte de pression d'huile. Ce système peut comprendre un accessoire externe permettant de fournir de l'huile de lubrification filtrée et pressurisée, avec un pressostat. Assurez-vous que l'orifice de lest d'air est fermé hermétiquement ou seulement utilisé pour introduire du gaz inerte. Prévoyez une purge de gaz inerte adéquate pour le carter d'huile, afin d'éliminer l'air avant le début du procédé.

- **Pour les pompes à vide Roots**

Entretenez le joint d'arbre d'entraînement primaire conformément aux instructions du fabricant et assurez-vous que les raccords de purge ou d'orifice de mise à l'air libre sont seulement utilisés pour introduire du gaz inerte.

- **Reflux**

Assurez-vous que les procédures de fonctionnement du système et les installations protègent le système contre tout reflux d'air qui pourrait causer une défaillance de la pompe. Assurez-vous que les gaz inflammables sont mis au rebut en toute sécurité lors de la dernière remise à l'air du refoulement de la pompe. Assurez-vous qu'aucun mélange de gaz inflammables ne peut se produire dans la conduite de refoulement, en utilisant une purge de gaz inerte adaptée dans la conduite avant le début et après la fin du procédé de gaz inflammable, et en utilisant une purge de gaz inerte adaptée pendant le fonctionnement, pour empêcher le rétro-mélange turbulent de l'air dans le refoulement.

6.6 Niveaux d'intégrité du système

Les méthodes de protection utilisant une dilution au gaz inerte ont été abordées dans les sections précédentes. Le principe de la méthode consiste à mélanger un gaz inerte (généralement de l'azote) avec vos gaz de procédé, afin de les diluer à un niveau ne permettant aucune explosion ou réaction. Lorsque vous utilisez la dilution au gaz comme système de sécurité primaire pour protéger le système contre toute explosion potentielle, vous pouvez avoir besoin d'un système de verrouillage et d'alarme à haute intégrité pour empêcher le fonctionnement du système lorsque le système de dilution au gaz n'est pas opérationnel. L'intégrité du système de dilution de gaz devrait être prise en compte pendant l'évaluation des risques (analyse des dangers) et dépendra du zonage interne (c.-à-d. du niveau de risque) qui résulterait si le système de dilution ne marchait pas. La meilleure pratique en vigueur doit toujours être appliquée à cette évaluation des risques, afin de déterminer les niveaux d'intégrité de système requis.

Par exemple, si un système de dilution est utilisé pour maintenir une concentration en gaz inflammable en dehors de la zone inflammable, et si une défaillance de dilution résulte en ce que le gaz pompé est toujours ou durant de longues périodes dans la zone inflammable (généralement >50 % pour l'exigence ATEX de Zone 0), le système de dilution doit alors remplir l'une des conditions suivantes :

- il doit disposer d'une sécurité intégrée même en cas de dysfonctionnement rare ;
- il doit être sûr en cas de deux pannes ;
- Il doit comprendre deux systèmes d'alimentation de dilution indépendants.

Par ailleurs, si le résultat d'une défaillance du système de dilution est que le gaz pompé se trouve dans la zone inflammable de temps à autre (généralement la condition ATEX de Zone 1), le système de dilution doit alors remplir l'une des conditions suivantes :

- il doit disposer d'une sécurité intégrée même en cas de dysfonctionnement attendu ;
- Il doit être sûr en cas d'une seule panne.

Si le résultat d'une défaillance du système de dilution est qu'il est peu probable que le gaz pompé pénètre dans la zone inflammable, ou peut le faire pendant de courtes périodes (généralement la condition ATEX de Zone 2), le système de dilution doit alors être sûr en fonctionnement normal.

6.7 Utilisation de systèmes de protection par pare-flammes

Si le mélange de gaz et de vapeurs pompé est inflammable (voir la section [Éviter la zone inflammable](#) à la page 22) en continu ou durant de longues périodes (par exemple, condition de Zone 0) et qu'une source d'ignition (voir la section [Sources d'ignition](#) à la page 26) risque de s'activer pendant le fonctionnement normal ou un dysfonctionnement prévisible, vous devez installer des pare-flammes comme l'exige la pompe principale (voir aussi la section [Pare-flammes](#) à la page 32). La certification par un tiers a été obtenue pour l'utilisation de pare-flammes spécifiques avec des pompes à vide Edwards, prouvant leur capacité à prévenir la propagation des flammes à travers les canalisations de procédé ou dans l'atmosphère environnante.

Lorsque le mélange inflammable est présent durant de longues périodes, un transmetteur de température approuvé et testé doit être installé sur le pare-flamme de l'admission, afin de détecter une combustion continue. Si une combustion continue est détectée, la pompe doit être désactivée et isolée de la source de combustible. Veuillez contacter Edwards pour obtenir des conseils sur les pare-flammes et les transmetteurs de température approuvés. Afin de protéger thermiquement le pare-flamme et la pompe en cas de rares

dysfonctionnements (Zone 0) de la pompe, un transmetteur de température du refoulement doit être installé dans le refoulement de la pompe. Les points de désactivation dépendent des systèmes de pompage. Consultez le manuel sur les directives ATEX relatif à la pompe.

Si le transmetteur de température à l'admission ou au refoulement atteint sa limite maximale, indiquant alors une défaillance, des mesures adéquates doivent être prises. Tout dépend de l'application, mais elles peuvent inclure :

- **Arrêt de l'alimentation en combustible** - La fermeture d'une vanne située sur l'admission de la pompe à vide empêche l'entrée de combustible dans la pompe à vide.
- **Arrêt de la source d'ignition** - Arrêt de la pompe à vide en coupant l'alimentation électrique du moteur.
- **Pompage de gaz inerte dans la zone de combustion** - L'ajout rapide de gaz inerte dans la zone de combustion (qui se trouve en général, mais pas toujours, dans le collecteur d'échappement de la pompe) supprime les flammes. Il convient de noter qu'une flamme peut se rallumer si la source d'ignition n'est pas éliminée.

6.8 Sources d'ignition

Lorsque des pompes à vide sont utilisées pour pomper des mélanges inflammables, vous devez tenir compte de toutes les sources possibles d'ignition. La section suivante présente certaines sources dont vous pouvez vous servir dans le cadre d'un examen général. En fonction de votre procédé, vous pourriez être en mesure d'éviter plusieurs ou la totalité des sources d'ignition. S'il n'est pas possible d'éviter la source d'ignition en raison des conditions de votre procédé ou d'une exigence du système, vous devez alors concevoir votre système en conséquence.

Remarque :

Certaines pompes Edwards sont certifiées par un tiers pour confirmer qu'elles (si correctement appliquées) contiendront une explosion interne.

- **Contact mécanique** – Le contact mécanique de pièces stationnaires et rotatives à l'intérieur de la pompe à vide et du système peut créer une source d'ignition. Toutes les pompes à vide Edwards sont conçues et fabriquées pour garder les jeux de fonctionnement corrects à l'intérieur de la pompe, au cours de toutes les conditions de fonctionnement. Afin d'éviter cette source d'ignition, il est important d'éviter le dépôt de substances sur les surfaces internes ou de nettoyer la pompe. Les roulements doivent être maintenus en bon état, avec une lubrification suffisante et un gaz de purge approprié pour éliminer le contact avec les gaz de procédé. Le régime d'entretien recommandé pour les roulements doit être respecté afin d'assurer un fonctionnement sûr et fiable.
- **Ingestion de particules** - Tous les mécanismes de pompage peuvent ingérer des particules qui ont été créées par le procédé ou qui résultent du procédé de fabrication du système. Lorsque celles-ci roulent entre une surface mobile et une surface statique, elles peuvent générer de la chaleur. Un écran d'aspiration (maille) ou un filtre approprié empêche la pénétration de particules dans la pompe à vide afin de réduire la taille et le volume des particules à une quantité sûre. Des précautions doivent être prises afin de garantir un régime d'entretien adapté à l'écran d'aspiration.
- **Accumulation de poussière** - Une poussière fine et compacte peut s'accumuler dans des espaces internes lorsqu'un mécanisme de pompage est utilisé dans un procédé générant de la poussière. Même en utilisant des filtres à poussière à l'aspiration, de petites particules de poussière peuvent toujours pénétrer dans la

pompe. Des variations thermiques pouvant causer de légères variations dimensionnelles, la poussière compacte peut toucher une surface mobile et créer de la chaleur.

- **Chaleur de compression (auto-inflammation)** - La chaleur de compression interne dans un compresseur doit être prise en compte en relation avec la température d'auto-inflammation des vapeurs ou gaz pompés. Vous devez vous assurer que la pompe possède une classification de température au moins égale ou supérieure aux gaz que vous pompez.
- **Surfaces chaudes** - Lorsque des vapeurs ou gaz inflammables entrent en contact avec une surface chaude, ils peuvent s'enflammer si la température d'auto-inflammation est dépassée. Remarque : les pompes Edwards et les pare-flammes ne doivent pas être équipés d'une isolation thermique si cela peut faire augmenter les températures de surface internes (et externes), et donc causer une auto-inflammation.
- **Chaleur appliquée par voie externe** - De la chaleur peut être appliquée par voie externe, par exemple, en cas d'incendie dans la zone juste à côté de l'équipement de vide. Dans ce cas, cela peut générer des pressions internes supérieures à la pression statique maximale du système, ainsi que des températures supérieures à la température d'auto-inflammation. Cela doit être pris en compte dans l'analyse des dangers du système.
- **Débit de gaz de procédé chaud** - Lorsque les températures de gaz à l'admission sont élevées, les surfaces internes (ou externes) peuvent dépasser la température d'auto-inflammation des substances pompées. Un gaz d'admission à température élevée peut aussi conduire au grippage du rotor/stator. Consultez le mode d'emploi de votre pompe à vide pour obtenir les températures de gaz maximales internes admissibles. Contactez Edwards pour obtenir des conseils supplémentaires.
- **Réaction catalytique** - La présence de certaines substances peut causer une inflammation par catalyse. Il convient de prendre en compte le potentiel de tous les matériaux de construction du système de vide à agir de cette manière avec les vapeurs ou gaz pompés.
- **Réaction pyrophorique** - La chaleur de la combustion de substances pyrophoriques causée par la pénétration d'air ou d'oxydant pourrait constituer une source d'ignition pour toute substance inflammable présente. Voir [Substances pyrophoriques](#) à la page 11.
- **Électricité statique** - Certaines conditions peuvent se produire, dans lesquelles de l'électricité statique peut s'accumuler sur des composants isolés avant d'être déchargée vers la terre sous forme d'étincelle. Il convient de prendre en compte le potentiel d'accumulation statique lors de la conception du système.
- **Foudre** - En cas de situation en extérieur, la foudre peut fournir l'énergie nécessaire à une inflammation. La probabilité de cet événement doit être prise en compte lors de la conception du système.

6.9 Résumé - Conception du système

Afin de concevoir des systèmes de pompage à vide sûrs, les points suivants doivent être pris en compte. Selon votre application, il peut y en avoir d'autres.

- Si vous pompez des produits dangereux, vous devez concevoir un système qui revient à un état sûr en cas de panne
- Utilisez des lubrifiants PFPE (perfluoropolyéther) dans les pompes, lorsque vous pompez des oxydants

- Lorsque du gaz inerte est utilisé pour réduire la concentration de gaz inflammable au-dessous de la limite inférieure d'explosivité ou d'inflammabilité ou au-dessous de la concentration en oxydants minimale ou inférieure, vous devez vous assurer de l'intégrité de l'approvisionnement en gaz inerte
- La concentration peut aussi être maintenue au-dessus de la limite supérieure d'explosivité ou d'inflammabilité, mais des précautions de sécurité adéquates doivent être mises en place pour garantir que la concentration ne peut pas chuter et atteindre la plage d'inflammabilité
- Vérifiez l'étanchéité des systèmes et de l'équipement afin de garantir l'étanchéité requise avant utilisation.
- Diluez les gaz pyrophoriques à des niveaux sûrs en utilisant un gaz inerte, avant que les gaz ne soient évacués vers l'atmosphère ou mélangés avec des gaz oxydants
- Ne laissez jamais l'azide de sodium entrer en contact avec des métaux lourds dans le trajet des gaz de votre système
- Ne laissez pas la pression maximale du système dépasser le niveau de sécurité de chaque pièce du système
- Consultez toujours les informations de sécurité fournies pour les substances que vous souhaitez pomper
- Envisagez l'utilisation de pompes sèches plutôt que des pompes à joint d'huile à piston ou rotatives à palettes, car ces dernières présentent des risques associés à l'huile dans le volume engendré.
- Lorsque des pompes à vide d'Edwards sont utilisées pour pomper des mélanges potentiellement inflammables, vous devez tenir compte de toutes les sources possibles d'ignition et de la conséquence potentielle d'une possible explosion.

7. Le bon choix en matière d'équipement

Pour être certains de bien choisir l'équipement adapté à votre application, vous devez prendre en compte les limites dans lesquelles vous souhaitez faire fonctionner le système. Les caractéristiques techniques de l'équipement d'Edwards sont données dans le catalogue des produits, les publications de commercialisation et le ou les modes d'emploi de l'équipement. Dans la plupart des cas, de plus amples informations sont disponibles sur demande, contactez Edwards qui vous conseillera.

Lorsque vous concevez votre système de vide, tenez compte des paramètres de pompe mécanique appropriés, par exemple :

- la pression statique maximale (admission et refoulement) ;
- la pression d'admission maximale en fonctionnement ;
- la pression de refoulement maximale en fonctionnement ;
- la conductance des composants d'admission et de refoulement ;
- les caractéristiques de pression des autres composants montés sur la pompe ;
- la surveillance de la pression si la conduite d'échappement est bloquée.

Pour les pompes à piston et pompes rotatives à palettes à joint d'huile, vous devez également tenir compte des éléments suivants, par exemple :

- Débit de lest d'air
- le débit de purge de carter d'huile ;
- les vapeurs et gaz piégés dans le carter d'huile ;
- Vapeurs et gaz absorbés dans l'huile du carter d'huile.

La pression statique maximale définit la pression maximale à laquelle un raccord d'admission ou de sortie d'une pompe peut être exposé lorsque la pompe n'est pas opérationnelle. La pression dépend de la conception mécanique de la pompe.

Les pompes à piston et pompes rotatives à palettes à joint d'huile sont conçues pour fonctionner à des pressions d'admission inférieures ou égales à la pression atmosphérique et, même si la pression statique nominale maximale peut être supérieure à la pression atmosphérique, la pression d'admission maximale de la pompe en fonctionnement ne doit pas dépasser la pression atmosphérique. Certains fabricants limitent la pression d'admission continue de leurs pompes à des pressions inférieures à la pression atmosphérique. La pression d'admission maximale lorsque la pompe fonctionne est appelée « pression de fonctionnement maximale ».

La pression de fonctionnement maximale n'est pas nécessairement limitée en raison de l'intégrité mécanique de la pompe. La pression maximale est généralement proportionnelle à la puissance nominale de la pompe à hautes pressions d'admission, et est associée au risque potentiel de surchauffer les composants mécaniques de la pompe ou du moteur électrique.

Pour des raisons similaires, nous vous recommandons de maintenir la pression de sortie de votre pompe à vide à un niveau aussi bas que possible (généralement inférieur ou égal à 0,15 bar relatif, $1,15 \times 10^5$ Pa, en fonctionnement continu). Les pompes sont conçues pour fonctionner avec des refoulements sans obstruction, et une pression de sortie de 0,15 bar relatif ($1,15 \times 10^5$ Pa) est généralement suffisamment élevée pour entraîner les gaz d'échappement dans votre système d'extraction de l'échappement et votre équipement de traitement.

7.1 Pompes à piston et pompes rotatives à palettes à joint d'huile

Les pompes rotatives à joint d'huile Edwards comprennent les pompes rotatives à palettes de série E1M, E2M, ES et RV et les pompes à piston à joint d'huile de la gamme Stokes Microvac. En général, toutes les pompes à vide sont conçues pour fonctionner à des pressions d'admission inférieures à la pression atmosphérique et lorsque le refoulement de la pompe est remis à l'air libre.

Les pompes à piston et pompes rotatives à palettes à joint d'huile sont des compresseurs volumétriques qui peuvent générer des pressions de refoulement très élevées si la sortie est obstruée ou bloquée. Dans ces cas, les pressions peuvent dépasser la pression statique sûre du carter d'huile de la pompe et, dans de nombreux cas, les pressions statiques sûres de composants en aval du système (comme des systèmes de lavage au polypropylène ou des joints toriques sous vide). Par conséquent, Edwards recommande fortement l'installation d'un capteur de pression de refoulement à haute intégrité dans la conduite de refoulement de la pompe.

Pour arriver à un niveau de dilution sûr, le lest d'air peut être augmenté par une purge de carter d'huile (le cas échéant) raccordée au carter d'huile de la pompe. Si les débits de lest d'air et de purge de carter d'huile augmentent, la quantité d'huile amenée au système d'échappement augmente.

Toutes les pompes à joint d'huile Edwards ont des volumes de carter d'huile importants qui peuvent retenir des mélanges de gaz inflammables et explosifs. L'huile se trouvant dans le carter d'huile peut absorber ou condenser efficacement des sous-produits de vapeur et de gaz. Les vapeurs et gaz piégés dans l'huile peuvent être pyrophoriques ou toxiques. Vous devez donc mettre en place des procédures de manipulation spéciales pour assurer la sécurité pendant l'entretien.

7.2 Pompes sèches Edwards

La pression maximale de fonctionnement est limitée par les mêmes facteurs qui affectent les pompes à joint d'huile (c'est-à-dire, le risque potentiel de surchauffe des composants mécaniques de la pompe ou du moteur électrique).

Les pompes sèches Edwards sont des compresseurs volumétriques qui peuvent générer des pressions de refoulement élevées. Lorsque les pompes sont intégrées à un système où le procédé peut entraîner des sous-produits solides (et donc une possibilité de blocage dans la conduite d'échappement), Edwards recommande fortement l'installation d'un moniteur de pression de refoulement à haute intégrité. Consultez le mode d'emploi de la pompe pour connaître les pressions de fonctionnement auxquelles les interrupteurs doivent être réglés.

Les pompes sèches Edwards ont une capacité de lest d'air à haut débit. L'addition d'un gaz de dilution comme l'azote peut être réalisée dans le mécanisme de la pompe afin d'optimiser la suppression de la réaction. Reportez-vous au mode d'emploi de la pompe pour connaître les débits de la purge de gaz.

7.3 Conception des conduites

7.3.1 Soufflets

Les soufflets sont des composants courts avec des parois minces et des convolutions profondes. Ils sont utilisés pour réduire le transfert de vibrations d'une pompe à votre système de vide.

Installez toujours les soufflets en ligne droite avec les deux extrémités maintenues de manière rigide. Lorsqu'ils sont installés correctement, les soufflets peuvent résister à une légère pression interne positive (reportez-vous au mode d'emploi fourni avec vos soufflets pour de plus amples informations). N'utilisez pas les soufflets sur des échappements de pompe sèche ; utilisez des connexions flexibles renforcées (voir [Connexions flexibles](#) à la page 31).

Tenez compte de la possibilité d'une défaillance des soufflets causée par la fatigue lors d'une utilisation dans des applications cycliques fréquentes.

7.3.2 Connexions flexibles

Les connexions flexibles ont une section de paroi plus épaisse et des convolutions moins profondes que les soufflets. Les connexions flexibles permettent de raccorder les composants de système de vide de manière pratique, et de compenser un mauvais alignement ou de légers mouvements dans les conduites de vide rigides. Des connexions flexibles peuvent être formées avec des courbures relativement nettes et garderont leur position.

Les connexions flexibles doivent être installées dans des systèmes statiques. Elles ne doivent pas être pliées de manière répétée, car cela pourrait causer une défaillance due à la fatigue.

Lorsque vous utilisez une connexion flexible, utilisez la longueur la plus courte possible et évitez les courbures inutiles. Pour les applications où de fortes pressions de refoulement peuvent se produire, des connexions flexibles renforcées doivent être utilisées.

Les connexions flexibles renforcées sont des soufflets munis d'une couche de protection externe, tressée en acier inoxydable. Lorsque vous installez une connexion flexible renforcée, vous devez respecter le rayon de courbure minimal donné dans le mode d'emploi fourni avec cette connexion.

7.3.3 Points d'ancrage

Vous devez bien ancrer les conduites et composants de conduite. Par exemple, si vous ancrez mal des soufflets, ils ne réduiront pas la vibration engendrée par la pompe et cela pourrait causer une fatigue dans les conduites.

7.3.4 Joints

Lorsque des pressions positives peuvent survenir dans une pièce du système de vide (même dans des conditions de panne), vous devez utiliser des types de joints et des substances appropriés pouvant résister aux pressions de vide et aux positives attendues.

7.4 Protection contre la surpression physique

Comme mentionné précédemment, une surpression peut être causée par une obstruction ou un étranglement dans votre système ou dans l'un de ses composants. Elle peut être le résultat d'un débit de gaz comprimé provenant de la pompe ou d'alimentations externes en gaz comprimé (comme ceux d'un système de dilution). Il existe deux principales méthodes de protection contre la surpression du système : à savoir la détente et le déclencheur/l'alarme de surpression, qui sont décrits dans les paragraphes suivants.

7.4.1 Détente

Vous pouvez utiliser des disques de rupture ou des clapets de détente pour décharger une condition de surpression. La pression de fonctionnement du dispositif doit être inférieure à la pression nominale du système. Vous devez raccorder ces dispositifs par des conduites adaptées à une zone dans laquelle vous pouvez mettre vos gaz de procédé à l'air en toute sécurité, et qui ne présente aucune restriction d'évacuation. Si votre procédé produit des sous-produits solides, les dispositifs de détente doivent être régulièrement inspectés pour s'assurer qu'ils ne sont pas obstrués ou bloqués. La conception de ces dispositifs de protection doit prendre en compte l'effet des pulsations de pression sur la durée de vie des disques de rupture ou du clapet.

7.4.2 Déclencheur/alarme de surpression

Cette méthode de protection est souvent utilisée par Edwards. Ce type de protection est recommandé pour tous les systèmes, mais il peut ne pas convenir aux systèmes qui produisent des sous-produits solides.

7.4.3 Régulateurs de pression

Il existe deux types principaux de régulateurs de pression : avec ou sans remise à l'air.

Les régulateurs avec remise à l'air évacuent les gaz vers l'atmosphère ou dans une conduite de remise à l'air séparée, afin de maintenir une pression de sortie constante dans des conditions sans débit. Ils sont généralement utilisés lorsque l'intégrité des conduites est capitale.

Les régulateurs sans remise à l'air ne peuvent maintenir une pression de sortie constante que dans des conditions de débit.

Dans des conditions sans débit, la pression de sortie de certains régulateurs peut augmenter au niveau de la pression d'alimentation. La vitesse de montée en pression dépend des caractéristiques du régulateur et du volume auquel sa sortie est raccordée. La montée en pression peut prendre quelques minutes à plusieurs mois.

Les régulateurs de pression ne sont pas conçus pour être des vannes d'arrêt et doivent être utilisés avec un dispositif d'isolation adapté (comme une électrovanne) le cas échéant. Vous devez, par ailleurs, prendre des mesures pour décharger les pressions excessives en toute sécurité.

7.4.4 pare-flammes

Les pare-flammes ne sont pas des dispositifs de prévention d'explosion. Ils servent à empêcher la propagation d'un front de flamme dans un tuyau ou un conduit (référez-vous à la section [Utilisation de systèmes de protection par pare-flammes](#) à la page 25). Les pare-flammes ont une grande superficie et de petits espaces de conductance face au front de flamme, ce qui permet d'éteindre les flammes. Les pare-flammes sont généralement uniquement adaptés aux systèmes utilisés pour nettoyer des gaz ou des vapeurs.

L'énergie explosive de mélanges de gaz augmente avec la pression. La plupart des pare-flammes sont conçus pour protéger des zones où la pression interne ne dépasse pas la pression atmosphérique. Vous devez vous assurer que la pression de fonctionnement dans le système d'extraction de l'échappement avant le pare-flamme ne dépasse pas la pression de fonctionnement maximale. Toutefois, dans le cas de pare-flammes certifiés pour une utilisation avec les pompes à vide sèches « chimie » d'Edwards, référez-vous au mode

d'emploi ATEX pour connaître les pressions maximales admissibles. Vous devez également tenir compte de la contre-pression maximale admissible de votre pompe à vide.

Les pare-flammes fonctionnent en éliminant la chaleur de combustion du front de flamme, et ont donc une température de fonctionnement sûr maximale. Vous devez veiller à ce que cette température ne soit pas dépassée en raison de traces d'échauffement, de l'isolation ou de la température du débit de gaz les traversant.

La capacité d'un pare-flamme à arrêter une flamme dépend de la vitesse du front de flamme, qui dépend lui-même de sa distance de la source d'ignition. Lorsqu'il est utilisé avec des pompes à vide « chimie » d'Edwards, il doit être étroitement couplé à l'admission et au refoulement. L'utilisation de coudes et de pièces en T entre la pompe et le pare-flamme est acceptable sur certaines pompes dans certaines conditions. Contactez Edwards pour obtenir des conseils.

7.5 Systèmes de purge

Les systèmes de purge de gaz inerte peuvent être installés sur l'équipement afin d'éliminer le gaz de procédé restant dans le système après la fin d'un cycle de procédé.

Si la purge est utilisée correctement, elle peut assurer l'élimination des produits corrosifs, en les empêchant d'endommager la pompe et surtout d'endommager les systèmes de protection, comme les pare-flammes. Par ailleurs, en éliminant les gaz de procédé, cela permet de s'assurer que des réactions chimiques indésirables et potentiellement dangereuses ne se produisent entre les substances utilisées dans différents cycles de procédé.

7.6 Résumé - Le bon choix en matière d'équipement

- Choisissez le type d'équipement adapté à votre application
- Intégrez tous les dispositifs de sécurité nécessaires pour assurer la sécurité en cas de panne
- Éliminez les volumes stagnants
- Veillez à ce que le système soit bien contrôlé et régulé
- Le cas échéant, intégrez des dispositifs de détente
- Utilisez des pare-flammes, le cas échéant
- Vérifiez l'étanchéité des systèmes et de l'équipement avant utilisation.

8. Procédures de fonctionnement et formation

La sécurité de l'équipement en fonctionnement exige une bonne formation, des instructions claires et concises, ainsi qu'un entretien régulier. Il est important que tout le personnel utilisant l'équipement de vide soit bien formé, qualifié et, le cas échéant, supervisé.

Si vous avez des doutes concernant le fonctionnement ou la sécurité de l'équipement d'Edwards, n'hésitez pas à nous demander conseil.

9. Résumé

- Procédez à une évaluation des risques pour identifier et, si possible, éliminer ou du moins réduire tous les risques. Cette évaluation doit être réalisée pour la conception du système de vide, la construction, la mise en service, l'exploitation, l'entretien et la mise hors service.
- Envisagez toutes les réactions chimiques pouvant survenir à l'intérieur de votre système. Tenez compte des réactions chimiques anormales, y compris celles qui pourraient se produire dans des conditions de panne.
- Reportez-vous aux fiches de données de sécurité lorsque vous évaluez les dangers potentiels associés à vos substances de procédé, par exemple en matière d'auto-inflammation.
- Utilisez des techniques de dilution pour limiter au minimum les réactions avec des oxydants et des substances inflammables.
- Utilisez le type de lubrifiant adapté à votre pompe lorsque vous pompez des oxydants et des substances pyrophoriques.
- N'utilisez pas de métaux lourds dans le trajet des gaz de votre système de pompage si votre procédé produit ou utilise de l'azide de sodium.
- Lorsque vous effectuez des calculs de sécurité, assurez-vous de bien prendre en compte les pressions de travail sûres pour tous les composants du système. Tenez bien compte des conditions anormales et des conditions de panne.
- Veillez à bien intégrer le type correct de dispositifs de détente adaptés à votre application.
- Veillez à ce que le refoulement ne puisse pas être obstrué.
- Assurez-vous que les gaz de dilution soient bien régulés et contrôlés.
- Si vous pompez des produits dangereux, vous devez concevoir un système qui revient à un état sûr en cas de panne.
- Utilisez de l'huile PFPE (perfluoropolycarbonate) et des lubrifiants lorsque vous pompez des oxydants.
- Utilisez un gaz inerte pour diluer les gaz inflammables et pyrophoriques à des niveaux sûrs ou assurez-vous de rester au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité/explosivité en tenant compte des facteurs de sécurité appropriés pendant toutes les conditions de procédés, y compris les pannes.
- Ne laissez pas la pression maximale du système dépasser la pression nominale maximale de toute pièce du système.
- Envisagez l'utilisation de pompes sèches plutôt que des pompes à joint d'huile, car ces dernières présentent des risques associés à l'huile dans le volume engendré.
- Éliminez les volumes stagnants.
- Veillez à ce que le système soit bien contrôlé et régulé.
- Utilisez des pare-flammes, le cas échéant.
- Vérifiez l'étanchéité des systèmes et de l'équipement avant utilisation.

