

(ID Modèle = 454913)

Ineris - 179870 - 644334 - v3.0

21/05/2021

## **Vannes industrielles de sécurité**

Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toutes autres modifications qui y seraient apportées. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : TARRISSE Albin, ADJADJ Ahmed

Vérification : MASSE FRANCOIS; PRATS FRANCK

Approbation : DUPLANTIER STEPHANE - le 21/05/2021

Liste des personnes ayant participé à l'étude : TARRISE Albin, ADJADJ Ahmed

## Table des matières

1	Fonctions de sécurité assurées .....	6
2	Principales normes, directives et dispositions applicables aux vannes .....	7
3	Les technologies et fonctionnalités des vannes et leurs accessoires .....	10
3.1	Eléments constitutifs d'une vanne .....	10
3.2	Enveloppe ou corps de vanne .....	10
3.3	Système obturateur-transmission .....	12
3.4	Actionneur .....	13
3.4.1	Généralités .....	13
3.4.2	Actionneurs à sécurité positive ou à émission .....	13
3.5	Accessoires et instruments complémentaires .....	14
4	Critères d'évaluation des performances .....	16
4.1	Efficacité .....	16
4.1.1	Dimensionnement de la vanne .....	16
4.1.2	Dimensionnement de l'actionneur .....	17
4.2	Temps de réponse .....	18
4.3	Niveau de confiance .....	19
5	Tests et maintenance .....	22
5.1.1	Installation et mise en service (commissioning) .....	22
5.2	Tests périodiques de bon fonctionnement .....	23
5.3	Révisions programmées (maintenance) .....	24
6	Liste des sources utilisées .....	27
7	Liste des annexes .....	28

## Liste des figures

Figure 1: Système Instrumenté de Sécurité (SIS), composé d'un capteur-transmetteur, d'un automate industriel et d'une vanne automatique .....	6
Figure 2 : Exemples de vannes industrielles : vanne manuelle à piston (gauche) et vanne automatique papillon (droite) .....	10
Figure 3 : Vanne d'angle .....	11
Figure 4 : Vanne double siège .....	11
Figure 5 : Vanne 3 voies .....	11
Figure 6 : Vanne à passage multiple .....	11
Figure 7 : Schéma de principe d'un action actionneur simple effet .....	14
Figure 8 : Schéma fonctionnel d'une vanne avec la redondance du système de l'électrovanne pour fiabiliser la fonction de sécurité .....	20
Figure 9 : Schéma fonctionnel d'une vanne avec la redondance du système de l'électrovanne pour éviter les déclenchements intempestifs .....	20

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Familles d'obturateurs de vannes industrielles .....	12
Tableau 2 : Schémas fonctionnels de systèmes de 2 vannes en redondance pour fiabiliser la fonction de sécurité .....	21

## Résumé

Les documents de synthèse relatifs à une barrière de sécurité (B.S.) constituent un corpus pour la maîtrise des risques technologiques majeurs à l'usage des professionnels de la maîtrise des risques (Industriels, Administration, Bureaux d'études, etc.).

Chaque document présente une synthèse sur des dispositifs de sécurité (barrière technique ou humaine de sécurité) organisée par type d'équipement et fonction de sécurité.

Les informations présentées sont les suivantes :

- Fonction de sécurité assurée ;
- Principe de fonctionnement du ou des dispositifs ;
- Critère d'évaluation de la performance (efficacité, temps de réponse, mode de défaillance et niveau de confiance, etc.) ;
- Suivi de la performance dans le temps.

Ce document présente les informations relatives aux vannes de sécurité qui sont des organes essentiels à la réalisation de nombreuses fonctions de sécurité dans l'industrie des procédés. Elles sont principalement utilisées afin de stopper, d'évacuer ou d'injecter des fluides.

Les différentes technologies et les composants constituant les vannes sont d'abord présentés en expliquant leur principe de fonctionnement, leurs avantages et leurs limites d'utilisation. Des informations sur le dimensionnement, l'étanchéité et l'installation des vannes sont apportées afin de pouvoir juger de leur efficacité selon les exigences et les conditions d'utilisation de la vanne.

Ensuite, le document présente des modes de défaillances courants des vannes ainsi que des notions de fiabilité afin de guider l'évaluation du niveau de confiance des dispositifs.

Enfin, des recommandations pour les tests et maintenances sont présentés, permettant de maintenir le niveau de confiance dans le temps.

## Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Vannes industrielles de sécurité -Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.), Verneuil-en-Halatte : Ineris - 179870 - v3.0.

# 1 Fonctions de sécurité assurées

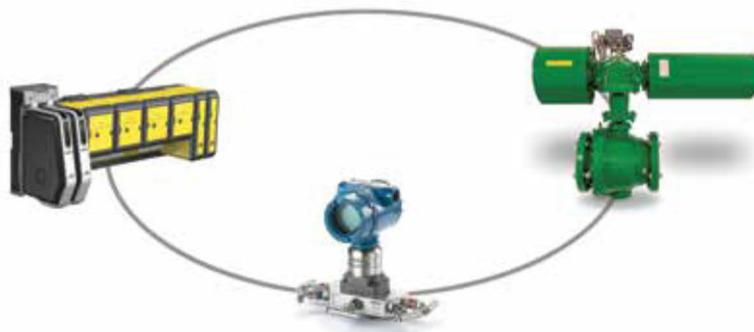
La sécurité de certaines installations industrielles repose sur l'utilisation de mesures de maîtrise des risques.

Lors de la détection d'une dérive ou d'une situation à risque, il est nécessaire de faire passer l'installation dans une position sûre, par exemple en stoppant, évacuant ou en injectant un fluide sur des équipements de stockage, de distribution ou des réacteurs. Le moyen d'action, pour la mise en sécurité, est le plus souvent l'activation de vannes tout ou rien (TOR) (vannes dites de "sécurité" par opposition aux vannes de "régulation").

Les vannes de sécurité sont alors utilisées en tant qu'actionneurs de boucles instrumentées ou de barrière à action manuelle, selon que leur commande soit automatisée ou résultant d'une décision humaine.

La fonction de sécurité varie selon les contextes d'utilisation, pour ce qui concerne les vannes, les principales fonctions de sécurité sont :

- l'isolement : c'est-à-dire, empêcher / suspendre complètement le passage d'un fluide dans une conduite (tuyauterie ou canalisation) ;
- la dépressurisation : c'est-à-dire établir l'écoulement d'un fluide afin de réduire la pression dans une capacité ;
- le transfert / l'évacuation (vide vite) : c'est-à-dire, établir l'écoulement / transfert d'un fluide d'une capacité (par exemple un réacteur chimique) vers une autre (par exemple un réservoir) ;
- l'injection : c'est-à-dire ajouter à un produit ayant des propriétés d'inhibition pour arrêter un emballement de réaction.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 1: Système Instrumenté de Sécurité (SIS), composé d'un capteur-transmetteur, d'un automate industriel et d'une vanne automatique

La terminologie peut différer selon les secteurs d'activités et parfois selon les entreprises. D'une part certaines appellations servent à désigner des utilisations spécifiques, c'est le cas par exemple des vannes police qui sont placées généralement en limite de propriété et qui permettent d'isoler rapidement une partie du réseau ; sur le réseau gaz, il s'agit souvent de robinets 1/4 de tour. D'autre part, un même terme peut en fonction du contexte, servir à désigner des applications différentes. C'est le cas par exemple des vannes de chasse qui peuvent désigner parfois une vanne utilisée pour vider complètement un réservoir ou bien parfois une vanne qui permet de changer le contenu d'une capacité en utilisant un fluide pour chasser le précédent.

Ce document se concentre sur les vannes de sécurité ayant un fonctionnement « tout ou rien » (TOR) et actionnées automatiquement ou manuellement. La terminologie anglaise pouvant être source de confusions, il est nécessaire de préciser que ce document ne traite pas des :

- clapets<sup>1</sup> anti-retour (« *check valve* » ou « *non return valve* ») ;
- soupapes (« *pressure relief valve* ») ;
- vannes de régulation (« *control valve* » ou « *valve* »).

<sup>1</sup> Dans certains documents, il existe une confusion entre : les « vannes à clapet » où le « clapet » désigne un type d'obturateur ; le terme générique « clapet » qui désigne tous les types d'obturateurs ; et les « clapets antiretour ».

## 2 Principales normes, directives et dispositions applicables aux vannes

Les vannes (la robinetterie) font l'objet de très nombreuses normes, directives et dispositions applicables, en fonction du contexte, pour leur conception et qualification. Ce chapitre, qui n'a pas vocation à être exhaustif, présente les principaux textes.

### **Directive Equipements Sous Pression (2014/68/UE) :**

La DESP s'applique à la majorité des équipements de robinetterie industrielle. L'utilisation des normes harmonisées, dont les références sont publiées au Journal Officiel de l'Union Européenne, donne présomption de conformité aux exigences de la Directive. Ces normes sont nombreuses, et traitent aussi bien des différents types de robinets que d'aspects tels que le dimensionnement des corps, les matériaux à utiliser ou encore les exigences de marquage. Le marquage CE est obligatoire.

### **Directive Machines (2006/42/CE) :**

Les robinets industriels ne sont en général pas des machines au sens de la Directive et ne doivent par conséquent pas porter de marquage CE pour cette Directive. Un robinet industriel peut dans certains cas être une quasi-machine, quand il est spécifiquement conçu et fabriqué pour être incorporé dans une machine. Cela sous-entend que le robinetier sait exactement dans quelles conditions sera utilisé et intégré son produit, sans quoi, toute analyse de risque est impossible. Dans de tels cas, le robinet ne porte pas le marquage CE mais doit être accompagné d'une déclaration d'incorporation décrivant les conditions d'intégration du produit.

### **Directive ATEX (2014/34/UE) :**

Dans l'industrie, l'utilisation de matériel ATEX est obligatoire dans les atmosphères pouvant devenir explosive suivant des conditions locales et opérationnelles. Cette atmosphère est un mélange d'air, sous condition atmosphérique, de substance(s) inflammable(s) sous forme de gaz, de vapeurs, de brouillard ou de poussières. Tous les appareils électriques ou non-électriques (mécanique, pneumatique, hydraulique ...) sont concernés par cette directive pour autant qu'ils aient une source propre d'inflammation. Par conséquent, de nombreux robinetiers proposent du matériel ATEX.

Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'employer du matériel certifié selon la zone ATEX de destination. Comme pour la DESP, le marquage CE est obligatoire, et les fabricants peuvent employer les normes harmonisées. Il n'existe pas de norme harmonisée dédiée à la robinetterie industrielle car les normes traitent de modes de protection particulier (par exemple sécurité par construction).

### **Continuité électrique :**

La conception des vannes doit assurer une continuité électrique entre tous les composants en contact avec le fluide et l'enveloppe, en particulier lors d'une utilisation en zone ATEX. Les vannes de conception anti statique assure une continuité électrique entre la tige et le corps. Si la continuité électrique n'est pas assurée par conception (dans le cas d'appareil à brides), elle doit être assurée par l'emploi d'une tresse métallique entre les parties de l'appareil et/ou entre l'appareil et la tuyauterie (brides).

### **Sécurité feu :**

Pour certaine application, les vannes doivent être de conception sécurité feu notamment en zone ATEX. L'objectif étant d'une part de conserver l'étanchéité en ligne et vers l'extérieur pendant et après un feu et d'autre part de garantir la manœuvrabilité après le feu. Les prescriptions et essais correspondant sont définies dans la norme NF EN ISO 10497 (Essais des appareils de robinetterie - Exigences de l'essai au feu).

Des exigences de test et d'évaluation des performances des vannes, lorsqu'elles sont exposées à des conditions d'incendie spécifiques, sont définies dans les normes API 6FA, API 6FC et API 607

### **Normes générales :**

- Lexique multilingue E 29 301
- Terminologie EN 736-1,2 et 3, EN 764-1, EN 15714-1
- Nomenclature des pièces constitutives E 29 307
- Méthodes d'essai EN 12266-1 et 2
- Raccordement aux actionneurs EN ISO 5210 et 5211
- Conception des corps EN 12516-1, 2, 3 et 4
- Matériaux de l'enveloppe EN 1503-1, 2, 3 et 4
- Essais au feu EN ISO 10497
- Sécurité fonctionnelle EN IEC 61508, EN IEC 61511

### **Norme de conception pour l'étanchéité (externe et interne) :**

Les normes suivantes sont des exemples de normes pour les essais en usine :

- La norme EN 12266-1 décrit les procédures d'essai par type de robinetterie. Elle spécifie les prescriptions obligatoires pour les essais, les modes opératoires d'essais et les critères d'acceptation pour les essais en production de la robinetterie industrielle en matériaux métalliques.
- La série des normes EN 15714 (2 à 4) fournit les prescriptions de base pour les actionneurs (organes de manœuvres) des robinets tout ou rien et des robinets de régulation. Elles spécifient les lignes directrices pour la classification, la conception, l'enveloppe et la protection contre la corrosion ainsi que des méthodes d'évaluation et d'essais. La partie 2 de cette norme traite des actionneurs électriques, la partie 3 des actionneurs pneumatiques et la partie 4 des actionneurs hydrauliques.
- La série des normes EN ISO 15156 (correspondant à NACE MR-0175) traite des matériaux qui peuvent être utilisés dans l'industries du pétrole et du gaz naturel et en particulier pour utilisation dans des environnements contenant de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S).
- Les normes ISO 15848-1 et 2 traitent de la qualification des appareils de robinetterie pour prévenir les émissions fugitives. La partie 1 spécifie un système de classification et des modes opératoires de qualification pour les essais de type. La partie 2 spécifie les essais de réception en production.
- La norme ISO 28921-1 spécifie les exigences relatives à la conception, aux dimensions, aux matériaux, à la fabrication et aux essais de production des robinets d'isolement pour application à basses températures (application cryogénique entre -50 °C et -196 °C). Elle traite des appareils de robinetterie dont le corps, le chapeau, l'extension du chapeau ou le couvercle sont en matériaux métalliques.
- La norme IEC 60534-4 spécifie les exigences relatives à l'inspection et aux essais individuels des vannes de régulation fabriquées conformément aux autres parties de la norme IEC 60534. Elle s'applique aux vannes dont la classe de pression n'excède pas la Classe 2500.
- Le norme ISO 17945, élaborée sur la base de la NACE MR0103, concerne spécifiquement la prévention de la fissuration sous contrainte induite par les sulfures des équipements (y compris les appareils à pression, les échangeurs de chaleur, les tuyauteries, les corps de vannes et les carters de pompes et de compresseurs) et des composants utilisés dans l'industrie du raffinage. Elle s'applique à tous les éléments d'équipement exposés aux milieux corrosifs d'une raffinerie.

En complément, le paragraphe 3 de l'annexe 5 présente les normes d'essais et de classification de l'étanchéité en fonction du type de vanne.

### **Norme relative à la sureté de fonctionnement / sécurité fonctionnelle :**

- La norme ISO/TR 12489 décrit et explique les approches disponibles pour calculer les diverses mesures probabilistes relatives aux systèmes de sécurité. Elle est en phase avec la norme IEC 61508 pour ce qui concerne le cas particulier de la sécurité fonctionnelle relative aux systèmes instrumentés de sécurité. Cette norme est une référence pour la modélisation et les calculs fiabilistes des systèmes de sécurité.

- La norme ISO 14224 relative à la collecte des données de fiabilité. Elle fournit une base globale pour la collecte de données de fiabilité et maintenance en format normalisé pour les équipements utilisés dans toutes installations et exploitations des industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel et pendant le cycle de vie utile de l'équipement. Elle décrit les principes de la collecte de données ainsi que les termes et définitions associés qui constituent la base d'un « langage propre à la fiabilité » utile pour transmettre l'expérience acquise sur le terrain. Elle définit les modes de défaillance pouvant être utilisés comme un « thésaurus de la fiabilité » pour diverses applications tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. En outre, la présente norme internationale décrit les pratiques de contrôle et d'assurance qualité des données afin de guider l'utilisateur.
- Projet de norme CEN "Functional safety of safety-related automated industrial valves". Ce projet de norme définit des procédures et des méthodes pour évaluer tous les composants mécaniques de vannes industrielles automatisées utilisées comme éléments finaux dans un système instrumenté de sécurité conformément aux objectifs de la norme EN 61508.

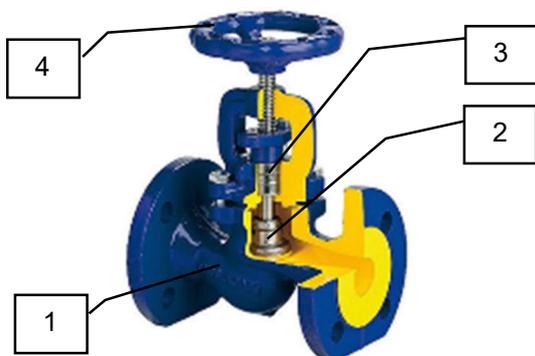
## 3 Les technologies et fonctionnalités des vannes et leurs accessoires

### 3.1 Éléments constitutifs d'une vanne

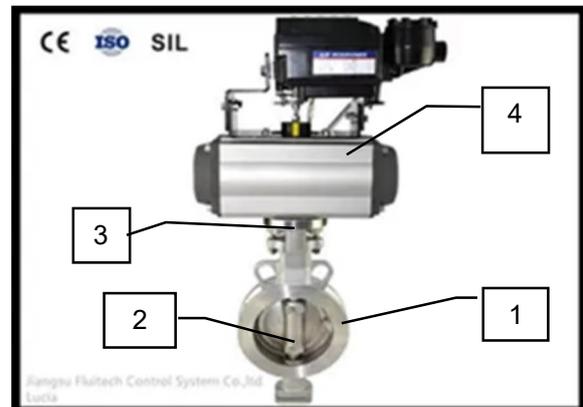
Une vanne est un appareil constitué d'une partie fixe (le corps) et d'une partie mobile (l'obturateur). La partie mobile permet d'ouvrir et de fermer une voie de passage afin de permettre ou d'empêcher la circulation d'un fluide.

Dans l'industrie, il existe de nombreux types de vannes qui dépendent des applications. Cependant, elles sont toutes constituées des quatre parties principales suivantes :

1. l'enveloppe ou corps ;
2. l'obturateur ;
3. la transmission ou tige/axe ;
4. l'actionneur (manuel ou automatique) et son énergie d'activation.



<http://www.zetkama.fr/robinetterie-industrielle/robinet-a-soupape-zglo/robinet-a-soupape-fig-215/>



<http://m.french.valvepneumaticactuator.com/sale-11607763-stainless-steel-wafer-butterfly-valve-actuator-with-positioner-long-working-life.html>

Figure 2 : Exemples de vannes industrielles : vanne manuelle à piston (gauche) et vanne automatique papillon (droite)

### 3.2 Enveloppe ou corps de vanne

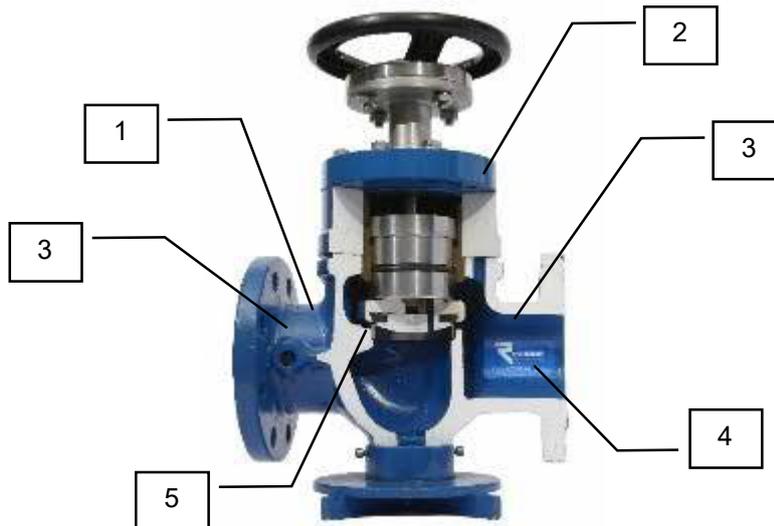
L'enveloppe, qui comporte le corps de vanne (1) et le chapeau (2), constitue l'interface fluide-ambiance extérieure. Des systèmes de raccordement permettent de la raccorder à la tuyauterie par soudage, boulonnage ou vissage, tels que des brides (3).

La voie ou le passage (4) désigne le volume par lequel le fluide transite du côté amont au côté aval de la vanne.

La portée ou le siège d'étanchéité (5) correspond au composant qui, une fois au contact de l'obturateur, empêche la circulation du fluide.

Le chapeau ou bonnet (2) désigne le composant qui vient sceller la vanne par le dessus. Il accueille le support sur lequel est monté l'actionneur, ainsi que la transmission et les éléments d'étanchéité associés, et permet donc la manœuvre de la vanne en prévenant toute fuite vers l'extérieur.

Certaines vannes sont munies d'une extension de chapeau afin d'éloigner la boîte à garniture de la bride du chapeau de sorte que la vanne soit adaptée aux températures extrêmes du procédé.



Source : <https://www.ramus-industrie.com/wp-content/uploads/2018/01/regulation-equilaur-en-coupe.jpg>

Le corps de vanne est conçu pour tenir aux effets de pression et de température du fluide, aux agressions du procédé et de l'environnement ainsi qu'à l'usure et à la fatigue liées à l'utilisation de la vanne. Il assure l'étanchéité à ses extrémités en s'adaptant à la tuyauterie, au niveau de la tige de transmission, et à l'intérieur en recevant les sièges d'étanchéité. Il peut prendre différentes formes :

- corps droit : l'entrée et la sortie sont dans le même axe ;
- corps d'angle : l'entrée et la sortie sont dans deux plans (souvent perpendiculaires) ;
- corps à double siège : son principal atout est la diminution de la force résultante sur le clapet et son principal inconvénient est la diminution des propriétés d'étanchéité ;
- corps multivoies : la force dynamique exercée sur le clapet tend à être équilibrée car le débit tend à ouvrir une voie et fermer l'autre. Cela permet de réduire la taille des actionneurs.
  - corps mélangeur : il possède deux entrées et une sortie afin de permettre le mélange des fluides ;
  - corps de dérivation (répartiteur) : il possède une entrée et deux sorties afin de permettre la séparation du fluide suivant deux directions.

En pratique, bien que différentes formes de corps de vannes puissent être utilisées pour la sécurité, ce sont plutôt les corps droits qui sont privilégiés. Les photos sont données pour illustrer les formes de corps et peuvent ici représenter des vannes de sécurité ou de régulation.

			
Source : <a href="https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf">https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf</a>			
<i>Figure 3 : Vanne d'angle</i>	<i>Figure 4 : Vanne double siège</i>	<i>Figure 5 : Vanne 3 voies</i>	<i>Figure 6 : Vanne à passage multiple</i>

Des alliages peuvent être utilisés lors de la conception du corps de vanne de sorte que l'équipement résiste aux effets de corrosion.

### 3.3 Système obturateur-transmission

Le système obturateur-transmission réalise le mouvement d'ouverture ou de fermeture de la vanne.

La transmission communique le mouvement d'ouverture ou de fermeture de la vanne, en provenance de l'actionneur à l'obturateur. Le mouvement peut prendre différentes formes selon le mode de transmission :

- tige filetée intérieure : le mouvement de la tige est circulaire. La tige baigne dans le fluide et peut être soumise à la corrosion ;
- tige filetée extérieure : le mouvement de la tige est hélicoïdal. La tige est située hors du fluide, cependant le volant et la tige peuvent être montants et donc plus encombrants ;
- vérin : le mouvement est linéaire.

La transmission est équipée d'un système de guidage afin de maintenir la position de l'obturateur et de permettre un contact adéquat au niveau de la portée. Il peut s'agir, par exemple, d'une rondelle ou d'une bague de guidage située dans le chapeau. Le choix du mode de guidage se fait notamment en fonction de la pression interne et du niveau de vibration auquel sera exposé la vanne.

L'obturateur, quant à lui, correspond à la partie mobile, qui est placée dans le débit afin d'empêcher le passage du fluide ou qui est enlevée afin d'autoriser le passage. Il assure l'étanchéité de la vanne par un contact avec le ou les sièges d'étanchéité.

On appelle guide de l'obturateur la partie qui maintient le mouvement de l'obturateur aligné.

On distingue plusieurs types d'obturateurs qui caractérisent les différentes familles de vannes existantes. Un regroupement possible correspond au mouvement effectué par l'obturateur :

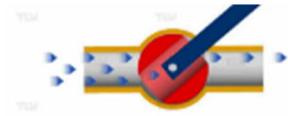
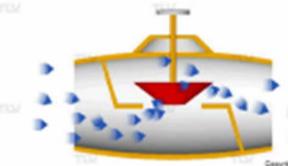
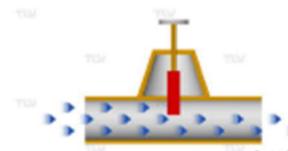
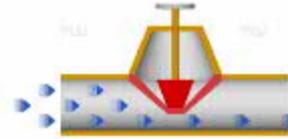
<p>Les vannes dont l'obturateur pivote dans la voie de passage du fluide pour arrêter ou autoriser sa circulation comme par exemple les vannes à tournant sphérique ou les vannes à papillon.</p>	 <p><a href="https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4">https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4</a></p>
<p>Les vannes dont l'obturateur agit comme un joint d'étanchéité ou un bouchon dans la voie de passage du fluide pour arrêter sa circulation comme les vannes à soupape.</p>	 <p><a href="https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4">https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4</a></p>
<p>Les vannes dont l'obturateur est inséré dans la voie de passage du fluide pour arrêter sa circulation comme par exemple les soupapes à tiroir ou les vannes à guillotine.</p>	 <p><a href="https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4">https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4</a></p>
<p>Les vannes dont l'obturateur étrangle de l'extérieur la voie de passage du fluide pour arrêter sa circulation comme les vannes à membranes.</p>	 <p><a href="https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4">https://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/types-of-valves.html#toc_4</a></p>

Tableau 1 : Familles d'obturateurs de vannes industrielles

Les différentes technologies d'obturateurs sont les suivantes :

- Vannes rotatives
  - Vannes à tournant ou à boisseau
  - Vannes papillon
  - Vanne à excentration
- Vannes à translation
  - Vannes à soupape
  - Vannes à piston et vanne à cage
  - Vannes à opercule ou robinet vanne
    - Vannes à opercule à sièges obliques
    - Vannes à opercule à sièges parallèles
  - Vannes guillotines
  - Vannes à membrane
  - Robinet-vanne à manchon

Les technologies de vannes dédiées à la sécurité sont généralement des vannes à quart de tour (papillon ou à boisseau sphérique).

Leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs avantages et limites d'utilisation sont présentées à l'annexe 1.

## 3.4 Actionneur

### 3.4.1 Généralités

L'actionneur est un élément extérieur à la vanne qui permet de la manoeuvrer en convertissant le signal de commande en mouvement de l'obturateur. Il peut générer différents mouvements selon le mode d'ouverture, notamment des mouvements : multi tour, à fraction de tour ou plus rarement linéaire.

Il peut être manuel ou commandé. Les actionneurs commandés, appelé également servomoteurs peuvent être pneumatiques, électriques ou hydrauliques. Les actionneurs pneumatiques et hydrauliques comportent des électrovannes agissant sur l'énergie nécessaire au changement de position de la vanne.

Les vannes à actionneur commandé intègrent parfois une commande manuelle de secours.

On trouve également sur certaines vannes des cadenas ou plomb qui permettent de verrouiller la position d'une vanne afin de réduire les manipulations accidentelles.

Ils peuvent également être équipé d'un cadran pour indiquer la position de l'obturateur.

Les différents types d'actionneurs sont présentés dans l'annexe 2 et l'annexe 3 présente les électrovannes.

### 3.4.2 Actionneurs à sécurité positive ou à émission

De manière générale, un équipement est dit « à sécurité positive » lorsqu'il est conçu et intégré dans une fonction de sécurité de manière à ce que ses défaillances principales conduisent l'équipement à se placer en position de sécurité stable (par exemple : perte des utilités, perte des signaux de commande, détection de défaillances).

Les actionneurs sont dits « à manque » lorsqu'ils passent dans leur position de sécurité sur perte des utilités (par exemple : alimentation électrique, en air instrumentation, hydraulique, ou pneumatique). La perte de la source d'énergie a pour conséquence placer la vanne dans sa position de sécurité. Il s'agit donc d'un cas restreint de sécurité positive.

Les actionneurs « à manque » les plus courants sont les actionneurs à ressort à simple effet. La source d'énergie s'oppose à l'action d'un ressort qui cherche à ramener la vanne dans sa position de sécurité. Lorsque l'alimentation est perdue, la vanne change de position.

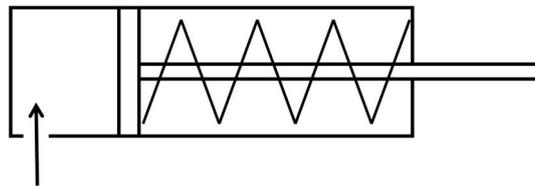


Figure 7 : Schéma de principe d'un actionneur simple effet

L'ensemble tige piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un ressort ou charge.

Dans le cas des actionneurs électriques non -équipés de ressorts, il est possible d'intégrer un diagnostic permanent de l'état de l'alimentation. Sur la perte d'électricité, une batterie interne pourra fournir l'énergie nécessaire afin de placer la vanne dans la position de sécurité programmée.

Dans le cas des actionneurs pneumatiques à double effet, il est possible d'équiper les actionneurs de systèmes à déclenchement pneumatiques afin de placer la vanne dans sa position de sécurité.

Les actionneurs dits « à émission » correspondent aux systèmes qui ont besoin d'une alimentation en énergie pour manoeuvrer jusqu'à leur position de repli. Dans ces cas, la perte d'énergie conduit à la perte de la fonction de sécurité et il est donc nécessaire de fiabiliser les alimentations ( par exemple par redondance, systèmes de secours, détection des défauts). Ces dispositifs sont utilisés lorsque la réalisation intempestive de la fonction de sécurité peut avoir des conséquences économiques ou de sécurité importantes (système d'extinction d'incendie, systèmes d'extraction d'air dans un local confiné ou envoi d'inhibiteur dans un réacteur chimique, etc.).

### 3.5 Accessoires et instruments complémentaires

Le pilotage et le contrôle des vannes via des signaux électriques ou numériques est assuré grâce à des accessoires et instruments complémentaires qui permettent :

- d'une part, un meilleur contrôle du procédé (commande de l'ouverture et la fermeture, exploitation des informations de retour de position) ;
- d'autre part, une amélioration de la performance de la vanne (son efficacité<sup>2</sup>, son temps de réponse, sa fiabilité et/ou sa disponibilité et sa maintenabilité) par la surveillance ou la vérification de son temps de manoeuvre et par le diagnostic de ses éventuels problèmes afin de répondre à des exigences de sécurité.

On trouve notamment :

- **L'amplificateur de volume** dont la fonction est de fournir une plus grande capacité pneumatique pour commander de la vanne. Ils sont utilisés pour des applications nécessitant un volume pneumatique important pour une réponse rapide.
- **Les fins de course** (contacteur de début et de fin de course) dont la fonction est de fournir un signal TOR lorsque la vanne atteint une position spécifique de sa plage de course correspondant généralement à l'ouverture, la fermeture ou une position de test (PST). La fin de course reçoit le retour de position de la tige ou de l'arbre de vanne, et elle envoie un signal par câble ou sans fil au système de contrôle. Les fins de courses sont utilisées en tant qu'actionneur ou mesure de contrôle du procédé lorsque la position de la vanne est une condition préalable

---

<sup>2</sup> Précision, stabilité

à la réalisation d'une action et également lors des essais périodiques (FST / PST) et des diagnostics pour s'assurer du bon fonctionnement de la vanne.

- **Le dispositif d'essai de course partielle ou totale** (Partial Stroke Test ou Full Stroke Test) : Les vannes de sécurité qui sont rarement manœuvrées présentent le risque de rester collées lors du déclenchement de la fonction de sécurité. Pour pallier ce risque, on effectue une mise en mouvement (ouverture ou fermeture) partielle ou totale, manuelle ou automatique (cf. paragraphe 5.2).
- **Le système de déclenchement** : Constitué d'une capacité sous pression, en cas de perte d'énergie, il libère l'air ou l'huile contenu et place la vanne dans sa position de sécurité. Ce dispositif s'adresse aux actionneurs à double effet qui n'ont pas de position de repli définie mais aussi aux actionneurs à simple effet pour assurer un blocage pneumatique. Ce dispositif est mentionné à l'annexe 2.
- **Des mesures de la pression et de la température** : Il est également envisageable d'équiper les vannes de capteurs de pression et de température afin de monitorer les paramètres relatifs à son bon fonctionnement. Ces capteurs peuvent être associés à des alarmes afin d'assurer une fonction de diagnostic de la vanne. Dans le cas où ces mesures sont traitées par un dispositif décentralisé et placé sur la vanne, il s'agit d'un **contrôleur numérique**.
- **Une vanne de dérivation** : Pour les vannes de sécurité de grandes tailles et en présence de températures et / ou de pressions élevées, il est parfois nécessaire d'équiper la vanne de sécurité d'une vanne de dérivation. Cette plus petite vanne permet d'équilibrer la pression et la température en amont et en aval de la vanne de sécurité avant de la manœuvrer.

On peut également rencontrer des accessoires qui sont caractéristiques des vannes de régulation :

- **Le positionneur** : Pneumatique, analogique ou numérique, il permet de manœuvrer la vanne et d'adapter précisément sa position selon le signal de commande. Outre la fonction de contrôle de position de la vanne, le positionneur numérique dispose de fonctions de diagnostic (mesure de pression, de température et de lecture de course) et de communications numériques bidirectionnelles.
- **Le transducteur électropneumatique** convertit un signal analogique (courant de 4 à 20 mA) en un signal pneumatique (pression proportionnelle) afin d'offrir une meilleure précision que le positionneur.
- **Les contrôleurs** sont utilisés pour mesurer les conditions du procédé, telles que la pression, la température ou le niveau et réguler la position de la vanne en fonction.
- **Le transmetteur de position** permet de fournir au système de contrôle un retour sur la position de la vanne. Il est monté directement sur la vanne et il mesure la position de la tige ou de l'arbre.

Il est à noter que ces différents équipements peuvent être à l'origine de non-fonctionnement de la vanne de sécurité ou de la vanne de régulation qui réalise une fonction de sécurité ou alors de déclenchement intempestif. Ces modes de défaillances doivent être identifiés, analysés et traités en conséquence.

## 4 Critères d'évaluation des performances

En règle générale, le bon fonctionnement d'une vanne dépend :

1. de la bonne sélection en fonction de l'application (choix technologique, matériaux et dimensionnement) ;
2. d'une installation adaptée qui respecte des règles et techniques d'installation ;
3. d'un programme de maintenance adapté.

### 4.1 Efficacité

L'efficacité d'une vanne correspond à son aptitude à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été définie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée de fonctionnement. Elle est donc principalement liée au dimensionnement de la vanne et à son positionnement.

Le dimensionnement et la mise en œuvre des vannes sont soumis à de nombreux standards et normes (réglementation des appareils sous pressions, réglementation ATEX, API, AMSE, NFPA, ANSI...). Il en va de la responsabilité du fabricant d'assurer la conformité aux caractéristiques affichées des produits commercialisés, tandis qu'il incombe à l'exploitant de choisir et de dimensionner les équipements selon l'application.

L'installation des vannes industrielles est une phase critique de leur cycle de vie et doit faire l'objet d'une procédure adaptée respectant les bonnes pratiques de montage et de vérification du bon fonctionnement. En l'espèce et à titre exceptionnel, des éléments généraux ont été introduits à ce sujet bien que n'ayant pas traité directement à la définition de l'efficacité de l'OMEGA 10.

#### 4.1.1 Dimensionnement de la vanne

L'efficacité d'une vanne repose sur les choix techniques (matériaux, revêtements, technologies...) faits selon les caractéristiques du fluide, du process et de l'environnement.

Pour dimensionner une vanne, il faut prendre en considération les éléments principaux suivants :

##### 1. Caractéristiques du fluide et du process :

- conditions de service : température, pression, débit... ;
- densité ou masse volumique du fluide aux conditions process ;
- delta P aux brides de la vanne à pleine ouverture ;
- performances d'étanchéité requises ;
- caractéristique du fluide :
  - ✓ liquide ou gaz ;
  - ✓ corrosif (attaque chimique des matériaux) ;
  - ✓ chargé de particules solides (érosion, encrassement de la vanne) ;
  - ✓ chargé de bulles gazeuses, ou constitué d'un mélange de liquides et de gaz non homogènes ;
  - ✓ visqueux (exemple de l'huile) ;
  - ✓ inflammable ou explosif en présence de l'air, d'une étincelle ;
  - ✓ toxique, donc dangereux en cas de fuite ;
  - ✓ dangereux, car il peut se transformer chimiquement tout seul (polymérisation) ou réagir avec d'autres produits, parfois violemment ;
  - ✓ un liquide qui se solidifie lorsque la température baisse (cristallisation) ;
  - ✓ un liquide qui se vaporise lorsque la température augmente ou que la pression diminue ;
  - ✓ une vapeur qui se condense lorsque la température baisse ou que la pression augmente.

L'annexe 4 donne des informations complémentaires sur les procédés présentant des contraintes particulières qui nécessitent d'adapter la technologie des vannes utilisées, telles que les vannes cryogéniques, les fluides chargés en particules, les hautes pressions et hautes températures, etc.

## **2. Caractéristique de l'environnement :**

- encombrement de la vanne (pour l'accessibilité en cas de vannes manuelles et pour la maintenance) ;
- atmosphère : explosive, corrosive, sèche ou humide, poussiéreuse, chaude ou froide ;
- vibrations, dues par exemple à une machine voisine ;
- perturbations électromagnétiques, dus à des appareils demandant une grande puissance électrique.

## **3. Caractéristique de la fonction de sécurité en termes d'objectif de performance :**

- fréquence de sollicitation ;
- position de repli ;
- temps de réponse ;
- testabilité ;
- acceptabilité des déclenchement intempestifs.

## **4. Caractéristique de vanne**

- type de vanne : à boisseau, à opercule, à soupape, à papillon, etc.
- La norme de construction : qui définit les encombrements, la taille des brides éventuelles. Les normes usuelles sont la norme ISO, DIN ou ANSI.
- La pression nominale de conception (PN) : standardisée selon les normes, par exemple PN16, PN25, PN40 (pour 16, 25 ou 40 bars).
- La perte de charge.
- La taille correspondant au Diamètre Nominal (DN).
- Le raccordement sur la tuyauterie : à visser (NPT ou BSPT), à brides, à souder (BW : bout à bout ; SW : à emmanchement).
- La matière de construction : définie suivant la compatibilité des matériaux avec le fluide. Le choix du matériau du corps de vanne se fait généralement en fonction de la pression, de la température, des propriétés corrosives et érosives du fluide.
- L'actionnement de la vanne : manuel ou motorisé.
- Choix spécifique pour l'étanchéité, les fortes pressions, les fortes températures.
- Nombre de manœuvres (taux d'utilisation et de sollicitation) pour limiter la dégradation physique.

Le dimensionnement de la vanne doit également prendre en compte les exigences d'étanchéité, ainsi que les phénomènes de cavitation, de vaporisation et de coup de bélier potentiels en fonction des caractéristiques du procédé et de la vanne. Des éléments complémentaires sont disponibles aux annexes 5 et 6 sur ces sujets.

Il est à noter que les choix effectués correspondant au dimensionnement de la vanne impliquent parfois un compromis entre les différents paramètres et les performances. Les paramètres listés ci-dessus ont un impact sur la capacité de la vanne à résister aux processus de vieillissement, d'usure et de fatigue, mais également à correctement remplir la fonction de sécurité.

### **4.1.2 Dimensionnement de l'actionneur**

Le dimensionnement de l'actionneur doit permettre d'une part de résister à la pression du fluide sur l'obturateur et d'autre part, assurer l'étanchéité de la vanne. Il est donc lié au couple (pour les vannes rotatives) ou force (pour les vannes linéaires) nécessaire pour manœuvrer l'obturateur (course de la vanne).

Le dimensionnement d'un actionneur pneumatique repose sur la définition de sa force de motricité (Kg), qui correspond à la force exercée par le servomoteur pneumatique sur la tige et sur les ressorts de rappel. Elle dépend de la pression de commande (pression nécessaire pour déplacer les éléments mobiles de la vanne) et du diamètre du servomoteur.

Les actionneurs pneumatiques peuvent être équipés d'un mécanisme de renvoi d'angle (engrenages coniques droits ou une vis sans fin et une roue dentée) pour manœuvrer une vanne rotative.

L'actionneur électrique repose sur un moteur à courant continu, alimenté et commandé par un module électronique de pilotage. La commande du courant et de la tension d'alimentation permet de faire varier la vitesse de fermeture/ouverture de la vanne et le couple nécessaire pour mouvoir l'obturateur et résister aux forces produites par la pression du fluide. Son dimensionnement repose également sur la définition de sa force de motricité. Celle-ci correspond au couple exercé par la rotation du moteur électrique en liaison avec un réducteur mécanique sur la tige.

## 4.2 Temps de réponse

Le temps de réponse de la vanne correspond à la durée entre l'envoi de la commande de manœuvre de la vanne de sécurité et l'atteinte de la position finale de l'obturateur, c'est-à-dire complètement ouvert ou complètement fermé.

Il est composé : du temps de changement de position des vannes pilotes, de la pressurisation ou dépressurisation de l'énergie auxiliaire du système de déclenchement et de l'actionneur ainsi que du temps de manœuvre de l'obturateur.

Le temps total de réponse doit être adapté à la cinétique du procédé et de l'événement redouté associé au scénario à traiter. Il peut être ajustable dans une certaine mesure. Il est généralement compris entre quelques millisecondes et quelques dizaines de secondes et constitue en général la plus grande partie du temps de réponse global de la mesure de maîtrise des risques. Dans certains cas, notamment pour les vannes manuelles, son caractère dimensionnant dans l'obtention du temps de réponse global en fait un sujet critique lors de l'évaluation des performances de la boucle.

Le temps de réponse de la vanne est très variable selon la technologie de vanne, d'actionneur et de système de déclenchement, il dépend notamment :

- de la technologie de l'obturateur : les vannes à translation multi-tour (tige filetée) auront un temps de manœuvre plus long que les vannes à quart de tour comme les vannes rotatives ;
- de la taille de la vanne : en général plus la vanne est grande, plus sa manœuvre est longue ;
- de la technologie d'actionneur : les actionneurs automatiques sont plus rapides que les actionneurs manuels qui nécessitent l'intervention d'un opérateur. Les actionneurs à membranes et à vérin hydraulique sont plus rapides que les actionneurs à pignons ou que les moteurs électriques ;
- de l'utilisation ou non d'un amplificateur de volume qui permet de réduire le temps de réponse de l'actionneur, notamment pour les vannes de grandes tailles ;
- de la taille de l'orifice de vidange (actionneurs pneumatique ou hydraulique). Plus l'orifice de vidange est large, plus l'évacuation se fera rapidement et le temps de réponse sera court. Il est possible pour certaines vannes de régler le diamètre de vidange et donc le temps de fermeture ou d'ouverture de la vanne. Ce paramètre doit être considéré lors de l'installation et lors des maintenances de l'équipement ;
- de la longueur de la tuyauterie de vidange. Plus la tuyauterie est longue entre l'orifice de vidange de l'actionneur et l'électrovanne, plus le temps de réponse sera long ;
- de la présence de plusieurs vannes sur la même ligne de vidange. Plus le nombre de vannes de sécurité utilisant la même ligne de vidange de l'énergie auxiliaire est importante, plus le temps de dépressurisation sera long.

Le temps de réponse doit être mesuré sur site lors de l'installation de la vanne, puis régulièrement lors des essais périodiques afin de s'assurer de la performance de la vanne et de l'absence de dérive dans le temps. Sa mesure permet également de prévoir des défaillances qui pourraient survenir (cf. 5).

Il est possible de mesurer l'ensemble du temps de réponse de la boucle, ou alors de mesurer les temps de réponse de chacun de ses constituants (détecteurs, traitement, actionneurs) et de les sommer, l'objectif étant de connaître le temps de réponse d'une fonction de sécurité dans sa globalité.

### 4.3 Niveau de confiance

Le niveau de confiance peut être évalué en identifiant les causes de mauvais fonctionnement. Les modes de défaillances des vannes correspondent à une défaillance de leurs fonctions de sécurité, à savoir :

- non ouverture ou non fermeture ;
- ouverture partielle ou fermeture partielle ;
- ouverture ou fermeture intempestive ;
- fuite interne.

On note que la fuite externe a davantage trait à l'occurrence d'un événement initiateur qu'à la caractérisation du niveau de confiance, néanmoins ce scénario doit être considéré lors du choix de la technologie de mesure de maîtrise des risques.

Les vannes dédiées à la sécurité doivent, dans la mesure du possible, être à sécurité positive. C'est-à-dire que lorsque les défaillances principales (rupture ligne, perte signal, blocage... et perte d'alimentations) surviennent, ces dernières conduisent l'équipement à se mettre en situation sécuritaire stable (cf. OMEGA 10, paragraphe 4.5.3.2 et paragraphe 3.4.2 de ce présent rapport).

La fuite à travers la vanne (fuite interne) intervient lorsque la vanne n'est pas complètement fermée. Cela peut être dû à diverses raisons, notamment :

- non fermeture complète en raison de la saleté, de la rouille ou des débris ;
- course insuffisante de l'actionneur ;
- le siège est endommagé ;
- le joint est endommagé.

Pour les fuites vers l'atmosphère (externe) les causes courantes sont :

- le joint entre le corps et le chapeau est endommagé ;
- le presse étoupe (Stem Packing) est usé, lâche ou endommagé.

Les causes de défaillances et leurs occurrences varient selon les technologies employées, cependant de manière générale les vannes sont soumises à la fatigue, au vieillissement, et l'usure. Ces causes pourront être à l'origine de dégradations, qui, elles-mêmes mèneront à des défaillances si elles ne sont pas détectées et corrigées à temps. On liste notamment :

- la détérioration des matériaux par la corrosion, l'érosion, la cavitation, l'abrasion, le fluage, la fissuration, le cyclage température-pression, etc. qui peut mener à une diminution des étanchéités ;
- le blocage qui intervient lorsque le couple de résistance devient supérieur à celui que peut fournir l'actionneur. Il peut être causé par le gommage, le colmatage, le dépôt, la polymérisation, la présence d'un corps étranger, etc. ;
- la dérive des couples de serrages de la boulonnerie des différents assemblages provoqués par la fatigue et le vieillissement.

La manifestation des dégradations dans le temps ou à la suite de l'utilisation de la vanne ainsi que leurs conséquences sur le système différeront selon les composants.

En complément, l'Ineris a réalisé une analyse générique des modes de défaillances et leurs effets qui est présenté dans les tableaux en Annexe 7.

Les vannes étant constituées de différents blocs fonctionnels, chacun ayant un objectif précis, il est possible de redonder certaines sous-fonction.

Comme cela est présenté à l'annexe 3, il est notamment possible de redonder les électrovannes, l'apport d'énergie instrument ou bien l'ensemble du système de déclenchement (composé des vannes de pilotages des énergies de commandes, des tuyaux, câbles et relais...).

D'autres redondances, telles que celle du vérin ou du système de compression (ressort) sont théoriquement envisageable, mais nécessitent des ajustements souvent trop contraignants lors de la conception des pièces.

La Figure 8 représente le schéma fonctionnel d'une vanne avec une redondance de l'électrovanne afin d'éviter l'absence de réalisation de la fonction de sécurité à la sollicitation.

La Figure 9 représente le schéma fonctionnel d'une vanne avec une redondance de l'électrovanne afin d'éviter les déclenchements intempestifs.

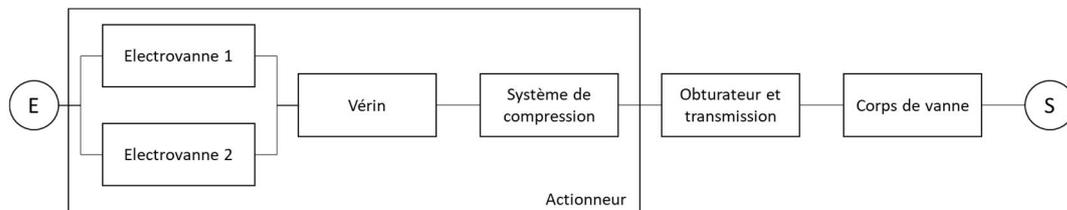


Figure 8 : Schéma fonctionnel d'une vanne avec la redondance du système de l'électrovanne pour fiabiliser la fonction de sécurité

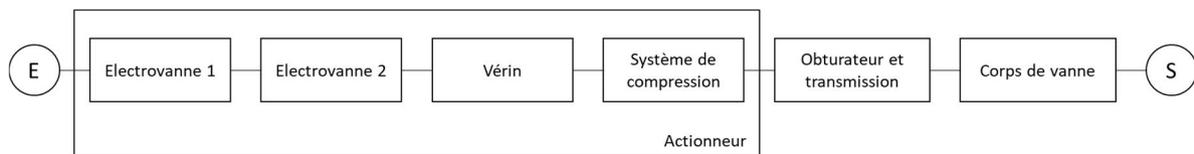


Figure 9 : Schéma fonctionnel d'une vanne avec la redondance du système de l'électrovanne pour éviter les déclenchements intempestifs

La schématisation en bloc fonctionnel fait apparaître l'antagonisme entre la fiabilisation de la fonction de sécurité et l'évitement des déclenchements intempestifs de la vanne.

Il est à noter, qu'il ne s'agit que d'une représentation fonctionnelle et l'analyse des risques couplée à une évaluation quantitative peut justifier l'utilisation d'une architecture vis-à-vis d'une autre. En effet, bien que ces différentes architectures améliorent la fiabilité globale du système, elles ne permettent pas systématiquement de retenir un niveau de confiance égal ou supérieur à 1.

Un niveau de confiance peut être attribué à un dispositif de sécurité et justifié de plusieurs manières.

**Tout d'abord, lorsque la vanne est efficace à 100% dans son contexte d'utilisation, qu'elle est maintenue et testée régulièrement et qu'elle est conçue comme un dispositif à sécurité positive ou bien lorsque l'alimentation en énergie est fiabilisée, le niveau de confiance par défaut peut être pris égal à 1, en l'absence de toute autre information pouvant justifier un niveau de confiance supérieur.**

La démonstration de la performance d'une vanne basée sur son REX ("validation par l'usage") permet de justifier un niveau de confiance de 2. Cette démonstration repose sur une utilisation pour la/les mêmes fonctions et dans des conditions similaires et sur l'exploitation quantitative du REX (nombre de dispositifs observés, durée de fonctionnement cumulée, événements constatés (sollicitations, déclenchements intempestifs, défaillances...)).

Il est également envisageable, sur la base d'une analyse des défaillances que la détection systématique et la maîtrise des défaillances permettent de justifier un niveau de confiance 2.

Finalement, en ce qui concerne les équipements n'étant pas validés par l'usage, un projet de norme actuellement en rédaction du TC69 du comité européen de normalisation, pourrait permettre à l'avenir

de certifier les parties mécaniques de la vanne. Cette certification associée à la norme IEC 61508 permettrait de certifier l'intégralité du système vanne et de justifier un niveau de confiance de 2.

Afin d'améliorer le niveau de confiance au-delà de NC2, il est possible de placer des vannes en redondance. La configuration retenue varie selon que la vanne soit ouverte ou fermée en position de sécurité.

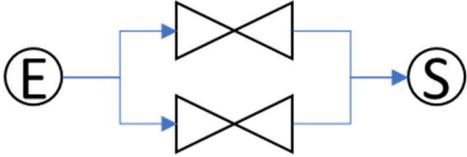
Position de sécurité	Schéma fonctionnel
Ouvverte	
Fermée	

Tableau 2 : Schémas fonctionnels de systèmes de 2 vannes en redondance pour fiabiliser la fonction de sécurité

De la même manière que pour les redondances d'actionneurs, la mise en redondance des vannes pour fiabiliser la fonction de sécurité peut dégrader la disponibilité du procédé à sécuriser. Pareillement, la mise en redondance de vannes pour améliorer la disponibilité d'un procédé peut dégrader la sécurité. De ce fait, il convient d'être vigilant lors de la mise en redondance d'actionneurs et d'étudier les conséquences sur le système.

## 5 Tests et maintenance

Une vanne est soumise à des contraintes physiques et chimiques liées à son utilisation, au process, à l'environnement, ainsi que potentiellement aux phénomènes de cavitation et de vaporisation. Ces détériorations peuvent dégrader la performance de la vanne. Il est donc nécessaire qu'elle fasse l'objet d'un suivi dans le cadre d'une politique de tests et de maintenance pour maintenir son niveau de performance dans le temps.

Le suivi du maintien dans le temps de la performance d'une vanne repose donc sur trois aspects :

1. Des inspections visuelles périodiques qui permettent de contrôler l'état général de la vanne (corrosion, flexibles, câbles...), l'état des presse-étoupes, la propreté des événements et l'échappement des électrovannes.
2. Des tests périodiques de bon fonctionnement qui peuvent conduire à des réparations (maintenance corrective et/ou curative) si les résultats sont négatifs. Ces tests peuvent être classés en deux catégories :
  - a. les tests automatiques ou périodiques en ligne réalisés process en marche ;
  - b. les tests périodiques hors ligne réalisés lors des arrêts du process.
3. Des révisions programmées (maintenance préventive et/ou prédictive) lors des arrêts process.

La dépose et l'inspection des composants représente la maintenance la plus lourde et la plus contraignante mais qui permet de détecter un maximum de défauts et de prévenir les défaillances par de la maintenance préventive.

Dans la mesure du possible, tous les éléments (clapet anti-retour, réserve d'air, traçage, calorifugeage, ignifugeage, injection liquide tampon, PE etc.) associés aux vannes de sécurité doivent également être testés et inspectés périodiquement.

La périodicité de contrôle et de maintenance des vannes n'est pas fixée réglementairement hormis pour les vannes et accessoires de sécurité régis par la DESP.

La périodicité sera donc fixée au cas par cas et dépendra des critères suivants :

- des exigences de fiabilité et/ou disponibilité (par le calcul de la  $PFD_{avg}^3$ ) et/ou du retour d'expérience (utilisateurs, fournisseurs) et/ou des règles et standards de construction ;
- d'éventuelles prescriptions réglementaires ou règles assurantielles applicables ;
- des prescriptions et recommandations de maintenance des fournisseurs, au minimum celles qui concernent la sécurité ;
- des arrêts périodiques des unités (arrêts programmés ou réglementaires).

### 5.1.1 Installation et mise en service (commissioning)

Les procédures d'installation et mise en service doivent permettre d'éviter et détecter les défauts lors de cette phase et de vérifier la validation globale de la fonction de sécurité.

L'installation doit être faite suivant les instructions du fournisseur, par des personnes compétentes et suivant des procédures et moyens adaptés.

Les tests de réception (commissioning) doivent être réalisés lors de l'installation de la vanne pour justifier d'un état initial et de l'atteinte des objectifs de performance. Ces tests comprennent :

- l'inspection visuelle de la vanne, de ces supports, raccords et accessoires ;
- la vérification du câblage correct sur les bonnes sorties automatiques et de la bonne identification de l'équipement et de sa position sur les écrans de supervision ;
- le test fonctionnel de l'équipement et de ses commandes d'ouverture et fermeture ;
- l'atteinte des différents objectifs de performance définis : temps de manœuvre, étanchéité ;
- pour les architectures redondantes (électrovannes redondantes, ou vannes en redondances), les différentes voies doivent être testées.

Ces tests en réception doivent être définis dans une procédure et faire l'objet d'une fiche de test. Ces résultats pourront servir de référence pour les essais périodiques.

---

<sup>3</sup>  $PFD_{avg}$  : Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation

Pour les installations existantes ne disposant pas de validation initiale, les essais périodiques peuvent être utilisés comme justification.

## 5.2 Tests périodiques de bon fonctionnement

Les tests périodiques ont pour objectif de détecter les défaillances dangereuses (blocage, délais de manœuvre trop long, fuites). Ils peuvent être réalisés automatiquement grâce à la capacité de diagnostic intégré à certaines vannes et/ou lors des révisions programmées.

Les diagnostics automatiques possibles sont :

- Full or partial stroke test : test d'ouverture et de fermeture de la vanne en ligne ;
- Mesure de l'évolution du temps de fermeture afin de prévoir les défaillances ;
- Pour les actionneurs pneumatiques : mesure de la pression du réseau d'air nécessaire à la manœuvre de la vanne (fuite d'air, delta P dû à un encrassement) ;
- Pour les actionneur hydraulique mesure de la pression de l'huile nécessaire à la manœuvre de la vanne et de sa qualité en continu.

Essais de diagnostics ou périodiques	Déteçtabilité
PST (Partial Stroke Test)	Perte de manœuvrabilité partielle
Actionneur	Perte de manœuvrabilité
FST (Full Stroke Test)	Perte de manœuvrabilité complète, allongement du temps de réponse
Dépose et inspection	Perte de manœuvrabilité, usure, corrosion, vieillissement...

Le PST peut se faire sans trop de contrainte pour le process (la production) alors que le FST nécessite l'arrêt de la production pour un procédé fonctionnant en continu. Pour éviter la perte de production, la tendance peut être d'allonger l'intervalle de temps entre deux dépose et inspection de vanne, voire de rallonger la période de temps entre deux Full Stroke Test. Une solution peut être de compenser ces rallonges par une utilisation accrue de tests à réaliser en ligne tels que les essais diagnostics en continus et les Partial Stroke Tests. Néanmoins, il est essentiel d'identifier au préalable les modes de défaillances et d'analyser les taux de couvertures de chacun des essais de diagnostics et de essais périodiques. Il est dans tous les cas, nécessaire d'observer les prescriptions du fabricant

Le suivi des temps de réponse peut se faire en manuel (chronomètre) ou par des logiciels (type SOE<sup>4</sup>) à l'aide des fins de course. Les essais doivent être effectués dans la mesure du possible au plus proche des conditions normales du fonctionnement du procédé.

Ces diagnostics automatiques (qui ne sont pas systématiques) sont réalisés grâce à l'instrumentation équipant les vannes et permettent la détection de défauts et donc d'optimiser sa maintenance. Par exemple :

- Fuite d'air instrument ;
- Qualité de l'air instrument ;
- Pression d'alimentation ;
- Écart de course et ajustement du relais ;
- Friction en service et tendances de la friction ;

<sup>4</sup> SOE : (Sequence Of Events) : journalisation des événements (historique des alarmes)

- ...

Dans le cadre d'une politique de maintenance prédictive, avec ces vannes dites "intelligentes", un diagnostic personnalisé peut être configuré pour recueillir les données de paramètres qui renseignent sur l'évolution de dégradations potentielles. Ce diagnostic personnalisé peut permettre de déceler des fonctionnements anormaux et après exploitation et analyse peuvent alerter en amont sur l'occurrence d'une défaillance critiques. Généralement, les données sont collectées par le personnel chargé de la maintenance, puis transmis à des experts pour une analyse approfondie sur la base de logiciels spécifiques.

Cette capacité d'évaluation des performances d'une vanne en service permet d'améliorer la planification des arrêts et d'optimiser le temps d'arrêt, puisque les informations rassemblées peuvent être utilisées pour adapter la maintenance de la vanne exactement selon les besoins, mais aussi pour identifier les vannes qui sont en bon état.

### 5.3 Révisions programmées (maintenance)

Les révisions programmées ont pour objectif d'effectuer les réparations nécessaires à la remise à niveau d'une vanne lors des arrêts programmés du process. Ces révisions consistent, d'une part aux réparations identifiées lors des essais de diagnostics et périodiques réalisés en ligne (mesure de l'étanchéité, du temps de fermeture, etc.) et d'autre part au remplacement des pièces conformément aux préconisations du constructeur. A titre d'exemple, les situations suivantes peuvent être rencontrées :

- Les conditions de fonctionnement contraignantes peuvent endommager la surface de contact de la (ou des) bague(s) de siège et empêcher la vanne de se fermer correctement.
- Selon les propriétés physico-chimiques du fluide qui traversent la vanne, les éléments qui assurent l'étanchéité entre la tige et le fluide se dégradent et peuvent conduire à des fuites. Dans ce cas, la révision du guidage conduit au remplacement des presse-étoupes et des joints.
- Une mauvaise fermeture d'une vanne peut être liée aux déformations de la tige (tassement, fléchissement dû à un mauvais réglage mécanique, à une tension de réglage des ressorts excessive...). En fonction de l'ampleur de la déformation de la tige, un réglage mécanique sera nécessaire ou bien un changement global de la tige (ensemble mécanique de plusieurs pièces).
- La garniture qui assure l'étanchéité à la pression autour de la tige du corps de vanne d'un robinet à soupape ou d'une vanne d'équerre, doit être remplacée si une fuite se produit autour de la tige ou si la vanne est entièrement démontée.
- En général, la révision des servomoteurs pneumatiques est basée essentiellement sur le changement de la membrane et quelques fois sur le changement des ressorts et des disques. Les défaillances rencontrées pour les membranes sont :
  - ✓ éclatement dû à une surpression,
  - ✓ usure due à une mauvaise qualité de l'air,
  - ✓ fissuration due à un mauvais stockage en magasin,
  - ✓ ...

Les essais d'étanchéité et de temps de fermeture doivent être réalisés avant le démontage de la vanne afin de vérifier que la vanne est toujours fonctionnelle entre deux révisions et ainsi permettre d'adapter les fréquences de maintenance fonctionnelle et de test.

Les points de vigilance de maintenance à considérer sont :

- les composants assurant l'étanchéité : resserrer le chapeau ou les garnitures sinon changer les joints, soufflet, presse-étoupe/presse-garniture ;
- les points morts sujets à l'accumulation de particules et à la corrosion ;
- les portées et sièges d'étanchéité ;
- la transmission.

Les étapes recommandées pour une révision générale en atelier sont les suivantes :

1. Essais d'étanchéité et de temps de fermeture avant démontage,
2. Démontage,
3. Nettoyage (sablage et peinture du corps, détartrage et dégraissage des éléments...),
4. Réparations (remplacement des pièces usées par des pièces d'origine et ajustage, lubrification des éléments avec de la graisse adaptée...),
5. Remontage,
6. Essais et vérification.

Pour garantir les performances attendues de la vanne, il est impératif que les pièces de rechange soient fournies par la fabricant ou un fournisseur reconnu. Il est très important de suivre toutes les instructions d'assemblage du fabricant d'origine.

Les points à considérer pour les essais avant démontage de la vanne sont :

- test d'étanchéité (extérieure et intérieure) en ligne si possible ou sur banc d'essai ;
- manipulation de la vanne pour détecter les grippages et s'assurer de la manœuvrabilité et du temps de fermeture/ouverture ;
- mesure du tarage du ressort de rappel.

Pour les inspections lors de la dépose une attention sera portée :

- aux éléments assurant l'étanchéité (joints, garniture de la tige, soufflet, presse étoupe) ;
- aux pièces concernées par des frottements et les chocs liés aux mouvement (bagues, roulements, arbres, certains joints, pistons, sièges et portées).

Seront également inspectés les éventuels filtres en amont de la vanne ou sur l'énergie auxiliaire ainsi que les pièces soumises aux vibrations, à la fatigue et à l'usure liée aux utilisations et au vieillissement.

L'inspection des pièces métalliques peut être réalisée par des méthodes de contrôles non destructifs tels que :

- Contrôle de surface magnétoscopique : un champ magnétique est généré en appliquant un courant à travers la pièce. Une poudre magnétique est répartie sur la pièce et indique les zones où le champ magnétique est dévié correspondant aux défauts.
- Ressuage (surface) : Un colorant est appliqué sur la surface à contrôler. Ensuite, l'inspection de la surface à l'aide d'une lumière (visible, UV, noire) permet de détecter les défauts de surface.
- Radiographie : L'application de rayon X et gamma à travers la pièce à contrôler permet de faire apparaître sur un film photographique des défauts, tels que des craquelures, des inclusions de saletés, des rétrécissements internes, etc.
- Ultrason : Après avoir plongé la pièce dans un liquide (eau, huile), des ondes sonores sont propagées dans le milieu en direction de la pièce à inspecter. L'observation des reflets d'ondes permet de détecter les corps étrangers et les discontinuités de métal.

Après la révision générale, la vanne doit être montée sur un banc d'essais spécifique afin de :

- Contrôler l'étanchéité et le temps de fermeture/ouverture ;
- Contrôler l'ouverture maximale ;
- Effectuer les réglages (en particulier de sa course) et étalonnages (mécanique et électrique) nécessaire.

Toutes ces opérations de contrôle et de maintenance doivent faire l'objet d'un rapport de révision. Les rapports de révision seront archivés pour apporter les justifications nécessaires quant au maintien de la performance dans le temps d'une vanne. Leur exploitation permettra également d'effectuer un retour d'expérience.

A la suite d'une maintenance nécessitant la dépose puis la réinstallation de la vanne, il est nécessaire de réaliser à nouveau l'ensemble des étapes de la procédure de montage listées au paragraphe 5.1.1 afin de s'assurer que la vanne a été installée correctement et qu'elle présente les performances attendues.

Pour réaliser les opérations de maintenance lors des révisions périodiques, un stock de pièces de rechange est nécessaire, que ce soit pour la maintenance des vannes ou celle des actionneurs :

- Vanne : éléments de contrôle (clapet/tige, cage, disque, bille, arbre, palier, etc.) ou éléments d'étanchéité (siège, bague de siège, bague d'étanchéité, garniture, etc.) ;
- Actionneur : membrane, les joints toriques, les rondelles, etc.

Le stock de pièce de rechange dépendra du temps d'indisponibilité acceptable pour la vanne. Ce temps d'indisponibilité est lié au temps moyen de réparation (MTTR ou MRT).

De plus, les pièces de rechange doivent être stockées dans un lieu propre et sec et à l'abri de toute activité pouvant les endommager. En général, les fabricants disposent de normes d'emballage qui dépendent de la destination et de la durée de conservation prévue avant l'installation.

## 6 Liste des sources utilisées

1. Emerson, Fisher, Manuel de la vanne de régulation - Cinquième édition 2017
2. Technique de l'ingénieur, Robinetterie industrielle BM 6900
3. UIC, UFIP, Guide méthodologique pour la gestion et la maîtrise du vieillissement des mesures de maîtrise des risques instrumentées (MMRI), DT93, 2011
4. Ineris, Evaluation de la performance des barrières techniques de sécurité OMEGA 10, N° DRA-17-164432-10199B, 2018
5. Technique de l'ingénieur, Jean Serin, Jean Sutter, Robinetterie industrielle, BM 6 900
6. NF EN 61508, Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité, parties 1 à 7, 2011
7. Guichon, Les Technologies, Fondamentaux de la robinetterie industrielle
8. HSE, TUV NEL Ltd, Assessment of valve failures in the offshore oil & gas sector, research report 162, 2003
9. American Petroleum Institute, API 6D Specification for Pipeline Valves, 49 CFR 195.116(d), 2010
10. Cis service, Robinetterie marine, guide technique
11. Association Française des Pompes et Agitateurs, des Compresseurs et de la Robinetterie, Profluid, Guide de la robinetterie industrielle, 2013
12. GFLOW robinetterie industrielle, Normes d'essai des appareils de robinetterie, <https://www.gflow.fr/actualites/27-normes-d-essai-des-appareils-de-robinetterie>, consulté le 30/09/2020 [En ligne]
13. BTS CIRA Rouvière, Vannes de régulation, [http://gatt.fr/CIRA/Cours/Instrum/CIRA2%20-%206\)%20Vannes%20de%20regulation.pdf](http://gatt.fr/CIRA/Cours/Instrum/CIRA2%20-%206)%20Vannes%20de%20regulation.pdf), consulté le 30/09/2020 [En ligne]

## 7 Liste des annexes

- Annexe 1 : Les technologies d'obturateurs
- Annexe 2 : L'actionneur
- Annexe 3 : L'électrovanne
- Annexe 4 : Utilisations particulières
- Annexe 5 : L'étanchéité des vannes
- Annexe 6 : Phénomènes de cavitation, vaporisation et coup de bélier
- Annexe 7 : Analyse générique des défaillances des vannes

Les informations formalisées dans ces annexes peuvent être non exhaustives et sont données à titre indicatif (cf. Préambule).

# Annexe 1 : Les technologies d'obturateurs

## 1 Vannes rotatives

### 1.1 Vannes à tournant ou à boisseau

L'obturateur pivote dans la voie de passage pour arrêter ou autoriser le flux comme par exemple les vannes à tournant sphérique ou les vannes à papillon. Plusieurs formes existent :

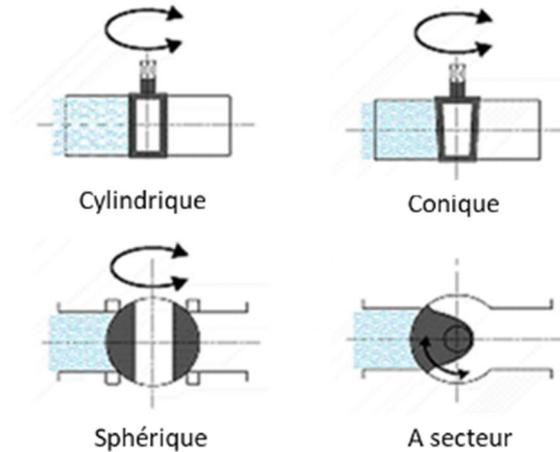
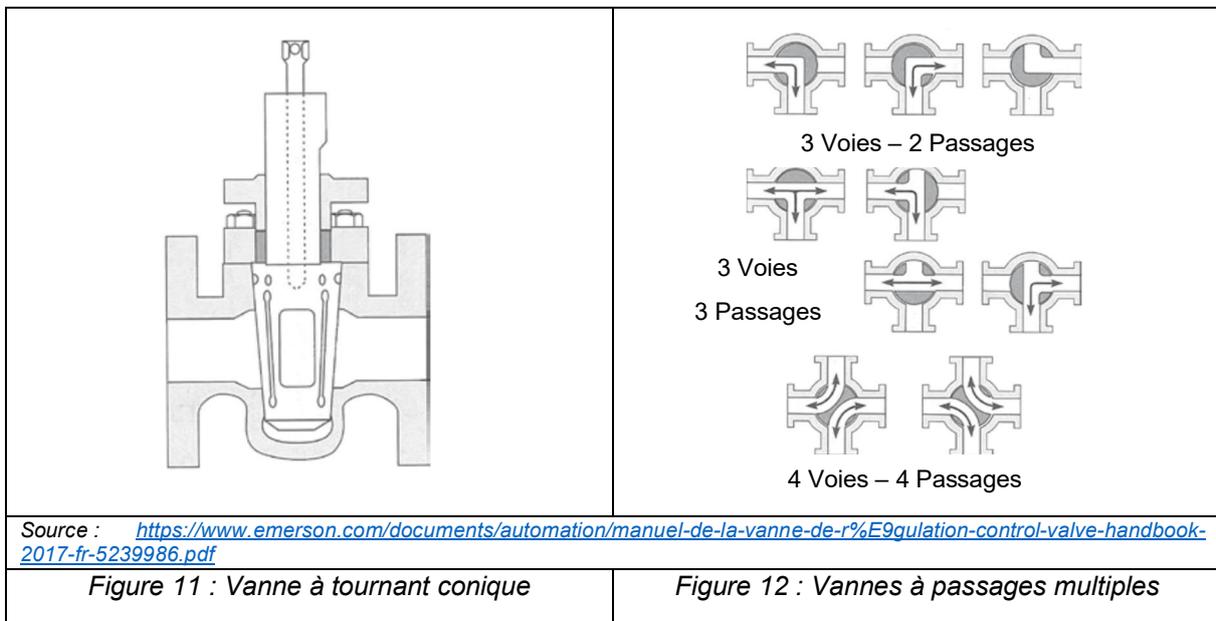


Figure 10 : Vannes rotatives à boisseau

Lorsque la lumière est latérale le tournant est « ordinaire » et lorsque la lumière est centrale, il s'agit d'un tournant « défoncé ».

Les vannes à tournant sont également définies selon la forme du passage. Il existe trois types de vannes à boisseau : à passage Venturi<sup>5</sup>, à passage plein et à passage réduit (parfois appelée « passage régulier »).

Les vannes à boisseau peuvent être lubrifiées ou non et l'élément tournant ainsi que le corps peuvent être revêtus de plastomère ou non. Des modèles existent également en version 3 ou 4 voies.



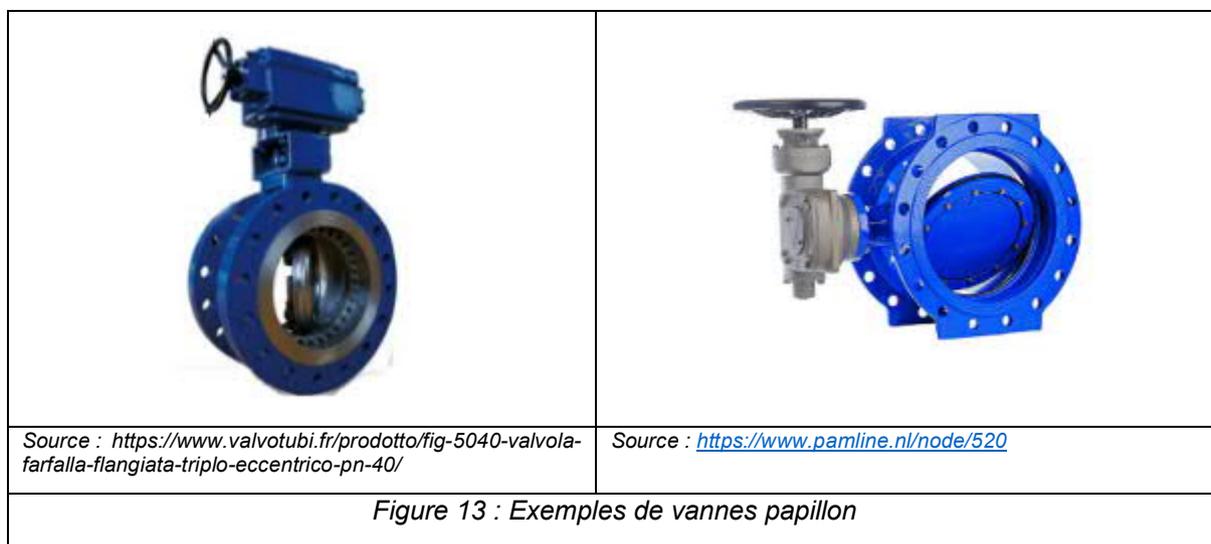
Avantages	Inconvénients
-----------	---------------

<sup>5</sup> Effet Venturi : Accélération de la vitesse d'écoulement du fluide en sortie de vanne par restriction (étranglement) de la voie de passage

<ul style="list-style-type: none"> <li>• faible encombrement</li> <li>• faibles pertes de charge</li> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• manœuvre simple et temps de réponse court</li> <li>• bonne adaptation aux gaz ainsi qu'au fluide à débits et pressions importants</li> <li>• minimise la turbulence du fluide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• température de fonctionnement limitée</li> <li>• réservé aux vannes de petite taille ou de taille moyenne.</li> </ul>
--	--

## 1.2 Vannes papillon

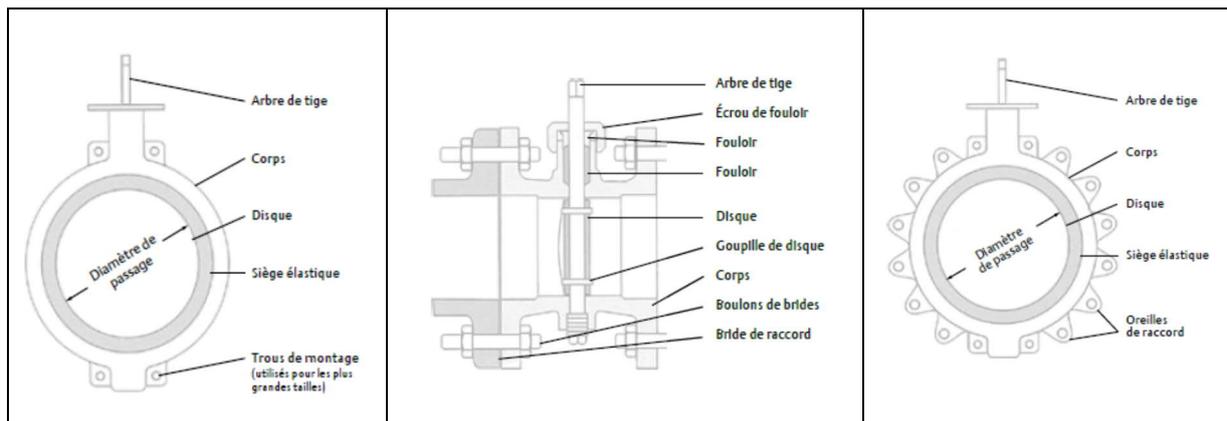
L'obturateur des vannes papillons est un disque qui pivote d'un quart de tour pour ouvrir ou fermer la voie de passage. Les vannes papillon sont très utilisées dans les procédés qui utilisent de l'huile, des produits chimiques et de l'eau. Le siège du disque peut être métallique ou souple (matériaux souples, tels que les élastomères). Dans le cas d'un siège en élastomère, la vanne résistera moins bien aux pressions et températures élevées.



En fonction de la nature des extrémités de raccord de la vanne papillon à la conduite, il est possible de distinguer deux types de vannes papillon :

- **Les vannes papillon entre brides** sont montées entre deux brides et maintenues en place par des boulons. Dans la plupart des vannes papillon entre brides, le siège en élastomère agit comme sa propre garniture à bride.
- Les vannes papillon à oreilles, qui sont un type de vanne entre brides, sont équipées d'oreilles coniques à travers lesquelles les boulons à brides sont vissés et maintiennent la vanne en place, même lorsqu'une bride est retirée.
- **Les vannes papillon à double bride** incorporent deux extrémités qui sont boulonnées individuellement sur les tuyauteries ou les brides de l'équipement. Les garnitures sont utilisées entre les extrémités de la vanne et les brides de raccordement.

Les vannes papillon peuvent nécessiter des actionneurs d'une grande taille ou à haut rendement. Il est possible d'équiper la vanne d'un disque à double écartement afin de minimiser l'usure des portées de siège.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 14 : Vanne papillon entre brides

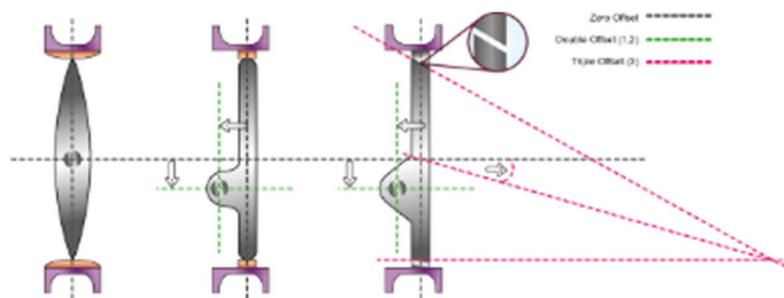
Figure 15 : Vanne papillon à double bride

Figure 16 : Vanne papillon à oreille (entre bride)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• faible encombrement</li> <li>• peu d'entretien</li> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• absence de poche de rétention et point mort (adapté pour les fluides chargés et les pulvérulents)</li> <li>• manœuvre simple et temps de réponse court</li> <li>• parfaite pour les liquides non visqueux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pas de passage intégral</li> <li>• inadapté pour les cas de forte pression différentielle</li> <li>• mauvaise adaptation aux liquides visqueux</li> </ul>

### 1.3 Vanne à excentration

Pour des raisons géométriques, dans le but d'améliorer le contact entre les sièges et l'obturateur et donc l'étanchéité intérieure des vannes, il est possible de modifier la forme de l'obturateur et le matériau des sièges. Pour des raisons pratiques, cela nécessite de modifier la position de l'axe rotatif. On parle alors d'excentration.



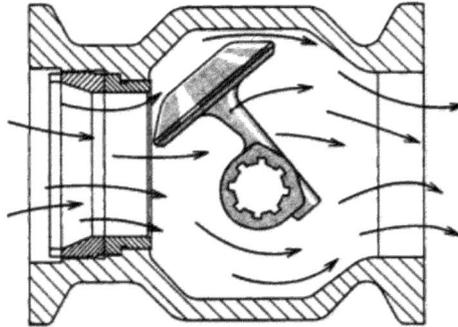
Source : <https://www.processindustryforum.com/article/triple-offset-benefits-triple-offset-butterfly-valves>

Figure 17 : Vannes papillon à excentration nulle, double et triple

**Excentration nulle** : L'obturateur tourne autour de l'axe central, ce qui permet une rotation potentielle de 360. L'étanchéité est obtenue par la déformation du disque du joint souple, ce qui entraîne une friction complète tout au long du cycle de fonctionnement.

**Double excentration** : Le double décalage de l'arbre, par rapport à la ligne médiane de l'alésage et par rapport à la ligne médiane des surfaces d'étanchéité disque / siège, permet de réduire la friction aux premiers degrés de rotation lors de l'ouverture ou de la fermeture de la vanne

**Triple excentration** : Le troisième décalage de l'arbre dans l'axe de l'angle du cône du siège permet d'assurer un contact avec les portées optimal. Les frottements sont évités et le contact s'établit lorsque que le disque vient se placer en butée sur les portées.



Source : [http://gatt.fr/CIRA/Cours/Instrum/CIRA2%20-%206\)%20Vannes%20de%20regulation.pdf](http://gatt.fr/CIRA/Cours/Instrum/CIRA2%20-%206)%20Vannes%20de%20regulation.pdf)

Figure 18 : Vannes à obturateur excentré

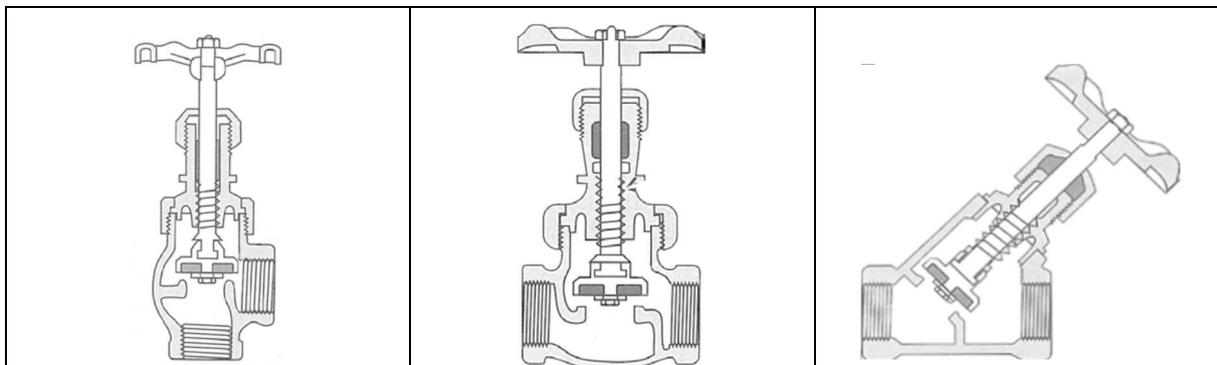
Les vannes à excentration sont recommandées dans les applications où une exigence de qualité d'étanchéité importante est requise ou lorsque le risque d'usure est important. De plus, certaines applications ne se prêtent pas bien aux vannes à excentration nulle qui nécessitent des joints d'étanchéité mous en élastomères, tels que les applications impliquant des produits chimiques agressifs ou des milieux contenant de petites particules sujettes au colmatage des vannes et des conduites.

## 2 Vannes à translation

Il existe plusieurs types de vannes dans lesquelles l'obturateur effectue un mouvement de translation. Ces vannes peuvent être encombrantes à cause de la place nécessaire en extérieur dédié à l'élément translantant.

### 2.1 Vannes à soupape

L'obturateur prend la forme d'une soupape qui bouge parallèlement au fluide. Les vannes à soupapes sont conçues pour être manœuvrées régulièrement et peuvent remplir des fonctions de régulation. Il y existe plusieurs types de corps : incliné ou en Y, droit ou en T, ou d'équerre. L'étanchéité vers l'extérieur est obtenue par un presse-étoupe ou par un soufflet.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 19 : Vanne à soupape d'équerre

Figure 20 : Vanne à soupape à corps droit ou en T

Figure 21 : Vanne à soupape en Y

Au-delà des raisons pratiques d'installation liées à la place occupée, les trois corps de vanne ont des caractéristiques de débit différentes qui pousseront à favoriser un modèle vis-à-vis des autres. Le modèle d'équerre permet moins de restriction de débit que le modèle en T, mais davantage que le modèle en Y. De ce fait, le modèle en Y sera privilégié pour les installations avec des fluides visqueux ou chargés en particules.

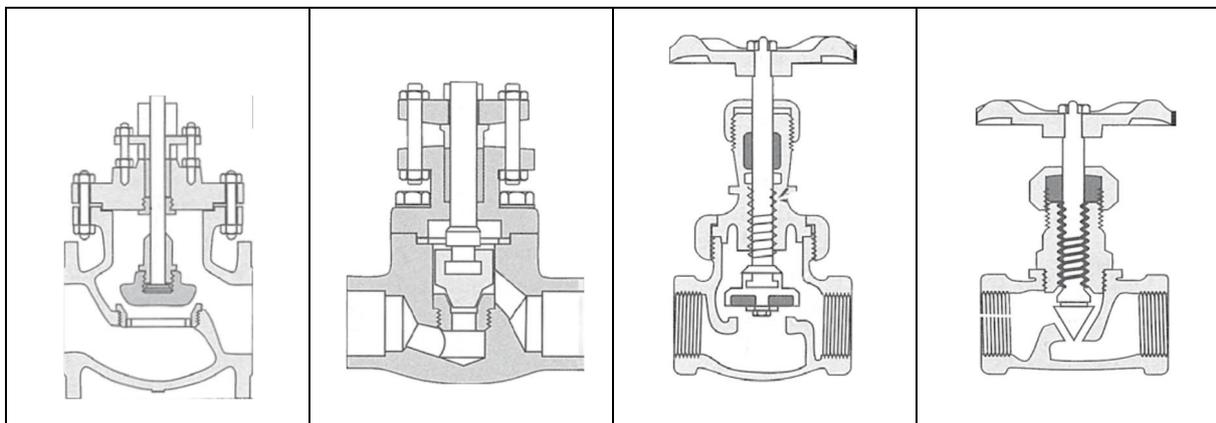
Les vannes à soupapes peuvent être équipées de différents types d'opercules : un disque conventionnel, un clapet-disque, un disque composite ou un pointeau, chacun présentant des avantages et limites différents.

**Disque conventionnel** : La forme conique du disque conventionnel permet de casser les éventuels dépôts qui se seraient accumulés à proximité de la bague de siège.

**Disque à clapet** : Grâce à sa forme allongée, le disque à clapet a une meilleure résistance à l'érosion que le disque traditionnel.

**Disque composite** : Plusieurs matériaux peuvent être utilisés. Les matériaux souples permettront de bloquer les corps étrangers dans le disque au lieu de provoquer des fuites et de rayer le siège.

**Pointeau** : Les vannes à pointeau sont conçues pour les plus petites lignes et sont généralement dédiées à des applications de régulation du débit. Elles sont adaptées aux gaz et aux liquides légers et peu visqueux.



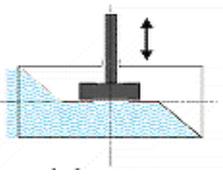
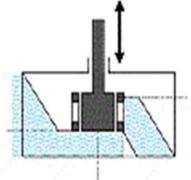
Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

<i>Figure 22 : Vanne soupape à disque conventionnel</i>	<i>Figure 23 : Vanne soupape à clapet-disque</i>	<i>Figure 24 : Vanne soupape à disque composite</i>	<i>Figure 25 : Vanne soupape à pointeau</i>
---	--	---	---

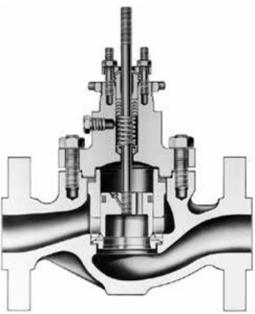
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>bonne étanchéité</li> <li>permet également de réguler le débit</li> <li>couvre une large gamme de pressions et température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>encombrement important</li> <li>peut favoriser l'accumulation de dépôt</li> <li>perte de charge importante</li> <li>pas de passage intégral</li> </ul>

## 2.2 Vannes à piston et vanne à cage

A la différence des vannes à soupape, le piston se déplace entre deux bagues d'étanchéité. Ces bagues peuvent être droites ou obliques.

	
<i>Figure 26 : Schéma de principe d'une vanne à soupape</i>	<i>Figure 27 : Schéma de principe d'une vanne à piston</i>

En ce qui concerne, les vannes à cage, l'obturateur se déplace dans une cage qui assure le guidage de l'obturateur. Le choix du modèle de cage permet d'adapter les propriétés de la vanne en termes de débit, de réduction des turbulences et donc du bruit et d'évitement du phénomène de cavitation.

	
<i>Figure 28 : Coupe de vanne à cage</i>	<i>Figure 29 : Cage à ouverture rapide (gauche), linéaire (milieu), égal pourcentage (droite)</i>
Source : <a href="https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf">https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf</a>	

Il est nécessaire de signaler qu'en pratique les vannes à cage et à piston sont principalement utilisées pour réguler le débit de fluide. Néanmoins, elles sont présentées ici dans un souci d'exhaustivité.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• permet également de réguler le débit</li> <li>• couvre une large gamme de pressions et température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• encombrement important</li> <li>• peut favoriser l'accumulation de dépôt et de blocage de la vanne</li> <li>• perte de charge importante</li> <li>• pas de passage intégral</li> </ul>

### 2.3 Vannes à opercule ou robinet vanne

Les vanne à opercule sont des vanne TOR, c'est-à-dire conçues pour être entièrement ouvertes ou entièrement fermées. Les vannes à opercule sont des vannes multi-tour à passages directs qui autorisent le passage du fluide sur l'intégralité de la section de la vanne.

Elles sont adaptées aux fluides peu visqueux et faiblement chargés en particules, tels que l'air, les gaz, la vapeur, l'eau et l'huile.

On distingue deux familles de vannes à opercule : les vannes à sièges parallèles et les vannes à sièges obliques, ces deux familles pouvant être équipées de différents opercules.

## 2.3.1 Vannes à opercule à sièges obliques

La forme conique de l'obturateur vient au contact des sièges obliques et assure ainsi l'étanchéité. Les frottements et donc l'usure des portées sont limités.

### 2.3.1.1 *Opercule rigide*

C'est le type d'opercule le plus courant. Son fonctionnement est simple, mais il nécessite une grande précision lors de sa conception afin de fournir une étanchéité de qualité. Il ne convient pas aux températures et pressions importantes ou fluctuantes. Il est adapté à l'usage avec de l'air, du gaz, de l'huile, de la vapeur et de l'eau.

### 2.3.1.2 *Opercule élastique ou flexible*

L'opercule élastique possède une bonne résistance et conserve son étanchéité sur une large gamme de température et réagit bien aux températures élevées contrairement aux opercules rigides. Les opercules flexibles seront donc privilégiés dans ces situations.

### 2.3.1.3 *Double opercule*

Dans le cas présent, l'obturateur est un disque à double opercule. Lors de la fermeture, le dernier tour du volant pousse les deux disques contre les sièges coniques. De ce fait, le siège et le disque ne sont au contact l'un de l'autre que lorsque la vanne est fermée ce qui limite la friction qui provoque l'usure des sièges et des disques.

Lors de l'installation, la tige de la vanne doit être à la verticale (vanne debout), ce qui garantit que les disques ne se séparent pas avant la fermeture.

Ces vannes ont une très bonne résistance aux différentes températures et pressions

## 2.3.2 Vannes à opercule à sièges parallèles

Le robinet vanne à double disque comprend deux disques et sièges parallèles. La fermeture du double disque est effectuée par un écarteur / ressort, ou opercule, qui pousse les disques parallèles contre les sièges.

Bien que le siège et le disque ne soient au contact l'un de l'autre que lorsque la vanne est fermée ce qui limite la friction, les frottements sont plus importants pour les vannes à sièges obliques que les vannes à sièges inclinés. De ce fait les matériaux doivent donc être adaptés en conséquence.

Ces vannes sont peu sensibles aux déformations liées à la pression et à la température et sont faciles d'entretien.

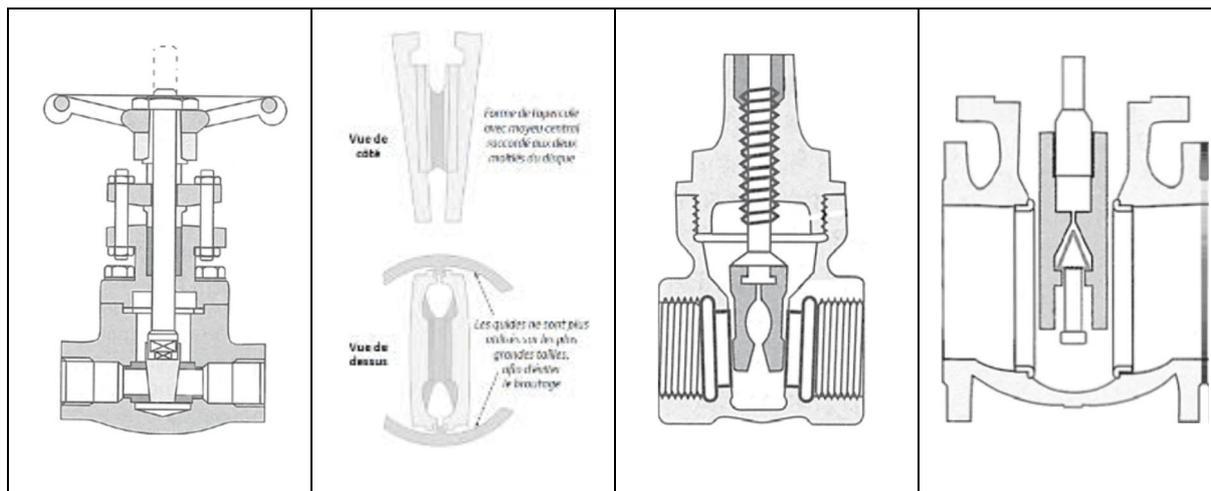
Pour les mêmes raisons que la vanne à double opercule, lors de l'installation la vanne doit être à la verticale.

### 2.3.2.1 *Opercule à libre dilatation*

L'opercule est fermé de deux disques écartés par un ressort qui les maintiens contre les sièges. L'étanchéité est assurée par l'effet autoclave lié à la différence de pression entre l'aval et l'amont, un seul des disques assure l'étanchéité.

### 2.3.2.2 *Opercule à dispositif de blocage*

L'obturateur comporte deux disques qui sont bloqués sur les sièges en position de fermeture.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

<i>Figure 30 : Vanne à opercule rigide</i>	<i>Figure 31 : Disque à opercule flexible</i>	<i>Figure 32 : Vanne à double opercule</i>	<i>Figure 33 : Vanne à double disque</i>
--	---	--	--

Finalement, on trouve également des vannes à opercule surmoulé d'élastomère qui présente une meilleure étanchéité.

Bien que chaque opercule ait ses spécificités, il est possible de relever les principaux avantages et inconvénients des vannes à opercules.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénient</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustesse</li> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• domaine étendu de température et pression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• non adapté pour les fluides chargés</li> <li>• mauvais temps de réponse</li> <li>• encombrement peut être important.</li> </ul>

## 2.4 Vannes guillottes

Comme la vanne à opercule, la vanne guillotine est une vanne d'isolation. La principale différence est que cette dernière est composée d'une pelle pouvant se fermer à travers des fluides visqueux. S'agissant d'une vanne à passage direct, les pertes de charges sont très faibles en position totalement ouverte.

Les vannes guillottes sont particulièrement adaptées pour isoler les réseaux où le taux de matière solide en suspension dans le fluide est élevé. Elles sont également adaptées pour des fluides corrosifs, abrasifs ou très visqueux, notamment : les boues, les huiles, les fluides visqueux et inflammables, mais on les trouve aussi sur des réseaux d'eaux usées et d'eaux claires.



Source : <http://www.pamline.fr/catalog/details/RASRV28VAG900>

Figure 34 : Vanne guillotine

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustesse</li> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• domaine étendu de température et pression</li> <li>• adaptée aux fluides épais, chargés en particules ou corrosifs</li> <li>• commande parfaitement linéaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• encombrement peut être important</li> </ul>

Le temps de réponse des vannes guillotine est très variable selon la technologie d'actionneur et la taille de la vanne.

## 2.5 Vannes à membrane

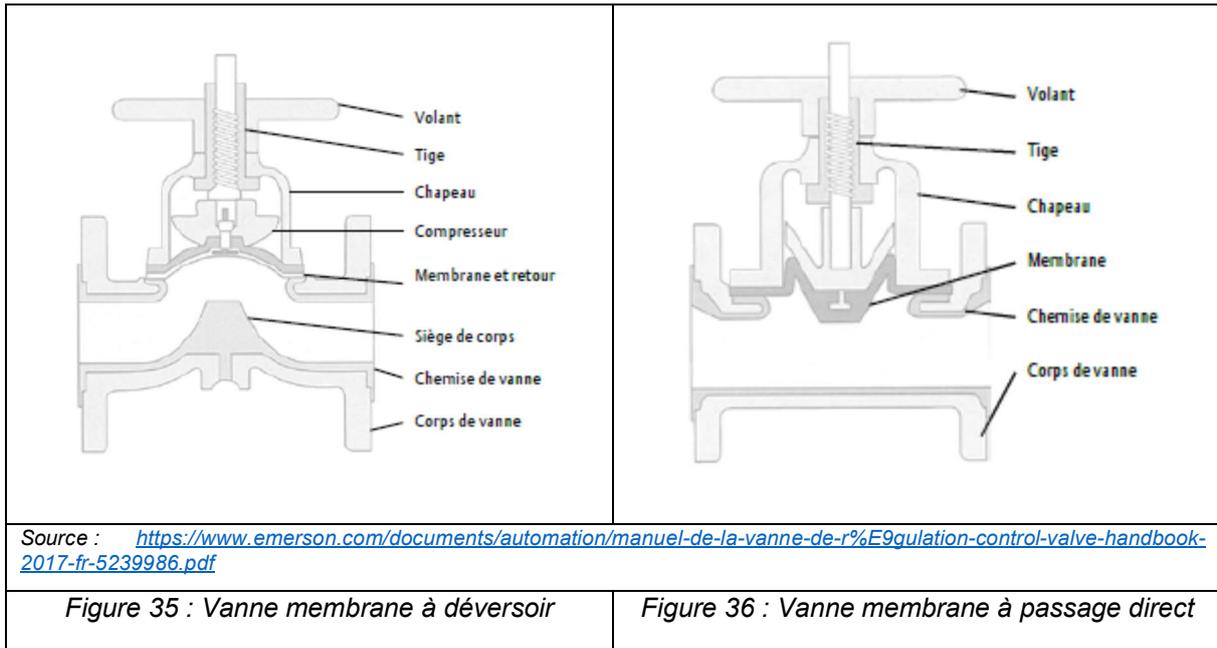
Les vannes à membrane (parfois appelées vannes Saunders) sont constituées d'un obturateur déformable. Elles ont la particularité d'isoler les pièces en mouvement du corps de la vanne et de son contenu par une membrane flexible permettant ainsi d'éviter la contamination du fluide par les lubrifiants de la garniture. En conséquence, elles possèdent une bonne étanchéité et ne requièrent pas de presse-étoupe.

Elles sont donc utilisées pour des applications nécessitant une protection contre les risques de contamination comme dans l'industrie pharmaceutique et alimentaire ou pour des applications utilisant des produits dangereux pour l'environnement et les personnes. Elles sont également adaptées aux procédés chargés en particules solides ou étant corrosifs.

Les vannes à membrane peuvent être classées en deux familles : à déversoir (les plus communes) ou à passage direct.

Les vannes à déversoir comprennent une section surélevée (déversoir) à mi-chemin de la vanne, qui sert de point de fermeture pour la membrane flexible. Le déversoir permet de raccourcir le mouvement de la membrane et de prolonger sa durée de vie.

Les vannes à passage direct sont plus adaptées aux fluides visqueux ou contenant des particules solides.

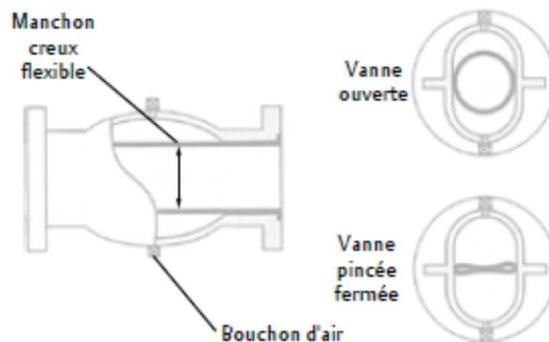


Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustesse</li> <li>• bonne étanchéité</li> <li>• parfaite isolation du fluide avec la partie mobile</li> <li>• adaptée aux fluides corrosifs et aux fluides chargés en particules</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mauvaise tenue aux pressions et températures élevées</li> </ul>

## 2.6 Robinet-vanne à manchon

Le robinet-vanne à manchon utilise une membrane flexible située à l'intérieur d'un manchon. Pour arrêter la circulation du fluide, la membrane est pincée manuellement ou électriquement.

Ils sont adaptés aux lignes contenant des corps étrangers en suspension, des boues et des poudres solides.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 37 : Robinet-vanne à manchon

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> <li>• adaptée aux fluides corrosifs et aux fluides chargés en particules solides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mauvaise tenue aux pressions et températures élevées</li> </ul>

## Annexe 2 : L'actionneur

### 1 Actionneurs manuels

L'actionneur manuel peut être un volant ou une poignée. Il existe différentes configurations :

- commande par réducteur pour réduire l'effort ;
- commande par renvoi d'angle pour pivoter l'actionneur de 90 ;
- volant à chaîne dans le cas d'un actionneur en hauteur ;
- utilisation d'une tige d'extension dans le cas d'un actionneur en niveau bas.

		
Source : <a href="https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf">https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf</a>		Source : <a href="https://www.hellopro.fr/images/produit-2/0/0/6/vanne-papillon-fluide-industriel-epdm-924t-3305068-6505600.jpg">https://www.hellopro.fr/images/produit-2/0/0/6/vanne-papillon-fluide-industriel-epdm-924t-3305068-6505600.jpg</a>
<i>Figure 38 : Actionneur manuel pour les vannes à tige montante</i>	<i>Figure 39 : Actionneur manuel pour les vannes rotatives</i>	<i>Figure 40 : Vanne manuelle à poignée</i>

### 2 Actionneurs commandés ou servomoteurs

Le servomoteur remplit deux fonctions principales, à savoir : lutter contre la pression statique du fluide agissant sur le clapet et assurer l'étanchéité de la vanne. Il fonctionne grâce à l'apport d'une énergie auxiliaire qui peut être :

- de l'air : actionneur pneumatique ;
- de l'électricité : actionneur électrique ou électromagnétique<sup>6</sup> ;
- de l'eau ou de l'huile : actionneur hydraulique.

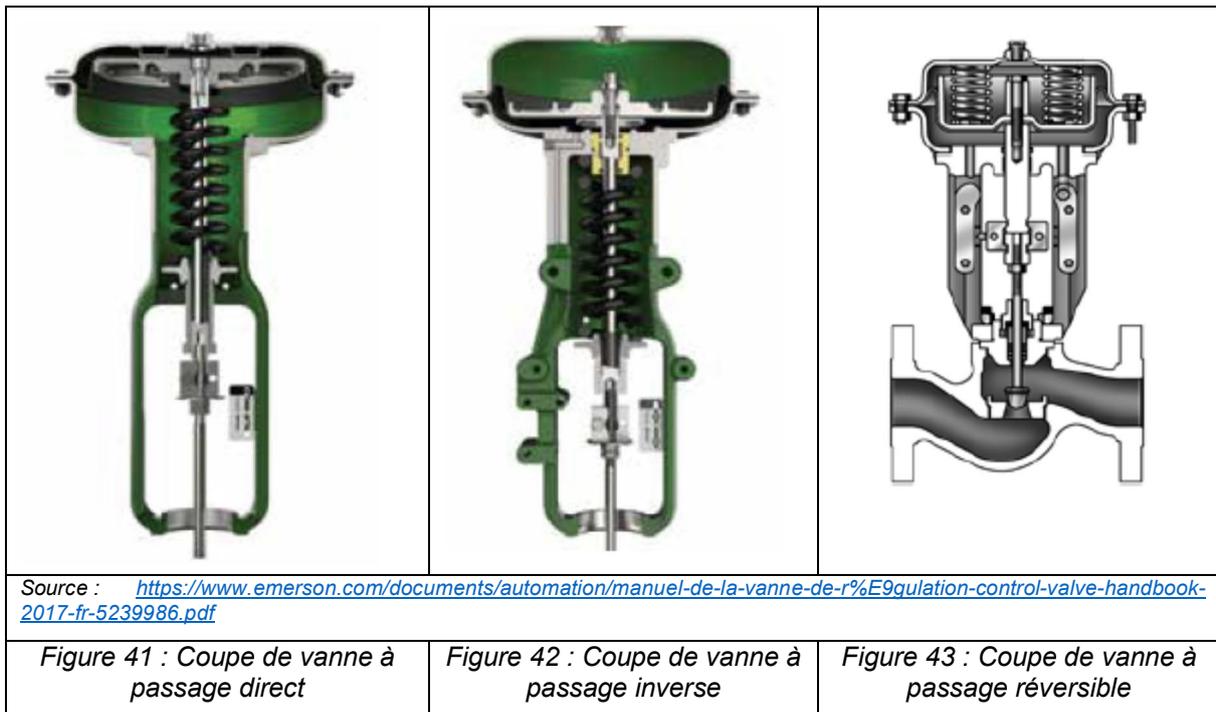
<sup>6</sup> L'énergie électromagnétique est utilisée pour ouvrir et fermer les électrovannes qui pilotent les actionneurs des vannes de sécurité.

## 2.1 Actionneurs pneumatiques

### 2.1.1 Actionneurs à membrane

L'actionneur à membrane est de conception simple et est couramment utilisé. Il existe 3 types :

- à passage direct : la pression de l'air pousse la membrane vers le bas et déploie la tige d'actionneur ;
- à passage inverse : la pression d'air pousse la membrane vers le haut et rétracte la tige de l'actionneur ;
- à passage réversible : l'actionneur peut être monté à passage direct ou inverse.



La pression d'alimentation en air de la vanne dépend de la force nécessaire pour la manœuvrer. Elle est liée à la taille de l'actionneur.

### 2.1.2 Actionneurs à piston

Les actionneurs à piston pneumatique sont utilisés lorsque la manœuvre de la tige nécessite une forte pression (jusqu'à 10,3 bars).

Ils peuvent être à rappel par ressort ou à deux passages afin de manœuvrer l'arbre dans les deux directions. Les actionneurs à rappel munis d'un ressort simple sont préférés pour les applications de sécurité afin de pallier les défaillances en cas de manque d'énergie (cf. paragraphe 3.4.2 de l'annexe 1).

Pour les vannes rotatives, le mouvement linéaire du piston provoqué par le fluide de pilotage entraîne une rotation de 90° de la vanne connectée à l'actionneur via une interface mécanique qui sert d'accouplement entre la vanne et l'actionneur.

		
<p>Source : <a href="https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf">https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf</a></p>		
<p><i>Figure 44 : Vanne de régulation à actionneur à piston à deux passages</i></p>	<p><i>Figure 45 : Actionneur à piston</i></p>	<p><i>Figure 46 : Vanne de régulation à actionneur à piston à arcade Scotch</i></p>

### 2.1.3 Actionneurs à rack et pignon

Les actionneurs pneumatiques à rack et pignon permettent de convertir un mouvement linéaire en un mouvement de rotation. Ils sont donc utilisés pour les vannes rotatives et généralement pour des applications marche/arrêt. Ils peuvent être à simple ou double effets (cf. Annexe 2).



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

*Figure 47 : Actionneur à rack et pignon*

## 2.2 Actionneurs hydrauliques (ou électrohydraulique)

Les actionneurs électrohydrauliques destinés aux équipements de sécurité sont constitués d'un vérin dans lequel de l'huile sous pression exerce une force qui s'oppose à celle d'un ressort de rappel afin de maintenir la vanne en position de fonctionnement. Lors du déclenchement de la vanne ou de la perte d'énergie, l'huile est vidangée et la vanne passe en position de sécurité.

Les systèmes hydrauliques offrent de nombreux avantages et permettent en particulier :

- la transmission de forces et de couples élevés ;
- une grande souplesse d'utilisation ;
- une très bonne régulation de la vitesse des actionneurs du fait de l'incompressibilité du fluide ;
- la possibilité de démarrer les installations en charge ;
- une grande durée de vie des composants, du fait de la présence de l'huile.

Cependant, les systèmes hydrauliques engendrent également des inconvénients :

- risques d'accidents dus à la présence de pressions élevées (50 à 700 bars) ;
- fuites entraînant une diminution du rendement ;
- pertes de charge dues à la circulation du fluide dans les tuyauteries ;
- risques d'incendie, l'huile est particulièrement inflammable ;

- technologie coûteuse (composants chers, maintenance préventive régulière).

## 2.3 Actionneurs électriques

Les actionneurs électriques emploient un moteur électrique pour déplacer le clapet de la vanne. Ils sont généralement utilisés dans les cas où l'air instrument n'est pas accessible ou lorsque le nombre de vannes présentes ne justifie pas un réseau d'air comprimé.

On trouve sur le marché plusieurs technologies d'actionneur électrique, notamment les actionneurs rotatifs à vis sans fin ou qui fonctionne pas à pas, ainsi que les actionneurs linéaires.

Certains modèles peuvent être munis de ressorts de rappel afin de placer la vanne dans sa position de sécurité en cas de manque d'énergie.

Il est possible d'ajouter une commande de secours débrayable manuelle comme cela apparaît sur les Figure 48 et Figure 49.

		
<p>Source : <a href="https://www.gmi-robinetterie.com/fr/search2?q=actionneur+%C3%A9lectrique">https://www.gmi-robinetterie.com/fr/search2?q=actionneur+%C3%A9lectrique</a></p>		<p>Source : <a href="https://www.rotork.com/en/products-and-services/electric-actuators/schischek/exmaxlinexrun">https://www.rotork.com/en/products-and-services/electric-actuators/schischek/exmaxlinexrun</a></p>
<p>Figure 48 : Actionneur électrique quart de tour</p>	<p>Figure 49 : Actionneur électrique multi-tour</p>	<p>Figure 50 : Actionneur électrique linéaire</p>

## 2.4 Actionneurs pyrotechniques

Lorsque, pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de fermer ou d'ouvrir la vanne très rapidement (de l'ordre de quelques millisecondes), il est possible d'équiper la vanne d'un actionneur pyrotechnique.

A la suite du déclenchement du dispositif pyrotechnique, la réserve d'énergie sous pression maintenant la vanne en position d'opération est libérée et permet de placer la vanne dans sa position de sécurité.

## 2.5 Dimensionnement de l'actionneur

La force nécessaire pour actionner une vanne linéaire est la somme de :

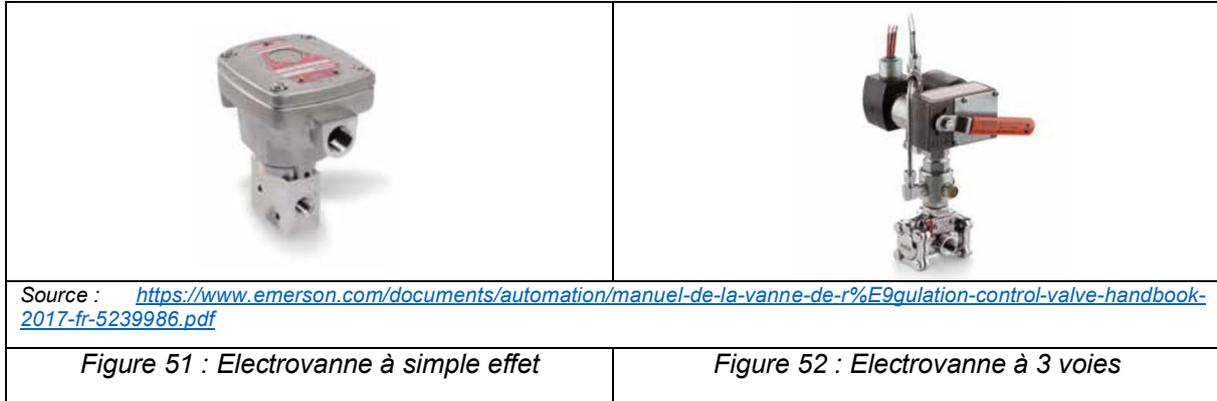
- la force nécessaire pour contrecarrer le déséquilibre statique du clapet de vanne ;
- la force nécessaire à générer un effort sur le siège ;
- la force nécessaire à contrecarrer la friction sur la garniture ;
- des forces supplémentaires nécessaires à certaines applications ou constructions spécifiques (comme par exemple la rigidité du soufflet, des forces de friction inhabituelles de la part des joints ou des forces spéciales sur le siège si celui-ci est constitué de métal souple...).

Le couple de la vanne rotative est égal à la somme du nombre de composants du couple (couple de début de course, couple dynamique).

## Annexe 3 : Les électrovannes

### 1 Les électrovannes : rôle et fonctionnement

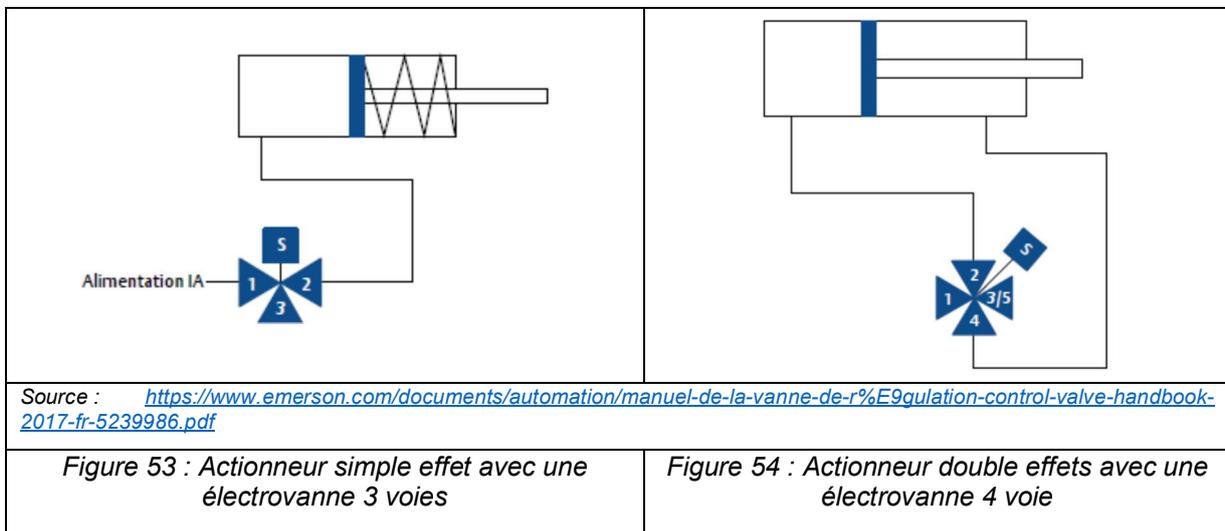
Les électrovannes sont des vannes électromagnétiques situées sur le réseau d'énergie auxiliaire des vannes pneumatiques ou hydrauliques.



Elles sont contrôlées par un signal électrique discret émis par un système de contrôle. Lorsque les conditions de déclenchements sont réunies l'émission ou l'inhibition de ce signal électrique active l'électrovanne qui va bloquer ou vidanger le fluide et manœuvrer la vanne en position de sécurité.

Il est à noter que les électrovannes interviennent également dans le contrôle dans la vanne pour la régulation.

Les vannes à simple effet sont équipées d'une ou plusieurs électrovannes 3 voies et les vannes à double effets sont équipées d'une ou plusieurs vannes 4 voies.



### 2 Architecture d'un système de déclenchement

Les électrovannes jouent un rôle majeur dans le déclenchement de la vanne de sécurité à la suite d'une sollicitation et peuvent par conséquent donner lieu à des défaillances dangereuses comme l'absence de manœuvre de la vanne, un temps de réponse trop long, voire un déclenchement intempestif lorsque le procédé ne le supporte pas pour des raisons de sécurité. C'est pourquoi, des architectures avec des électrovannes en redondance peuvent être employées afin de prévenir l'occurrence de ces défaillances.

Afin de tenir compte de la redondance, il est nécessaire que chacune des électrovannes soit dimensionnée pour alimenter ou évacuer 100% de la quantité d'huile ou d'air nécessaire à la manœuvre de la vanne.

A noter, que pour les vannes de sécurité qui sont des équipements ne possédant qu'une seule position sûre (soit ouverte, soit fermée), les redondances pour fiabiliser le déclenchement de l'actionneur sont antinomiques avec les redondances pour pallier les déclenchements intempestifs. Il est fréquent que l'exploitant doive faire un compromis entre ces deux risques.

Afin d'illustrer ce propos, plusieurs configurations sont décrites ci-dessous et plusieurs remarques préliminaires doivent être faites afin de les expliciter :

- Il s'agit de configurations simplifiées afin de souligner les différences majeures. Ces architectures ne représentent pas l'exhaustivité des architectures existantes et envisageables. Il existe notamment des configurations plus complexes qui offrent un meilleur compromis entre la disponibilité et la sécurité lorsque cela est possible (par exemple les architecture 2-parmi-3<sup>7</sup>).
- Aucun élément et analyse sur le procédé n'est apporté. Il n'est pas précisé qu'elle est la position sûre de la vanne ni sa position en fonctionnement. Il est simplement admis que la position de mise en sécurité correspond à l'inverse de la position en opération. En outre, on ne connaît pas non plus la position en fonctionnement des électrovannes, ni leur position de sécurité. Dans la mesure où il s'agit de vannes de sécurité fail-safe, l'actionneur doit être pressurisé à l'aide d'une énergie auxiliaire afin d'opposer une force antagoniste à celle du ressort de rappel et placer ainsi la vanne en position d'opération.
- S'il s'agit d'électrovannes fermées en opération, alors le vérin de l'actionneur doit être pressurisé et scellé au préalable afin de manœuvrer et de maintenir la vanne en position de fonctionnement. L'ouverture d'une ou plusieurs électrovannes vidangera la cavité et fera passer la vanne de sécurité en position sûre.
- S'il s'agit d'électrovannes ouvertes en opération, la pressurisation de l'actionneur est réalisée en continue. C'est l'arrêt de l'alimentation et le changement de position de la ou des électrovannes qui vidangera l'actionneur et passera la vanne de sécurité en position sûre. Dans ce cas, il est possible de redonder les moyens d'alimentation en énergie auxiliaire afin de limiter les déclenchements intempestifs.
- Il est également possible d'ajouter des capacités, par exemple d'air comprimé, qui serviront à modifier la position des vannes de sécurité manuellement, notamment en cas de perte d'énergie ou lorsque la conception de la vanne ne le permet pas. C'est par exemple le cas des vannes de sécurité qui entraînent une action irréversible, dangereuse et / ou couteuse.
- C'est l'analyse de risque qui doit déterminer l'architecture du système de déclenchement le plus adapté afin de rendre le risque acceptable.

---

<sup>7</sup> « 2-parmi-3 » est la traduction de « 2oo3 » ou « 2 out of 3 ». Cela correspond à la description des architectures « MooN » qui signifie que le système est capable d'assurer la fonction envisagée si et seulement s'il y a au moins M composants redondants en fonctionnement.

## 2.1 Cas 1 : Absence de redondance d'électrovanne

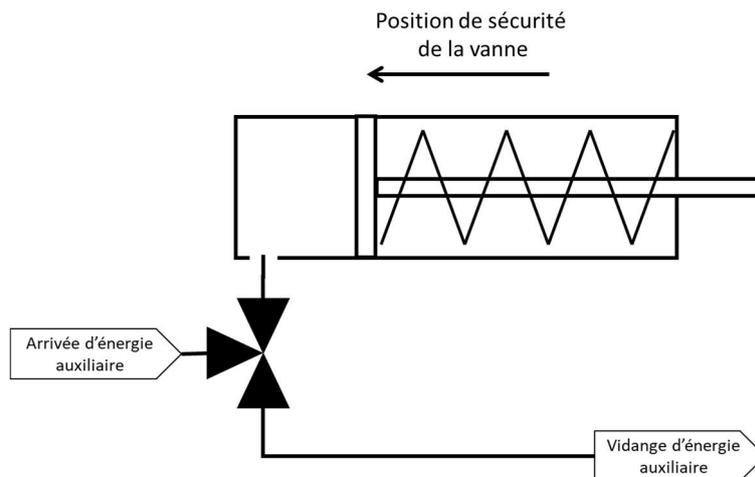


Figure 55 : Cas 1 – Absence de redondance d'électrovanne

C'est la configuration la plus simple, sans aucune redondance. En cas de défaillance dangereuse de l'électrovanne, la vanne de sécurité ne peut plus être positionnée en position de sécurité et en cas de déclenchement intempestif de l'électrovanne, la vanne de sécurité passe en position de sécurité.

Il s'agit d'une configuration 1-parmi-1 pour la sécurité et 1-parmi-1 pour la disponibilité.

## 2.2 Cas 2 : Redondance pour fiabiliser la fonction de sécurité

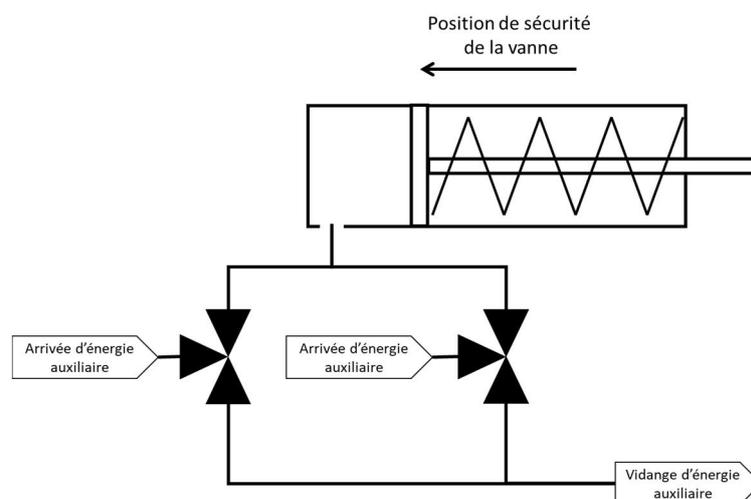


Figure 56 : Cas 2 – Redondance d'électrovannes pour fiabiliser la sécurité

Les électrovannes sont chacune dimensionnées pour pouvoir vidanger l'actionneur et déclencher le changement de position de la vanne à elle seule.

En cas d'ouverture intempestive d'une des deux électrovannes, l'air ou l'huile est vidangé et la vanne passe en position de sécurité.

Cette configuration favorise le passage en position de sécurité. Il s'agit d'une configuration 1-parmi-2 pour la sécurité et 2-parmi-2 pour la disponibilité et l'évitement des déclenchements intempestifs.

Cette architecture présente l'avantage de pouvoir réaliser des tests et diagnostics sur les électrovannes en ligne tandis que la fonction de sécurité est encore assurée par le système.

## 2.3 Cas 3 : Redondance pour empêcher les déclenchements intempestifs

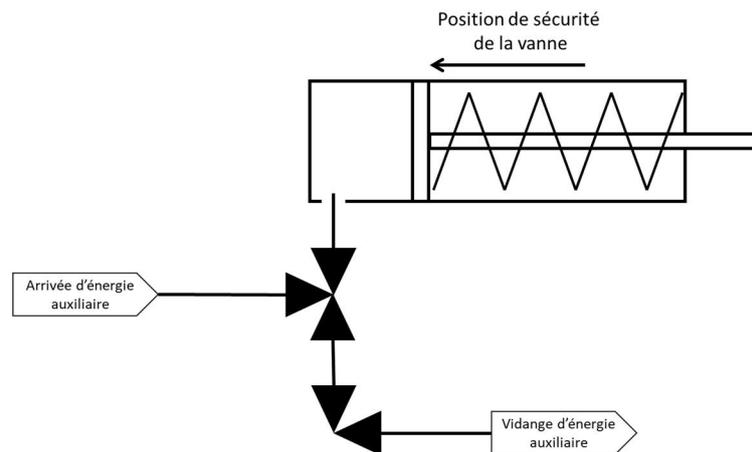


Figure 57 : Cas 3 – Redondance d'électrovannes pour empêcher les déclenchements intempestifs

Il est nécessaire que les deux électrovannes passent en position ouverte afin que l'air ou l'huile puisse être vidangé, et la vanne de sécurité de s'ouvrir.

Cette configuration fiabilise le risque de déclenchement intempestif de la vanne de sécurité au détriment de son passage en position sûre. Elle s'adresse donc principalement à des actions de sécurité qui ne peuvent être mises en œuvre intempestivement pour des raisons de sécurité ou économiques. L'analyse de risque s'assure que le risque reste maîtrisé.

Il est à noter qu'il est également envisageable pour certaines configurations d'utiliser une vanne de sécurité ayant une position de sécurité inversée. Cependant, le niveau de confiance de la vanne sera à évaluer en conséquence.

Il s'agit d'une configuration 2-parmi-2 pour la sécurité et 1-parmi-2 pour la disponibilité.

## Annexe 4 : Utilisations particulières

Certains process impliquent des contraintes d'utilisation particulières qui nécessitent de mettre en œuvre des matériaux et des conceptions spécifiques.

<b>Haute pression, haute température</b>	<p><b>Transmission</b> : Utilisation d'une tige à filetage extérieur</p> <p><b>Matériaux</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est nécessaire d'utiliser des alliages et revêtement résistant aux températures extrêmes.</li> </ul> <p><b>Étanchéité</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les joints en plastiques et élastomères sont à éviter</li> <li>• Petite dimension : joint métallique ou spiralé</li> <li>• Grande dimension : joint plat soudé ou tampon autoclave</li> <li>• Une extension de chapeau peut être nécessaire pour éloigner les éléments assurant l'isolation du procédé</li> </ul>
<b>Grande capacité</b>	<p><b>Actionneur</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut nécessiter un amplificateur de volume</li> <li>• Et d'étudier les avantages et inconvénients de l'actionneur en termes de force de poussée nécessaire (piston, ressort et membrane)</li> </ul>
<b>Cryogénie</b>	<p><b>Étanchéité</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le presse-étoupe est éloigné du corps de vanne pour éviter qu'il ne gèle. Le chapeau est donc allongé afin de créer un tampon isolant de vapeur.</li> <li>• Les joints en plastiques et élastomères sont à éviter à moins d'être spécifiquement développés pour ce type de procédé</li> </ul> <p><b>Matériaux</b> : Il est nécessaire d'utiliser des alliages et revêtement résistant aux températures extrêmes.</p>
<b>Chimie</b>	<p><b>Vieillessement du corps</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matériaux métalliques ou plastiques selon le fluide</li> <li>• Dans le cas du plastique, attention à la tenue aux contraintes mécaniques et à la température</li> <li>• Utilisation de revêtements spécifiques</li> <li>• Éviter les hétérogénéités de matériaux et les points morts pour réduire la corrosion</li> </ul> <p><b>Étanchéité</b> : préférer l'utilisation d'un soufflet</p>
<b>Risque de cavitation</b>	<p>Les mesures de l'annexe 6 sont applicables. A noter qu'il existe des conceptions particulières pour les vannes à cages ou à clapet, mais que ces technologies sont plus souvent dédiées à la régulation qu'à la sécurité.</p>
<b>Présence de particules</b>	<p><b>Obturbateur</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• On pourra préférer les obturbateurs à membrane et les corps de vanne à passage intégral.</li> <li>• Les vannes à cage et à clapet sont à éviter car elles présentent des risques de bouchage.</li> </ul>

De manière générale, chaque produit et procédé possède des caractéristiques qui auront une influence sur le choix de la technologie de vanne. Pour certaines utilisations, il existe des normes techniques auxquelles il est nécessaire de se conformer.

On relève, de manière non-exhaustive, diverses utilisations pour lesquelles des vannes spécifiques devront être utilisées :

- vannes à usage nucléaire ;
- vannes sujettes aux fissures dues au sulfure ;
- ...

## Annexe 5 : L'étanchéité des vannes

Il existe deux types de fuite pour une vanne : les fuites vers l'atmosphère (fuites externes) et les fuites à travers la vanne (fuites internes). Les fuites externes peuvent être à la fois nuisibles à l'environnement et potentiellement dangereuses pour la santé et la sécurité. Les vannes sont considérées comme les principaux contributeurs aux pertes d'émissions fugitives.

Ce chapitre ne traite pas de l'étanchéité du système de déclenchement de la vanne ou de l'actionneur.

### 1 Etanchéité externe

L'étanchéité externe est une priorité lorsque le procédé représente un risque pour l'environnement et les personnes. Les vannes doivent alors répondre à des exigences normatives et réglementaires qui conditionnent leur conception et les essais de qualification à réaliser.

On distingue l'étanchéité statique qui est assurée par les composants immobiles, de l'étanchéité dynamique assurée par les composants mobiles.

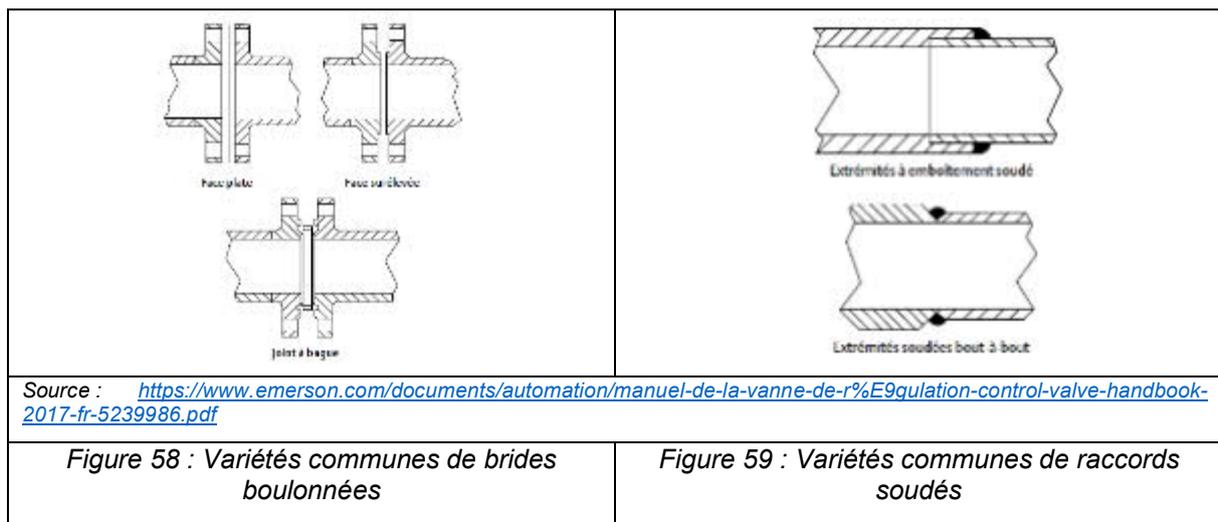
La norme ISO 15848-1 spécifie les modes opératoires d'essai pour l'évaluation des fuites externes des dispositifs d'étanchéité de la tige (ou de l'arbre) et des jonctions du corps des robinets de sectionnement et des robinets de régulation destinés à être utilisés au contact de polluants atmosphériques volatils et de fluides dangereux.

#### 1.1 Etanchéité statique

Au niveau des extrémités de raccordements des vannes avec la tuyauterie, l'étanchéité statique dépend de la nature de sa jonction. Il existe une variété importante de jonctions, parmi lesquelles les extrémités :

- vissées ;
- soudées ;
- par brides : plates, emboîtées, surélevées ;
- par insertion entre brides ;
- par collier.

Les joints présents au niveau des brides et du couvercle assurent l'étanchéité statique. Ils peuvent être non métalliques en feuille ou formés, métalliques ou composés de plusieurs matériaux.



Le back-seat (ou siège arrière) est le composant sur lequel le piston vient se poser lorsque la vanne est entièrement ouverte. Il empêche ainsi le fluide interne de fuir vers l'extérieur et clos la cavité interne du corps de vanne. Il permet également d'éviter l'accumulation de dépôt si la vanne est amenée à rester longtemps ouverte et prévient ainsi une cause de défaillance de non-fermeture de la vanne à la sollicitation.

Il n'est pas systématiquement présent, on le trouve davantage sur les vannes conçues pour les hautes pressions et hautes températures.

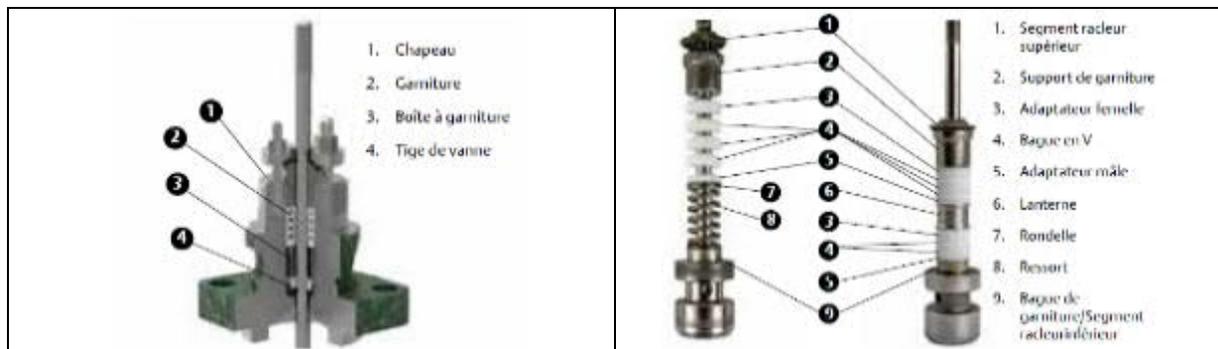
Lorsque la vanne est en mouvement et que le piston n'est pas encore en buté contre le back-seat, il est possible qu'une petite quantité de fluide du procédé fuit. Il est alors envisageable d'installer un système de récupération de ces fuites.

## 1.2 Etanchéité dynamique

L'étanchéité dynamique, quant à elle se situe au niveau de la transmission et peut être assurée par différents composants.

Le presse-étoupe (en anglais packing, parfois stuffing box) est une tresse légère, lubrifiée et maintenue autour de la tige de transmission par un écrou de presse étoupe (en anglais gland nut). La tresse n'apporte pas une étanchéité totale.

La garniture mécanique est placée dans une boîte à garniture autour de la tige et peut être lubrifiée ou sèche. Elle est maintenue en place par des boulons et est constituée de différents matériaux selon l'application, tels que le graphite ou le PTFE.

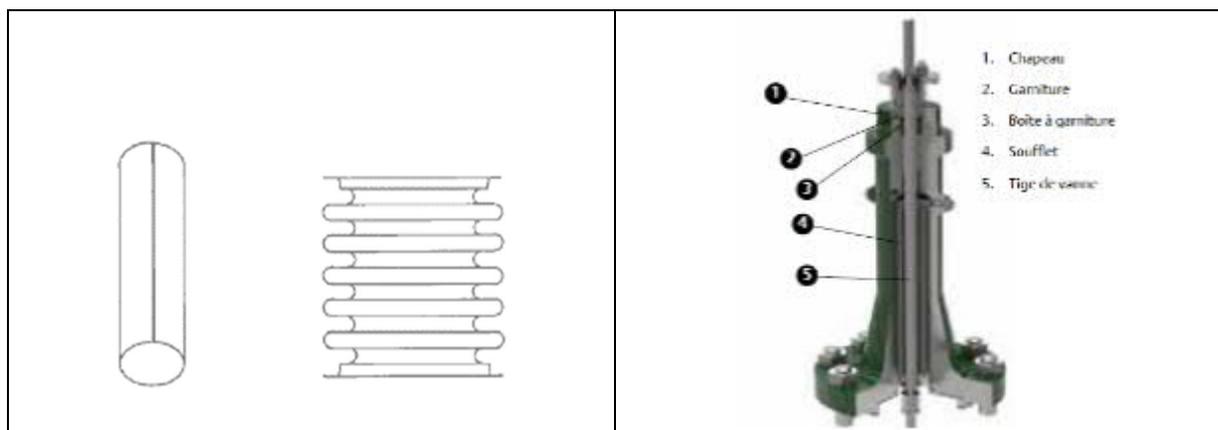


Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 60 : Ensemble chapeau et garniture

Figure 61 : Garniture en PTFE

Le soufflet qui peut être métallique ou plastique est positionné autour de la tige de transmission. Il offre une bonne étanchéité et peut permettre de réduire l'entretien de la vanne comparativement aux autres solutions d'étanchéité.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 62 : Schémas de soufflets

Figure 63 : Chapeau à soufflet

L'utilisation d'une vanne à membrane dispense généralement d'utiliser un composant nécessaire pour assurer l'étanchéité externe puisque la membrane isole complètement les composants réalisant la transmission de mouvement du fluide.

## 2 Etanchéité interne

L'étanchéité interne correspond à la capacité de la vanne d'empêcher la circulation du fluide du procédé du côté amont au côté aval. Selon le procédé et son risque relatif, les exigences d'étanchéité sont plus moins strictes. Pareillement à l'étanchéité externe, la vanne doit alors répondre à des exigences normatives et réglementaires qui conditionnent sa conception et les essais de qualification à réaliser.

A l'intérieur, l'étanchéité est assurée par le contact, appelé le portage, entre l'obturateur (ou les portées de l'obturateur) et les sièges d'étanchéité (ou les portées de sièges).

La qualité de l'étanchéité est déterminée par la technologie de vanne c'est-à-dire la forme de l'obturateur et des sièges, la qualité du contact entre ces deux éléments, le fluide considéré ainsi que les matériaux employés.

L'étanchéité du portage peut être : métal-métal, métal-plastique ou métal-élastomère. Le matériau plastique ou caoutchouc devra : avoir une bonne restitution élastique, être peu sensible au fluage, garder une bonne stabilité de forme et présenter une résistance au vieillissement en présence des fluides à étancher.

La capacité d'une vanne à être suffisamment étanche correspond à une mesure de sa performance.

Il est aussi important de rappeler le fait que les vannes ne sont pas forcément étanches des deux côtés. Ces vannes ne doivent donc pas être utilisées pour des applications où le fluide est bidirectionnel et une vigilance doit être apportée lors de l'installation.

## 3 Exigence d'étanchéité en fonction du risque

Dans le cadre de la maîtrise des risques de fuites (en particulier d'une substance toxique et/ou inflammable), les vannes utilisées pour juguler une fuite doivent avoir un certain niveau d'étanchéité (ou classe d'étanchéité). Ce niveau d'étanchéité des vannes doit être en adéquation avec l'exigence d'étanchéité définie par une analyse de risque du procédé. Elle correspond à un débit de fuite acceptable avec les conditions associées.

Il est important de rappeler que, quel que soit la technologie, une vanne présentera une fuite interne. Il est donc plus judicieux de parler de niveau d'étanchéité ou de taux de fuite acceptable. Celui-ci fait l'objet d'un classement et de définition des conditions d'essais dans différentes normes. Elles ne s'appliquent pas à tous les types de vannes. Le tableau suivant présente les normes d'essais et de classification de l'étanchéité en fonction du type de vanne :

Type de vanne	Normes de référence	
Vannes tous types en acier	API 598 / ISO 5208 / EN 12266-1 et 2	La norme API 598 est la norme de spécification de test la plus largement utilisée dans le monde. Elle couvre les exigences de test et d'inspection pour tous type de vannes (siège souple et métallique). Elle prescrit les taux de fuite acceptable et les critères de test (liquide et gaz). Elle est en adéquation avec la norme ISO 5208. Toutes les vannes construites selon les différentes normes API doivent satisfaire aux critères de fuite API-598.
	Les tests et examens suivants sont spécifiés : a) test de coque, b) test de siège arrière, c) essai de fermeture à basse pression, d) essai de fermeture à haute pression, e) essai de fermeture haute pression à double bloc et purge, f) examen visuel des pièces moulées par le fabricant, g) essai de coque pneumatique à haute pression.	La norme API 598 indique que pour les tests, aucune fuite visible n'est autorisée. Si le fluide est un liquide, il ne doit y avoir aucune trace visible de gouttes ou de mouillage des surfaces externes (pas de fuite visible à travers le corps, la doublure du corps, le cas échéant, et l'articulation du corps au chapeau et aucun dommage structurel). Si le fluide d'essai est de l'air ou du gaz, aucune fuite ne doit être révélée par la méthode de détection établie. Pour le test de fermeture à basse pression et à haute pression, les preuves visuelles de fuite à travers le disque, derrière les bagues de siège ou au-delà des joints ne sont pas autorisées.
		La norme ISO 5208 fixe des exigences et des pratiques de base pour les vannes d'essai de pression de diverses configurations qui sont utilisées dans des applications générales. Elle fournit un ensemble cohérent d'exigences de tests et de critères d'acceptation qui peuvent être pris en considération conjointement avec des normes spécifiques aux types de vannes considérées. Elle couvre tous types de vannes et fixe des niveaux de taux de fuite acceptable. Les exigences en matière d'essai et de taux de fuite correspondent à celles des normes EN 12266-1 et API 598.
Vannes en acier	ASME B16.34	Norme de conception des vannes, elle fixe des tableaux de pression/température pour déterminer les pressions de travail des vannes. Elle doit être utiliser conjointement avec d'autres normes de test comme la norme API 598.
	MSS SP-61	Norme adoptée en 1961. Elle a été développée dans le but de fournir un moyen uniforme de tester les vannes couramment utilisées dans ls application "full open" et "full closed" (ou Tout ou Rien). Elle fixe des exigences d'essais et les critères d'acceptation pour la fermeture des vannes.
Vannes tous types en bronze	MSS SP-80	Norme de conception pour les vannes en bronze. Elle fixe des procédures de test et les critères de d'acceptation.
Vannes à opercule (gate) en acier moulé / fonte	API 598 / ISO 5208	Cf. ci-dessus
	MSS SP-70	Norme de conception pour les robinet-vannes en fonte. Elle fixe des procédures de test et les critères de d'acceptation.
Vannes à soupape/piston (globe) en acier moulé/ fonte	API 598 / ISO 5208	Cf. ci-dessus
	MSS SP-85	Norme de conception pour les vannes à soupape en fonte. Elle fixe des procédures de test et les critères de d'acceptation.
Vannes à tournant (ball) en acier moulé / fonte	API 598 / ISO 5208	Cf. ci-dessus
	MSS SP-78	Norme de conception pour les vannes à boisseau en fonte. Elle fixe des procédures de test et les critères de d'acceptation.
Vanne papillon	MSS SP-68	La norme MSS SP-68 fixe les exigences de conception et d'essai de performances des vannes papillon pour des applications performances haute pression et tige excentrée.
Vannes pour service cryogénique	API 598 / ISO 5208	Cf. ci-dessus
	BS 6364	Spécifie des exigences supplémentaires aux normes produits applicables pour les vannes utilisées pour un service cryogénique.
	ISO 21011	La norme ISO 21011 spécifie les exigences de conception, de fabrication et d'essai des vannes pour une température nominale de -40 °C et inférieure.
Vannes de régulation	FCI 70-2 / EN 60534-4 ISA S75	La FCI 70-2 est la norme pour les vannes de régulation. Elle prescrit les tests à réaliser et les critères d'acceptation. Elle fixe six niveaux de taux de fuite (classes d'étanchéité I à VI, la classe VI étant la plus étanche) et les procédures de test associées.  L'EN 60534-4 (norme miroir à la norme FCI 70-2) est la norme d'inspection et essais pour les vannes de régulation des processus industriels. Elle spécifie les exigences relatives à l'inspection et aux essais individuels des vannes de régulation fabriquées conformément aux autres parties de la IEC 60534. Cette norme s'applique aux vannes dont la classe de pression n'excède pas la Classe 2500.  La norme ISA S75 spécifie la procédure pour les essais hydrostatiques du corps des vannes de régulation. Elle renvoie vers la norme FCI 70-2 pour les essais de fuites des sièges.
Vanne pour pipeline	API 6D / ISO 14313	La norme API 6D couvre le domaine des vannes pour pipelines de produits pétroliers. C'est une adoption de la norme ISO 14313 (norme miroir à la norme API 6D) qui spécifie les exigences et recommandations pour la conception, la fabrication, les essais et la documentation des robinets à tournant sphérique, à clapet, à vanne et à boisseau pour application dans les systèmes de canalisation. Elle reprend les valeurs de taux de fuite admissible de l'ISO 5208.
	ISO 5280	Cf. ci-dessus

Les normes API 598 ou MSS SP-61 qui régissent les fuites pour les vannes à siège souple spécifient un nombre de bulles d'air ou de gouttes d'eau acceptable dans les conditions d'essais spécifiés pendant une durée d'essais minimale. Ces vannes sont parfois appelées vanne "zéro fuite", vannes "bulle étanche" ou vanne TSO<sup>8</sup> même si elle présente des fuites infimes au niveau du siège ou de la garniture.

La classe, la plus étanche selon la norme FCI 70-2 (anciennement ANSI B16.104), pour les vannes de régulation à siège souple est appelée classe VI. Cette classe autorise lors de l'essai un petit nombre de bulles par minute qui augmente avec la taille de la vanne alors que l'API 598 et la MSSP SP61 ne le permettent pas. Bien que la norme FCI 70-2 classe VI concerne les vannes de régulation à siège souple, elle est fréquemment utilisée comme critère de test d'acceptation des fuites pour les vannes d'isolement à siège métal telles que les vannes à boisseau sphérique et à papillon. Par conséquent, les tests de fermeture doivent également être effectués conformément à la norme API 598 ou MSS SP-61.

Pour les vannes à siège en métal, les critères d'acceptation des fuites de la norme API 598 autorise moins de fuites que la norme FCI 70-2 classe VI (vannes supérieures à 6" et 2" et moins). Il est possible de spécifier les critères de fuite zéro des vannes à siège souple selon l'API 6D ou API 598 (comme pour les vannes papillon à siège métallique triple offset et certaines vannes à billes à siège métallique). Généralement pour les vannes de sectionnement dites sans fuite, elles répondent aux spécifications des normes EN 12266-1 et ISO 5208 pour les classes "zéro fuite". Ces classes autorisent lors de l'essai (sur une période donnée) une certaine quantité de liquide acceptable.

La norme ISO 5208 (EN 12266-1) remplace la norme BS 6755-1 est spécifie les taux de fuite acceptables tels que le taux A et le taux B. Le taux A ne permet aucune fuite visible comme l'API 598 pour les vannes à siège souple et le taux B pour les vannes à siège métallique.

Les classes d'étanchéité fixée par la norme ISO 5208 permettent de réduire le risque lié aux fuites internes. L'analyse de risques doit vérifier que les conséquences liées à ces fuites internes n'ont pas d'impact sur la santé et la sécurité des personnes et de l'environnement.

## 4 Systèmes de vannes pour l'étanchéité

Selon les résultats de l'analyse de risques, plusieurs conceptions de vannes sont envisageables pour atteindre différents niveaux d'étanchéité comme cela est présenté au paragraphe précédent. Il est possible de classer les différentes configurations de vannes et de systèmes de vannes les plus courants par exigences d'étanchéité :

1. Vanne de régulation simple ou vanne d'isolement simple ;
2. Vanne de régulation de classe d'étanchéité selon les normes : API 598 / ISO 5208 ;
3. Vanne d'isolement de classe d'étanchéité selon les normes API 598 / ISO 5208 ;
4. Vanne ou système de vanne montées en « Double Block and Bleed » avec des vannes d'isolement de classe d'étanchéité selon les normes API 598 / ISO 5208.

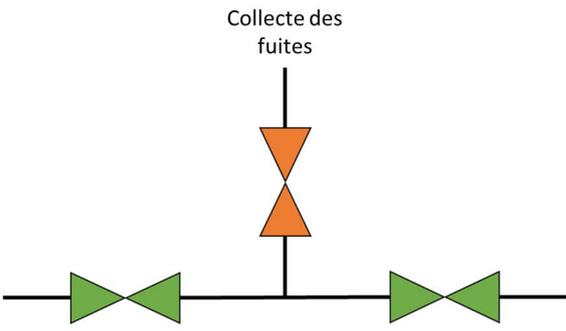
Les systèmes Double Block and Bleed permettent d'une part d'isoler efficacement une conduite et d'éviter toute fuites vers l'extérieur et d'autre part permettent la tenue des opérations de maintenance sans avoir à arrêter complètement l'installation. Ces systèmes présentent une bonne étanchéité dans les deux sens de circulation du fluide possibles.

Elles sont constituées d'un ensemble de 3 vannes au minimum. Les deux vannes aux extrémités (block valves) assurent l'isolation de la conduite, ce sont le plus souvent des vannes à boisseau sphérique, des robinet-vanne à soupape ou des vannes guillotines. La vanne du milieu (bleed valve) collecte les fuites restantes afin de renforcer l'étanchéité. Il s'agit généralement d'une vanne à plus petit débit, telle qu'une vanne à aiguille ou à pointeau.

Il est possible d'assembler 3 vannes indépendantes en un montage Double Block and Bleed, mais il existe également des vannes, plus compactes, qui réalisent ces 3 fonctions en un seul bloc.

---

<sup>8</sup> TSO (Tight Shut Off): fermeture étanche

	
<p><i>Figure 64 : Schéma de principe d'un système Double Block and Bleed</i></p>	<p>Source : <a href="https://www.petrosa-did.com/piping/industrial_valve/special_valve.php">https://www.petrosa-did.com/piping/industrial_valve/special_valve.php</a></p> <p><i>Figure 65 : Vanne Double Block and Bleed</i></p>

Il est nécessaire de souligner qu'un montage en Double Block and Bleed correspond à l'utilisation d'un seul actionneur et ne constitue pas une redondance de vanne qui effectueraient la même fonction de sécurité.

## Annexe 6 : Phénomènes de cavitation, vaporisation et coup de bélier

### 1 Cavitation-vaporisation

La restriction de la section de passage d'une vanne et l'augmentation de la vitesse du fluide provoque une augmentation de la pression dynamique<sup>9</sup>. Il en résulte une diminution de la pression statique plus ou moins importante selon la géométrie interne de la vanne et la valeur de la pression statique en aval de la vanne.

Cette diminution de la pression statique de la vanne doit être comparée à la tension de vapeur du liquide à la température d'écoulement, car il peut en résulter des phénomènes de cavitation et de vaporisation. Ces deux phénomènes peuvent provoquer des dommages structurels de la vanne et des conduites proches.



Source : <https://www.emerson.com/documents/automation/manuel-de-la-vanne-de-r%E9gulation-control-valve-handbook-2017-fr-5239986.pdf>

Figure 66 : Effet de la vaporisation

Figure 67 : Effet de la cavitation

Les conséquences du phénomène de cavitation sont les suivantes :

- bruit d'un niveau sonore inacceptable, très caractéristique car semblable à celui que provoqueraient des cailloux circulant dans la tuyauterie ;
- vibrations à des fréquences élevées ayant pour effet de desserrer toute la boulonnerie de la vanne et de ses accessoires ;
- destruction rapide du clapet, du siège, du corps, par enlèvement de particules métalliques. Les surfaces soumises à la cavitation présentent une surface granuleuse ;
- le débit traversant la vanne n'est plus proportionnel à la commande.

Ce sont généralement les vannes les plus profilées intérieurement qui ont une tendance accrue à la cavitation.

Les conséquences du phénomène de vaporisation sont les suivantes :

- bruit d'un niveau sonore moindre que celui provoqué par la cavitation ;
- dommages mécaniques sur le clapet, le siège et le corps, par passage à grande vitesse d'un mélange gaz-liquide ;
- les surfaces exposées à ce phénomène présentent des cavités d'un aspect poli ;
- régime d'écoulement critique<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Pression dynamique : mesure de l'énergie cinétique d'un fluide par unité de volume

<sup>10</sup> Un régime d'écoulement est dit critique lorsque le débit passant au travers de la vanne est limité :

- par une éventuelle vaporisation du liquide en aval de la vanne si en un point quelconque de la vanne la pression devient inférieure à la tension de vapeur du liquide,

La vaporisation ne pouvant pas être évitée par la vanne, la meilleure solution consiste à sélectionner une vanne dont la géométrie et le matériau permettent d'éviter, ou de limiter, les dommages. Un système de guidage par cage permet de minimiser les turbulences et assurer une répartition favorable de la vitesse dans la zone d'expansion afin de réduire le bruit.

La cavitation peut être gérée de la façon suivante :

- La première méthode consiste à éliminer la cavitation en contrôlant la chute de pression de telle manière que la pression locale ne descende jamais sous la pression de vapeur afin qu'aucune bulle de vapeur ne se forme.
- La seconde méthode n'élimine pas la cavitation, mais elle minimise les dommages. Cette méthode vise à limiter les surfaces de la vanne soumise à la cavitation et à durcir les surfaces qui y sont soumises.
- Une troisième méthode consiste à modifier le circuit de façon à éviter les causes de la cavitation (par exemple, en choisissant pour la vanne une position qui se trouve à un niveau bas dans l'installation afin d'augmenter la pression statique).

## 2 Coup de bélier

La fermeture/ouverture rapide d'une vanne peut générer une variation brusque de la vitesse du fluide dans la conduite et provoque un phénomène de surpression appelé "coup de bélier". Cette surpression pouvant être importante, elle se traduit souvent par un bruit caractéristique, et peut entraîner la rupture de la conduite, du fait de la quantité de fluide en mouvement.

Ce phénomène peut être réduit ou supprimé par :

- La réduction de la pression de l'alimentation, par l'installation d'un régulateur de pression ;
- La réduction de la vitesse du fluide dans la tuyauterie ;
- L'utilisation de vannes avec une vitesse de ouverture/fermeture lente ;
- L'utilisation de procédures d'ouverture et de fermeture ;
- L'installation d'une bouteille anti-coup de bélier, également appelée bouteille anti-pulsatoire ou antibélier ;
- La mise en place d'une chambre d'équilibre ;
- La réduction des longueurs de tuyauterie droite par des coudes ou des lyres de dilatation, les coudes réduisant l'influence des ondes de pression ;
- Un écoulement sonique du gaz dans la vanne qui se produit lorsque la pression aval devient inférieure à 50% de la pression amont.

## Annexe 7 : Analyse générique des défaillances des vannes

Composants	Mode de défaillance	Conséquence sur le système
Roulement plein, à bille	Un jeu ou un grippage se forme	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
Membrane	Se perce, se rompt	Ouverture ou fermeture intempestive
	Reste collée	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
Boulon / vis / écrou / broche	Se rompt, se dévisse, se détache	Perte de l'axialité des pièces et de la manœuvrabilité de la vanne
		Perte de l'axialité des pièces et perte de l'étanchéité interne
		Perte de l'axialité des pièces et perte de l'étanchéité externe
		Déclenchement intempestif
Adaptateur de montage	Se fissure, se rompt	Perte de l'étanchéité externe
		Perte de la manœuvrabilité de la vanne
Engrenage cylindrique	Un jeu ou un grippage se forme	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
		Ouverture ou fermeture intempestive
Piston / tige / arbre	Se déforme ou se rompt	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
	Un jeu ou un grippage se forme	Ouverture ou fermeture intempestive
Joint statique / dynamique ; presse-étoupe ; garniture ; soufflet	Perte des propriétés d'étanchéité	Perte de l'étanchéité interne et/ou externe de la vanne
	Extrusion	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
Ressort de rappel	Perte des propriétés mécaniques du ressort : déformation, durcissement, ramollissement, rupture	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
		Ouverture ou fermeture intempestive
Corps de vanne (enveloppe, sièges et orifice)	Se déforme, se fissure, se rompt Colmatage des orifices	Perte de l'étanchéité externe
		Perte de l'étanchéité interne
		Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
		Déclenchement intempestif

Tableau 3 : Analyse générique des Modes de défaillances et leur Effets du corps de vanne

<b>Composants</b>	<b>Mode de défaillance</b>	<b>Conséquence sur le système</b>
Tuyauterie pour les actionneurs hydraulique ou pneumatique	Se fissure, se rompt, se bouche	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
		Déclenchement intempestif
Câble électrique, connecteur	Arrachés / débranchés par erreur, se rompt	Si l'électrovanne et la vanne de sécurité sont fail-safe : déclenchement intempestif
		Sinon : Perte de la manœuvrabilité de la vanne
Relai	Collé	Perte de la manœuvrabilité de la vanne
	Ouverture intempestive	Déclenchement intempestif
Solénoïde	Rupture du solénoïde	Si la vanne de sécurité est fail-safe : déclenchement intempestif
		Sinon : Perte de la manœuvrabilité de la vanne
Vannes de pilotage de l'actionneur	Perte de l'opérabilité de la vanne, grippage	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
	Déclenchement intempestif	Si la vanne de sécurité est fail-safe : déclenchement intempestif
		Sinon : Perte de la manœuvrabilité de la vanne

*Tableau 4 : Analyse générique des Modes de défaillances et leur Effets de l'actionneur et du système de déclenchement*

<b>Composants</b>	<b>Mode de défaillance</b>	<b>Conséquence sur le système</b>
Amplificateur de volume	Ne fournit pas la puissance requise à l'actionneur	Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
	Fournit la puissance intempestivement	Déclenchement intempestif
Dispositif d'essai de course partielle ou totale	Défaillance de divers composants mécaniques ou électroniques	Perte de la testabilité en ligne de la vanne
	Colmatage de l'orifice de test	Perte de la testabilité en ligne de la vanne Perte de la manœuvrabilité de la vanne, temps de réponse allongé
	Non reconfiguration de la vanne après test	Perte de la manœuvrabilité de la vanne
		Perte d'un canal de déclenchement en cas de redondance Déclenchement intempestif
Mesures de pressions et de température	Dérive des mesures, absence de mesure	Déclenchement intempestif selon la logique
		Perte de l'état de santé des diagnostics de la vanne
Vanne de dérivation	Fuite, ouverture intempestive	Perte de l'étanchéité interne
	Non ouverture	Dégradation accélérée de la vanne de sécurité
Positionneur / Transducteur électropneumatique	Plus de régulation	Perte de la manœuvrabilité de la vanne
		Déclenchement intempestif selon la logique
	Mauvaise régulation	Perte de la manœuvrabilité de la vanne
		Déclenchement intempestif
Contrôleur	Mauvaises mesures ou absence de mesures	Déclenchement intempestif selon la logique
		Perte de l'état de santé de la vanne
Transmetteur de position	Mauvais renvoi de position ou perte du renvoi de position	Déclenchement intempestif selon la logique
		Perte de l'état de santé de la vanne
Fins de courses	Mauvais renvoi de position ou perte du renvoi de position	Perte de la testabilité en ligne de la vanne et des fonctions de diagnostic
		Déclenchement intempestif selon la logique

*Tableau 5 : Analyse générique des Modes de défaillances et leur Effets des accessoires et équipements complémentaires*

Les modes de défaillances listés sont génériques et ne s'appliquent pas à l'ensemble des configurations industrielles. De plus, il ne s'agit que d'une identification des modes de défaillances, leur probabilité d'occurrence peut grandement varier que cela soit entre deux modes de défaillances de deux composants différents ou entre deux modes de défaillance d'un même composant.

