

DOCUMENT
N° 174

Date : octobre 2008

Nature

GUIDE

Sujet

GUIDE PROFESSIONNEL
DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION
DES CANALISATIONS
DE TRANSPORT D'OXYGENE

OBSERVATIONS

. Ce guide a été reconnu par la décision BSEI n° 09011 du 24 février 2009

1^{ère} EDITION :

Octobre 2008

MISE A JOUR

OBJET

.....

REPERE

.....

DATE

.....

GUIDE PROFESSIONNEL DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION DES CANALISATIONS DE TRANSPORT D'OXYGENE

Systèmes de canalisations d'oxygène

Ce guide professionnel définit l'ensemble des dispositions particulières complémentaires ou substitutives pour les canalisations de transport d'oxygène en référence à l'article 6,c) de l'A.M. du 4 août 2006 :

· « un guide professionnel reconnu précise, sur la base des dispositions applicables aux fluides classés C au sens du 1 de l'article 2, l'ensemble des dispositions particulières complémentaires ou substitutives à retenir pour les canalisations de transport d'oxygène ».

Il a fait l'objet d'une reconnaissance officielle selon l'arrêté du 4 août 2006 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques, Article 4.

Ce guide professionnel a été établi de bonne foi et représente l'état de la technique et des connaissances au jour de son établissement. Il peut être sujet à des modifications ou amendements de la part de l'AFGC en fonction de l'évolution des techniques et connaissances.

**GUIDE PROFESSIONNEL
DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION DES CANALISATIONS
DE TRANSPORT D'OXYGENE**

Document préparé par le groupe de travail ENVIRONNEMENT

**MM GRANGIER (LINDE GAS)
HEMERY (PRAXAIR)
KLOK (AIR LIQUIDE)
MATHEY (AIR LIQUIDE)
PEROCHAIN (AIR PRODUCTS)
SAGOT (AIR LIQUIDE)**

Table des matières

Page

1	Domaine d'application	7
2	Définitions	7
3	Principe de conception	9
3.1	Critères généraux	9
3.1.1	Causes de feu : mécanismes d'inflammation et chaîne d'allumage	10
3.1.2	Analyse des dangers et évaluation des risques	10
3.1.3	Précautions de conception générales	11
3.2	Matériaux métalliques, alliages résistant à la combustion, pression d'exemption.....	12
3.2.1	Pression d'exemption pour oxygène de pureté standard	12
3.2.2	Mélanges avec moins de 35% d'O ₂ en volume	12
3.2.3	Oxygène ultra pur (OUP).....	13
3.2.4	Limitations de température.....	13
3.2.5	Précautions liées à l'utilisation des alliages en cuivre.....	13
3.3	Matériaux non métalliques.....	13
3.3.1	Propriétés et risques	13
3.3.2	Pratiques de conception et sélection des matériaux.....	14
3.4	Critères de vitesse et de pression gazeuse	15
3.4.1	Généralités	15
3.4.2	Courbe de vitesse avec impact et sélection des matériaux métalliques pour les canalisations et les équipements	15
3.4.3	Limitations de vitesse dans des zones sans impact	17
3.5	Systèmes de canalisations.....	18
3.5.1	Systèmes de canalisations enterrées.....	18
3.5.2	Systèmes de canalisations aériennes	18
3.5.3	Protection cathodique.....	18
3.6	Implantation, commande à distance, emploi de barrières	18
4	Tuyauteries, robinets et équipements.....	18
4.1	Critères généraux	18
4.2	Tuyauteries et accessoires.....	19
4.2.1	Zones d'impact	19
4.2.2	Zones sans impact	19
4.2.3	Zones spécifiques de tuyauteries	20
4.3	Robinet et soupapes	21
4.3.1	Général.....	21
4.3.2	Fonctions.....	22
4.3.3	Types de robinets	24
4.3.4	Joint d'étanchéité et garniture	25
4.3.5	Autres sources potentielles d'inflammation.....	25
4.4	Autres équipements	25
4.4.1	Tamis coniques.....	26
4.4.2	Filtres	26
4.4.3	Appareils de mesure de débit	27
4.4.4	Disques de rupture	28
4.4.5	Joint isolants.....	28
4.4.6	Raccords flexibles	29
4.4.7	Éléments d'équipement divers.....	29
4.5	Lubrifiants	29
5	Nettoyage	30
5.1	Exigences générales	30
5.1.1	Stratégie de nettoyage	30
5.1.2	Niveau de propreté	30
5.1.3	Méthodes de nettoyage.....	30
5.1.4	Composants de canalisation.....	31
5.1.5	Soudage.....	31
5.1.6	Essais de pression	32
5.1.7	Montage des équipements de canalisation	32
5.2	Spécification et fabrication du matériau des tubes	32

5.2.1	Exigences générales	32
5.2.2	Traitement thermique	32
5.3	Tubes ou éléments tubulaires pré-nettoyés	32
5.3.1	Général.....	32
5.3.2	Essais de pression	32
5.3.3	État de surface interne	32
5.3.4	Préparation pour expédition.....	33
5.3.5	Maintien de la propreté en cours de transport et de chantier	33
5.3.6	Nettoyage final	34
5.3.7	Soufflage	34
5.4	Nettoyage après installation.....	34
5.4.1	Généralités	34
5.4.2	Essais de pression	34
5.4.3	État de surface interne	34
5.4.4	Maintien de la propreté	34
5.4.5	Soufflage	34
5.5	Inspection	35
5.5.1	Procédure	35
5.5.2	Examen à la lumière UVA.....	35
5.5.3	Critères d'acceptation	35
5.5.4	Action corrective	36
5.5.5	Obturation, purge et surveillance	36
5.6	Enregistrement	36
6	Construction	36
6.1	Critères généraux	36
6.2	Programme de construction.....	37
6.3	Fabrication des canalisations et soudage	37
6.3.1	Généralités	37
6.3.2	Bagues-support envers.....	38
6.3.3	Préparation du soudage.....	38
6.4	Assemblage et pose	38
6.4.1	Joints à brides	38
6.4.2	Assemblages filetés	38
6.4.3	Robinets et soupapes	39
6.5	Essais non destructifs	39
6.5.1	Essai de pression	39
6.6	Documentation.....	39
7	Conception et construction des postes	39
7.1	Fonctions des postes.....	39
7.1.1	Robinets d'isolement	40
7.1.2	Filtres	40
7.1.3	Débitmètres	40
7.1.4	Régulation de mise à l'air automatique.....	40
7.1.5	Soupapes de sécurité et robinets de mise à l'air	40
7.1.6	Instrumentations.....	40
7.2	Matériaux	41
7.3	Barrières ou écrans	41
7.3.1	Critères des barrières.....	41
7.3.2	Critères de conception.....	41
7.3.3	Exigences d'exploitation.....	42
7.4	Emplacement	42
7.5	Mise à la terre, mise à la masse	43
7.6	Montage	43
7.7	Essais.....	43
7.7.1	Post-fabrication	43
7.7.2	Post-montage.....	44
7.8	Première mis en service.....	44
7.8.1	Sécurité.....	44
7.8.2	Filtres	44
7.9	Fonctionnement.....	44
8	Exploitation, surveillance et maintenance	44
8.1	Consignes générales de sécurité	44
8.1.1	Personnel d'exploitation et de maintenance	45
8.1.2	Manœuvre des robinets d'isolement	45

8.1.3	Soudage et découpage	45
8.1.4	Suroxygénation et sous-oxygénation	46
8.1.5	Mise en service et mise hors service des canalisations	46
8.1.6	Mise à l'atmosphère.....	47
8.1.7	Purges.....	47
8.1.8	Outillage	47
8.2	Première mise en service des canalisations et des postes	47
9	Mesures générales de protection	47
9.1	Risques de feu	47
9.2	Etude de sécurité.....	48
Annexe A Tableau de la composition nominale des alliages		49
Annexe B Tableau des pressions d'exemption de limitation de vitesse et des épaisseurs minimum...51		
Annexe C Tableau des distances de sécurité pour les postes d'oxygène (sans barrières).....53		
Annexe D Textes applicables aux canalisations de transport (mai 2008).....55		

Introduction

Cette publication a été préparée par un groupe de spécialistes des systèmes de canalisations d'oxygène représentant les principaux transporteurs d'oxygène français. Son contenu repose sur le guide EIGA IGC Doc 13/02 « Oxygen pipelines systems », qui a été traduit en français sous la forme d'un référentiel de bonnes pratiques AFNOR (Référentiel BP E 86 002 d'avril 2006)

Il faut cependant reconnaître que les systèmes de canalisations d'oxygène construits depuis 50 ans en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord présentent des résultats satisfaisants et comparables du point de vue de la sécurité malgré des pratiques nationales différentes tant en terme de conception qu'en termes d'exploitation...

Ce guide est **dédié aux spécificités des canalisations de transport d'oxygène.**

1 Domaine d'application

Ce document s'applique aux canalisations de transport d'oxygène telles que définies dans l'A.M. du 4 août 2006. . Il concerne l'oxygène gazeux à des températures comprises entre - 40°C et 100°C à la pression de 21 MP a maximum et avec un point de rosée égal ou inférieur à - 30°C selon les conditions locales.

2 Définitions

2.1 Alliages de cuivre

Les alliages de cuivre employés pour les composants servant au transport d'oxygène par canalisation contiennent généralement au moins 55% de cuivre en masse. Ce groupe comprend les cuivres, les laitons (cuivre allié principalement au zinc), les bronzes (cuivre allié à aluminium, silice, manganèse, étain, plomb, etc.) et les cupronickels (cuivre allié au nickel).

2.2 Alliages de nickel

Les alliages de nickel employés pour les systèmes de canalisations de transport d'oxygène gazeux contiennent au moins 50% de nickel en masse et des teneurs jusqu'à 99+ % de nickel en masse ont été employées. Cependant, certaines tables d'alliages de nickel peuvent lister des alliages à faible teneur de nickel allant jusqu'à 30% massique. Généralement, plus la teneur combinée en nickel et cuivre est élevée, plus l'alliage est résistant à la combustion. Une combinaison de nickel et de cobalt peut également être favorable.

Les grandes familles d'alliages de nickel sont les suivantes, avec des exemples de produits : nickel (Nickel 200), nickel-cuivre (Monel-400 et Monel-500), nickel-chrome (Inconel 600 et Inconel X-750) et nickel-chrome-molybdène (Hastelloy C-276 et Inconel 625).

2.3 Acier inoxydable

Les alliages ferreux deviennent inoxydables quand leur teneur minimum en chrome est de 10 à 13% en masse. Il existe plusieurs classifications d'aciers inoxydables, en fonction de la composition de l'alliage, de la structure cristalline, des mécanismes de renforcement et du rapport entre stabilisants ferritiques et austénitiques.

Les classifications d'aciers inoxydables, avec des exemples de chaque type, sont les suivantes :

- Austénitique (304, 304L, 316, 316L, 321, 347)
- Ferritique (430)
- Martensitique (410)
- Durcis par précipitation (17-4 PH)
- Duplex (329, SAF 2205).

Les désignations d'alliages ci-dessus concernaient les alliages de corroyage, tandis que des alliages tels que CF-8, CF-3, CF-8M, CF-3M sont les analogues de fonderie de 304, 304L, 316 et 316 L, respectivement.

Parmi les divers aciers inoxydables, ceux des séries 300 et leurs analogues coulés sont les plus fréquemment employés pour les systèmes de canalisations de transport d'oxygène gazeux. Les aciers inoxydables ont une résistance à la combustion intermédiaire, entre les aciers au carbone faiblement alliés et les alliages nickel ou cuivre.

2.4 Alliages de cobalt

Les listes commerciales d'alliages de cobalt commencent généralement avec une teneur minimum de 40% de cobalt en masse. Certains alliages de cobalt ont une résistance à la combustion comparable aux alliages de nickel ; cependant, leur faible disponibilité limite leur emploi. Des alliages résistant à l'usure, tels que Stellite 6 ou Stellite 6B, sont quelquefois employés comme revêtement sur les pièces internes des **robinets**, pour réduire les dommages dus à l'érosion et augmenter la durée de vie

2.5 Alliages non ferreux

Quand le terme d'alliages non ferreux est employé dans ce document, il inclut seulement les alliages de cuivre, de nickel et de cobalt. Le terme n'inclut pas l'aluminium ni les matériaux réactifs tels que le titane ou le zirconium

2.6 Alliages ferreux

Sont inclus dans cette catégorie les aciers au carbone, les aciers faiblement alliés et tous les aciers inoxydables, sans tenir compte de savoir si ces familles d'alliages sont de forme coulée ou corroyée

2.7 Alliages résistant à la combustion

Les alliages résistant à la combustion sont des alliages industriels qui, après avoir été soumis à un événement d'inflammation, soit ne brûlent pas, soit présentent un comportement d'arrêt de combustion, entraînant une consommation minimale. Des exemples d'alliages industriels, fortement résistants à la combustion, sont le cuivre, le nickel pur et le Monel. En fonction de la pression d'oxygène, de la pureté de l'oxygène, de la température et de la configuration, d'autres alliages industriels, tels que l'acier inoxydable, peuvent présenter des degrés variables de résistance à la combustion

2.8 Matériaux exemptés

Dans le cadre de ce document, les matériaux exemptés sont les alliages industriels, qui sont exemptés de toutes limitations de vitesse de l'oxygène en fonction de la de pression, de l'épaisseur du matériau et de la pureté de l'oxygène. Seuls sont qualifiables comme étant exemptés les matériaux qui démontrent une résistance à la combustion, quand ils sont soumis à un impact de particules et/ou à des essais de combustion avec allumage par amorce menés en atmosphère d'oxygène. Les Annexes A et B identifient la composition d'alliages spécifiques, ainsi que leurs limitations en épaisseur et les pressions d'exemption en oxygène

2.9 Oxygène de faible pureté

Oxygène gazeux contenant moins de 35% d'oxygène en volume. (23,5% à 35%)

2.10 Oxygène de pureté standard

L'oxygène de pureté standard est défini comme ayant une teneur égale ou supérieure à 99,5% en volume

2.11 Oxygène gazeux

Gaz contenant plus de 23,5 % d'oxygène en volume (les autres composants étant inertes)

2.12 Oxygène sous très haute pression (THP)

Oxygène à une pression supérieure à 10 MPa

2.13 Oxygène ultra pur (OUP)

Oxygène de pureté égale ou supérieure à 99,999% en volume.

2.14 Vitesse

La vitesse est égale au débit volumétrique, dans les conditions réelles de pression et de température, divisé par la surface de la section intérieure du tuyau.

2.15 Compatibilité oxygène

Aptitude d'un matériau à être utilisé dans des installations O2 dans les conditions de pression, de température et de vitesse définies

2.16 Pression d'exemption

Pression sous laquelle le matériau est considéré auto-extinguible quelle que soit la vitesse ou la turbulence du gaz. En dessous de cette pression, l'utilisation du matériau n'est pas soumise à la limitation de vitesse de passage de l'oxygène. (Remarque : dans le guide l'expression « pression d'exemption » signifiera « pression d'exemption de limitation de vitesse »)

3 Principe de conception

3.1 Critères généraux

Le fonctionnement sans risque d'un système de canalisations de transport d'oxygène repose sur divers facteurs qui sont interdépendants. Ce chapitre décrit les principaux risques et dangers associés aux systèmes d'oxygène et la façon dont les dangers peuvent être minimisés grâce à une bonne conception technique.

Un système de canalisations de transport ou de distribution d'oxygène sûr, y compris tous ses composants, est un système conçu en tenant compte de la norme NF EN 14161, intitulée « Industries du pétrole et du gaz naturel. – Systèmes de transport par conduites » (Juin 2004) et des spécificités ci-dessous:

- sélection des matériaux métalliques ;
- sélection des matériaux non métalliques ;
- étude des vitesses dans les zones de flux avec impact et sans impact ;
- règles de propreté pour l'oxygène.

Normalement, l'oxygène gazeux transporté en canalisation contient des quantités négligeables d'eau et aucune précaution particulière contre la corrosion ne se justifie. Cependant, il est important d'identifier les zones où les systèmes de canalisation pourraient être contaminés par l'eau, en cas de défaillance d'un équipement (par ex., les réfrigérants de compresseur), et de veiller aux procédures adéquates de conception et/ou de surveillance. Les systèmes de canalisation spécialement prévus pour le transport d'oxygène humide de façon continue, dans lesquels les tuyaux pourraient être exposés à de l'eau libre, peuvent nécessiter des précautions particulières, comme l'emploi de matériaux de tuyauterie ou de revêtements résistant à la corrosion.

3.1.1 Causes de feu : mécanismes d'inflammation et chaîne d'allumage

Les mécanismes d'inflammation pouvant entraîner des défaillances de canalisations comprennent :

- l'inflammation par impact de particules, causée par impact de particules métalliques ou non métalliques sur les parties métalliques des canalisations ;
- la compression adiabatique, la résonance acoustique et la friction du gaz, qui créent une augmentation de température ;
- l'allumage avec amorce, initiée par la combustion de matériaux organiques, ou de contaminant entraînés dans le flux d'oxygène ;
- la friction causée par le frottement, par exemple dans un **robinet**, entre un élément fixe et un élément mobile adjacent;
- les arcs électriques entre composants métalliques, dus à l'électricité statique ou à la foudre, qui génèreraient suffisamment d'énergie pour enflammer des matériaux métalliques ou non-métalliques.

Quand le mécanisme d'inflammation a commencé, la combustion peut se propager par une chaîne d'allumage. Une fois enflammé, le matériau ou le composant combustible génère de la chaleur, qui peut, en fonction de nombreux facteurs, enflammer le matériau de l'enveloppe sous pression. Le taux et l'étendue de la propagation du feu le long de l'enveloppe sous pression dépend de l'épaisseur et de l'inflammabilité du matériau. L'emploi de matériaux exemptés limite la propagation de la combustion en interrompant la chaîne d'allumage. La vitesse et l'étendue de la propagation de la combustion sont également influencées par les paramètres de l'oxygène, tels que la pression, la pureté, la température et la quantité totale d'oxygène disponible pour entretenir la combustion. A des pressions inférieures à 0,21 MPa des données expérimentales ont montré que la vitesse de combustion des matériaux utilisés pour les composants de canalisation d'oxygène, tels que l'acier au carbone, est très faible et décroît avec la pression. Cet effet a contribué à la bonne expérience de service constatée avec des composants en acier au carbone correctement conçus, dans des applications sélectionnées d'oxygène sous très basse pression.

De bonnes pratiques de conception permettent d'éviter de nombreuses causes de feu et de réduire leurs conséquences. D'autres causes de feu peuvent provenir de pratiques de fonctionnement et de maintenance inadéquates, telles que :

- la surchauffe due soit à une défaillance de procédé ou à une fuite d'oxygène venant du système et entraînant un feu externe adjacent à la canalisation ;
- le mélange accidentel avec un combustible, dû à une défaillance de procédé ou à l'introduction d'un polluant lors de travaux de maintenance ou de modification.

3.1.2 Analyse des dangers et évaluation des risques

Certains paramètres de fonctionnement des systèmes d'oxygène sont reconnus comme des facteurs de risques : la concentration, la pression, la température et la vitesse de l'oxygène. Quand ces paramètres augmentent, des pratiques plus rigoureuses sont progressivement appliquées sur les points suivants :

- nettoyage des canalisations et des équipements ;

- **limitation de l'emploi** de matériaux non métalliques compatibles et, si nécessaire, **limitation de l'emploi de lubrifiants** ;
- emploi de matériaux métalliques résistant à la combustion.

Quand la concentration d'oxygène dépasse 23,5% en volume, il faut examiner le niveau de propreté et la sélection de matériaux compatibles avec le procédé mis en œuvre. Pour une concentration volumique allant jusqu'à 35% d'oxygène, l'acier au carbone peut convenir, sans limitation de vitesse. Quand la concentration volumique dépasse 35% d'oxygène, les règles de conception pour l'oxygène pur s'appliquent. Pour réduire le risque de combustion, il est important d'étudier les facteurs suivants :

- la conception (voir ce chapitre et le chapitre 4) ;
- la sélection des matériaux métalliques et non métalliques (voir 3.2, 3.3 et 3.4) ;
- la sélection des équipements (voir le chapitre 4) ;
- le nettoyage (voir le chapitre 5) ;
- la construction (voir le chapitre 6) ;
- la conception et la construction des postes (voir le chapitre 7) ;
- les mesures de prévention d'incendie et de formation des opérateurs (voir les chapitres 8 et 9) ;
- la commande à distance ou emploi de barrières pour réduire les conséquences d'une inflammation (voir 3.6 et 7.3).

3.1.3 Précautions de conception générales

Les pratiques industrielles comprennent les éléments suivants :

- sélectionner des matériaux non métalliques compatibles et minimiser leurs quantités ;
- conserver la propreté « oxygène » ;
- éviter les particules, grâce à une filtration, par exemple ;
- faire attention à éviter les zones d'accumulation de poussières et les zones d'impact ;
- sélectionner des matériaux métalliques compatibles ;
- adopter de bonnes règles de conception et d'implantation des équipements ;
- réduire les conséquences d'un feu par des mesures appropriées de protection.

Le choix des matériaux métalliques est important, car les conséquences d'un feu dépendent surtout de la facilité et de la vitesse de propagation de la combustion. L'emploi approprié de matériaux résistant à la combustion dans des zones critiques **peut** confiner le feu à l'intérieur de l'équipement.

Selon l'explication en 3.1.1, l'impact de particules est un des mécanismes d'inflammation, qui dictent le besoin de limiter la vitesse d'oxygène. De façon générale, les procédures de nettoyage utilisées dans les systèmes d'oxygène éliminent ou minimisent le risque d'inflammation par impact de particules. La contamination du système d'une façon involontaire ou accidentelle, par exemple quand un nouveau système est connecté à une canalisation existante, peut entraîner l'inflammation de matériaux inflammables, s'ils sont soumis à un impact de particules à

grande vitesse. Cependant, le risque d'impact de particules peut toujours exister, même dans un système d'oxygène convenablement nettoyé.

Pour certains systèmes, le concepteur peut choisir des tuyaux et des équipements en acier inoxydable, à fin de minimiser la présence de particules ; ce serait le cas, par exemple, de la fourniture de gaz par vaporisation d'oxygène liquide. En supposant que le système soit convenablement nettoyé et qu'aucune source de particules n'ait pu être identifiée, l'exemption de la limitation de la vitesse d'oxygène peut se justifier.

3.2 Matériaux métalliques, alliages résistant à la combustion, pression d'exemption

L'inflammabilité des métaux est un élément clé pour un alliage employé en oxygène. La chimie de l'alliage, l'épaisseur du composant, la température, la pression et la pureté de l'oxygène sont des variables essentielles, affectant l'inflammabilité des métaux.

En fonction de l'inflammabilité d'un métal aux conditions d'utilisation, il peut être nécessaire de limiter la vitesse d'oxygène. Les alliages résistant à la combustion ne nécessitent pas de limitation de vitesse s'ils sont résistants à la combustion à la pression de calcul du système. La pression d'exemption de vitesse est la pression maximum jusqu'à laquelle un alliage industriel est exempté de limitation de vitesse, décrite en 3.4.

La classification des matériaux métalliques se trouvent dans des documents tels que EIGA Doc IGC 13/02 « Systèmes de canalisations oxygène ».

3.2.1 Pression d'exemption pour oxygène de pureté standard

3.2.1.1 Alliages industriels

L'Annexe A liste les compositions nominales des alliages industriels et des systèmes d'alliages pour lesquels les pressions d'exemption de vitesse sont identifiées dans ce document. Les alliages ou systèmes d'alliages sont ceux dont les données d'inflammabilité ont été publiées.

3.2.1.2 Pression d'exemption et effet de l'épaisseur

L'épaisseur est une variable très importante dans l'inflammabilité d'un composant. L'épaisseur d'un métal ou d'un alliage ne doit pas être inférieure au minimum prescrit en Annexe B. Si l'épaisseur est inférieure au minimum prescrit, l'alliage doit être considéré comme étant inflammable et les limitations de vitesse appropriées à la pression du système doivent être respectées. Les pressions d'exemption ne doivent pas être extrapolées hors de la gamme d'épaisseur de 3,18 à 6,35 mm

3.2.1.3 Chemisages et revêtements de protection

Des chemisages et des revêtements de protection en alliage résistant à la combustion sont utilisables avec les composants en acier au carbone ou en acier inoxydable, là où des vitesses et des pressions d'oxygène élevées pourraient entraîner une inflammation par impact de particules. Les alliages de cuivre, de nickel ou de Monel constituent les choix habituels. Une épaisseur minimum de l'ordre de 1,5 mm à 3 mm est généralement nécessaire. Des alliages de type stellite sont possibles, pour résister à l'abrasion. Les plaquages par électrolyse ou auto catalyse ne conviennent pas, du fait de l'épaisseur insuffisante de revêtement la plus souvent employée dans ces procédés.

3.2.2 Mélanges avec moins de 35% d'O₂ en volume

Pour des pressions allant jusqu'à 21 MPa et une teneur en oxygène inférieure ou égale à 35% en volume, les systèmes non pollués par des hydrocarbures et construits en matériaux ferreux et/ou non ferreux sont exemptés de limitation de vitesse. Dans ces conditions, les aciers au carbone et les aciers inoxydables ont prouvé leur qualité de matériaux résistant à la combustion selon la méthode d'essai d'inflammation - combustion avec allumage par amorce (voir Annexe B). Cependant, pour ces systèmes de canalisations, il est conseillé de procéder au nettoyage comme pour l'oxygène et d'employer des matériaux non métalliques compatibles avec l'oxygène, selon la description donnée en 3.3.

3.2.3 Oxygène ultra pur (OUP)

3.2.3.1 Général

L'oxygène ultra pur est de plus en plus utilisé dans des applications de haute technologie, telles que les semi-conducteurs et l'électronique. Les exigences spécifiques à ces applications nécessitent l'élimination quasi totale des particules, qui pourraient contribuer au mécanisme d'inflammation par impact de particules. En plus des procédures spéciales de nettoyage, les systèmes OUP exigent des procédures de surveillance assurant l'absence de particules. Ces systèmes sont d'habitude fabriqués à partir d'acier inoxydable.

3.2.3.2 Pressions de système

Les systèmes de transport de gaz en vrac ont des pressions généralement inférieures à 4 MPa. Des pressions plus élevées sont possibles pour des systèmes de distribution utilisant des bouteilles sous haute pression.

3.2.3.3 Exemptions de limitation de vitesse

L'absence de particules et de contaminant inflammables dans un système d'oxygène ultra pur est un facteur important qui exclut l'inflammation par mécanisme d'impact de particules. Les systèmes d'oxygène ultra pur correctement nettoyés et entretenus sont donc exemptés d'exigences relatives à la vitesse d'oxygène.

3.2.4 Limitations de température

Les informations d'inflammabilité des métaux, indiquées en 3.2, s'appliquent aux systèmes de transport jusqu'aux valeurs suivantes :

- 150°C pour les systèmes de canalisations en acier au carbone ;
- 200°C pour les systèmes de canalisations en acier inoxydable et non ferreux.

Les systèmes fonctionnant à des températures au-delà des limites ci-dessus nécessitent une analyse complémentaire. Les composants ou le matériau peuvent nécessiter des essais d'inflammabilité des métaux ou d'impact de particules à températures élevées pour assurer la sécurité du système.

Dans le cas de températures de fonctionnement inférieures à -20°C, les aciers, qui présentent des valeurs de ténacité adéquates, sont exigés.

3.2.5 Précautions liées à l'utilisation des alliages en cuivre

Généralement, les alliages de cuivre ont eu un historique important d'application dans le transport d'oxygène par canalisation. Cependant, les bronzes d'aluminium doivent être employés avec prudence. Pendant de nombreuses années, les bronzes d'aluminium (teneur habituelle allant jusqu'à 10% d'aluminium en masse) ont été largement employés pour les composants coulés (par ex., corps de **robinet**, accessoires de canalisation, etc.) sur canalisation d'oxygène, sans historique important de défaillances. Les essais d'inflammation de ce matériau indiquent qu'il est difficile à enflammer par impact de particules, mais, une fois enflammé, il est inflammable dans cette gamme de service. Dans ce document, les alliages de bronze sont limités à une teneur maximum de 2,5 % d'aluminium en masse

3.3 Matériaux non métalliques

3.3.1 Propriétés et risques

La plupart des matériaux non métalliques sont moins compatibles avec l'oxygène que les matériaux métalliques. Les matériaux non métalliques sont employés surtout pour les joints d'étanchéité plats, les sièges de clapet, les lubrifiants de filetage, les rubans d'étanchéité pour filetage, les garnitures d'étanchéité des robinets et autres applications similaires destinées à réduire la friction et minimiser les fuites de gaz.

De nombreux matériaux non métalliques sont inflammables dans l'oxygène même à basse pression et à des puretés supérieures à 23,5%. Les principaux facteurs affectant leur inflammation et la propagation du feu sont la pression, la température et la concentration d'oxygène.

L'indice d'oxygène est la concentration minimale d'oxygène dans un mélange d'oxygène et d'azote permettant d'entretenir la combustion d'un échantillon. Les matériaux ayant un indice d'oxygène élevé sont privilégiés.

Dans un processus de feu par chaîne d'allumage, l'élément non métallique est souvent le lien qui promeut l'inflammation du matériau métallique. La chaleur de combustion du composant non métallique est donc un paramètre important. Les matériaux non métalliques à privilégier ont des chaleurs de combustion inférieures à 2500 cal/g, par comparaison avec 10.000 cal/g pour des hydrocarbures courants.

Pour évaluer la compatibilité d'un matériau non métallique avec l'oxygène, un paramètre important est la température d'auto-inflammation (T.A.I.). En pratique, une marge d'au moins 100°C est habituellement requise entre la température de fonctionnement et la T.A.I. Cependant, une marge plus faible de 50°C est acceptable sous réserve d'essais complémentaires. Cependant, il est important de vérifier le comportement du produit en atmosphère d'oxygène à la pression et température maximales de fonctionnement. Le matériau peut être soumis à l'impact d'un fluide gazeux ou à un impact mécanique. Le résultat d'un impact mécanique dans un environnement d'oxygène liquide peut être une indication utile du comportement du produit, puisque l'oxygène liquide est considéré comme source d'oxygène de haute pureté..

Comme une oxydation lente peut se produire et modifier les propriétés du produit, une procédure de vieillissement peut être réalisée. Le comportement de matériaux non métalliques selon des classifications génériques peut varier lors des essais de compatibilité avec l'oxygène en fonction de la source de fourniture de ces matériaux.

La qualification des produits venant de fournisseurs doit être envisagée. Pour les besoins de maintenance, il est important de s'assurer de l'emploi des pièces détachées correctes, sélectionnées pour leur compatibilité avec l'oxygène. De nombreux feux résultent de la confusion dans le choix et l'utilisation des pièces détachées.

L'énergie nécessaire à l'inflammation d'un élément non métallique peut provenir de :

- la compression adiabatique de l'oxygène. Ce phénomène est une cause fréquente de feux dans les systèmes d'oxygène à partir d'une pression de 3 MPa;
- la déformation du matériau, du fait de vibration, d'une résonance acoustique ou d'une friction gazeuse ;
- un impact, une friction ou une rupture de type mécanique après gonflement ;
- un effet d'arc dû à une décharge d'électricité statique ou au foudre ;
- l'inflammation provoquée par des particules en feu.

3.3.2 Pratiques de conception et sélection des matériaux

Lors de la conception d'un système contenant des matériaux non métalliques, il est souhaitable d'observer les pratiques suivantes :

- minimiser la quantité de matériaux non métalliques employés pour les systèmes d'oxygène ;
- tenir compte de la dissipation de chaleur dans la conception, en incorporant l'élément non métallique dans une masse adéquate de matériau métallique résistant à la combustion, qui agira comme dissipateur de chaleur **en fonction de sa conductibilité thermique** ;
- éviter d'implanter les matériaux non métalliques directement dans le flux gazeux ;
- empêcher le mouvement excessif du composant ;
- s'assurer que le matériau est physiquement et chimiquement stable aux conditions de fonctionnement ;

- s'assurer qu'un composant non métallique n'empêche pas la continuité électrique entre les éléments internes.

En plus de ces pratiques de conception, la procédure de nettoyage doit être minutieuse, particulièrement en cas d'utilisation de solvant. Il est important de vérifier la compatibilité du solvant avec les matériaux non métalliques, pour éviter toute contamination de l'élément non métallique, ou d'un équipement, par un solvant pollué. Il faudrait évacuer tous les résidus de solvant de nettoyage.

Des informations spécifiques relatives à la conception et l'utilisation de matériaux non métalliques sont disponibles dans les paragraphes traitant des équipements.

Pour des systèmes d'oxygène à des pressions supérieures à 3MPa un essai de compression adiabatique sur les petits éléments d'équipement (<25 mm) doit être envisagé, particulièrement pour les régulateurs d'oxygène.

Voici quelques exemples de matériaux non métalliques présentant **une bonne** compatibilité avec l'oxygène :

- polymères fluorés, y compris des produits plastiques tels que le polytétrafluoréthylène (PTFE), l'éthylène-propylène fluoré (FEP) ou le polychlorotrifluoréthylène (PCTFE) ;
- produits élastomères, tels que Neoflon, Kalrez, Viton ou Fluorel ;
- polymères amorphes, tels que les polyamides (Vespel SP21) ;
- les céramiques et le verre, qui sont des produits totalement oxydés, sont résistants à la combustion mais ils sont cassants et généralement employés comme liants dans des produits composites. La structure cristalline est très stable et résistante à la combustion comme dans le cas du graphite, qui possède une compatibilité élevée avec l'oxygène, même à haute température.

AVERTISSEMENT : En brûlant, les polymères fluorés peuvent libérer des gaz toxiques.

3.4 Critères de vitesse et de pression gazeuse

3.4.1 Généralités

Le diamètre d'un système de canalisations est basé essentiellement sur la vitesse admissible du gaz. Cette vitesse est basée sur un fonctionnement normal, et n'est pas basée sur des vitesses qui peuvent exister du fait de défaillances mécaniques ou d'autres circonstances inhabituelles, telles que la défaillance d'un **robinet** de régulation ou l'ouverture d'une soupape de surpression. Le terme « vitesse » signifie la vitesse axiale moyenne dans le tuyau pour une pression, une température et un débit de fonctionnement définis. Pour les équipements de canalisation, la vitesse est basée sur la surface minimum de la section intérieure du composant. De multiples conditions de fonctionnement peuvent être définies pour lesquelles toutes les vitesses doivent être étudiées.

3.4.2 Courbe de vitesse avec impact et sélection des matériaux métalliques pour les canalisations et les équipements

La Courbe de vitesse avec impact, présentée en Figure 1, doit être utilisée pour la conception et la sélection des matériaux des nouvelles installations (canalisations et équipements), dans le cas de zones potentiels d'impact (voir 4.2.1 et 4.2.2). Le concepteur choisira les matériaux métalliques selon la courbe de vitesse avec impact et leurs pressions d'exemption définies en 3.2. Au-dessous de sa pression d'exemption (voir Annexe B), le matériau métallique est utilisable sans limitation de vitesse. Au-dessus de la pression d'exemption, le concepteur vérifiera que la vitesse reste en dessous de la Courbe de vitesse avec impact. Pour des vitesses au-dessous de la Courbe de vitesse avec impact, l'acier au carbone, l'acier inoxydable et d'autres matériaux exemptés peuvent être utilisés ; au-dessus de la Courbe de vitesse avec impact, seuls les matériaux exemptés (**voir définition § 2.8**) peuvent être utilisés (voir 3.2).

Les canalisations sont généralement fabriquées en acier au carbone et il est donc nécessaire de limiter la vitesse du gaz à une valeur inférieure à la Courbe de vitesse avec impact. D'autres éléments de calcul peuvent également exiger des vitesses plus faibles, telles que la perte de charge, l'effet tampon gazeux, la réduction de bruit, les vibrations et la nécessité de limiter l'énergie cinétique.

Les limitations de vitesse dans les **zones** sans impact sont étudiées en 3.4.3. Dans le cas de pressions inférieures à 0,21 MPa on peut éventuellement utiliser, pour l'oxygène, des aciers au carbone et des aciers inoxydables de faible épaisseur sans limitations de vitesse, en utilisant à des composants correctement conçus. En effet, ces matériaux présentent de faibles vitesses de combustion en essais d'inflammabilité à basse pression. L'évaluation au cas par cas des composants dans de telles applications est conseillée.

L'analyse des risques du système (canalisations et équipements) peut justifier des solutions autres que l'emploi de matériau résistant à la combustion, par exemple :

- utilisation d'une plaque de protection en matériau exempté dans les zones d'impact ;
- minimiser la présence de particules par une filtration inférieure à 70 microns ;
- autres exceptions telles que listées en 3.2.2, 3.2.3, 4.2.2, et 4.2.3.

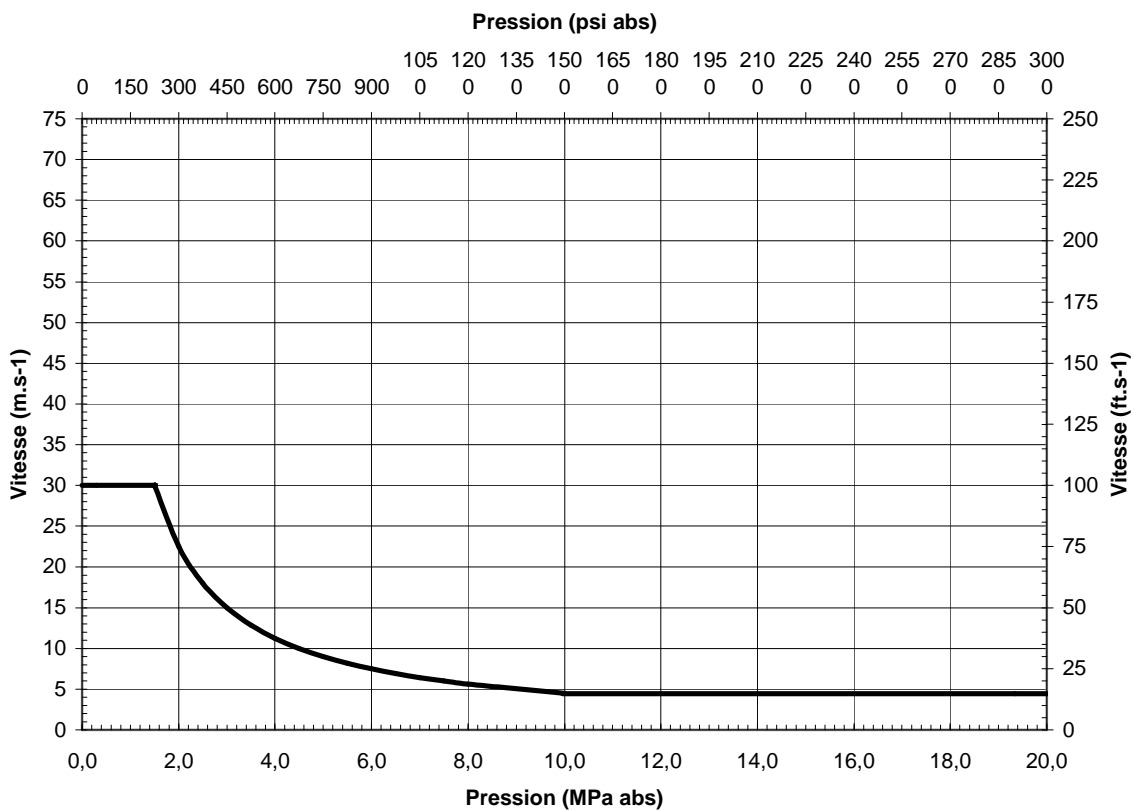


Figure 1 — Courbe de vitesse avec impact

La courbe présentée en Figure 1 est valable pour des températures de calcul allant jusqu'à 150°C pour les tuyaux en acier au carbone, et 200°C pour les tuyaux en acier inoxydable. La limitation de température applicable à l'acier au carbone peut être portée à 200°C sous réserve d'une analyse des dangers tenant compte de facteurs tels que **la configuration des zones d'impact**, l'expérience de fonctionnement, les données expérimentales, etc. Les pressions sont limitées à un maximum de 21 MPa

L'équation de la Courbe de vitesse avec impact en Figure 1 est définie comme suit :

- 0,3 MPa abs < P < 1,5 MPa: $V = 30 \text{ m/s}$
- 1,5 MPa < P < 10 MPa: $P.V = 45 \text{ MPa.m/s}$

— 10 MPa < P < 20 MPa: $V(m/s) = 4,5 \text{ m/s}$

3.4.3 Limitations de vitesse dans des zones sans impact

La Courbe de vitesse avec impact doit être utilisée pour le calcul de nouvelles canalisations.

Dans les zones sans impact du système de canalisations, la vitesse peut être augmentée comme indiqué en Figure 2. Voir 4.1 et 4.2.2.

Pour des vitesses au-dessus de la Courbe de vitesse sans impact, les matériaux exemptés doivent être employés dans les zones sans impact.

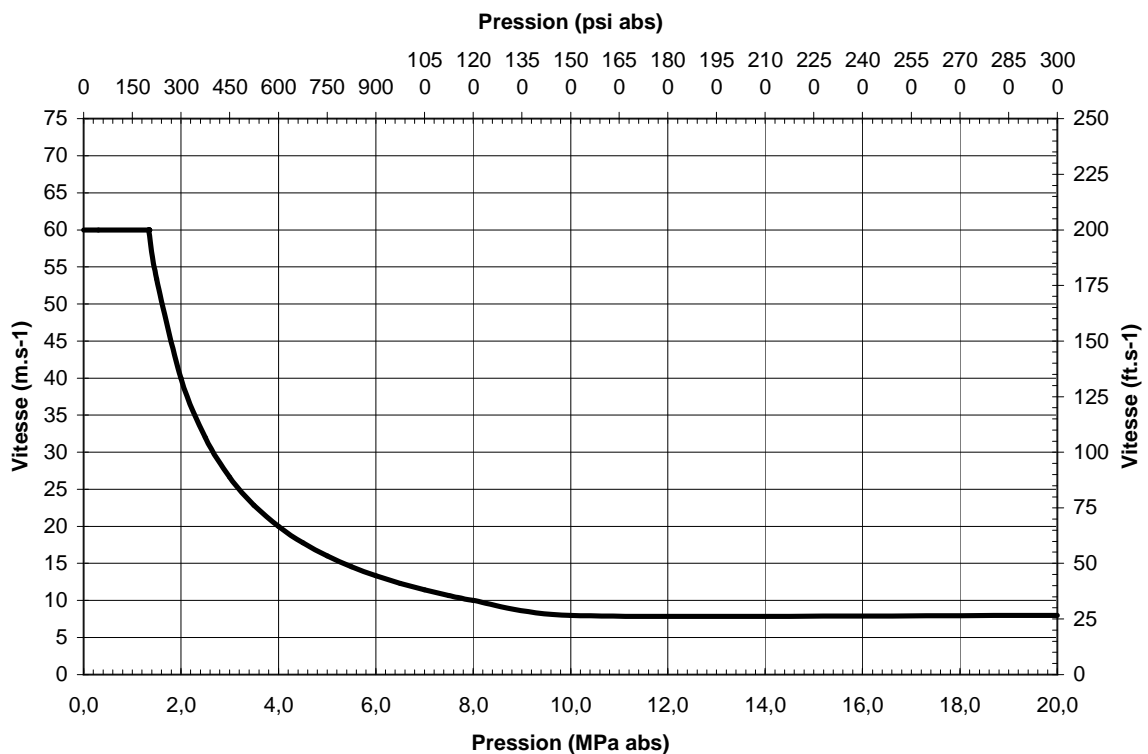


Figure 2 — Courbe de vitesse sans impact

La courbe en Figure 2 est valable pour des températures allant jusqu'à 150°C pour les tuyaux en acier au carbone, et 200°C pour les tuyaux en acier inoxydable. La limitation de température applicable à l'acier au carbone peut être portée à 200°C sous réserve d'une analyse des dangers tenant compte de facteurs tels que **la configuration des zones d'impact**, l'expérience de fonctionnement, les données expérimentales, etc. Les pressions sont limitées à un maximum de 21 MPa .

L'équation de la Courbe de vitesse sans impact est définie comme suit :

- 0,3 MPa abs < P < 1,5 MPa: $V = 60 \text{ m/s}$
- 1,5 MPa < P < 10 MPa: $P.V = 80 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$
- 10 MPa < P < 20 MPa: $V = 8 \text{ m/s}$

3.5 Systèmes de canalisations

3.5.1 Systèmes de canalisations enterrées

Toutes les canalisations doivent être de construction soudée, conformément à la norme EN 14161 ou tout autre guide professionnel reconnu.

Vu la possibilité de fuites et de risque d'atmosphère enrichie, il est préférable de n'avoir aucun raccord à brides enterré, qu'il soit enfoui ou en fosse.

3.5.2 Systèmes de canalisations aériennes

Toutes les canalisations aériennes doivent disposer d'une continuité électrique à travers tous les raccords, sauf les brides isolantes, et doivent être raccordées à la terre à des intervalles convenables, pour la protection contre les effets de la foudre et de l'électricité statique. La résistance électrique de terre de la canalisation installée ne doit pas dépasser 10 ohms pour la protection contre la foudre.

Les boulons de brides assureront la continuité électrique nécessaire, sous réserve qu'ils ne soient pas revêtus d'une peinture ou d'un matériau diélectrique et qu'ils soient bien entretenus pour éviter la rouille.

Dans le cas de tronçons aériens courts, où les brides isolantes ne sont pas utilisées, le tuyau doit être isolé de la structure support à l'aide de patins isolants.

Si les canalisations aériennes se trouvent dans une nappe aérienne à plusieurs conduites, les joints mécaniques de la conduite d'oxygène ne doivent pas être situés au droit des joints mécaniques des autres conduites de fluides, si des mélanges dangereux pourraient se produire en cas de défaillance ou de fuites simultanées. Il faut étudier la protection contre le feu des autres conduites de fluides à côté des joints mécaniques des conduites d'oxygène. Les conduites d'oxygène ne doivent pas être soumises à des forces externes, qui peuvent entraîner une défaillance ou une situation dangereuse, telle que l'impact externe venant d'événements de gaz chaud ou de vapeur, la vibration venant de sources externes, les fuites d'huile tombant goutte à goutte sur la conduite, etc.

3.5.3 Protection cathodique

Il ne doit pas y avoir de soudage par aluminothermie (Thermit) des câbles des prises de potentiel sur les conduites d'oxygène en service. On peut utiliser des procédés de soudage à froid, ou les autres méthodes présentées au paragraphe 8.1.3.

3.6 Implantation, commande à distance, emploi de barrières

L'implantation des systèmes d'oxygène doit faire l'objet d'une étude attentive, surtout dans les cas de postes comprenant des **robinets** ou des zones avec possibilité d'impact. L'implantation et les distances de sécurité doivent suivre les pratiques établies et les réglementations applicables. Les détails sont précisés en 7.4.

En cas de doute sur les risques qui ne peuvent pas être réduits à un niveau acceptable de sécurité par la conception et la sélection des composants, les matériaux compatibles, les pratiques de fonctionnement et l'implantation, comme défini ci-dessus, il faut envisager une commande à distance ou l'utilisation de barrières physiques pour la protection des opérateurs et autres personnes. Les détails sont précisés en 7.3.

4 Tuyauteries, robinets et équipements

4.1 Critères généraux

Ce chapitre décrit les modalités pratiques d'application du principe de conception, présenté au Chapitre 3, aux tuyauteries, **robinets**, composants spécifiques de canalisation et aux configurations des équipements.

La sélection des matériaux pour les tubes, robinets et équipements doit se baser sur 3.2, 3.3 et 3.4.

Aux sites d'**impact**, la sélection des matériaux doit se baser sur la Courbe de vitesse avec **impact** donnée en Figure 1 et expliquée au paragraphe 3.4.2.

Aux sites **sans impact**, la vitesse pour l'acier au carbone et l'acier inoxydable peut être augmentée, mais elle doit être limitée par la Courbe de vitesse sans impact (voir Figure 2).

Les zones où impact et non-impact peuvent se produire sont listées ci-après.

4.2 Tuyauteries et accessoires

4.2.1 Zones d'impact

L'impact se produit quand le flux change brutalement de direction, ou quand la présence de tourbillons entraîne l'impact de particules sur les parois du système.

Les zones d'impact propres aux tuyaux et aux raccords comprennent, notamment :

- tés (débit allant d'une canalisation secondaire vers une canalisation principale) ;
- tés et coudes à emboîtement à souder ;
- raccords de branchement, tels que piquages renforcés à souder ou à emboîtement ou taraudés ;
- diffuseurs à trous multiples et corps environnant ;
- coudes à court rayon (rayon de courbure $< 1,5 d$) ;
- réductions à emboîtement, à souder ou taraudés ;
- réductions (excentriques et concentriques) ayant un rapport de réduction de section supérieur à 3:1 entre entrée et sortie (pour un sens d'écoulement allant du grand diamètre au petit) ;
- coudes à secteurs (angle de coupe d'onglet supérieur à 20°) ;
- tuyauteries à l'aval d'un détendeur de pression jusqu'à une longueur de 8 diamètres du tube (les diamètres du tube peuvent être basés sur la dimension en sortie de **robinet**).

Les autres zones d'impact, qui sont les composants montés sur la canalisation, sont abordées dans les paragraphes indiqués :

- robinets, soupapes, paragraphe 4.3 ;
- tamis, paragraphe 4.4.1 ;
- filtres, paragraphe 4.4.2 ;
- diaphragmes, paragraphe 4.4.3.2 ;
- silencieux, paragraphe 4.4.7.1 ;
- doigt de gant, paragraphe 4.4.7.2

4.2.2 Zones sans impact

Les zones sans impact comprennent :

- sections droites de tuyauterie ;

- tés soudés bout à bout, ayant un grand rayon de courbure (pour un sens d'écoulement allant d'une canalisation principale vers une canalisation secondaire) ;
- coudes à grand rayon (égal ou supérieur à 1,5 diamètre) ;
- coudes à secteurs à 90° en 6 pièces (5 soudures) et coudes à secteurs à 45° en 3 pièces (2 soudures), sous réserve que toutes les surfaces internes aient un fini meulé lisse ;
- raccords réducteurs excentriques et concentriques ayant un rapport de section maximum de 3.

4.2.3 Zones spécifiques de tuyauteries

4.2.3.1 Tuyauteries de by-pass

Il faut veiller à la sélection du matériau de tuyauterie à l'entrée et la sortie du robinet de by-pass, voir Figure 3, car cette tuyauterie est souvent soumise à des vitesses élevées et des écoulements turbulents pendant la pressurisation. Le tuyau de by-pass en amont du robinet de by-pass est défini comme une zone sans impact. Le tuyau de by-pass en aval du robinet de by-pass est défini comme une zone à écoulement turbulent avec impact sur une longueur de 8 diamètres de tuyau en aval du robinet de by-pass. Il faut étudier la possibilité de flux bi-directionnel. Les matériaux exemptés peuvent ne pas être exigés pour le tuyau de by-pass, si la vitesse est sous la Courbe de vitesse avec impact en Figure 1. Voir le paragraphe 4.3.2.5.

4.2.3.2 Tuyauteries des événements et des purges

Les tuyauteries des **robinets** de mise à l'air et de purge et tous les robinets de purge des systèmes d'isolement (c'est-à-dire, entre les **robinets** d'isolement) doivent être conçues comme les tuyauteries de by-pass.

4.2.3.3 Tuyauteries en amont des soupapes de sécurité

La tuyauterie en amont de la soupape de sécurité est définie comme une zone sans impact. Sa dimension et la sélection du matériau doivent se baser sur la vitesse déterminée sur la canalisation principale.

4.2.3.4 Tuyauteries en aval des robinets de mise à l'air et des soupapes de sécurité

La sélection du matériau associé à la tuyauterie de mise à l'air doit se baser sur la Courbe de vitesse avec impact en Figure 1. Un matériau résistant à la corrosion est souvent employé pour les conduites de mise à l'air, puisque le tuyau est ouvert à l'atmosphère et est soumis à la condensation selon les fluctuations quotidiennes de température. Des tuyaux en acier au carbone peuvent être employés pour la tuyauterie d'événement quand la mise à l'air est contrôlée pour éviter les turbulences immédiatement en aval du **robinet** de mise à l'air. Cependant, les matériaux exemptés peuvent assurer la résistance à la corrosion et à la combustion.

Si l'on ne peut éviter qu'elle soit localisée à l'intérieur de bâtiments ou d'espaces clos, la tuyauterie d'événement doit déboucher à l'extérieur. Il faut veiller à l'emplacement de la sortie d'événement, la hauteur, la direction, l'espacement adéquat, etc., afin de minimiser les risques dus à une atmosphère enrichie en oxygène.

4.2.3.5 Tuyauteries en aval des zones de détente

La tuyauterie en aval d'un **robinet** de détente (pour les détendeurs ou **robinets** de régulation, voir 4.3.2.3) est soumise un flux gazeux à forte vitesse et fortement turbulent. La paroi du tuyau en aval d'un détendeur ou **robinet** de régulation est considérée comme une zone à écoulement turbulent avec impact, sur une longueur au minimum égale à 8 fois le diamètre du tuyau, ce diamètre étant basé sur la dimension de sortie du **robinet**. Les particules dans le régime d'écoulement turbulent entrent en impact avec les parois du tuyau à une vitesse supérieure à celle déterminée par les calculs de débit gazeux. Du fait de la vitesse des particules dans le flux turbulent, les matériaux exemptés doivent être envisagés pour la tuyauterie dans cette zone turbulente.

Dans les situations suivantes, le risque d'impact de particules ou de ses conséquences peut être considéré comme réduit, et l'emploi de matériaux autre que exemptés peut être envisagé:

- si le diamètre du siège est inférieur au quart du diamètre de la bride du **robinet**, il est considéré que la turbulence est faible à la sortie du corps du **robinet**.
- si un filtre à 70 micron ou plus fin est installé en amont du **robinet** de détente, la conséquence d'impact de particules est fortement réduite.
- si la baisse de pression à travers le **robinet** est inférieure à 15% de la pression en amont, le tuyau en aval est considéré comme un site sans impact.
- si la réduction de pression se produit à travers un diffuseur à trous multiples, le débit en aval du diffuseur peut être considéré comme non turbulent.
- si le système est entouré de barrières pour protéger le personnel et l'empêche de s'exposer. Voir 3.6 et 7.3.

4.2.3.6 Joints plats d'étanchéité

Les joints plats d'étanchéité doivent être compatibles avec l'oxygène Il faut éviter l'emploi de produit d'étanchéité sur le joint car l'extrusion du produit dans le flux gazeux n'est pas souhaitable. Si un produit d'étanchéité est nécessaire, son choix doit se conformer au paragraphe 3.3.

4.2.3.7 Produits d'étanchéité pour filetage

Les produits d'étanchéité pour filetage doivent être compatibles avec l'oxygène, aux conditions d'utilisation, pression et température. Les produits en PTFE (ruban) sont utilisables selon leurs caractéristiques. Voir 3.3.

4.2.3.8 Pièges à poussières et cul de sac

Le risque d'inflammation d'un matériau métallique augmente avec la masse des particules. Il est important d'éviter l'accumulation des particules dans des pièges à poussières ou des culs de sac. Les culs de sac, où les particules peuvent s'accumuler, doivent être identifiés en fonctions de toutes les configurations opérationnelles possibles. Il faut particulièrement étudier les conduites en stand-by, telles que les tuyaux de by-pass, les tuyaux d'évent ou de purge, pour lesquels le raccordement doit se faire par dessus la canalisation principale ou, au moins, au même niveau, horizontalement. Partout où c'est possible, il faut éviter les pièges à poussière et les culs de sac.

4.2.3.9 Coupe-feux

Les coupe-feux sont des tronçons courts en alliage de cuivre ou de nickel. Ils ne sont plus communément utilisés dans les systèmes de canalisations de transport ou de distribution.

4.3 Robinets et soupapes

4.3.1 Général

Les robinets et soupapes doivent être qualifiés pour l'utilisation en service oxygène. Les matériaux et la conception des **robinets** doivent être sélectionnés avec soin en tenant compte des conditions de fonctionnement normales et inhabituelles. La conception des robinets manuels doit faire l'objet de beaucoup d'attention, car ils sont manipulés sur place par le personnel.

Les exigences de sélection des matériaux métalliques sont liées à la vitesse gazeuse et aux zones potentielles d'impact, qui peuvent exister dans un robinet selon sa conception, sa fonction et son type. Les exigences de sélection des matériaux non métalliques sont décrites en 3.3.

4.3.2 Fonctions

Ce document considère les classes suivantes de robinets et soupapes pour service oxygène:

- **robinets** d'isolement ;
- **robinets** de régulation ;
- robinets d'arrêt d'urgence ;
- robinets de by-pass ;
- **robinets** de mise à l'air ;
- soupapes de sécurité ;
- clapets anti-retour.

4.3.2.1 Risques des robinets d'isolement

Deux facteurs de risques sont associés aux **robinets** d'isolement quand ils sont ouverts avec une différence de pression de part et d'autre du siège :

- vitesse élevée et turbulence à travers le robinet à l'ouverture ;
- mise en pression rapide en aval et montée en température due à la compression adiabatique.

Les risques de vitesse élevée, de turbulence et de mise en pression rapide peuvent être évités par l'emploi d'un système de by-pass pour équilibrer la pression de part et d'autre du **robinet** d'isolement avant son ouverture. Les robinets de by-pass sont abordés en 4.3.2.5.

4.3.2.2 Robinets d'isolement

Les **robinets** d'isolement doivent fonctionner en position totalement fermée ou grande ouverte et jamais en mode détente. Ils doivent fonctionner sans différentiel de pression important, ce qui est obtenu par un système de by-pass ou une procédure de fonctionnement spécifique. La vitesse de montée en pression en aval doit être contrôlée pour éviter le risque de compression adiabatique.

Les **robinets** d'isolement sont normalement du type **robinet** à opercule (**ou robinet vanne**), à boisseau, à boule, à soupape ou **robinet** papillon.

Les **robinets** destinés à fonctionner avec un différentiel de pression à l'ouverture et à la fermeture sont traités comme des **robinets** de détente ou de régulation (voir 4.3.2.3).

Il convient de noter qu'une fuite dans un **robinet** d'isolement fermé peut entraîner un écoulement à grande vitesse, en cas de forte différence de pression.

4.3.2.3 Robinets de détente ou de régulation

Les **robinets** de détente ou de régulation comprennent les **robinets** de régulation de pression, de régulation de débit, de by-pass ou des soupapes de sécurité.

Elles sont définies comme des **robinets** réglant le débit ou la pression. Selon leur fonction, les **robinets** de régulation de pression peuvent détendre le débit en permanence, permettre l'ouverture ou la fermeture lente, ou être programmés pour l'ouverture ou la fermeture rapide. La plupart des **robinets** de régulation sont automatisés ; les exceptions sont les robinets de détente à manœuvre manuelle.

Les **robinets** de régulation constituent la classe de service la plus contraignante dans les systèmes d'oxygène gazeux. En effet, leur fonction est la régulation du débit ou le fonctionnement avec une forte pression différentielle, ce qui entraîne une vitesse élevée et un flux turbulent avec impact. La turbulence et l'impact sont non seulement présents dans les pièces internes et le corps du **robinet**, mais on considère qu'ils s'étendent au tuyau aval sur une longueur minimum de 8 fois le diamètre du tuyau.

Les **robinets** de régulation sont de type à soupape, à boule modifiée, à clapet excentré ou papillon. Les **robinets** qui ne répondent pas à la définition des **robinets** d'isolement doivent être considérés comme des **robinets** de détente.

4.3.2.4 Robinets d'arrêt d'urgence

Les **robinets** d'arrêt d'urgence sont en général automatisés, fonctionnent en position grande ouverte, et sont fermés uniquement en cas d'urgence. Les **robinets** d'arrêt d'urgence sont des **robinets** à haut débit, du type **robinet** à boisseau, à opercule, à papillon ou à boule. Bien que le **robinet** ne connaisse en fonctionnement normal qu'un débit sans impact, en cas de débit excessif, il est soumis à des vitesses excessives et à une turbulence momentanée lors de la fermeture. Ces **robinets** sont normalement traités comme des **robinets** de détente.

4.3.2.5 Robinets de by-pass

Les robinets de by-pass sont normalement raccordés entre l'amont immédiat et l'aval immédiat des **robinets** d'isolement. En fonction de la conception du processus, un système de by-pass peut être nécessaire pour certains **robinets** de régulation ou d'arrêt d'urgence. Ils sont installés pour assurer l'équilibrage de pression à travers un **robinet** d'isolement. Dès que la pression est équilibrée, le **robinet** d'isolement peut être ouvert en toute sécurité. Les robinets de by-pass servent également à pressuriser lentement l'installation en aval pour réduire les risques de vitesse excessive et de pressurisation rapide. La pressurisation lente et contrôlée nécessite l'emploi d'un **robinet** de détente de type régulation de débit. Vu leur fonction de régulation de débit, les robinets de by-pass sont dans la catégorie des **robinets** de détente ou de régulation. Bien qu'ils soient classés en **robinets** de régulation, les robinets de by-pass sont normalement à manœuvre manuelle. Ce sont d'habitude des robinets à soupape dont le corps est soumis à l'impact et à un flux turbulent à grande vitesse.

Les robinets de by-pass doivent être conçus selon les critères suivants :

Le système de by-pass doit être dimensionné pour réaliser l'équilibrage de pression en une durée acceptable.

Pour minimiser la quantité de particules qui pourraient se rassembler dans la conduite de by-pass, le tuyau de by-pass doit être raccordé au tuyau principal au niveau ou au-dessus de l'axe central (voir Figure 3).

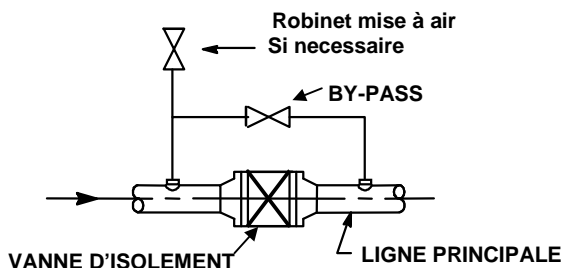


Figure 3 — Installation du by-pass

4.3.2.6 Robinets de mise à l'air

Les **robinets** de mise à l'air sont habituellement soumis à une vitesse élevée et à l'impact, ils sont traités comme des **robinets** de détente. La sélection du matériau de la tuyauterie de mise à l'air doit se baser sur la Courbe de vitesse avec impact en Figure 1 (voir 4.2.3.3 pour la tuyauterie amont, et 4.2.3.4 pour la tuyauterie aval).

4.3.3 Types de robinets

La vitesse à travers un robinet varie selon les changements de section, particulièrement dans le cas des robinets à soupape et des soupapes de sécurité. Pour les **robinets** d'isolement, tels que les types à boule, à opercule, à boisseau et papillon, qui sont normalement grands ouverts en fonctionnement, la vitesse ne varie pas beaucoup et la sélection du matériau pour le corps et les parties internes peut se baser sur la vitesse à l'entrée du **robinet**.

4.3.3.1 Robinets à boule et à boisseau

Les **robinets** à boule et à boisseau sont conçus pour une ouverture rapide. Cela conduit à des problèmes de compression adiabatique, surtout pour les matériaux élastomères et polymères dans le robinet ou le système de tuyauterie. De plus, la boule présente une arête vive dans le flux gazeux pendant la fermeture ou l'ouverture.

Quand un robinet à boule ou à boisseau est grand ouvert, le débit est considéré non turbulent et le corps et les parties internes sont sans impact.

Les **robinets** à boule et à boisseau peuvent être commandés par un réducteur pour assurer une ouverture lente.

4.3.3.2 Robinets à papillon

Les **robinets** à papillon, quand ils sont ouverts, fonctionnent avec le disque dans l'écoulement. Les **robinets** à papillon spécifiés pour un faible débit de fuite utilisent un joint en élastomère ou un siège métal sur métal.

Quand un **robinet** à papillon est grand ouvert, le débit est considéré non turbulent et le corps est une zone sans impact. Cependant, le disque est directement dans le flux et est traité comme une zone avec impact.

Les **robinets** à papillon permettent une ouverture rapide. Cela conduit à des problèmes de compression adiabatique et de montée et d'échauffement surtout pour les élastomères dans le robinet ou l'installation en aval.

Les **robinets** à papillon peuvent être commandés par réducteur pour assurer une ouverture lente.

4.3.3.3 Robinets à opercule

Quand les **robinets** à opercule sont grands ouverts, le débit dans le **robinet** est considéré comme non turbulent. Le corps est une zone sans impact alors que l'opercule est traité comme zone avec impact possible.

Des surfaces potentielles de friction existent dans les parties mobiles des **robinets** à opercule, par ex., entre l'opercule et le siège du corps, entre la tige rotative et l'opercule, et entre le filetage de la tige et le guide.

Si les **robinets** à opercule sont en position fermée et la pression interne étant équilibrée grâce à un robinet de by-pass, il est possible, selon les conceptions, que la pression dans la zone du chapeau reste basse jusqu'à l'ouverture **du robinet**. Cela pourrait entraîner une compression adiabatique dans la zone du chapeau au début de l'ouverture.

Certains **robinets** à opercule ont des sièges rapportés. La zone du filetage peut être difficile à nettoyer après le montage. Un **robinet** à opercule peut être conçu avec une rainure ouverte dans le bas, quand le **robinet** est ouvert, ce qui est une zone où des débris s'accumulent facilement.

4.3.3.4 Robinets à soupape

Les robinets à soupape sont souvent employés dans les applications de régulation et sont habituellement automatisés. Les robinets à soupape présentent un chemin tortueux avec de nombreuses zones d'impact. La

conception des parties internes varie selon les fournisseurs mais il arrive qu'elles aient une section fine équipée d'inserts en élastomère/polymère pour minimiser les fuites et les dommages au siège. Des pièces internes formant une cage sont quelquefois employées, elles ont habituellement une section fine et offrent des zones où les débris sont piégés et/ou « guillotinés ». Du fait de leur conception, les robinets à soupape doivent toujours être considérés comme des **robinets** de détente et le corps et les pièces internes sont classées comme zones avec impact. Les matériaux exemptés sont habituellement employés.

4.3.3.5 Soupapes de sécurité

Les soupapes de surpression présentent, par nature, une vitesse élevée à travers les parties internes. Il y a impact sur la partie d'échappement du corps et le tuyau de sortie, bien que ces zones soient normalement à, ou proches de la pression atmosphérique. Le dimensionnement des pièces internes et de l'entrée de la soupape détermine la vitesse du gaz à l'entrée de la soupape. Le dimensionnement des pièces internes et de la soupape sert quelquefois à maintenir une vitesse faible dans la zone d'entrée. Le corps et les pièces internes sont considérés comme des zones avec impact, et les matériaux exemptés y sont souvent employés.

4.3.3.6 Clapets anti-retour

Les clapets anti-retour, de par leur conception, renferment des composants qui se trouvent toujours dans l'écoulement. Le disque, la plaque ou le piston d'un clapet anti-retour est considéré comme une zone avec impact. En fonction du type de clapet, le corps peut être ou ne pas être traité comme une zone avec impact. Les composants des clapets anti-retour sont conçus pour s'impacter entre elles et doivent donc être traitées comme des sources potentielles d'énergie d'inflammation, et éventuellement de génération de particules. Il faut s'assurer de l'épaisseur adéquate des composants mobiles ou impactant dans l'écoulement, et que cette épaisseur ne soit pas inférieure à celles indiquées en Annexe D. Cependant, sauf circonstances inhabituelles, les bonnes pratiques de calcul visent à obtenir une faible perte de charge, et les vitesses restent inférieures au niveau auquel l'impact devient une préoccupation.

4.3.4 Joints d'étanchéité et garniture

Les matériaux d'étanchéité et garnitures doivent être compatibles avec l'oxygène (voir 3.3).

4.3.5 Autres sources potentielles d'inflammation

Les autres sources potentielles d'inflammation, à prendre en compte dans la qualification des équipements pour service oxygène, peuvent être les suivantes :

- l'échauffement localisé dû à la friction entre composants métalliques ;
- les décharges d'arc électrique quand deux composants métalliques, ayant des potentiels électriques différents, sont séparés par une substance isolante non métallique ;
- la friction gazeuse, qui est la vibration, induite par l'écoulement, d'un élastomère ou d'un polymère, causant une augmentation localisée de température dans l'élastomère ou le polymère et entraînant une inflammation de type chaîne d'allumage ;
- le mélange d'oxygène et d'huile ou de graisse non compatibles, dans le cas de boîtes d'engrenages ou de volants avec renvoi d'angle. En cas d'emploi de tels équipements, des dispositions pratiques, telles que des entretoises ouvertes sur l'atmosphère, doivent être prévues pour éviter la migration d'huile ou de graisse le long de la tige de manœuvre et dans le système d'oxygène.

4.4 Autres équipements

Les composants spéciaux du type « en ligne », tels que les filtres, les tamis, les diaphragmes, les débitmètres Venturi, les doigts de gant, les silencieux et les raccords flexibles, sont décrits dans les paragraphes suivants. La grande majorité de ces composants connaissent un écoulement avec impact, et la sélection des matériaux doit se baser sur les informations ci-dessous.

4.4.1 Tamis coniques

Les tamis coniques compatibles avec l'oxygène gazeux sont constitués d'un cône perforé recouvert d'un tamis à mailles. Le tamis doit être positionné dans la tuyauterie cône vers l'amont et la toile tamis sur l'extérieur du cône. Les tamis les plus fréquents ont un maillage entre 150 et 500 microns. Le tamis du filtre constitue une zone à haut risque, parce qu'il est soumis à l'impact direct et qu'il capture et accumule les débris et particules. Le tamis métallique, construit en matériau fin ayant un rapport surface/volume élevé, est plus susceptible d'inflammation dans une canalisation d'oxygène. Le tamis doit être en matériau résistant à la combustion, tel que nickel, bronze ou Monel. Le support du cône perforé est également traité comme zone avec impact et la sélection du matériau et son épaisseur doit se baser sur la Courbe de vitesse avec impact donnée en Figure 1 et sur l'Annexe B.

4.4.1.1 Pression de flambage des tamis

Les cônes des tamis doivent être conçus avec une pression élevée de flambage ou d'effondrement, de préférence 100% de la pression maximum de service admissible du système, déterminée par le réglage de la soupape de sécurité. Si la pression de flambage est inférieure à 100%, un indicateur de pression différentielle, équipé d'une alarme, doit être installé pour prévenir le personnel de l'état de défaillance imminente de l'élément et de la nécessité d'actions correctives. Il s'agit d'éviter l'effondrement du cône et le passage de fragments, avec risque de feu, dans l'installation.

A fin d'éviter l'effondrement du cône et le passage de fragments, avec risque de feu, dans l'installation, les cônes des tamis doivent être conçus :

- soit avec une pression de flambage ou d'effondrement égale à la pression maximum de service admissible du système, déterminée par le réglage de la soupape de sécurité.
- soit équipé un indicateur de pression différentielle, muni d'une alarme, pour prévenir le personnel de l'état de défaillance imminente de l'élément et de la nécessité d'actions correctives.

4.4.1.2 Conception des systèmes de tamis

Les systèmes doivent être conçus de manière à éviter la possibilité d'un écoulement inversé dans le tamis ou le filtre. Les exigences relatives aux tuyaux et robinets des filtres, évoquées en 4.4.2.6, s'appliquent également aux tamis.

4.4.2 Filtres

Le nettoyage du gaz par des éléments filtrants est exigé quand les spécifications d'accumulation de particules dépassent les capacités d'un tamis conique.

4.4.2.1 Risques

Les éléments filtrants sont des zones d'impact considérées à haut risque, du fait de leur fonction de rétention de particules. Les éléments sont des composants ayant « une surface élevée par rapport au volume » qui, selon le matériau employé, pourrait facilement s'enflammer. De ce fait, la sélection du matériau du filtre nécessite un grand soin. Les systèmes doivent être conçus pour éviter la possibilité du fonctionnement du filtre ou du tamis en écoulement inversé.

4.4.2.2 Matériau de l'élément filtrant

Les matériaux de l'élément filtrant sont généralement :

- fibre de verre ou verre tissé sans liant organique ;
- nickel tissé ou fritté ;
- laiton, bronze, cupronickel ou Monel 400.

4.4.2.3 Éléments filtrants en fibre de verre

Si les éléments filtrants sont équipés de matériaux non-métalliques compatibles avec l'oxygène, comme la fibre de verre, ils doivent être conçus et assemblés à l'aide de fil de cuivre, pour éviter l'accumulation de charges électrostatiques dans le médium, puis ils doivent être nettoyés en profondeur pour éliminer les lubrifiants et autres produits employés lors de la fabrication.

4.4.2.4 Pression de flambage des filtres

L'effondrement des éléments filtrants sous une pression différentielle élevée peut causer des accidents. L'élément doit être capable de supporter la pression totale de la canalisation quand il est totalement encrassé, sinon un indicateur de pression différentielle équipé d'une alarme doit être installé (voir 4.4.1.1).

4.4.2.5 Corps du filtre

Le matériau du corps doit être sélectionné selon les critères d'impact et de non impact et la référence aux courbes de vitesse des Figures 1 et 2.

4.4.2.6 Exigences relatives aux tuyauteries et robinets des filtres

Les filtres doivent être équipés de **robinets** d'isolement amont et aval permettant le démontage et le nettoyage.. Un **robinet** de mise à l'atmosphère doit être installé en aval de chaque filtre et en amont du **robinet** d'isolement aval. Les filtres ne doivent pas être équipés de robinets permettant le dé colmatage en service, puisque cela entraîne la circulation des particules à très grande vitesse. On peut envisager des conduites de by-pass autour des filtres pour permettre la maintenance du filtre.

4.4.3 Appareils de mesure de débit

4.4.3.1 Exigences générales

Sur les canalisations d'oxygène, les compteurs statiques, tels que les diaphragmes, sont préférables aux compteurs à élément mobile, sous réserve que leurs performances de mesure répondent aux exigences des utilisateurs. La filtration est généralement installée en amont des compteurs à élément mobile.

4.4.3.2 Débitmètres à diaphragme

Les débitmètres à diaphragme (ou diaphragmes) sont traités comme étant des zones avec impact, à cause de la vitesse élevée et des arêtes vives aux sections réduites. Les matériaux exemptés, comme ceux listés en Annexe B, doivent être employés.

4.4.3.3 Appareils de mesure de débit à élément mobile

Les appareils de mesure de débit à élément mobile doivent être compatibles avec l'oxygène et aux conditions de pression, débit et température de service. Les compteurs à piston rotatif, à turbine et les compteurs à déplacement positif sont des exemples typiques de compteurs à élément mobile, répondant à une large plage de capacité et de précision. La conception d'un poste de mesure de débit à élément mobile tient compte des problèmes relatifs à la surpression, la survitesse, l'écoulement inversé et l'excès de débit. Comme il peut y avoir d'autres considérations ou simplifications, l'analyse au cas par cas des exigences est conseillée. Les questions relatives à la sécurité de ce type de compteurs sont :

- la tuyauterie doit être conçue et assemblée pour appliquer des efforts minimum sur les raccords aux compteurs à élément mobile ;
- les opérations de maintenance manuelle doivent être réalisées sur les compteurs seulement après qu'ils aient été mis hors service, isolés du réseau, dépressurisés et sécurisés ;

- lubrification : certains compteurs dynamiques demandent une réserve de lubrifiant. La sélection sera faite parmi les lubrifiants compatibles avec l'oxygène, décrits en 4.5. Si le réservoir de lubrifiant est visible de l'extérieur, une étiquette placée bien en évidence, fixée au compteur, doit préciser le type de lubrifiant autorisé. Le renouvellement ou la vérification du lubrifiant doivent être faits par du personnel autorisé par l'utilisateur ;
- indication à distance : les compteurs équipés d'indicateur de débit cumulé ou de totalisateur doivent être conçus pour être lus à distance sans s'approcher du compteur ;
- protection contre la survitesse : certains compteurs à élément mobile, comme les compteurs à piston rotatif, risquent de subir une déformation excessive en cas de dépassement du débit maximum admis. La friction causée par contact des éléments mobiles ou des particules étrangères entraînées peut causer le coincement, la fracture et/ou l'inflammation. Ces compteurs doivent être protégés par un dispositif limiteur de débit.

4.4.4 Disques de rupture

Il est nécessaire d'être prudent en ce qui concerne l'emploi de disques de rupture sur les canalisations de transport et de distribution d'oxygène, à cause du risque de défaillance, d'interruption de l'alimentation et du rejet incontrôlé de larges quantités de gaz, formant des atmosphères riches en oxygène. Si, pour une raison quelconque, ils sont inévitables, ils doivent être en matériau exempté. Leur surface externe en contact avec l'atmosphère peut être revêtue d'une fine couche de PTFE ou de FEP afin d'éviter la détérioration par corrosion.

4.4.5 Joint isolants

Un joint isolant est constitué de deux éléments de tuyauterie séparés par un matériau diélectrique.

Les joint isolants servent à assurer une discontinuité électrique permanente entre les parties de l'installation sous protection cathodique et celles qui ne le sont pas.

À cause de cette discontinuité électrique, les joints isolants présentent un danger potentiel d'inflammation spontanée du matériau isolant, causée par l'échauffement par effet de Joule. Si, à l'intérieur de la canalisation, un dépôt continu de poussières relie les deux éléments de la canalisation, et si l'intensité du courant est suffisante, les poussières peuvent atteindre une température capable d'initier l'inflammation du matériau isolant.

Le matériau isolant en contact avec l'oxygène doit combiner les propriétés mécaniques et diélectriques adéquates et respecter les dispositions du paragraphe 3.3.

Les joints isolants employant des brides standard doivent répondre aux exigences minimales de fonctionnalité suivantes :

- les joints d'étanchéité isolants doivent être compatibles avec l'oxygène gazeux aux conditions de service ;
- la rigidité diélectrique des joints, et fourreaux et rondelles de boulons dépendra des spécifications des fournisseurs et des exigences des acheteurs, mais elle est typiquement de l'ordre de 10 kV/mm ;
- les joints isolants doivent être installés dans un plan horizontal (c'est-à-dire, sur un tuyau vertical) pour minimiser l'accumulation de débris et d'humidité à l'intérieur entre les faces de brides, qui peuvent créer un chemin conducteur à travers le joint isolant. Le tuyau peut être incliné au maximum jusqu'à 45° par rapport à la verticale. Les joints ne doivent pas être encastrés. L'effet de chemin conducteur, ainsi que la possibilité d'arc, peuvent également être réduits en utilisant un joint isolant d'un diamètre extérieur supérieur à la face surélevée de la bride ;

En cas d'utilisation de joint isolants, du type monobloc, il faut veiller aux points suivants :

- le matériau diélectrique et les joints d'étanchéité internes doivent être compatibles avec l'oxygène gazeux aux conditions de service ;
- le matériau diélectrique doit être non perméable à l'oxygène gazeux aux conditions de service ;

4.4.6 Raccords flexibles

L'utilisation de tuyaux, de joints de dilatation ou d'autres types de raccords flexibles est déconseillée dans les systèmes de canalisations d'oxygène, à cause de leur faible épaisseur de paroi et au potentiel de rétention de poussières dans les ondes. Ce type de liaison est interdit en dehors des installations annexes.

4.4.7 Éléments d'équipement divers

4.4.7.1 Dispositifs atténuateurs de bruit

Les enveloppes, chicanes et diffuseurs des silencieux de mise à l'air doivent être entièrement construits en métal et/ou en béton. Le matériau métallique doit être résistant à la corrosion et conforme à la Courbe de vitesse avec impact de la Figure 1. L'ensemble doit être conçu et fabriqué de manière à éviter tout mouvement relatif entre composants. Si les silencieux comprennent des matériaux absorbants phoniques, ils doivent être non-combustibles et sans huile ni graisse. Des exemples de tels matériaux sont la fibre de verre ou la laine minérale.

4.4.7.2 Autres accessoires

Tout autre accessoire pouvant entrer en contact avec l'oxygène doit être construit dans un matériau choisi conformément à la Courbe de vitesse avec impact. Pour leurs composants non-métalliques, les matériaux doivent répondre aux exigences de 3.3.

Les accessoires courants sont :

- les capteurs et indicateurs de pression ;
- les appareils de commande pneumatique ;
- les doigts de gant ;
- les tuyauteries et les robinets des instruments.

Les tuyaux d'instruments sont habituellement à faible diamètre et dans une utilisation sans débit, ce qui permet l'emploi de tuyaux en acier inoxydable sans limitation d'épaisseur. Il faudrait éviter les culs de sac et l'accumulation de particules. Les robinets des instruments sont des robinets de détente lors de l'ouverture et les matériaux exemptés comme ceux listés en Annexe B doivent être employés si possible.

Les indicateurs à cadran doivent être équipés de bouchons éjectables ou de disque de rupture à l'arrière, permettant l'échappement d'oxygène en cas de percement du capteur. Des mesures de sécurité additionnelles doivent être prévues, comme du verre de sécurité et une séparation solide entre l'élément capteur et la fenêtre de l'indicateur. Si les capteurs utilisent un fluide hydraulique, ce fluide ne doit pas être en contact direct avec l'oxygène et il doit être sélectionné sur la base des informations des paragraphes 3.3 et 4.5. L'utilisation avec oxygène doit être clairement indiquée sur tous les capteurs et indicateurs de pression (par ex., avec une inscription bien visible « Oxygène, ni huile ni graisse »).

4.5 Lubrifiants

Tous les composants doivent être conçus pour fonctionner sans lubrification. Cependant, si un lubrifiant est nécessaire pour les opérations d'assemblage ou au fonctionnement d'un composant, il doit être réputé compatible avec oxygène. Le lubrifiant doit être mis sur les surfaces à lubrifier, et son emploi doit être limité au strict minimum. Le lubrifiant doit être incorporé à vie lors de l'assemblage du composant et aucune trace ne doit être discernable de l'extérieur. Une dérogation est cependant accordée **dans quelques cas très spécifiques** pour les équipements où l'expérience et des essais complets ont démontré l'utilisation sans risque de tels équipements.

Les lubrifiants et les graisses compatibles avec l'oxygène sont généralement des fluides halogénés, chlorotrifluoroéthylène (CTFE), épaissis à l'aide d'oxyde de silicium. L'usage de ces produits doit être restreint aux applications en atmosphère sèche dans la mesure où la pénétration d'humidité dans le film d'huile est possible et entraîne une corrosion importante.

Les fluides CTFE ne doivent pas être employés avec des composants fabriqués à partir d'alliages d'aluminium dans des conditions de torsion ou de cisaillement élevé, à cause du danger de réaction avec des surfaces récemment exposées.

Il faut être vigilant lors de la sélection des lubrifiants compatibles avec l'oxygène car, selon l'application, les propriétés de lubrification des fluides CTFE ne sont généralement pas aussi bonnes que celles des huiles et graisses minérales à base d'hydrocarbures.

5 Nettoyage

5.1 Exigences générales

5.1.1 Stratégie de nettoyage

Le nettoyage d'un système de canalisations est réalisable soit par le pré-nettoyage de toutes les canalisations avant la pose et le maintien de la propreté pendant la construction, soit par le nettoyage complet du système de canalisations après la construction, soit par une combinaison des deux approches. Il est peu pratique et impossible d'inspecter complètement la propreté d'un système après la construction et le nettoyage final ; il est donc nécessaire d'établir une procédure écrite détaillée, comprenant la séquence de construction et de nettoyage, et de s'assurer que cette procédure soit respectée pendant le projet. La conception du système de canalisations doit être compatible avec les méthodes de nettoyage.

5.1.2 Niveau de propreté

Un système est considéré comme propre pour l'oxygène quand à l'intérieur les matières organiques, inorganiques et les particules ont été en grande partie éliminées. Il est indispensable d'éliminer les contaminants tels que les graisses, les huiles, les lubrifiants de filetage, les saletés, l'eau, les limailles, les projections de soudure, les peintures ou tout autre matériau étranger. Voir 5.5.3 pour les critères d'acceptation.

5.1.3 Méthodes de nettoyage

Le nettoyage des canalisations d'oxygène peut être réalisé selon l'une des méthodes suivantes, ou une combinaison de ces méthodes :

- nettoyage chimique (acide ou alcalin) et passivation ;
- pistons racleurs ;
- brossage mécanique ;
- nettoyage par billage, sablage ou grenailage ;
- nettoyage par solvant^{*NOTE} ;
- nettoyage avec un détergent à haute pression ;
- soufflage à vitesse élevée.

Les racleurs sont souvent employés pour le nettoyage interne des canalisations. Les divers types de racleurs appartiennent aux grandes catégories suivantes :

Type	Application
Calibreur	Pour assurer l'élimination des obstructions
Mousse (ou racleur doux)	Évacuation de l'eau Élimination des débris fins, détachés et des poussières
Disque ou coupelle en caoutchouc	Évacuation de l'eau Élimination des débris détachés
Brosse métallique	Élimination de calamine Élimination des particules accrochées et de la rouille
Racleur outil	Élimination de calamine Élimination des particules accrochées et de la rouille

Les racleurs sont généralement fabriqués en matériaux qui pourraient ne pas être totalement compatibles avec l'oxygène, surtout ceux en mousse ou caoutchouc. Il est donc important de s'assurer, autant que possible, que des matériaux comme la mousse ou le caoutchouc, n'adhèrent pas à la paroi ou ne restent pas en fragments dans la canalisation. L'élimination de ces particules ou fragments peut être réalisée par un soufflage à vitesse élevée (voir 5.3.6). Cependant, la sélection et l'utilisation correcte de racleurs, correspondant à l'état de surface souhaité des canalisations lors des différentes étapes du nettoyage, réduit les dommages possibles aux racleurs et la contamination de la canalisation. Il faut veiller à ce que les racleurs, les gares de lancement/réception et les autres équipements soient compatibles avec les solvants et les produits de nettoyage utilisés et qu'ils aient été nettoyés selon les normes applicables pour des canalisations d'oxygène.

*NOTE L'emploi de solvants prohibés par le Protocole de Montréal est interdit. Consulter les réglementations nationales, européennes applicables.

5.1.4 Composants de canalisation

Les équipements tels que tés, robinets, clapets anti-retour, joint isolants, régulateurs, compteurs, filtres et autres accessoires, doivent normalement être achetés en tant qu'article pré-nettoyés selon les normes applicables aux canalisations d'oxygène et montés après l'achèvement des opérations de nettoyage. Si certains équipements ne peuvent pas être fournis propres, des mesures doivent être prises pour le nettoyage sur site ou à proximité, afin qu'ils répondent aux normes requises. L'inspection visuelle des équipements doit être réalisée juste avant le montage pour ne pas compromettre le niveau de propreté requis.

Les conduites en dérivation et les conduites en parallèle doivent être traitées comme des systèmes séparés pour ce qui est du nettoyage, et les derniers raccordements seront faits après l'achèvement du nettoyage.

5.1.5 Soudage

Les sections de canalisations doivent être soudées selon un procédé préalablement qualifié. Il est essentiel que les surfaces internes des soudures soient lisses et débarrassées des laitiers, des cordons de soudure ou des débris détachés, préservant ainsi la propreté interne. Voir le paragraphe 6.3 pour des informations sur les exigences de soudage.

5.1.6 Essais de pression

Quelle que soit la méthode d'essai, elle doit être réalisée en un moment pratique dans le programme global de construction des canalisations pour respecter les exigences du projet et minimiser le risque de reprise coûteuse. Pour plus de détails sur les essais de pression, voir le paragraphe 6.5.1.

5.1.7 Montage des équipements de canalisation

Après l'achèvement du nettoyage final, tous les raccordements au dessus du sol peuvent être montés, y compris les tés, les robinets, les accessoires, les tuyauteries en dérivation et les autres éléments pré-nettoyés et pré-testés. Voir le paragraphe 6.6 pour les exigences d'essais non-destructifs.

5.2 Spécification et fabrication du matériau des tubes

5.2.1 Exigences générales

Toutes les exigences importantes relatives à la spécification et la fabrication des tubes, ayant rapport direct avec le processus de nettoyage, doivent être formellement soumises au fournisseur de tubes comme faisant partie de la spécification technique. L'origine et le contrôle de qualité des tubes doivent être totalement traçables et la documentation concernée doit être conservée par l'acheteur.

Le bon de commande émis au fabricant ou au revendeur de tube doit interdire l'application de revêtements tels que peinture, vernis, ou laque sur les surfaces internes du tube.

5.2.2 Traitement thermique

Le traitement thermique appliqué, soit sur la soudure longitudinale (il fait partie du procédé de production continu de soudage par induction à haute fréquence, par résistance électrique ou à l'arc sous flux en poudre), soit sur le corps du tube, doit être tel que le tube fini soit globalement libre de calamine

5.3 Tubes ou éléments tubulaires pré-nettoyés

5.3.1 Général

Toutes les canalisations doivent être construites de sections de tube qui sont débarrassées de calamine, de par le procédé de fabrication du tube, ou qui ont été pré-nettoyées à l'intérieur, dans les ateliers du fabricant avant la livraison, ou localement sur le site. La méthode de pré-nettoyage peut être mécanique ou chimique, sous réserve que le niveau de propreté souhaité soit atteint. Le revêtement externe des canalisations enterrées peut être réalisé avant ou après le nettoyage interne, dans la mesure où les précautions prises assurent que le procédé de revêtement externe ne compromette pas le niveau de propreté des surfaces internes. Les extrémités des sections de tube doivent être scellées après nettoyage et revêtement, pour éviter la contamination du tube propre (voir 5.3.4).

5.3.2 Essais de pression

L'essai de pression du système de canalisations doit être pneumatique

L'exigence d'un essai pneumatique est dictée par le besoin de réduire le risque de contamination ou de corrosion du système de canalisations d'oxygène faisant suite à l'introduction d'eau pendant un essai hydrostatique..

5.3.3 État de surface interne

Le procédé de pré-nettoyage, y compris le soufflage, vise à obtenir, au minimum, un état de surface interne conforme à ISO 8501-1, spécification B SA2 ou équivalent. Le pré-nettoyage et le soufflage sont réalisables dans l'atelier du fabricant. Cependant, si l'état des surfaces internes du tube fini est susceptible de se détériorer de façon importante suite à la période et/ou aux conditions de stockage (y compris le transit vers le site) avant la pose, le

pré-nettoyage et le soufflage doivent être réalisés sur site ou à proximité. La tuyauterie doit être inspectée pour s'assurer du respect du niveau de propreté (voir 5.5).

Il est possible d'empêcher la formation de rouille par une phosphatation légère de la surface interne nettoyée. C'est une pratique habituelle après les procédures de nettoyage chimique.

5.3.4 Préparation pour expédition

Quand le niveau de propreté exigé a été atteint, les extrémités du tube doivent être équipées de bouchons en plastique solides et ajustés assurant l'étanchéité à l'eau et aux poussières. Les bouchons doivent être maintenus par une bande adhésive forte. En fonction de la durée et des conditions de stockage et de transit, un produit déshydratant, comme du gel de silice, peut être placé dans chaque tube pour réduire la corrosion. Le cas échéant, le déshydratant doit être dans un sachet qui peut être solidement attaché à l'intérieur des bouchons de plastique, pour éviter de le laisser dans le tube par inadvertance lors de la pose. Tous les piquages doivent être équipés de bouchons métalliques ou plastiques.

5.3.5 Maintien de la propreté en cours de transport et de chantier

Dans le cas de tubes qui ont été nettoyés avant livraison sur site, aucun nouveau nettoyage n'est nécessaire avant la pose, à moins que l'inspection visuelle sur site ne révèle, pour une raison quelconque, un doute sur la propreté du tube. Dans ce cas, les tubes concernés doivent être re-nettoyés selon une procédure approuvée. Pendant la pose les surfaces internes des tuyaux doivent être maintenues propres et sèches (c'est-à-dire, dépourvues d'huile, graisse, salissure, débris et d'eau de ruissellement). Ce maintien sera assuré par la préparation d'un planning d'exécution (voir 6.2) qui doit inclure, entre autres, toutes les exigences suivantes :

- maintenir les tranchées dépourvues d'eau et de matériau inflammable, surtout dans la zone de soudage et au niveau des extrémités ouvertes des sections de tube ;
- boucher les ouvertures des tubes par des bouchons résistants à la pression, ou des bouchons soudés, en fin de journée de travail ou en l'absence d'opérations de soudage. Comme précaution supplémentaire pendant les longues périodes d'inactivité, la canalisation peut être maintenue sous pression en air sec et sans huile ou en azote à environ 0,1 bar ;
- inspecter visuellement le tube avant chaque soudure de fermeture ce qui doit être réalisée par du personnel autorisé. Les résultats d'inspection doivent être archivés ;
- maintenir la propreté des dispositifs de soufflage par du gaz inerte (par ex., lances, bouchons temporaires) ;
- maintenir propre et sans huile tous les fluides de propulsion, le gaz et le système de leur mise en œuvre lors de toute opération de nettoyage pour qu'ils ne soient pas une source de contamination ;
- faire porter par le personnel de construction des vêtements de travail raisonnablement propres, sans huile et, dans la mesure du possible, veiller à avoir les mains exemptes d'huile, graisse et saleté excessive.

Pendant la période de construction, la canalisation sera par moments ouverte à l'atmosphère, ce qui risque d'entraîner une certaine oxydation de la surface interne. Cette fine couche de rouille superficielle et adhérente est acceptable.

Le personnel de construction doit rester dans la zone de travail propre pour oxygène et ne pas se déplacer sur d'autres zones où de l'huile ou de la graisse sont utilisées.

Tous les outils doivent être nettoyés et leur usage réservé à la zone d'oxygène. Des établis recouverts de matériau propre doivent être utilisés pour poser les outils, les petites pièces, etc.

De manière générale, l'emploi de lubrifiants doit être interdit sur les canalisations, les robinets destinés au transport d'oxygène. Si, pour une raison quelconque, les lubrifiants sont jugés opportuns sur les parties en contact avec l'oxygène, ils doivent être totalement compatibles avec l'oxygène.

Les bouchons de tube résistant à la pression doivent être maintenus propres et stockés en sac plastique quand ils ne sont pas utilisés.

5.3.6 Nettoyage final

Le nettoyage final doit être réalisé à un moment adéquat dans le programme global de construction, selon les exigences du projet. La procédure de nettoyage va dépendre de plusieurs facteurs, dont le risque de contamination pendant la construction, la nature des contaminants potentiels, la méthode de test de résistance à la pression et s'il est réalisé avant ou après nettoyage. En tout cas, l'emploi de racleurs peut être envisagé pour fournir une indication sur la nature et le degré de la contamination résiduelle du système. Il faut veiller aux risques associés aux solvants et produits de nettoyage qui sont ininflammables à l'air mais ont une zone d'inflammabilité dans l'oxygène (voir le Document IGC 33/06, pour des informations sur les limites d'inflammabilité). En cas d'utilisation de produits chimiques, de solvants ou de détergents de nettoyage, il est important que tous les résidus liquides soient complètement drainés et éliminés du système, avant la mise en service.

5.3.7 Soufflage

Pendant les opérations de soufflage, les robinets, les diaphragmes, les filtres et autres éléments d'équipement pré-nettoyés ne doivent pas être montés, afin de les protéger des dommages et de la contamination par particules. Le soufflage à grande vitesse final doit atteindre une vitesse élevée (environ 25 m/s) suffisante pour éliminer la plus grande partie des particules résiduelles. L'efficacité d'un soufflage à grande vitesse peut être jugée par examen visuel du panache de gaz sortant à l'air libre et sans restriction par un évent de pleine section, ou par la mise en place de plaques cibles à la sortie du gaz de soufflage pour évaluer l'efficacité de l'opération.

Si l'azote est le gaz de purge, il faut veiller à l'orientation et l'emplacement de l'évent pour réduire le risque d'exposition du personnel à des atmosphères sous oxygénés.

5.4 Nettoyage après installation

Ce paragraphe s'applique au cas d'utilisation de tubes ou éléments tubulaires non pré-nettoyés.

5.4.1 Généralités

Toutes les canalisations doivent être posées avec des sections de tube qui sont généralement conformes au paragraphe 5.2. Il n'y a pas d'autres exigences particulières. Cependant, il est important d'établir l'état probable des tubes (par ex., le degré de calamine) telle que livrée par le revendeur ou le fabricant, pour s'assurer que la méthode de nettoyage proposée est capable d'obtenir le niveau de propreté désiré. Voir 5.1.3 pour les méthodes de nettoyage.

5.4.2 Essais de pression

Voir 5.3.2

5.4.3 État de surface interne

Le procédé de nettoyage, y compris le soufflage (si nécessaire), doit conduire à un état de surface interne conforme à l'ISO 8501-1, spécification B SA2. Les canalisations doivent être inspectées pour s'assurer du respect du niveau de propreté requis (voir 5.5).

5.4.4 Maintien de la propreté

Pendant la pose de la canalisation il faudrait s'efforcer de minimiser l'intrusion de contaminant (par ex., huile, graisse, salissure, débris et eau de ruissellement).

5.4.5 Soufflage

Si un soufflage est nécessaire, voir 5.3.6 pour les détails.

5.5 Inspection

5.5.1 Procédure

Après achèvement satisfaisant de la construction, des essais et du nettoyage, la canalisation doit être inspectée aux points d'entrée et de sortie et à tous les points accessibles, pour évaluer l'état de la surface interne. Le cas échéant, selon la procédure de contrôle qualité, des échantillons peuvent être prélevés à toutes les ouvertures accessibles en frottant la surface interne de la canalisation à l'aide de chiffons blancs, non pelucheux, ou de papiers filtres.

L'examen doit suivre l'une de ces procédures :

- inspection visuelle des surfaces internes à la lumière blanche, pour s'assurer de l'efficacité du nettoyage et de l'état de métal gris, dépourvu de graisse, de débris de rouille, laitiers, calamine et autres débris. Une fine couche de rouille superficielle et adhérente est acceptable ;
- inspection de l'intérieur des extrémités à la lumière UVA pour vérifier l'absence d'huile ou de graisse ;
- inspection des chiffons (le cas échéant) à la lumière blanche et à la lumière UVA pour vérifier l'absence d'huile ou de graisse.

5.5.2 Examen à la lumière UVA

Quand l'examen à la lumière UVA est nécessaire, tous les échantillons et les ouvertures doivent être inspectés à l'aide d'une source adéquate de lumière UVA pour vérifier l'absence de contamination d'hydrocarbures. Une légère décoloration de l'échantillon est acceptable sous réserve que l'échantillon ne présente pas de fluorescence quand il est soumis à la lumière UVA. Les critères de sélection suivants doivent s'appliquer de manière générale à la source de lumière UVA employée pour la détection fluorescente de contaminant d'hydrocarbures sur les surfaces des canalisations ou les chiffons :

- le rayonnement ultraviolet A doit avoir une longueur d'onde d'environ 370 nm ;
- la source de lumière doit être un projecteur équipé d'une lampe à mercure ou aux halogénures, avec un filtre adéquat, fournissant une lumière d'intensité minimum de 1 mW/cm² à une distance comprise entre 10 et 20 cm. Normalement les sources de lumière UVA à tube fluorescent ne conviennent pas à cette application et doivent être évitées.

Dans la plupart des cas, l'examen à la lumière UVA fournit une indication fiable de l'étendue de la contamination d'hydrocarbures dans une canalisation (voir 5.5.3). Cependant, il faut reconnaître que certaines huiles végétales ou chimiques n'émettent pas de fluorescence sous rayons UVA. Si, pour une raison quelconque, de telles huiles ont été utilisées pour la fabrication, le stockage à long terme, la fabrication ou la construction des tubes, d'autres méthodes de détection pourraient être nécessaires.

5.5.3 Critères d'acceptation

Ce paragraphe donne les valeurs quantitatives pour deux gammes de pression.

La pression a une influence importante sur la possibilité d'inflammation d'un contaminant. Les contaminants sont des corps étrangers non désirables qui peuvent avoir un effet négatif sur la durée de vie du système ou sa fiabilité. Ils sont principalement :

- a) huiles, graisses et détergents
- b) autres corps étranger (particules solides, couches de poussière, liquides) pouvant être soit :
 - des substances organiques (par exemple bois, papier, tissu, plastiques caoutchouc), des substances adhésives, fibres, peintures ou produits anticorrosifs ou

- des substances inorganiques tels que copeau de métal, calamine, projections de soudage, restes d'électrode de soudage, particules de rouille, sable, gouttes d'eau, ou tout autre particule.

Quantités maximales admissibles de corps étrangers

Gamme de pression (bare)	Huile, graisse, détergents, revêtement organique (mg/m ²)	Particules	Humidité
<30	500 ¹	Des petits copeaux ou fibres unitaires peuvent être tolérés	Pas de gouttes d'eau visibles
>30	200 ¹	Des très petits copeaux ou fibres unitaires peuvent être tolérés	Pas de gouttes d'eau visibles

1) Les valeurs sont données en tenant compte d'une distribution uniforme des contaminants à une température maximale de 70°C.

Des agglomérats de fibres, autres particules et poussières c.a.d. des concentrations locales relativement élevées, ne doivent pas être visibles.

5.5.4 Action corrective

Si, à tout moment pendant le processus de pré-nettoyage ou de nettoyage in situ, un niveau acceptable de propreté n'a pas été atteint et qu'il y a **le constat de corrosion** ou la présence de particules attachées, d'huile, de graisse, ou de tout matériau similaire à base d'hydrocarbures présent dans les débris récoltés pendant le passage des pistons racleurs, l'entité responsable du nettoyage doit soumettre des propositions et des méthodes permettant d'atteindre un niveau de propreté satisfaisant.

5.5.5 Obturation, purge et surveillance

Suite à l'inspection de la canalisation et à l'acceptation du niveau de propreté, la canalisation sera obturée à toutes les extrémités par des bouchons soudés ou des brides pleines et elle sera purgée à l'aide d'air sec et dépourvu d'huile ou d'azote (point de rosée inférieur ou égal à -40°C) jusqu'à ce que les points de rosée des gaz d'entrée et de sortie soient sensiblement identiques. Dès que la teneur en oxygène et le point de rosée ont atteint les niveaux requis, le système de canalisations doit être obturé et pressurisé à l'aide de gaz sec et dépourvu d'huile à environ 0,01 MPa (1,5 psig). La pression doit être régulièrement surveillée et maintenue à ce niveau jusqu'à ce que la canalisation soit mise en service.

5.6 Enregistrement

L'enregistrement des activités de nettoyage et des détails d'inspection des canalisations d'oxygène doit être établi et maintenu à jour.

6 Construction

6.1 Critères généraux

La construction complète de la canalisation, y compris les essais et le nettoyage, doivent être effectués par une société spécialisée. Les procédures de fabrication, d'essai et de nettoyage devront avoir été vérifiées et approuvées par le donneur d'ordre avant la pose de la canalisation. Le programme de construction détaillé, y compris toutes les procédures d'essai et de nettoyage doit être défini de manière à satisfaire aux exigences

spécifiques du projet. La conception du système de canalisations doit définir les dispositions pour les méthodes de nettoyage et d'essai de pression à utiliser.

La propreté du système de canalisations pour service oxygène est un facteur extrêmement important. Se reporter à la Section 5 pour toute information complémentaire sur les procédures de nettoyage et d'inspection.

Des procédures de travail doivent être prévues pour assurer la sécurité du personnel de construction dans les zones de fabrication et de montage.

Tous les efforts doivent être faits pour assurer la qualité et la sécurité de fonctionnement de la canalisation à installer.

Toutes les précautions et les mesures nécessaires doivent être prises afin d'empêcher que les matériaux et les tubes soient détériorés pendant le déchargement, le stockage, la pose, et d'autres activités. Les tuyaux doivent être stockés et manipulés avec soin pour empêcher les souillures d'y pénétrer et pour ne pas détériorer le revêtement protecteur extérieur, le cas échéant.

Chaque fois que cela est possible, la préfabrication des éléments de canalisation conformément aux normes de propreté de l'oxygène doit être programmée pour permettre un contrôle visuel sur toute leur longueur.

Les procédures d'exécution d'éventuelles mesures correctrices doivent être définies en accord avec le donneur d'ordre avant d'être exécutées.

6.2 Programme de construction

Un programme de construction prévoyant une progression globale et logique du travail incluant une surveillance adéquate, un contrôle régulier et une vérification doit être défini.

6.3 Fabrication des canalisations et soudage

6.3.1 Généralités

Les canalisations doivent être assemblées par soudage sauf au niveau du raccordement des **robinets**, des compteurs ou de tout autre équipement où l'utilisation de joints filetés ou de brides est **admise**

Pour préserver la propreté dans les canalisations, les surfaces intérieures soudées doivent être lisses et exemptes de laitiers, de billes de soudure ou de débris (voir 5.1.5.). Le degré de finition requis de la soudure peut être obtenu par l'une des méthodes suivantes :

- le soudage à l'arc sous gaz avec électrode de tungstène (GTAW) également connu comme soudage à l'arc en atmosphère inerte (TIG) pour la passe de fond, éventuellement associé à une protection envers avec de l'argon ou un autre gaz adapté. Les passes suivantes peuvent être exécutées par le procédé GTAW ou par d'autres procédés, selon la préférence. Ce procédé donnera à la surface soudée intérieure l'aspect de surface lisse recherché. D'autres soudures, comme celles servant aux raccordements finals, peuvent également utiliser la passe de fond GTAW pour que la surface soudée intérieure ait l'aspect de surface lisse recherché ;
- le soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW), suivi d'un nettoyage des surfaces soudées intérieures avec des pistons racleurs à brosse métallique ou à lames pour enlever les laitiers, billes de soudure ou les débris permet d'obtenir l'état de finition désiré.

Un contrôle de toutes les sections et composants de canalisations doit être fait avant assemblage pour s'assurer que les faces des brides et les joints soudés sont propres et que l'intérieur de la canalisation est propre et exempt de souillures. Les débris ou corps étrangers se trouvant à l'intérieur de la canalisation doivent être enlevés avant exécution des raccords par soudure ou par brides.

6.3.2 Bagues-support envers

Aucune bague-support envers ne devra être utilisée pour le soudage de tuyauteries en acier au carbone, acier inoxydable ou Monel destinées à l'oxygène pour les raisons suivantes :

- les interstices existant entre la bague-support envers et la paroi du tube peuvent abriter de la poussière et des résidus difficiles à éliminer pendant les opérations de nettoyage. Les débris accumulés peuvent finir par constituer un matériau combustible ;
- l'absence de bagues-support envers facilite l'utilisation des racleurs pour les opérations de nettoyage ;
- les bagues-support envers peuvent constituer des zones d'impact.

6.3.3 Préparation du soudage

Sur les systèmes nettoyés au préalable, les mandrins d'alignement internes pour le soudage ne doivent pas être utilisés pour ne pas polluer l'intérieur de la canalisation. Si un système de canalisation doit être nettoyé sur place une fois la construction achevée, cette exigence peut être assouplie si une procédure prévoyant d'enlever ces dispositifs avant le nettoyage est mise en place.

6.4 Assemblage et pose

6.4.1 Joints à brides

. Lorsque des joints intégrant des éléments non métalliques sont utilisés, ceux-ci doivent être choisis conformément aux dispositions du chapitre 3.3. L'utilisation de types ou de matériaux de joint d'étanchéité autres que ceux définis dans le cahier des charges du projet est interdite. Si les joints ne sont pas emballés individuellement ou si la fermeture de l'emballage est endommagée et qu'ils risquent d'être pollués, ils doivent être rincés avec un solvant approprié ou être rebutés.

Les joints doivent être correctement dimensionnés pour ne pas dépasser à l'intérieur de la canalisation et déborder dans l'écoulement de gaz. Il est déconseillé d'utiliser des produits d'étanchéité pour éviter leur extrusion dans la canalisation.

Il est interdit de réutiliser un joint d'étanchéité ; il est indispensable de le remplacer à chaque fois qu'une bride est desserrée.

Les joints d'étanchéité, les écrous et les boulons doivent être contrôlés visuellement pour vérifier qu'ils sont propres et en bon état. Un lubrifiant adéquat défini dans le cahier des charges du projet peut si nécessaire être appliqué sur les filets de boulon et sur les surfaces d'appui des écrous et des rondelles avant insertion et serrage des boulons dans les brides.

Les produits lubrifiants doivent être clairement identifiés, utilisés avec modération et leur application doit être étroitement surveillée. Les lubrifiants compatibles à l'oxygène sont à préférer. Il est possible d'utiliser des lubrifiants non compatibles avec l'oxygène mais il faut le faire avec beaucoup de soin et recourir à une surveillance rigoureuse pour s'assurer que les surfaces en contact avec l'oxygène ne sont pas contaminées.

La lubrification peut aussi être évitée en utilisant des matériaux pour boulons, écrous et rondelles appropriés et résistants à la corrosion.

6.4.2 Assemblages filetés

Mis à part les raccords à bague **métallique** sertie, l'utilisation d'assemblages filetés doit être strictement limitée aux tuyauteries de petit diamètre. Les joints filetés doivent être assemblés avec un ruban ou un matériau d'étanchéité compatible avec l'oxygène comme un ruban en PTFE. L'utilisation d'assemblages filetés dans des systèmes de tuyauteries doit être limitée autant que possible. Il est recommandé d'utiliser des filetages coniques usinés proprement conformément aux normes applicables et complètement ébavurés.

6.4.3 Robinets et soupapes

Tous les robinets et soupapes doivent être manipulés avec soin pour rester propres et empêcher la pénétration d'humidité, d'huile, de poussière et d'autres polluants. Un soin particulier doit être apporté au montage de ces éléments, qu'ils soient à commande manuelle, automatique ou qu'ils servent de soupape de sécurité, pour s'assurer que leur orientation et le sens de circulation du fluide soient corrects.

Il est préférable d'éviter l'utilisation de lubrifiants pour **robinets** mais si cela est nécessaire, ils doivent être compatibles avec l'oxygène et utilisés avec modération.

6.5 Essais non destructifs

6.5.1 Essai de pression

Si cela est possible, l'essai de pression doit être effectué avec de l'air sec exempt d'huile ou de l'azote afin de minimiser les risques de pollution (voir paragraphe 5.3.2). L'essai doit être réalisé conformément au guide professionnel utilisé pour concevoir et construire la canalisation. Des précautions de sécurité appropriées doivent être prises pendant l'essai pour minimiser les conséquences éventuelles d'une rupture. Si on utilise de l'azote pour l'essai, le risque d'exposition du personnel à des atmosphères sous-oxygénées doit être évalué et des précautions adéquates doivent être prises.

S'il n'est pas possible de procéder à un essai de pression pneumatique, un essai hydrostatique doit être effectué. L'essai doit être effectué avec de l'eau propre, exempte d'huile. Pour l'acier inoxydable il convient de limiter le taux de chlore dans l'eau. Si on le souhaite, un agent de désoxygénation et un agent de passivation peuvent lui être ajoutés à condition qu'ils ne posent pas de problèmes d'évacuation ou de rejet. Les opérations de remplissage et d'essai doivent être programmées en continu pour être sûr que l'eau séjourne uniquement le temps nécessaire dans le système de canalisations, en particulier si des températures ambiantes inférieures à zéro sont prévues pendant la période d'essai.

Quand l'essai hydrostatique est terminé, l'eau doit être immédiatement retirée par vidange, par piston racleur ou en associant les deux. La canalisation doit être ensuite séchée avec de l'air sec exempt d'huile ou de l'azote, pour que le point de rosée maximum n'excède pas -40°C ; elle pourra aussi être séchée par un processus de séchage sous vide reconnu utilisant une pompe à vide compatible avec l'oxygène.

L'air sec exempt d'huile doit avoir un point de rosée égal ou inférieur à -40°C sous une pression de 1,013 bar et une teneur en hydrocarbures inférieure à 1 mg/m^3 (voir Document IGC 33/06).

6.6 Documentation

Le rapport de nettoyage de l'intérieur des tubes et son procès verbal de contrôle sont joints au dossier de construction

7 Conception et construction des postes

7.1 Fonctions des postes

Les postes concernés sont :

- les postes de départ
- les postes de sectionnement à une ou plusieurs branches
- les postes de livraison et comptage chez les clients

7.1.1 Robinets d'isolement

Voir § 4.3.

Les **robinets** d'isolement sont normalement de type à opercule, à boule ou à papillon et doivent fonctionner en position totalement ouverte ou totalement fermée. Ils ne doivent pas servir en détente ou régulation.

Un procédé de mise en pression lente doit être prévu pour les cas où il est nécessaire de minimiser la compression adiabatique ou l'impact des particules. Ceci peut être réalisé par un petit **robinet** de by-pass manuel en matériau exempté ou par un modèle spécifique de **robinet**. Les **robinets** d'isolement peuvent être actionnés manuellement ou automatiquement. Cependant, en cas de fonctionnement automatique, le circuit de fonctionnement sera conçu de sorte qu'il ne soit pas possible d'ouvrir ce type de **robinet** avant que les pressions amont et aval soient pratiquement équilibrées.

7.1.2 Filtres

Voir § 4.4.1 et 4.4.2.

Des filtres doivent être montés à l'entrée d'un poste de détente pour protéger les dispositifs de contrôle des débris et particules provenant de la canalisation en acier au carbone ou de l'équipement ou des machines situées en amont, et qui peuvent être entraînées dans le flux de gaz.

7.1.3 Débitmètres

Voir § 4.4.3.

Des débitmètres à diaphragme sont fréquemment utilisés. Il peut être également nécessaire de prévoir un by-pass pour faciliter le démontage pour l'étalonnage et l'entretien.

7.1.4 Régulation de mise à l'air automatique

Lorsque la demande de gaz baisse la mise à l'atmosphère automatique du gaz excédentaire permet de maintenir l'alimentation d'une canalisation donnée, sans fonctionnement de la soupape de surpression.

7.1.5 Soupapes de sécurité et robinets de mise à l'air

Voir § 4.3.2.6 et 4.3.3.5.

Les événements d'évacuation du gaz des dispositifs de protection contre toute surpression accidentelle doivent être placés de manière à évacuer à l'extérieur dans un endroit ne présentant aucun danger.

7.1.6 Instrumentations

Les **organes** sont habituellement commandés par des systèmes électroniques et/ou pneumatiques. **Cette instrumentation** fonctionne selon un des principes suivants, ou les combinent :

- électronique, utilisant une alimentation en courant sécurisé ;
- pneumatique, utilisant une alimentation en air sécurisé ;
- pneumatique, utilisant le gaz de service.

NOTE Tous les éléments des instruments utilisés pour l'oxygène doivent être fabriqués dans des matières compatibles et être correctement nettoyés et dégraissés avant montage.

Les systèmes utilisant de l'oxygène gazeux comme gaz de service doivent être montés à l'extérieur ou dans un endroit bien ventilé pour éviter le risque d'atmosphères suroxygénées.

7.2 Matériaux

Du fait des nombreuses limitations et variations inévitables de la vitesse du gaz dans la canalisation et dans ses éléments, (par exemple : compteurs, **robinets** et filtres), le concepteur doit évaluer soigneusement les pressions et les débits dans les conditions de fonctionnement. Des matériaux exemptés doivent être utilisés lorsque cela est nécessaire pour répondre aux exigences du chapitre 3.

Seuls des lubrifiants compatibles pour l'oxygène doivent être utilisés (voir paragraphe 4.5). Il est important de maintenir des procédures rigoureuses de vérification et de contrôle de la qualité, en commençant par l'approvisionnement des matières premières et des composants jusqu'aux essais finaux, la mise en service et l'entretien consécutif.

7.3 Barrières ou écrans

7.3.1 Critères des barrières

Lorsque la conformité aux courbes de vitesses (figures 1 et 2), examinées aux paragraphes 3.4.2 et 3.4.3, ne peut pas être assurée dans tous les modes d'exploitation, l'utilisation de barrières ou d'écrans de protection du personnel doit être envisagée. Le fait de savoir si un élément doit être situé derrière une barrière protectrice dépend du choix de la matière, de la pression, de la vitesse du gaz, de la dimension de la canalisation (voir paragraphe 3.1.2), du degré d'exposition du personnel, de l'implantation (voir paragraphes 3.6 et 7.4) et d'une évaluation des risques. La fonction de ces barrières ou écrans consiste à atténuer, si ce n'est pas possible de les contenir, les effets d'un incident et à apporter une protection supplémentaire aux opérateurs, au personnel d'entretien ainsi qu'à l'environnement immédiat et au matériel situé à proximité.

7.3.2 Critères de conception

Lorsque les barrières sont utilisées, les recommandations suivantes s'appliquent :

- les barrières doivent protéger le personnel et, si nécessaire, le matériel situé à proximité, des dangers se produisant pendant un feu mettant en jeu l'oxygène. Elles doivent résister à des sollicitations dues à une combustion à température élevée, de surpression due au fluide éjecté et aux projections de métal fondu. Ces sollicitations varient selon la pression de l'oxygène et l'éloignement de la barrière par rapport au point de percement de la canalisation ou de l'équipement ;
- les matériaux des barrières d'un poste d'oxygène doivent être capables de résister à la charge thermique et érosive provoquée par un feu métallique activé par l'oxygène, **et aussi au souffle de l'oxygène libéré.**
- les matériaux des barrières doivent être non inflammables, comme le béton, la maçonnerie armée ou d'une isolation renforcée avec une structure en plaques métalliques. Les matériaux des barrières contre le feu peuvent aussi être exempts d'amiante conformément à la réglementation.
- les barrières doivent être conçues pour résister aux contraintes pouvant être exercées par le vent, la neige ou par des mouvements sismiques ;
- les barrières verticales ouvertes vers le ciel sont préférables ;
- la barrière doit se trouver à au moins à 30 cm de tout élément pouvant subir un coup de feu à l'oxygène ;
- une attention particulière doit être apportée aux barrières situées dans la zone adjacente aux coudes, aux robinets de by-pass, aux robinets d'arrêt d'urgence et à leur tuyauterie;
- la hauteur de la barrière doit être d'au moins 2,5 m et empêcher toute vue directe sur l'équipement à partir des chemins, passerelles, plateformes ou bâtiments publics dans un rayon de 15 mètres. La barrière ne doit pas

présenter d'ouvertures sauf celles destinées au passage de la canalisation ou des équipements, et dans ce cas le jeu ne doit pas dépasser 2 cm;

- les barrières devront être construites de telle manière que le personnel d'entretien et les opérateurs puissent travailler sans risque. Si deux lignes de régulation sont construites pour assurer la continuité de l'approvisionnement en oxygène, une barrière doit séparer les deux.

7.3.3 Exigences d'exploitation

A moins d'y être autorisé par une procédure spécifique, le personnel ne doit pas pénétrer dans la zone située derrière une barrière pour accéder à une canalisation sous pression et débit d'oxygène.

Les équipements ne devant pas se trouver à l'intérieur des barrières de protection sont notamment :

- les pupitres de commande, y compris les robinets d'air instrument et leurs détendeurs ;
- les **afficheurs** d'instruments et le matériel devant être entretenu pendant le fonctionnement ;
- les boutons d'arrêt d'urgence ;
- les robinets d'analyse.

Les **robinets** manuels situés à l'intérieur des barrières et qui doivent être actionnés en service oxygène doivent comporter une extension de la commande avec le volant situé à l'extérieur de la barrière et conçu pour que l'opérateur ne puisse pas être blessé en cas d'éjection de la tige du **robinet**.

7.4 Emplacement

L'emplacement des postes d'oxygène doit être choisi de manière à éviter la proximité immédiate de zones et de matériel vulnérables comme les réservoirs de stockage de produits inflammables, les canalisations aériennes de produits inflammables, les routes, les bâtiments publics, les parkings et les stations de transfert. Les cuves ou les canalisations aériennes contenant des fluides inflammables doivent être situées le plus loin possible des postes d'oxygène. Les assemblages mécaniques comme les brides des canalisations aériennes de fluides inflammables, en particulier des canalisations d'hydrogène, ne doivent pas être situés trop près d'un poste d'oxygène pour minimiser le risque d'incendie en cas de fuites ou d'avaries simultanées. **Les postes d'oxygène ne doivent pas être sans protection, si situés sous des lignes à haute tension.**

Les postes d'oxygène doivent être situés à un endroit où il n'y a pas de risques de pollution par de l'huile ou des projections de matière par un équipement ou par des machines situés à proximité. Si une route ou autre voie de circulation se trouvent à proximité, un rail de protection faisant office de barrière aux véhicules doit être installé pour protéger le poste des détériorations provoquées par des chocs. Le poste doit être clôturé pour en interdire l'accès aux personnes non autorisées. Les sorties doivent s'ouvrir vers l'extérieur et donner accès à des zones libres d'obstacles.

Il doit être interdit de fumer à moins de 5 m d'un poste d'oxygène. Cette distance peut être augmentée en fonction du risque encouru à un endroit donné. Les activités impliquant l'utilisation ou la production de flammes, d'étincelles ou d'autres sources d'inflammation devront être interdites sauf autorisation par un permis de travail.

Pour les postes situés à l'intérieur d'une enceinte, le risque d'atmosphère suroxygénée, la surveillance de l'atmosphère et les exigences de ventilation doivent être pris en compte.

Le degré d'exposition des personnes, du matériel et des activités voisines d'un poste d'oxygène peut être minimisé par une séparation ou par le respect de distances de sécurité appropriées. La fixation des distances de sécurité dépend d'un certain nombre de facteurs dont :

- la quantité d'énergie stockée dans le système ;
- le fonctionnement et la complexité du poste (détente, comptage et/ou isolement) ;

- l'environnement ;
- le degré d'exposition du public et du personnel ;
- le degré d'exposition du matériel et des activités voisines ;
- les conséquences d'un rejet massif de gaz.

Il est pratique d'utiliser l'énergie potentielle de la masse de gaz stockée dans un poste de détente d'oxygène pour calculer les distances de séparation. L'énergie potentielle ou stockée dans un poste d'oxygène peut être exprimée par $P \cdot D^2$, P étant la pression de service maximum (en bar g) et D le diamètre de la canalisation (en cm). Pour les postes de détente, trois catégories en fonction de l'énergie potentielle disponible ont été utilisées avec des distances de sécurité adaptées:

- catégorie 1 : $P \cdot D^2 > 3000$, $P > 4$ et $D > 2,5$
- catégorie 2 : $P \cdot D^2 < 3000 > 1500$, $P > 4$ et $D > 2,5$
- catégorie 3 : $P \cdot D^2 < 1500$, $P > 4$ et $D > 2,5$

Pour les postes uniquement destinées à l'isolement ou au comptage par plaque à orifice, ne comportant pas de **robinets** automatiques de régulation de débit ou de réduction de la pression, le risque de défaillance est considérablement réduit.

Les caractéristiques d'implantation des postes d'oxygène par rapport à d'autres zones et équipement se trouvent dans le tableau de l'Annexe C pour chacun des niveaux de dégagement d'énergie définis. Les distances sont données pour des postes sans barrières (sauf pour les barrières de véhicules) comme résumé en 7.3.2. Les distances de sécurité indiquées dans l'Annexe C peuvent être réduites si l'on utilise des méthodes de conception ou de construction spécifiques comme l'utilisation de matériaux exemptés dans tout le poste et/ou l'installation de barrières ou d'écrans, à condition que celles-ci puissent être justifiées par une étude d'évaluation détaillée des risques du site. Les postes pris en considération dans ce tableau sont les postes de détente (catégories 1, 2 et 3) et celles uniquement destinées à l'isolement et/ou au comptage (catégorie 4).

7.5 Mise à la terre, mise à la masse

La résistance de la mise à la terre (ou masse) des tuyauteries du poste ne doit pas excéder 10 ohms en un point quelconque de l'installation ; des contrôles seront effectués à partir d'une prise de terre connue. Une liaison équipotentielle sur des brides est nécessaire pour obtenir la valeur minimum indiquée. Si cette liaison est installée, des mesures seront prises afin d'empêcher la corrosion de ses composants.

7.6 Montage

Toutes les tuyauteries et leurs éléments doivent être nettoyés, dégraissés et préparés avant montage et doivent ensuite être maintenus méticuleusement dans leur état de propreté (voir chapitre 5). Toutefois, si une canalisation est polluée en cours de montage, elle doit subir un nettoyage complémentaire et des contrôles pour vérifier que toutes les traces de produit de nettoyage ont été enlevées.

7.7 Essais

7.7.1 Post-fabrication

Une fois la fabrication terminée, les tuyauteries doivent être testées sous pression. Si elles subissent des essais hydrostatiques, elles doivent être minutieusement vidées, séchées et nettoyées après les essais.

7.7.2 Post-montage

Les installations terminées doivent être soumises à un essai pneumatique à l'azote ou à l'air sec exempt d'huile conformément aux dispositions du guide professionnel concerné

7.8 Première mise en service

7.8.1 Sécurité

Seul le personnel autorisé doit pouvoir accéder à proximité du poste pendant la première mise en service. Le Responsable doit s'assurer de la coordination et du contrôle de la première mise en service et doit veiller à ce que le Client et l'ensemble du personnel soient correctement informés. Normalement, un programme et une procédure de première mise en service seront préparés par le Responsable et étudiés avec l'ensemble des personnes concernées avant d'être mis en application. Toutes les procédures et toutes les consignes de sécurité en vigueur chez le Fournisseur de gaz et chez le Client doivent être respectées.

Quand les essais sont réalisés avec de l'azote, les précautions contre les risques d'asphyxie doivent être formalisées. Les tuyauteries d'évents doivent si nécessaire être installées pour s'assurer que le gaz est libéré dans l'atmosphère à un endroit où il ne présente aucun danger.

7.8.2 Filtres

Au départ, sur un nouveau poste de détente, par suite des grandes vitesses pendant les mises à l'air et les essais lors de la première mise en service, une grande quantité de corps étrangers provenant de la canalisation peut s'accumuler dans les filtres et les obstruer rapidement.

Pendant la première mise en service, les jauges de pression différentielle du filtre doivent être surveillées, notamment pendant les premiers stades de l'opération, pour détecter le moment où il faut changer l'élément filtrant. Cette surveillance doit aussi être exercée après des opérations de maintenance / arrêts de l'exploitation.

7.9 Fonctionnement

Normalement, les postes de régulation fonctionnent en automatique lorsque les points de consigne ont été réglés. Les seules opérations manuelles nécessaires sont :

- l'ouverture et la fermeture des **robinets** d'isolement en fonction des exigences du processus et de l'entretien ;
- la surveillance des jauges et de tous les indicateurs pour s'assurer que les conditions de fonctionnement du poste de régulation ou de ses composants sont dans les limites spécifiés ;
- le maintien de la propreté dans le poste de régulation et notamment, l'absence de produit inflammable ;
- l'exécution des opérations définies dans le plan de maintenance préventive programmée.

Le personnel d'exploitation du poste de régulation doit avoir été formé aux techniques de conduite d'appareil, aux dangers potentiels présentés par l'oxygène et aux procédures d'urgence.

8 Exploitation, surveillance et maintenance

8.1 Consignes générales de sécurité

L'exploitation, la surveillance et la maintenance d'un système de canalisations nécessite la prise en compte des consignes générales de sécurité suivantes :

- un permis de travail doit être obtenu avant toute intervention sur des systèmes de canalisations d'oxygène.
- il est interdit de fumer dans les postes et à une distance de sécurité inférieure à 5 mètres (voir également point 7.4) ;
- ne pas utiliser de flamme nue dans la zone de sécurité (voir également point 7.4) ;
- s'assurer que toutes les traces d'huile et de graisse ont été éliminées ;
- obturer les extrémités de tubes sur lesquels des travaux ne sont pas en cours;
- interdire d'utiliser une canalisation d'oxygène pour la mise à la terre de tout équipement.
- interdire de travailler sur le système de protection cathodique pendant un orage, quand le risque de foudroiement est élevé ;
- interdire la présence de personnel dans le périmètre d'un poste d'oxygène pendant un orage, quand le risque de foudroiement est important ;
- comme pour les autres canalisations, recommander de mettre provisoirement à la terre la canalisation enterrée pendant les travaux de maintenance (risque de courant alternatif induit et risque de surtension en cas de défaut vers la terre d'une ligne d'alimentation électrique située à proximité).

8.1.1 Personnel d'exploitation et de maintenance

Le personnel d'exploitation et de maintenance des systèmes d'oxygène en plus des connaissances normales de sécurité dans le travail doit avoir les connaissances particulières pour l'utilisation de l'oxygène et connaître ses dangers potentiels. En particulier les vêtements, gants et chaussures de travail du personnel doivent être exempts de peluches et de fibres ; mais ils doivent avant tout être propres et ne pas être souillés par de la graisse ou par de l'huile.

8.1.2 Manœuvre des robinets d'isolement

Si les **robinets** de régulation peuvent être prévus pour fonctionner à une pression différentielle importante, ce n'est pas forcément le cas des **robinets** d'isolement qui ne peuvent pas toujours servir de **robinets** de détente. Il est interdit d'utiliser un **robinet** d'isolement qui n'est pas fait dans un matériau exempté sans avoir réduit la pression différentielle à l'aide d'un robinet de by-pass ou par un autre moyen. Il faut surveiller la pression différentielle d'un **robinet** d'isolement, qu'il soit commandé localement ou à distance.

8.1.3 Soudage et découpage

Tout soudage sur une canalisation d'oxygène en service peut provoquer une élévation locale de la température et/ou endommager le système et doit donc être évité.

Les seules exceptions sont les suivantes :

- perçage mécanique d'une petite ouverture dans des canalisations à la pression atmosphérique pendant des travaux de raccordement ;
- travaux de soudage électrique de boulons pour la protection cathodique avec un poste spécifique de soudage de goujons par résistance (voir explications ci-dessous).

Ce procédé doit être qualifié au préalable pour vérifier que l'élévation de température à l'intérieur de la canalisation est nulle ou négligeable pendant la durée de soudage du boulon, qui est très courte. Ce travail nécessite un équipement spécial, l'utilisation de procédures spécifiques et doit être supervisé par du personnel très expérimenté et très bien formé. La qualification doit permettre de vérifier que le procédé utilisé ne dégrade ni les caractéristiques de la canalisation, ni son intégrité métallurgique.

8.1.4 Suroxygénation et sous-oxygénation

Les travaux ne doivent être effectués que dans des endroits bien ventilés normalement alimentés en air ambiant. Les limites suivantes doivent être respectées:

- limite haute : 23,5 % d'oxygène par volume (suroxygénation),
- limite basse : 19,5 % d'oxygène par volume (sous oxygénation),

La composition de l'air ambiant doit être vérifiée **sur la zone** de travail.

Des précautions particulières doivent être prises en cas de travaux à l'intérieur des bâtiments, dans les tranchées et dans les lieux entourés de murs. Le risque est considérablement réduit en cas de travaux en espace libre.

L'oxygène peut s'accumuler ou se concentrer dans les zones basses si sa température est égale ou inférieure à celle de l'air ambiant. Nos sens ne nous permettent pas de détecter les modifications de la concentration en oxygène de l'air. Il est strictement interdit de faire cette vérification en utilisant une flamme nue. La concentration en oxygène de l'air sur le poste de travail et dans l'environnement doit être vérifiée avec des appareils tels que les analyseurs portables qui doivent être régulièrement vérifiés et étalonnés.

8.1.5 Mise en service et mise hors service des canalisations

La mise en service, la mise hors service et la maintenance des canalisations doivent faire objet de procédures écrites.

La personne responsable doit donner son autorisation aux moments suivants :

- avant le début des travaux de maintenance, quand les procédures de mise hors service sont terminées ;
- avant de remettre la canalisation sous pression, quand les travaux de maintenance sont terminés et que la propreté pour service oxygène a été vérifiée.

Les travaux de réparation sur des équipements ou des sites ne peuvent pas avoir lieu tant que la zone de travail n'a pas été matériellement délimitée et isolée. Quand la canalisation est en service, certains travaux de maintenance n'obligeant pas à consigner le système ou des travaux sans point chaud peuvent être effectués en fermant simplement un **robinet** à condition d'avoir pu dépressuriser complètement la section concernée par les travaux. Un clapet anti-retour ne peut pas être utilisé comme organe d'isolement pour les travaux de maintenance.

Pour exécuter des travaux importants comme le soudage et le découpage, il faut faire une consignation positive pour la mise hors service pouvant inclure :

- la dépose complète d'une partie de la canalisation ;
- l'installation de brides pleines ;
- la fermeture et le verrouillage mécanique de deux **robinets** montés en série avec installation entre les deux d'un robinet de purge ouvert (si le **robinet** est à commande électrique, son alimentation doit aussi être débranchée) : double isolement avec purge intermédiaire ;

Des étiquettes indiquant que l'équipement est consigné en position fermée doivent être fixées.

La concentration en oxygène doit être surveillée en continu **dans la zone de travail et les zones proches susceptibles d'être polluées et pouvant être zone à risque.**

En cas de dépose d'un élément, l'ouverture dans la canalisation doit être obturée car une fuite, un effet de cheminée, les variations de pression atmosphérique, le réchauffement de gaz peuvent générer un dégagement d'oxygène.

8.1.6 Mise à l'atmosphère

Les grands volumes d'oxygène doivent être rejetés dans l'atmosphère, à l'extérieur des bâtiments et des enceintes fermées, à un endroit où ni le personnel ni les équipements fragiles ne sont exposés à la suroxygénation.

La mise à l'atmosphère ne doit pas avoir lieu sous des lignes électriques à haute tension.

8.1.7 Purges

Pour purger l'oxygène contenu dans la canalisation, de l'azote ou de l'air sec et ne contenant ni huile ni graisse doit être utilisé. Il faut appliquer un programme de purge incluant toutes les tuyauteries pour qu'il ne reste pas de poches d'oxygène dans les bras morts.

Si de l'azote est utilisée pour la purge, vérifier qu'il est impossible d'accéder sans autorisation à l'orifice de sortie et que personne ne court de danger de suroxygénation ou de sous oxygénation.

Les pièces, les lieux entourés de murs ou les tranchées peuvent être aérés par des ventilateurs extracteurs ou alimentés en air frais.

8.1.8 Outillage

Les outils et les accessoires utilisés (éléments de fixation, raccords, etc.) doivent être propres et exempts de toute trace d'huile et de graisse.

8.2 Première mise en service des canalisations et des postes

Au début de la première mise en service, la canalisation doit être balayée avec de l'oxygène pour éliminer l'air ou l'azote qu'elle contient. La purge est réalisée à l'aide des robinets de détente et de by-pass, s'ils existent (selon le diamètre de la canalisation), via le dernier **robinet** sous pression. L'oxygène doit être introduit de telle façon à balayer tous les volumes de l'installation pour que la pureté d'oxygène puisse être obtenue.

9 Mesures générales de protection

9.1 Risques de feu

Les risques de feu spécifiques aux systèmes d'oxygène sont les suivants :

- combustion spontanée se produisant à l'intérieur du système d'oxygène et pouvant évoluer rapidement en incendie. Ce type de feu s'éteint généralement de lui-même au bout de quelques secondes, mais la quantité d'oxygène libérée peut créer une atmosphère suroxygénée ;
- combustion en atmosphère suroxygénée : à traiter par les moyens classiques de lutte contre le feu après coupure de l'alimentation en oxygène.

Les conséquences d'un feu peuvent être minimisées si l'on coupe l'alimentation en oxygène en déclenchant un dispositif d'isolement.

Les véhicules d'intervention doivent être équipés d'extincteurs. Tout le matériel de lutte contre le feu doit être maintenu en bon état de fonctionnement.

Il est dangereux d'entrer dans une zone suroxygénée pour éteindre un feu ou aider une personne en proie aux flammes car les vêtements du sauveteur risquent aussi de s'enflammer. Si une personne ou à ses vêtements sont en feu, il faut l'éteindre avec de l'eau.

Les personnes exposées à une atmosphère suroxygénée doivent, en quittant immédiatement cette zone, éviter tout contact avec des sources d'inflammation (cigarettes, chalumeaux, étincelles etc.) et retirer ou desserrer leurs vêtements et les ventiler pendant au moins 15 minutes pour éliminer l'oxygène.

9.2 Etude de sécurité

Les seuils à prendre en compte pour l'étude de sécurité sont les suivants (cf. circulaire MEDAD/BRTICP/2007-430/CE du 16 novembre 2007)

Pour la sur oxygénation:

- SEI : 25%
- PEL : 37%
- ELS : **42 %**

Pour la sous oxygénation :

- SEI : 18%
- PEL : **11%**
- ELS : **11 %**

Les distances de sécurité figurant en Annexe C, sont les distances de sécurité vis-à-vis des conséquences d'un coup de feu oxygène au niveau exclusivement des **installations annexes sans barrières**. Elles servent notamment à définir leur emplacement (voir § 7.4). Elles correspondent à la projection éventuelle de particules de métal enflammées. Ce type de phénomène ne donne pas lieu à des zones du type SEI, PEL ou ELS, par analogie avec la problématique « projectiles » dans les ICPE. Ces distances peuvent être considérées comme complémentaires à celles liées à la quantification des « scénarios GESIP » qui sont des distances de **suroxygénation** liées à la fuite d'oxygène par différentes tailles de brèche et qui s'appliquent à toute la canalisation.

Ce sont ces derniers scénarios qui définissent les distances qui sont répercutées au niveau des « porter à connaissance ». En cas de construction nouvelle (installation industrielle, bâtiment, voie, ligne électrique,...), autorisée postérieurement à l'implantation de la canalisation d'oxygène, à une distance inférieure à celle figurant dans cette annexe, le transporteur étudiera les mesures compensatoires appropriées au plus tard lors de la révision périodique de l'étude de sécurité, et les mettra en œuvre si l'analyse de risques en confirme la nécessité.

Annexe A

Tableau de la composition nominale des alliages

Type matériau/Alliage	EN-Mat. N°	N° UNS	Composition nominale
Alliages de laiton ^a		2.0380	Plusieurs 55-85 Cu, 15-44 Zn, 1-3 (Sn, Pb, Fe)
Alliages de cobalt			
Stellite 6	Stellite 6	R30006	55.5Co, 29 Cr, 4.5W, 3Ni, 1C, 7 (Fe, Si, Mn, Mo)
Stellite 6B	Stellite 6B	R30016	53Co, 30Cr, 4.5W, 3Ni, 1C, 8.5 (Fe, Si, Mn, Mo)
Cuivre	2.0090	C10100 C10200	99.9+Cu
Alliages cupronickel	2.0882	C70600 C71500	67-87 Cu, 10-31 Ni, 1-2 (Fe, Mn, Zn)
Pièces moulées en métaux ferreux (non inoxydables)			
Fonte grise	0.6030	F12801	3C, 2Si, 0.8Mn, Bal. Fe
Fonte nodulaire	0.7040	F32800	3.6C, 2.7Si, 0.4Mn, Bal. Fe
Type D2 fonte Ni-Resist	0.7673	F43010	20Ni, 3C, 2Si, 2Cr, 1Mn, Bal. Fe
Pièces moulées en métaux ferreux (inoxydables)			
CF-3 ^b	1.4308	J92500	19.5Cr, 10Ni, 2Si, 1.5Mn, Bal. Fe
CF-8 ^b	1.4308	J92600	19.5Cr, 10Ni, 2Si, 1.5Mn, Bal. Fe
CF-3M	1.4408	J92800	19Cr, 11Ni, 3Mo, 1.5Si, 1.5Mn, Bal. Fe
CF-8M ^c	1.4408	J92900	19Cr, 11Ni, 3Mo, 1.5Si, 1.5Mn, Bal. Fe
CG-8M ^d	1.4439	J93000	20Cr, 12Ni, 3Mo, 1.5Si, Bal. Fe
CN-7M ^e		N08007	21Cr, 29Ni, 4Cu, 3Mo, 1.5Si, 1.5Mn, Bal. Fe
Alliages au nickel			
Monel 400	2.4360/2.4366	N04400	67Ni, 32Cu, 1Fe
Monel K-500	2.4375	N05500	66.5Ni, 30Cu, 3(Al, Ti)
Nickel 200	2.4060/2.4066	N02200	99.0 Ni min.

Hastelloy C-276	2.4819	N10276	56Ni, 12Cr, 13.5Mo, 4Fe, 3W, 2.5Co
Inconel 600	2.4816	N06600	76Ni, 15Cr, 9Fe
Inconel 625	2.4856	N06625	60Ni, 22Cr, 9Mo, 5Fe, 4Nb
Inconel X-750	2.4669	N07750	74Ni, 15.5Cr, 7Fe, 2.5Ti, 1Al
Aciers inoxydables de corroyage			
304	1.4301/1.4306	S30400	19Cr, 9Ni, 2Mn, 1Si, Bal. Fe
304L	1.4301/1.4306	S30403	19Cr, 9Ni, 2Mn, 1Si, Bal. Fe
316	1.4401/1.4404	S31600	17Cr, 12Ni, 2Mn, 3Mo, 1Si, Bal. Fe
316L	1.4401/1.4404	S31603	17Cr, 12Ni, 2Mn, 3Mo, 1Si, Bal. Fe
321	1.4541	S32100	18Cr, 11.5Ni, Ti 5XC min., Bal. Fe
347	1.4550	S34700	18Cr, 11.5Ni, Nb 8XC min., Bal. Fe
410	1.4006/1.4024	S41000	13Cr, 1Mn, 1Si, Bal. Fe
430	1.4016/1.4742	S43000	17Cr, 1Mn, 1Si, Bal. Fe
17-4PH ^f	1.4542/1.4548	S17400	17Cr, 4Ni, 4Cu, 1Si, Bal. Fe
X3 Ni Cr Mo 13-4	1.4313	S41500	13Cr, 4.5Ni, 1Mo, 1Si, Bal. Fe
Carpenter 20 Cb-3	2.4660	N08020	35Ni, 20Cr, 3.5Cu, 2.5Mo, Bal. Fe
Bronzes à l'étain	2.1080	Plusieurs	85-89Cu, 5-11Sn, 5-10 (Zn, Pb, Ni)
<p>^a Laitons à l'aluminium non inclus</p> <p>^b Analogues de fonderie de l'acier inoxydable 304L/304</p> <p>^c Analogues de fonderie des aciers inoxydables 316L/316</p> <p>^d Analogue de fonderie de l'acier inoxydable 317</p> <p>^e Alliage 20</p> <p>^f Durci par vieillissement</p>			

Annexe B

Tableau des pressions d'exemption de limitation de vitesse et des épaisseurs minimum

NOTE Cette liste n'inclut pas tous les matériaux exemptés ; d'autres matériaux peuvent s'y ajouter suivant les résultats des essais

Alliages de construction	Épaisseur minimum	Pression d'exemption ^a
Alliages de laiton ^b	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
Alliages de cobalt		
Stellite 6	Aucune spécifiée	3.6 MPa (500 psig)
Stellite 6B	Aucune spécifiée	3.6 MPa (500 psig)
Cuivre ^b	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
Alliages cupronickel ^b	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
Pièces moulées en métaux ferreux (non inoxydables)		
Fonte grise	3.18 mm (0.125")	0.27 MPa (25 psig)
Fonte nodulaire	3.18 mm (0.125")	0.45 MPa (50 psig)
Type D2 fonte Ni-Resist	3.18 mm (0.125")	2.2 MPa (300 psig)
Pièces moulées en métaux ferreux (inoxydables)		
CF-3/CF-8,CF-3M/CF-8M,CG-8M	3.18 mm (0.125")	1.4 MPa (200 psig)
CF-3/CF-8,CF-3M/CF-8M,CG-8M	6.35 mm (0.250")	2.0 MPa (290 psig)
CN-7M	3.18 mm (0.125")	2.6 MPa (375 psig)
CN-7M	6.35 mm (0.25")	3.6 MPa (500 psig)
Alliages au nickel		
Hastelloy C-276	Aucune spécifiée	5.3 MPa (750 psig)
Inconel 600	Aucune spécifiée	6.9 MPa (1000 psig)
Inconel 625	3.18 mm (0.125")	8.7 MPa (1250 psig)
Inconel X-750	Aucune spécifiée	6.9 MPa (1000 psig)
Monel 400	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
Monel K-500	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)

Nickel 200	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
Aciers inoxydables de corroyage		
304/304L, 316/316L, 321, 347	3.18 mm (0.125")	1.4 MPa (200 psig)
304/304L, 316/316L, 321, 347	6.35 mm (0.250")	2.0 MPa (290 psig)
Carpenter 20 Cb-3	3.18 mm (0.125")	2.6 MPa (375 psig)
410	3.18 mm (0.125")	1.8 MPa (250 psig)
430	3.18 mm (0.125")	1.8 MPa (250 psig)
X3 NiCrMo 13-4	3.18 mm (0.125")	1.8 MPa (250 psig)
17-4PH (vieilli)	3.18 mm (0.125")	2.2 MPa (300 psig)
Bronzes à l'étain	Aucune spécifiée	21 MPa (3000 psig)
<p>^a La pression d'exemption est la pression maximum sans limitation de la vitesse dans une atmosphère enrichie en oxygène de haute pureté (99.7 % nominale) où il existe un risque d'impact des particules.</p> <p>^b de fonderie ou de corroyage</p> <p>Nota : Cette liste ne comprend pas tous les matériaux exemptés possible. D'autres matériaux peuvent être ajoutés, basé sur des essais</p>		

Annexe C

Tableau des distances de sécurité pour les postes d'oxygène (sans barrières)

Nature de l'exposition	Postes catégorie 1	Postes catégorie 2	Postes catégorie 3	Postes catégorie 4
Canalisation en surface (fluide inflammable) et joints mécaniques assez éloignés (voir 7.4).	15m	6m	2m	2m
Réservoir enterré (fluide inflammable)	5m	2m	2m	2m
Récipients sous pression, (fluide non inflammable) avec $P \cdot V > 200 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$ de capacité en eau	5m	3m	3m	2m
Stockage de produits inflammables	8m	5m	2m	2m
Stockage d'hydrogène liquide	15m	15m	15m	15m
Station de transformateur	15m	6m	3m	2m
Bâtiment administratif appartenant au client avec des ouvertures ou des entrées d'air du système de climatisation,	10m	8m	8m	2m
Bâtiment public	15m	10m	10m	2m
Voie publique/chemin de fer/parking	15m	10m	6m	2m
Voie privée/chemin de fer	3m	3m	3m	2m
Ligne électrique haute tension (aérienne)	10m	6m	5m	2m
Limite de propriété de l'utilisateur	15m	10m	2m	2m
Parking privé	15m	6m	2m	2m
Activités générant des flammes et/ou des étincelles. Voir interdictions de fumer en 7.4.	15m	8m	3m	2m

NOTE 1 Postes de catégorie 1 : $P \cdot D^2 > 3000$, $P > 4$ bars et $D > 2,5$ cm.

Postes de catégorie 2 : $P \cdot D^2 < 3000 > 1500$, $P > 4$ bars et $D > 2,5$ cm.

Postes de catégorie 3 : $P \cdot D^2 < 1500$, $P > 4$ bars et $D > 2,5$ cm.

Postes de catégorie 4 : postes de sectionnement ou de comptage

Annexe D

Textes applicables aux canalisations de transport (mai 2008)

LOIS :

Loi n°65-498 du 29 juin 1965 modifiée (loi du 22/7/87) relative au transport des produits chimiques par canalisations (en totalité)

DECRETS:

Décret n°65-881 du 18 octobre 1965 modifié (17/7/84 et 23/12/2003) portant application de la loi 65-498 du 29 juin 1965 relative au transport de produits chimiques par canalisation

ARRETES :

Arrêté du 4 août 2006, dit arrêté "multifluides", portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques

CIRCULAIRES, DECISIONS et INSTRUCTIONS:

Circulaire MEDAD/BRTICP/2007-430/CE du 16 novembre 2007

AUTRES DOCUMENTS

- IGC Doc 13/02/E « Oxygen pipeline systems », de 2002 (Globally harmonised document). Document de la profession au niveau mondial
- Référentiel de bonnes pratiques AFNOR BP E86-002 d'avril 2004 : « Systèmes de canalisations d'oxygène. Conception, exploitation et maintenance »