

# **ÉQUIPEMENT MÉCANIQUE**

# Table des matières

	<b>Page</b>
<b>Section 1 – Objectifs</b>	2
<b>Section 2 – Vibrations</b>	
2.0 Introduction	4
2.1 Notions fondamentales	5-8
2.2 Types de vibrations	8-10
2.3 Facteurs ayant une incidence sur les fréquences propres	10-12
2.4 Amortissement	12
2.5 Résonance	13-14
2.6 Vitesse critique	14-16
2.7 Dommages causés par des vibrations excessives	16-18
2.8 Balourd et désalignement	18-22
2.9 Cambrure et fléchissement	22-24
Exercice	25
<b>Section 3 – Robinetterie</b>	
3.0 Introduction	26
3.1 Fonction de régulation	26-27
3.2 Caractéristiques des appareils de robinetterie	27-32
3.3 Modes de défaillance des appareils de robinetterie	32-36
3.4 Fluides moteurs	36-38
3.5 Fonction d'isolement	38
3.6 Robinets à commande manuelle	38-40
3.7 Robinets à commande pneumatique	40-42
3.8 Robinets motorisés	42-44
3.9 Commande manuelle des robinets motorisés	44-45
3.10 Étanchéité arrière des appareils de robinetterie	45-46
3.11 Fonction de la soupape intégrée	46-47
3.12 Fonction de prévention de retour	47
3.13 Objet et principe de fonctionnement des clapets de non-retour	47-48
3.14 Soupapes de décharge, soupapes de sûreté et soupapes de sûreté et de décharge	48-53
Exercice	54-55
<b>Section 4 – Purgeurs de vapeur</b>	56-60
Exercice	61
<b>Section 5 – Schémas de principe</b>	62-63
Exercice	63-64

## 1.0 OBJECTIFS

Le présent cours porte sur les éléments et les conditions d'exploitation suivants de l'équipement mécanique :

- Vibrations
- Robinetterie
- Purgeurs de vapeur d'eau
- Schémas de principe

À la fin de ce cours, le stagiaire devrait être en mesure :

- d'expliquer le sens des termes et expressions suivants lorsqu'ils sont utilisés pour caractériser les vibrations : amplitude, fréquence propre, fréquence d'excitation, amortissement, résonance, vitesse critique;
- d'expliquer les principaux facteurs ayant une incidence sur les fréquences propres d'un objet;
- d'énoncer et d'expliquer comment les vibrations excessives peuvent endommager l'équipement;
- d'expliquer pourquoi il faut éviter de faire fonctionner une machine tournante à une vitesse voisine d'une de ses vitesses critiques;
- d'expliquer comment le balourd et le désalignement peuvent causer des vibrations et pourquoi ils peuvent se modifier en cours de fonctionnement;
- de définir chacun des termes suivants s'appliquant aux arbres tournants : cambrure, fléchissement et excentricité;
- d'indiquer pourquoi la sélection d'un appareil de robinetterie destiné à un circuit est importante;
- d'énoncer l'effet d'une perte du signal de commande ou de l'alimentation en fluide moteur sur la position d'un appareil de robinetterie;
- d'expliquer pourquoi il faut limiter le plus possible la présence d'impuretés dans le fluide hydraulique et l'air d'instrumentation;
- d'énoncer deux façons de déterminer visuellement la position d'un robinet à commande manuelle;
- d'indiquer deux paramètres de fonctionnement qui permettent de déterminer la position d'un robinet à commande manuelle;
- d'expliquer la raison d'être des précautions prises lorsque l'on actionne un robinet à commande manuelle;
- d'expliquer comment on peut utiliser une vanne électromagnétique aux fins de la commande par tout ou rien d'un robinet à commande pneumatique;
- d'expliquer le fonctionnement d'un robinet motorisé type;
- d'expliquer comment se fait la commande manuelle d'un robinet motorisé type et d'énoncer les précautions devant être prises;
- d'indiquer la fonction du clapet de non-retour;
- de décrire le principe de fonctionnement d'un clapet de non-retour;
- d'énoncer la fonction des soupapes de sûreté et de décharge;

- d'expliquer le sens des termes et expressions suivants lorsqu'ils sont utilisés pour caractériser les soupapes de sûreté et de décharge : pression de début d'ouverture, débit, ouverture rapide, chute de pression à la fermeture, battement et chuintement;
- d'indiquer quand il est admissible de coller une soupape de sûreté;
- d'expliquer le fonctionnement d'un purgeur de vapeur d'eau;
- d'indiquer trois fonctions d'un purgeur de vapeur d'eau;
- d'énoncer trois vérifications qui permettent de confirmer le bon fonctionnement d'un purgeur de vapeur d'eau;
- d'identifier les divers éléments d'un schéma de principe.

## VIBRATIONS

Notes :

### 2.0 INTRODUCTION

Les vibrations sont presque omniprésentes dans les centrales électriques : les machines tournantes vibrent en raison des défauts d'équilibrage et d'alignement et des imperfections des paliers; la tuyauterie et les échangeurs de chaleur vibrent sous l'effet des pulsations d'écoulement; les structures vibrent en raison des vibrations transmises par les diverses pièces d'équipement qu'elles abritent; même les lignes de transport d'électricité vibrent sous l'effet des rafales de vent. Ce ne sont là que quelques exemples types des phénomènes vibratoires qu'on peut observer dans une centrale.

De façon générale, les vibrations réduisent la durée de vie de l'équipement et, dans les cas extrêmes, peuvent endommager celui-ci ou même provoquer des défaillances catastrophiques. Par ailleurs, les vibrations peuvent dénoter des problèmes d'équipement. L'observation des phénomènes vibratoires peut donc permettre de déceler ces problèmes et d'éviter des dommages coûteux. La réduction et le contrôle des vibrations se révèlent essentiels à la sûreté et à la rentabilité de l'exploitation d'une centrale.

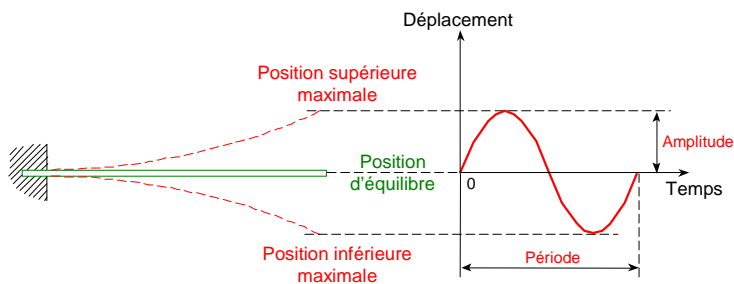
Le contrôle des vibrations est largement utilisé dans le cadre des activités d'exploitation et d'entretien des centrales nucléaires. Certaines grosses pièces d'équipement coûteuses comme le groupe turbogénérateur, les pompes principales du circuit de caloportage et les pompes d'alimentation de chaudière font l'objet d'un contrôle continu. Pour d'autres pièces d'équipement, on effectue périodiquement la lecture des appareils de mesure des vibrations pour évaluer l'état de l'équipement et prévenir des dommages coûteux. Ces activités de contrôle sont menées dans le cadre d'un programme de maintenance conditionnelle.

La présente partie portera sur les caractéristiques fondamentales et les causes des vibrations, les conséquences des vibrations excessives et les méthodes utilisées pour la prévention des vibrations. Ces connaissances vous permettront de comprendre certaines pratiques d'exploitation et de maintenance préventives.

## 2.1 NOTIONS FONDAMENTALES

Prenons tout d'abord un objet dont l'une des extrémités est fixée à un support rigide et dont l'autre peut se déplacer dans un plan comme le montre la figure 1. On pourrait par exemple considérer cet objet comme une représentation approximative d'une poutre encastrée dans un mur, d'une lame de pompe centrifuge en porte-à-faux ou du bec de raccordement d'une machine de chargement du combustible.

Notes :



**Figure 1**

Imaginons qu'on fléchit l'objet jusqu'à ce que son extrémité atteigne une de ses positions maximales et qu'on le relâche. L'extrémité se déplace, passe par sa position d'équilibre, atteint la position maximale opposée, repasse par sa position d'équilibre, puis revient à la position maximale initiale<sup>1</sup> et ainsi de suite. Le mouvement répété autour de la position d'équilibre est appelé vibration.

Un cycle de vibration est complété lorsque l'objet passe deux fois consécutives par la position d'équilibre dans la même direction. La figure 1 illustre le déplacement d'un point fixe sur l'objet au cours d'un cycle.

### **Amplitude et fréquence**

À l'aide de la figure 1, nous pouvons définir certaines caractéristiques fondamentales des vibrations.

<sup>1</sup> Pour simplifier, nous ne tenons pas compte du frottement.

## Amplitude

L'amplitude (A) est le déplacement maximal par rapport à la position d'équilibre, ou encore la vitesse ou l'accélération maximale, selon le capteur de vibrations utilisé. Pour simplifier, nous ne tiendrons compte que du déplacement. Dans ce cas, l'unité utilisée habituellement pour mesurer l'amplitude des vibrations est le micromètre ( $1\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>. Il s'agit d'une petite fraction d'un mètre :  
 $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$ .

## Fréquence

La fréquence (f) est le nombre de cycles de vibration par unité de temps. L'unité de fréquence est le hertz (Hz), soit un cycle par seconde. Comme la vitesse de rotation des machines tournantes est exprimée en tours par minute (T/M), la fréquence des vibrations auxquelles celles-ci sont soumises est communément exprimée en cycles par minute (C/M). Comme une minute compte 60 secondes,  $1\text{ Hz} = 60\text{ C/M}$ .

## Fréquence d'excitation et fréquence propre

La fréquence d'excitation est la fréquence à laquelle vibre un objet sous l'effet d'une force répétée. Une force d'excitation répétée appliquée sur un objet produit des vibrations ayant la même fréquence que cette force répétée. Les vibrations de ce type sont appelées vibrations forcées.

La fréquence propre est la fréquence à laquelle vibre un objet lorsque l'impulsion initiale est supprimée et qu'il peut osciller librement. Les vibrations de ce type sont appelées vibrations libres ou naturelles. En pratique, compte tenu du frottement et du transfert d'énergie aux objets avoisinants, l'amplitude des vibrations libres décroît progressivement jusqu'à ce que l'objet s'immobilise<sup>3</sup>.

Les vibrations qui se produisent lorsqu'on pince une corde de guitare constituent un exemple classique de vibrations naturelles. Dans une centrale, on peut citer comme exemple la tuyauterie qui vibre après un coup de bélier.

---

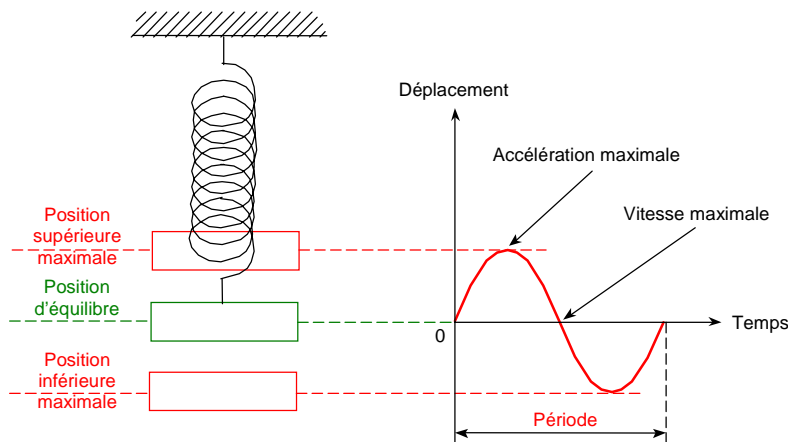
<sup>2</sup>  $\mu$  est une lettre grecque qui se prononce *mu*.

<sup>3</sup> Ce phénomène est traité dans la partie portant sur l'amortissement des vibrations à la page 12.

Comment se fait-il que les vibrations naturelles se poursuivent une fois que la perturbation a disparu? C'est en raison de l'effet combiné de l'inertie et de la rigidité de l'objet. Cette dernière a pour effet de produire une force et/ou un couple de rappel lorsque l'objet n'est pas dans sa position d'équilibre. Le qualificatif « de rappel » indique que la force ou le couple est toujours dirigé dans la direction de la position d'équilibre et qu'il tend à ramener l'objet à son état d'équilibre. Dans la plupart des cas, la force ou le couple résulte des contraintes produites dans l'objet lorsque celui-ci s'éloigne de sa position d'équilibre. Par exemple, un couple de rappel est produit dans un tuyau soumis à une flexion ou dans un arbre soumis à une torsion.

Notes :

Pour comprendre ce qui se passe au cours d'un cycle, reportons-nous à la figure 2 dans laquelle le ressort représente la rigidité de l'objet tandis que la masse suspendue représente son inertie.



**Figure 2**

Après qu'il a été fléchi puis relâché, l'objet accélère sous l'effet de la force de rappel conformément à la loi de Newton. La force de rappel diminue ensuite et devient nulle à la position d'équilibre.

Cependant, en raison de son inertie, l'objet ne peut pas s'arrêter instantanément. Il va poursuivre sa course de l'autre côté de la position d'équilibre où la force de rappel qui s'exerce dans le sens opposé le fera ralentir. À la position correspondant au déplacement maximal, la vitesse de l'objet est nulle, mais la force de rappel agit encore et aura pour effet d'accélérer l'objet de nouveau vers sa position d'équilibre. L'objet continue à se déplacer alternativement d'un côté à l'autre.



S'il n'était soumis à aucun frottement et s'il était parfaitement isolé de façon à empêcher tout apport ou perte d'énergie, l'objet continuerait à vibrer indéfiniment à une amplitude constante. En réalité, les vibrations finiront par cesser en raison du frottement et du transfert d'énergie vers l'extérieur.

La fréquence propre d'un objet est toujours la même quelle que soit l'amplitude des vibrations (à moins que l'objet ne subisse une déformation plastique). Par exemple, lorsqu'on double l'amplitude initiale, la force ou le couple de rappel double également. L'objet accélère ou ralentit alors deux fois plus vite et met donc le même temps pour compléter un cycle.

Tout objet réel vibre à un nombre infini de fréquences qui correspondent chacune à un type et à un mode de vibrations différents. Ces derniers sont décrits ci-dessous.

## 2.2 TYPES DE VIBRATIONS

On distingue trois types de vibrations selon la direction du mouvement et les déformations que subit l'objet vibrant :

- vibrations transversales (figures 1 et 2);
- vibrations longitudinales;
- vibrations de torsion (figure 3).

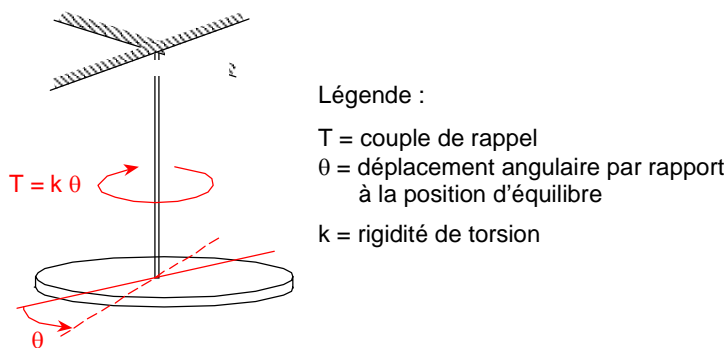


Figure 3

### Vibrations transversales

Les vibrations transversales sont les plus communes. Elles se produisent lorsqu'un objet est fléchi dans une direction perpendiculaire à son axe longitudinal. Un objet peut vibrer transversalement sans plier lorsqu'il n'est pas fixé à des supports rigides (figure 4, cas b). Par exemple, les arbres des machines

tournantes, les tuyaux et les tubes des échangeurs de chaleur peuvent être animés de vibrations transversales.

Notes :

### Vibrations longitudinales

Des vibrations longitudinales se produisent lorsqu'un objet est sollicité par des forces longitudinales périodiques. Ces vibrations peuvent par exemple se produire dans les arbres des machines tournantes, les tuyaux et les grappes de combustible d'un réacteur.

### Vibrations de torsion

Des vibrations de torsion se produisent lorsqu'un objet est soumis à un mouvement angulaire périodique autour d'un axe de référence – généralement l'axe longitudinal de l'objet. Les arbres des machines tournantes et les lames des turbines et des compresseurs sont généralement animés de vibrations de torsion.

Un objet n'est presque jamais animé d'un seul type de vibrations parce qu'il est généralement sollicité par de nombreuses forces périodiques qui s'exercent simultanément.

Certaines de ces forces produisent des vibrations transversales, tandis que d'autres produisent des vibrations longitudinales ou de torsion. En outre, chaque type de vibrations peut se produire selon différents modes. La figure 4 illustre certains de ces modes pour un arbre de diamètre constant animé de vibrations transversales : les modes a) et b) se rapportent à un arbre rigide reposant sur des paliers lâches ou souples et les modes c) et d), à un arbre reposant sur des paliers serrés et rigides.

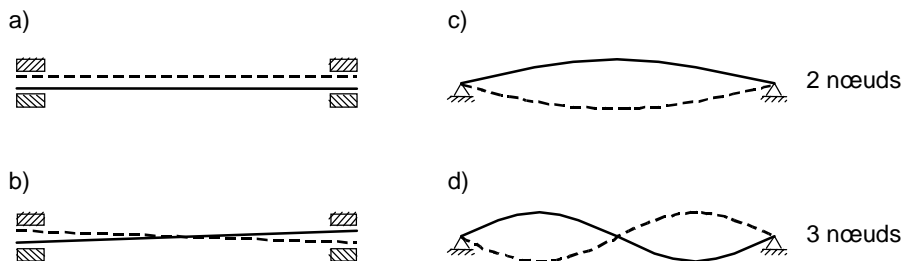


Figure 4

Le mode c) est caractérisé par deux nœuds (points où le déplacement est nul) situés dans les paliers et le mode d), par trois nœuds : deux dans les paliers et un au centre.

Il existe également d'autres modes caractérisés par 4 nœuds ou plus. En fait, pour chaque type de vibrations, un objet peut vibrer selon un nombre infini de modes. Heureusement, les objets ne vibrent pas selon des modes caractérisés par un nombre élevé de nœuds parce que les fréquences propres de ces modes sont beaucoup plus élevées que les fréquences d'excitation.

La fréquence propre est une notion importante dont il faut tenir compte pour prévenir les vibrations excessives. Pour une raison qui sera expliquée plus loin, on doit éviter les situations dans lesquelles la fréquence d'excitation est égale à une des fréquences propres d'un objet. Il est donc essentiel de connaître les facteurs ayant une incidence sur la valeur des fréquences propres. Il sera alors plus facile de comprendre comment certaines conditions de fonctionnement peuvent modifier ces fréquences.

### **2.3 FACTEURS AYANT UNE INCIDENCE SUR LES FRÉQUENCES PROPRES**

L'inertie et la rigidité sont les principaux facteurs ayant une incidence sur les fréquences propres d'un objet.

#### **Inertie**

Plus grande sera l'inertie d'un objet, plus faible sera l'accélération produite sous l'effet d'une force ou d'un couple de rappel donné. En conséquence, l'objet vibrera plus lentement. Étant donné que, dans ce cas, les cycles seront plus longs, il se produira moins de cycles par unité de temps, de sorte que les fréquences propres de l'objet seront plus faibles.

L'inertie d'un objet vibrant dépend de sa masse et, dans la plupart des cas, de la répartition de la masse dans l'objet. La masse d'un objet et sa répartition sont déterminées par la taille et la forme de l'objet et la masse volumique de ses matériaux constitutifs.

La répartition de la masse n'a pas une incidence uniquement dans les modes de vibration dans lesquels tous les points de l'objet ont la même accélération, comme dans le mode a) de la figure 4. Elle entre également en ligne de compte dans d'autres modes de vibration. Par exemple, dans le mode b) de la figure 4, l'inertie serait plus grande si une plus grande partie de la masse de l'objet était concentrée à ses extrémités.

Notes :

## Rigidité

Les fréquences propres d'un objet dépendent également de sa rigidité. Plus un objet est rigide, plus la force (couple) de rappel sera élevée. Ainsi, pour une inertie donnée, la force ou le couple de rappel produira une accélération plus élevée. L'objet vibrera donc plus vite et ses fréquences propres seront plus élevées.

Comme l'inertie, la rigidité d'un objet vibrant dépend de la taille et de la forme de l'objet et de la nature de ses matériaux constitutifs. Elle dépend également du type et du mode de vibration. Dans la plupart des cas, un objet à une rigidité différente selon qu'il est soumis à une compression axiale, à une flexion transversale ou à une torsion. Si l'on compare les modes de vibration c) et d) illustrés à la figure 4, on note qu'il est plus difficile de fléchir l'objet dans le mode d). On peut en conclure que la rigidité augmente avec le nombre de nœuds et que la fréquence propre correspondante est par conséquent plus élevée.

Dans de rares cas, la rigidité d'un objet est fonction de sa pression interne (les tuyaux souples sous pression constituent un bon exemple) et de la tension à laquelle il est soumis (comme dans le cas d'une corde de guitare ou d'une lame de turbine soumise à une force centrifuge élevée).

Les fréquences propres d'un objet peuvent<sup>4</sup> également dépendre d'un autre facteur : la rigidité de ses supports. Plus les supports sont souples, plus les fréquences propres sont faibles parce que les supports souples réduisent la force (couple) de rappel. Cette force est réduite parce que l'objet vibrant se déforme moins puisque ce sont les supports qui se déforment.

Par exemple, les fréquences naturelles d'un arbre supporté par deux paliers lisses montés sur un socle sont fonction de la rigidité de l'ensemble du palier (y compris du film d'huile dans le palier) et de la rigidité du socle.

Notes :

---

<sup>4</sup> L'effet de la rigidité des supports est négligeable lorsque l'objet est plus mou. Cette rigidité devrait être réduite énormément afin d'éviter qu'elle n'ait pour effet de trop abaisser les fréquences naturelles de l'objet.

Les conditions de fonctionnement et les pratiques en matière d'entretien peuvent avoir une incidence sur les fréquences naturelles des pièces d'équipement. Par exemple :

- Un support de tuyau défectueux a pour effet d'abaisser les fréquences propres du tuyau parce qu'il réduit sa rigidité;
- La fissuration ou l'affaissement d'un support de palier en béton peut entraîner une modification des fréquences propres de l'arbre supporté par le palier;
- La corrosion ou la cavitation peut provoquer une perte appréciable de métal;
- Les pièces de rechange peuvent différer des pièces d'origine.

## 2.4 AMORTISSEMENT

L'amortissement des vibrations est la dissipation de l'énergie mécanique d'un objet vibrant.

Dans le cas des vibrations libres, l'amortissement réduit à zéro l'amplitude des vibrations. Cette réduction est habituellement progressive. Si l'amortissement est suffisamment élevé, les vibrations libres cesseront même avant que le premier cycle ne soit complété. Dans les cas extrêmes, l'objet ne retournera même pas à sa position d'équilibre initiale après avoir été déplacé.

Dans le cas des vibrations forcées, l'amortissement a pour effet d'absorber l'énergie mécanique produite par la force d'excitation exercée sur l'objet. L'amplitude des vibrations se stabilise à une valeur à laquelle l'énergie produite est égale à l'énergie absorbée. En conséquence, plus l'amortissement est élevé, plus faible est l'amplitude.

L'amortissement est principalement causé par :

- le frottement interne dans le matériau constitutif de l'objet vibrant;
- le frottement entre les surfaces de l'objet vibrant et un autre objet;
- le frottement entre la surface de l'objet et le liquide avec lequel elle est en contact (amortissement par un liquide).

Bien qu'ils produisent en général un certain amortissement, les liquides peuvent causer des vibrations. C'est ce que nous verrons dans la prochaine partie.

Notes :

## 2.5 RÉSONANCE

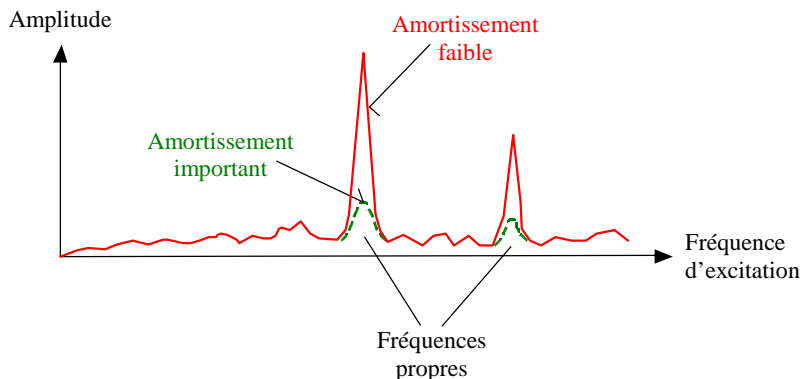
Le phénomène de résonance se produit lorsque la fréquence d'excitation est égale à une des fréquences propres. La résonance est potentiellement dangereuse, car elle peut donner lieu à des vibrations excessives. Nous expliquons ci-dessous, à l'aide d'un exemple tiré des jeux d'enfants, la raison pour laquelle l'amplitude augmente.

Pour mettre en mouvement une balançoire, il faut pousser au bon moment et à la bonne fréquence. Il est alors facile de produire un bon balancement, c.-à-d. une bonne amplitude.

Si l'on ne pousse pas à la bonne fréquence, l'amplitude diminue et il semble que la balançoire oppose une plus grande résistance à la force qu'on lui applique. La bonne fréquence est la fréquence à laquelle la balançoire oscille d'elle-même lorsqu'on ne la pousse pas. En employant la terminologie des vibrations, on peut dire qu'il est facile d'augmenter l'amplitude lorsque la balançoire est en résonance.

Lorsqu'un objet est en résonance, l'amplitude des vibrations augmente parce que la résistance que l'objet oppose alors aux vibrations est la plus faible. À des fréquences éloignées de la fréquence propre, l'objet oppose une résistance aux vibrations en raison de son inertie et de sa rigidité ainsi que de l'amortissement.

Aux fréquences propres, seul l'amortissement oppose une résistance aux vibrations, l'inertie et la rigidité ayant pour effet d'entretenir les vibrations de la façon décrite dans la partie portant sur les vibrations forcées et les vibrations naturelles. Au voisinage d'une fréquence propre, la résistance qu'oppose l'inertie et la rigidité de l'objet aux vibrations est plus faible et l'amplitude augmente (figure 5).



**Figure 5**

Notes :

Comme, à une fréquence propre, seul l'amortissement s'oppose aux vibrations, l'amplitude de ces dernières peut augmenter énormément sous l'effet de la résonance si l'amortissement est faible.

Dans les centrales, le phénomène de résonance se produit parfois dans des pièces d'équipement comme les machines tournantes, les tuyaux et les tubes des échangeurs de chaleur.

## 2.6 VITESSE CRITIQUE

La notion de vitesse critique s'applique seulement aux machines tournantes et surtout à l'élément principal de ces dernières, le rotor. La vitesse critique d'une machine tournante est la vitesse à laquelle une des fréquences propres de l'ensemble rotor-palier-socle est égale à la fréquence d'excitation correspondant à la vitesse de rotation de la machine.

L'utilisation du terme « ensemble rotor-palier-socle » dénote le fait que les fréquences propres du rotor dépendent de la rigidité de ses supports.

On mentionne la vitesse de rotation dans la définition ci-dessus parce que beaucoup de problèmes dans les machines tournantes se traduisent par des vibrations forcées d'une fréquence correspondant à la vitesse de rotation de ces machines. Par exemple, un arbre mal équilibré engendre une force qui tourne à la vitesse de l'arbre. Ainsi, le phénomène de résonance se produit lorsque la fréquence de rotation est à peu près égale à une des fréquences propres de l'ensemble rotor-palier-socle, c'est-à-dire lorsque la machine tourne à une vitesse critique. La résonance a pour effet d'accroître les vibrations, surtout si l'amortissement est faible. En se reportant à la figure 5, on peut voir que l'amplitude des vibrations augmente non seulement au point précis correspondant à une vitesse critique, mais dans une plage de vitesses centrée sur ce point.

Une machine tournante type (p. ex., un groupe électropompe) est dotée de deux, ou parfois de plusieurs, rotors reliés entre eux, chacun reposant sur ses propres paliers. Chaque rotor est caractérisé par une infinité de fréquences propres et par le fait même d'une infinité de vitesses critiques. Heureusement, seule la plus faible ou les deux plus faibles (rarement trois) de ces vitesses se situe dans la plage des vitesses de fonctionnement de la machine, les autres étant plus élevées. Dans certains cas, toutes les vitesses critiques sont supérieures à la vitesse de fonctionnement normale.

Notes :

Le fabricant spécifie habituellement la plage des vitesses critiques, mais pas toujours dans le cas des petites machines.

Notes :

Cependant, les vitesses critiques peuvent varier selon les conditions de fonctionnement, notamment par suite d'une modification de la rigidité des supports du rotor. Les supports se composent des paliers et de leurs carters, du socle et d'un dernier élément, mais non le moindre, soit le film d'huile dans les paliers dans le cas de paliers lisses. La modification de la rigidité des supports peut être attribuable à divers facteurs, par exemple :

- une variation de la température de l'huile peut avoir un effet sur l'épaisseur du film d'huile et par conséquent sur sa rigidité<sup>5</sup>;
- les boulons maintenant le palier peuvent se desserrer;
- le carter du palier ou le socle peuvent se fissurer.

Une modification anormale de la rigidité des supports de l'arbre peut avoir pour effet de rapprocher une des vitesses critiques de la vitesse de fonctionnement normale et par conséquent d'accroître l'amplitude des vibrations.

On doit éviter que la vitesse de fonctionnement se situe au voisinage de la vitesse critique de crainte que l'amplitude des vibrations n'atteigne des valeurs inacceptables. La vitesse de fonctionnement normale doit donc être suffisamment éloignée<sup>6</sup> des vitesses critiques les plus rapprochées.

Malheureusement, dans le cas de machines mal conçues ou mal installées, l'écart peut être tellement faible qu'une petite modification des vitesses critiques peut suffire à provoquer le phénomène de résonance.

Dans le cas de certaines machines comme les groupes turbogénérateurs ainsi que les pompes et les compresseurs haute vitesse, la vitesse de fonctionnement normale se situe au-dessus des vitesses critiques. La vitesse de ces machines peut cependant atteindre les vitesses critiques au cours du démarrage et de l'arrêt, mais cela ne pose aucun problème pourvu que les forces d'excitation ne soient pas excessives (en raison, par exemple, d'un

---

<sup>5</sup> Des explications plus détaillées sont données dans le module 5.

<sup>6</sup> Au moins  $\pm 20\%$ .



déséquilibre de l'arbre ou d'un défaut d'alignement des paliers excessifs) et que l'amortissement soit suffisant<sup>7</sup>.

Le démarrage et l'arrêt des pompes, des compresseurs et des ventilateurs se fait habituellement tellement rapidement que le passage dans la plage d'une vitesse critique dure moins d'une seconde. Le personnel d'exploitation n'a par conséquent pas le temps d'intervenir dans ce cas.

Par contre, le démarrage et l'arrêt des groupes turbogénérateurs à vapeur est beaucoup plus long<sup>8</sup>, ce qui laisse le temps au personnel d'exploitation de s'assurer qu'il n'y pas de forces d'excitation excessives et que l'amortissement est suffisant lorsque la vitesse de la machine est sur le point de passer dans la plage d'une vitesse critique. Le passage dans la plage d'une vitesse critique peut alors se faire aussi vite que possible compte tenu des autres facteurs limitatifs (p. ex., les contraintes thermiques ne doivent pas être trop élevées) et la vitesse n'est jamais maintenue dans cette plage. Lorsque la machine doit être déclenchée parce que les vibrations ont atteint une amplitude très élevée, le déclenchement provoque le cassage du vide dans le condenseur. Comme la masse volumique de la vapeur dans le condenseur augmente dans une proportion importante, le couple de freinage que la vapeur exerce sur le rotor augmente d'autant. Ainsi, le temps passé dans les plages des vitesses critiques est grandement réduit.

## **2.7 DOMMAGES CAUSÉS PAR DES VIBRATIONS EXCESSIVES**

Les vibrations excessives doivent être évitées et rapidement supprimées lorsqu'elles sont détectées parce qu'elles ont pour effet d'accélérer l'usure de l'équipement, qu'elles causent des dommages et qu'elles peuvent provoquer une défaillance et parfois même un accident catastrophique.

Les effets des vibrations causant de l'usure et des dommages sont les suivants :

- fatigue;

---

<sup>7</sup> Dans les machines tournantes, l'amortissement est généralement fourni par le film d'huile dans les paliers, le carter en fonte et le socle en béton.

<sup>8</sup> Le démarrage peut prendre jusqu'à une heure et l'arrêt, jusqu'à deux heures.

Notes :

- frottement et usure de contact;
- impacts;
- desserrage des pièces.

Notes :

## **Fatigue**

La fatigue se produit dans des pièces comme les paliers, les accouplements, les lames et les aubes des machines tournantes, les tubes des échangeurs de chaleur et la tuyauterie. Selon l'EPRI (Electric Power Research Institute), les emboîtements soudés des tubes de petit diamètre ( $\leq 2$  po) sont les pièces les plus susceptibles de subir une rupture par fatigue.

## **Frottement et usure de contact**

Le frottement se produit parfois dans les machines tournantes, notamment dans les joints d'étanchéité, les paliers lisses, les bagues d'usure des pompes, les lames des turbines et des compresseurs et les aubes des pompes et des ventilateurs. L'isolant électrique des câbles et des fils peut être également soumis à un frottement qui peut provoquer un défaut de mise à la terre et un défaut phase-phase.

L'usure de contact se produit généralement dans les échangeurs de chaleur lorsque les tubes en vibration frottent contre les plaques supports.

## **Impacts**

Des impacts peuvent se produire dans les machines tournantes ou la tuyauterie lorsque l'amplitude est élevée. Les pièces comme les joints d'étanchéité, les aubes des pompes et des ventilateurs et les lames des turbines ou des compresseurs peuvent entrer en collision avec les pièces fixes adjacentes et causer des dommages. Les tuyaux en vibration peuvent heurter les pièces d'équipement adjacentes. Dans les échangeurs de chaleur, les tubes en vibration peuvent s'entrechoquer à mi-chemin entre leurs plaques supports.

## **Desserrage des pièces**

Le desserrage des pièces telles que les boulons, les écrous ou les rondelles peut provoquer l'endommagement des éléments fixés à l'aide de ces pièces, par exemple les couvercles de courroie ou les indicateurs. Les contacts électriques desserrés peuvent entraîner une perte de puissance.

Normalement, l'usure causée par les vibrations progresse lentement. Des activités de surveillance et d'entretien préventif régulières peuvent permettre de déceler le problème avant qu'une défaillance ne survienne. Cependant, on a vu des cas extrêmes dans des centrales électriques où les vibrations ont provoqué presque instantanément des dommages catastrophiques.

Par exemple, si une longue lame se brisait dans une turbine basse pression, les vibrations atteindraient une amplitude telle que les paliers, les joints d'étanchéité et les accouplements se briseraient immédiatement et qu'il se produirait un frottement intense à l'intérieur de l'appareil. Il est probable que les joints d'étanchéité à hydrogène lâcheraient également et il est presque certain que l'hydrogène et l'huile s'enflammeraient.

Compte tenu de tous ces dangers potentiels, il faut être vigilant et effectuer de façon régulière des inspections et des contrôles rigoureux.

## **2.8 BALOURD ET DÉALIGNEMENT**

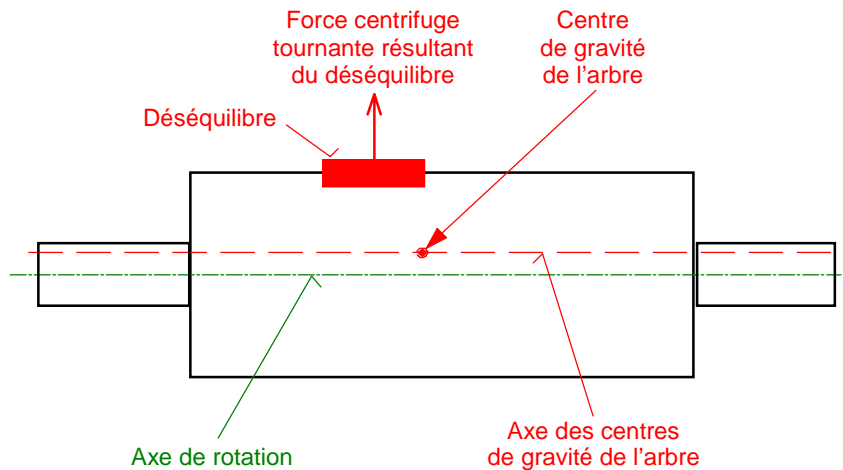
La plupart des problèmes causés par les vibrations sont liés aux machines tournantes. Ces problèmes se manifestent à un moindre degré dans la tuyauterie et les échangeurs de chaleur, où les vibrations sont causées par l'écoulement du liquide.

Dans la présente partie, nous mettrons l'accent sur deux causes mécaniques importantes des vibrations dans les machines tournantes : le balourd et le désalignement (des arbres).

### **Balourd**

Le balourd est la principale cause des problèmes de vibrations. Il s'agit d'un déséquilibre qui se produit lorsque l'axe des centres de gravité du rotor ne coïncide pas avec l'axe de rotation. L'axe des centres de gravité est défini comme une ligne joignant les centres de gravité de tranches minces fictives dont l'alignement formerait le rotor. La figure 6 illustre un cas simple de balourd dans un rotor. En réalité, l'axe des centres de gravité a plutôt la forme d'un serpent enroulé autour de l'axe de rotation.

Notes :



Notes :

**Figure 6**

La force centrifuge tournante résultant du balourd augmente rapidement avec la vitesse de rotation<sup>9</sup>. C'est ce qui fait que même une faible augmentation du balourd peut provoquer de fortes vibrations dans les machines tournant à grande vitesse comme les compresseurs à vis, les turbines à gaz ou certaines pompes.

Le balourd dans les rotors neufs ou réparés est causé par le manque de précision dans l'usinage et l'assemblage des pièces.

On peut réduire le balourd au minimum en équilibrant le rotor, soit en ajoutant des poids du côté du rotor où la masse est plus faible, soit en enlevant de la matière du côté où la masse est plus élevée. Si l'équilibrage est effectué correctement, le balourd sera tellement faible qu'il ne causera pas de problèmes de vibrations.

Nous allons maintenant examiner les conditions de fonctionnement susceptibles d'accroître le balourd du rotor. Certaines ont pour effet de modifier le balourd de façon temporaire et d'autres de façon permanente (jusqu'à ce que l'entretien soit effectué). Les cas suivants constituent des exemples de modifications permanentes :

- Perte d'une partie du rotor – dans les cas extrêmes, le balourd résultant peut avoir des conséquences catastrophiques, mais parfois la partie perdue est tellement petite qu'il n'en résulte qu'une faible augmentation des vibrations.

<sup>9</sup> Elle est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation.

- Dépôts dus à la corrosion ou usure causée, par exemple, par l'érosion, l'abrasion ou l'éraillage. Dans la plupart des cas, les modifications du balourd sont faibles et se produisent lentement.

La cause la plus commune des modifications temporaires du balourd est l'arcure transitoire du rotor sous l'effet des contraintes thermiques qui sont générées lorsqu'un côté de l'arbre est plus chaud que le côté opposé.

Voici des exemples de conditions de fonctionnement pouvant donner lieu à des modifications temporaires du balourd :

- Variations rapides de la charge – le refroidissement ou l'échauffement du rotor peut être tellement rapide que de petites inégalités dans la répartition des dépôts à la surface de l'arbre peuvent avoir un effet sur le transfert de chaleur et donner lieu à de légères différences de température dans le rotor. Ce problème ne se présente pas lorsque le refroidissement ou l'échauffement est lent puisque la température peut s'uniformiser sous l'effet de la conduction thermique à l'intérieur du rotor.
- Frottement – le frottement a pour effet d'augmenter la température de l'arbre à l'endroit où il se produit.
- Cambrure – phénomène décrit à la page 21.
- Obturation partielle de certains conduits de refroidissement (par de la poussière de carbone par exemple) dans les moteurs électriques et les génératrices.
- Répartition asymétrique du courant dans les enroulements des moteurs électriques et des génératrices – les enroulement dans lesquels passe un courant plus intense deviennent plus chauds que les autres. Cette asymétrie peut résulter de certaines défauts, comme des fissures dans un enroulement du rotor.

Les conditions décrites ci-dessus se présentent surtout pendant le démarrage ou l'arrêt des machines tournantes. C'est une des raisons pour lesquelles les vibrations augmentent pendant ces périodes.

Notes :



Comme le balourd, le désalignement des arbres peut également varier selon les conditions de fonctionnement. Un certain nombre de conditions de fonctionnement peuvent provoquer un désalignement et des vibrations :

Notes :

- Les carters de machine munis de supports de paliers peuvent se déformer sous l'effet des contraintes causées par une dilatation thermique non uniforme ou des forces exercées par la tuyauterie reliée au carter.
- Les socles de machine en béton peuvent subir une dilatation thermique, ou s'affaisser ou se fissurer avec le temps.
- Un palier peut se desserrer dans son carter, ce dernier peut se fissurer ou les éléments qui le relie au carter ou au socle de la machine peuvent se desserrer.
- Les paliers peuvent subir une usure excessive localisée appelée essuyage.

Le premier cas est celui qui se présente le plus souvent, habituellement pendant les périodes de fonctionnement transitoires : au démarrage et à l'arrêt des machines ou lorsque la charge varie. C'est, avec l'arcure transitoire du rotor sous l'effet des contraintes thermiques, une des raisons pour lesquelles les vibrations augmentent pendant les périodes de fonctionnement transitoires.

## 2.9 CAMBRURE ET FLÉCHISSEMENT

Le balourd et le désalignement peuvent varier sous l'effet de certaines déformations de l'arbre appelées cambrure et fléchissement. Ces déformations sont plus prononcées lorsque l'arbre est long comme c'est le cas dans les groupes turbogénérateurs à vapeur.

La cambrure est une courbure du rotor vers le haut qui se produit lorsque la partie supérieure de l'arbre est plus chaude que la partie inférieure. Cette différence de température est due à la stratification thermique du liquide autour de l'arbre : le liquide plus froid, et par conséquent plus lourd, descend à la partie inférieure et le liquide plus chaud, donc plus léger, monte à la partie supérieure. C'est ce qui arrive lorsque la machine se refroidit ou se réchauffe. Par exemple, la cambrure du rotor se produit dans une pompe à eau chaude après son déclenchement ou lorsque de la vapeur est

introduite dans les presse-garnitures d'une turbine pendant que le rotor est immobile.

La cambrure est un processus rapide. En quelques minutes, la déformation de l'arbre peut annuler le jeu radial à certains endroits de la machine. Si l'on tente de faire tourner l'arbre dans ces conditions, les organes internes de la machine (les lames de la turbine par exemple) et les paliers peuvent subir des dommages à cause du frottement.

La cambrure peut également avoir un effet sur le carter de la machine. Cependant, c'est son effet sur le rotor qui est le plus préoccupant parce que, d'une part, la cambrure provoque un déséquilibre de masse qui produit le balourd du rotor, mais qui n'a pas d'effet sur le carter et que, d'autre part, la cambrure du rotor se produit plus rapidement et est plus prononcée que la cambrure du carter. Ces différences sont dues au fait que la température varie plus rapidement dans le rotor que dans le carter, ce dernier étant plus lourd et nécessitant le transfert d'une plus grande quantité de chaleur pour faire varier sa température dans les mêmes proportions.

Le fléchissement est la courbure vers le bas que subit le rotor sous l'effet de son propre poids. Un fléchissement de très faible amplitude se produit dans les conditions normales de fonctionnement parce que le rotor n'a pas une rigidité infinie. Cependant, lorsque le rotor est immobile, le fléchissement est plus prononcé compte tenu du fait que la même partie du rotor est soumise à une contrainte constante pendant une longue période : la moitié supérieure est en compression et la moitié inférieure, en tension. On peut observer le même phénomène dans une tablette de bibliothèque chargée de livres.

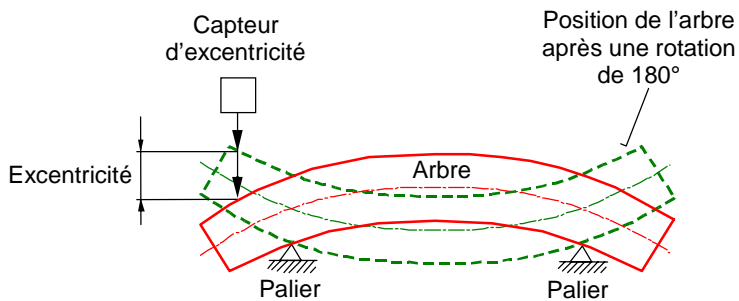
Au contraire de la cambrure, le fléchissement est un phénomène lent dont les effets néfastes se font sentir en quelques jours plutôt qu'en quelques minutes.

L'excentricité de l'arbre est un autre terme lié étroitement à la cambrure et au fléchissement.

L'excentricité est la mesure de la déflexion de l'axe du rotor par rapport à la ligne droite. La figure 8 illustre la façon dont l'excentricité est mesurée. On ne peut mesurer l'excentricité lorsque le rotor est immobile.

Notes :





**Figure 8**

Notes :

Dans les centrales, on n'effectue le contrôle de l'excentricité que sur les rotors des turbines haute pression, ce qui permet d'éviter que la turbine ne soit lancée lorsque le rotor est courbé.

L'excentricité des rotors peut être causée par la cambrure et le fléchissement. Cependant, elle peut également résulter du frottement ou encore du réchauffement ou du refroidissement très rapide du rotor.

Quelle qu'en soit la cause, l'excentricité a des conséquences plus ou moins néfastes selon la vitesse du rotor. À vitesse élevée, la courbure de l'arbre provoque de fortes vibrations parce que la force centrifuge causée par le balourd devient excessive. À faible vitesse cependant, cette force est trop faible pour produire de fortes vibrations même si la courbure est suffisante pour provoquer un léger frottement. Le contrôle des vibrations uniquement dans les paliers n'est pas suffisant parce qu'il ne permet pas de détecter la courbure du rotor, laquelle peut provoquer l'usure ou l'endommagement des joints d'étanchéité. Ce danger peut cependant être évité en contrôlant l'excentricité du rotor.

Des méthodes d'exploitation ont été mises en œuvre pour prévenir la cambrure ou le fléchissement excessif du rotor. En voici des exemples :

- À l'aide du vireur, on fait tourner lentement le turbogénérateur afin de réduire la cambrure ou le fléchissement avant sa mise en service et de prévenir une cambrure excessive après l'arrêt.
- On fait tourner lentement les pompes à eau chaude auxiliaires en maintenant un faible débit de refoulement à l'aide d'une autre pompe, autrement elles risquent de ne pas fonctionner au moment voulu en raison de la courbure du rotor.

## EXERCICE

Notes :

### VIBRATIONS

1. Définissez chacun des termes suivants s'appliquant aux vibrations mécaniques.
  - a. Amplitude
  - b. Fréquence propre
  - c. Fréquence d'excitation
  - d. Amortissement
  - e. Résonance
  - f. Vitesse critique
2. Expliquez deux (2) facteurs importants ayant une incidence sur les fréquences propres d'un objet.
3. Énoncez et expliquez quatre mécanismes par lesquels les vibrations excessives peuvent causer des dommages.
4. Expliquez pourquoi l'on doit éviter de faire fonctionner une machine tournante à une vitesse voisine d'une de ses vitesses critiques.
5. Expliquez comment le balourd peut causer des vibrations.
6. Expliquez comment le désalignement peut causer des vibrations.
7. Énoncez et expliquez deux (2) mécanismes pouvant causer un balourd permanent pendant le fonctionnement d'une machine tournante.
8. Énoncez et expliquez cinq (5) mécanismes pouvant causer un balourd temporaire pendant le fonctionnement d'une machine tournante.
9. Énoncez et expliquez quatre (4) mécanismes pouvant causer un désalignement pendant le fonctionnement d'une machine tournante.
10. Définissez chacun des termes suivants s'appliquant aux arbres tournants.
  - a. Cambrure
  - b. Fléchissement
  - c. Excentricité

## **ROBINETTERIE**

Notes :

### **3.0 INTRODUCTION**

Les appareils de robinetterie sont sans doute les éléments les plus utilisés dans une centrale nucléaire. On en compte des milliers dans chacune des tranches d'une centrale. Il s'agit d'appareils de conception variée que l'on utilise à des fins multiples. Du point de vue opérationnel, il est utile de classer ces appareils selon la fonction à laquelle ils sont destinés. Un appareil de robinetterie peut d'ordinaire remplir l'une des fonctions suivantes :

- régulation,
- isolement,
- prévention de retour,
- prévention des excès de pression.

Les appareils de robinetterie peuvent être à commande manuelle ou être pourvus d'un actionneur. Les actionneurs peuvent faire appel à diverses sources d'énergie :

- pneumatique,
- électrique,
- hydraulique.

Nous avons vu dans un cours antérieur que les appareils de robinetterie pouvaient être classés selon leur organe d'obturation : tournant sphérique, opercule, membrane, soupape, etc. Nous allons maintenant les étudier du point de vue de la fonction qu'ils sont appelés à remplir dans le circuit.

### **3.1 FONCTION DE RÉGULATION**

Les appareils de robinetterie assurant une fonction de régulation sont d'ordinaire appelés vannes de régulation. Elles sont désignées à l'aide du code CV. Il est fréquent que l'élément final d'une boucle de régulation soit une vanne de régulation, qui peut être ouverte, fermée ou

occuper une position intermédiaire entre ces deux extrêmes selon les exigences. En règle générale, les vannes de régulation sont pourvues d'un positionneur. Il s'agit d'un dispositif qui compare le signal de commande (qui est représentatif de la position que doit occuper l'obturateur de la vanne) avec la position réellement occupée par l'obturateur, puis règle la position de l'obturateur en agissant sur l'actionneur. La majorité des vannes de régulation d'une centrale CANDU sont dotées d'un actionneur pneumatique, mais quelques-unes sont pourvues d'un actionneur hydraulique.

L'un des plus importants paramètres de calcul d'une vanne de régulation est sa caractéristique. Pour assurer une régulation appropriée de l'action d'un circuit, la vanne doit afficher la caractéristique voulue. Nous allons maintenant étudier ce concept en utilisant la vanne à soupape comme organe de référence. Il importe toutefois de préciser que, même si elles sont très souvent utilisées comme vannes de régulation, les vannes à soupape sont loin d'être les seules à pouvoir remplir cette fonction.

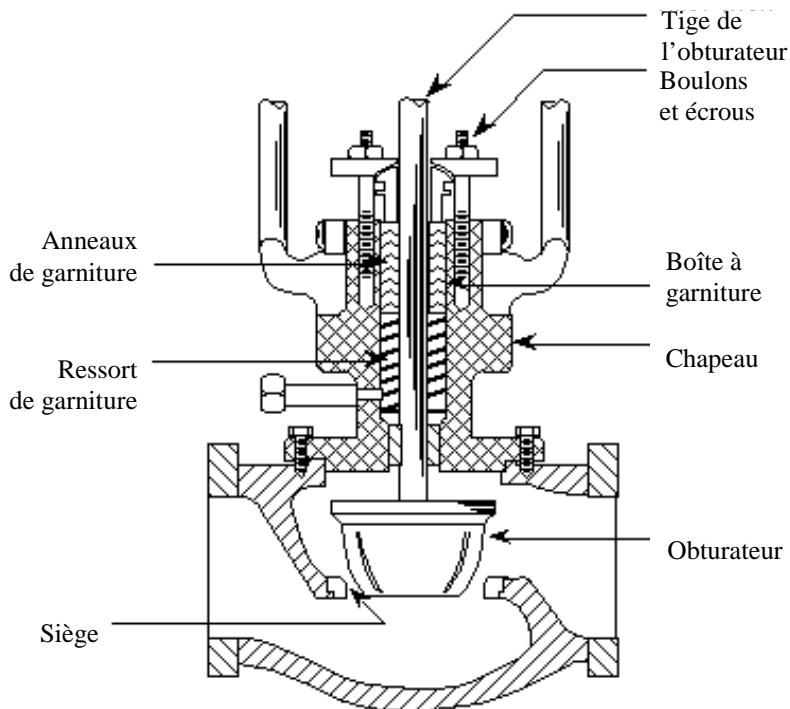
Il est également très fréquent que l'on ait recours à cette fin à des vannes à boule en V, à des vannes à pointeau et à des vannes à papillon, pour n'en nommer que quelques-unes.

### **3.2 CARACTÉRISTIQUES DES APPAREILS DE ROBINETTERIE**

Du point de vue opérationnel, il importe de savoir quel débit de fluide traversera la vanne lorsque son obturateur occupe une position donnée et quelle sera la chute de pression entre l'amont et l'aval de l'appareil.

Les deux paramètres (débit et chute de pression) varient en fonction des organes internes de la vanne. En règle générale, ces organes correspondent à toutes les pièces internes démontables de la vanne qui entrent en contact avec le fluide. En pratique, ce sont le siège et l'obturateur (tournant, opercule, disque, boule, etc.). La figure 9 illustre une vanne à soupape type.

Notes :



Notes :

**Figure 9**

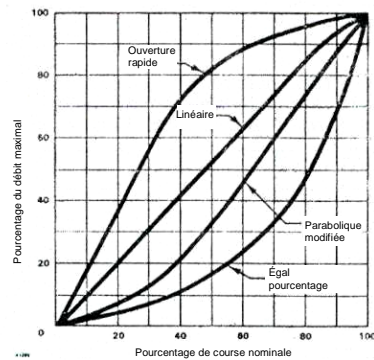
La caractéristique d'une vanne est la courbe qui représente l'évolution de son débit en fonction de la course de son obturateur.

On trace cette courbe en mesurant le débit pour différentes positions de l'obturateur par rapport au siège et en reportant les données ainsi obtenues sur un graphique. Bien que le débit qui traverse une vanne soit fonction de la pression différentielle, le constructeur de la vanne ignore quelle valeur prendra cette chute de pression une fois la vanne installée dans un circuit. C'est pourquoi les constructeurs soumettent les vannes à des essais à perte de charge constante afin de déterminer leur caractéristique<sup>10</sup>. La caractéristique de débit ainsi obtenue est appelée caractéristique intrinsèque.

L'évolution du débit de la vanne en fonction de la course de son obturateur variera selon la forme des organes internes de l'appareil. On trouve à la figure 10 une illustration des caractéristiques intrinsèques les plus typiques.

<sup>10</sup> Pour des raisons historiques, la chute de pression est d'ordinaire de 1 lb/po<sup>2</sup>.

Notes :

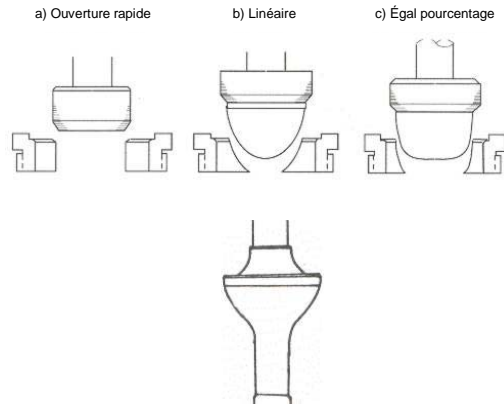


**Figure 10**

La caractéristique d'une vanne peut aussi être décrite par une autre expression, soit le gain de vanne. Ce dernier est défini comme le rapport entre la variation du débit et la variation de la course à perte de charge constante. En réalité, le gain correspond à la pente de la courbe caractéristique de la vanne.

### **Caractéristique à ouverture rapide**

La vanne à ouverture rapide est conçue pour permettre l'obtention d'une variation maximale du débit par l'intermédiaire d'un faible déplacement de la tige de manœuvre, conformément à une relation presque linéaire. Tout déplacement ultérieur de la tige de manœuvre se traduit par une variation de plus en plus petite du débit, variation qui est pratiquement nulle lorsque la vanne est près d'être complètement ouverte. Ces vannes sont surtout utilisées pour assurer une commande par tout ou rien. La majorité des robinets-vannes ont une telle caractéristique. On trouve à la figure 11 a) un exemple de vanne à soupape à ouverture rapide.



Notes :

**Figure 11**

### **Caractéristique linéaire**

Les vannes à débit linéaire sont conçues pour permettre l'obtention d'une relation linéaire entre la course de l'obturateur et le débit de la vanne. Le gain de vanne est donc constant pour tous les débits. Les vannes à caractéristique linéaire sont souvent utilisées dans des circuits où il est possible de maintenir la différence de pression entre l'amont et l'aval de la vanne presque constante, condition qui rend le débit proportionnel à la course de l'obturateur. On peut donner comme exemple d'une telle application les vannes d'alimentation du circuit de caloportage (les pressions enregistrées à la sortie des pompes de mise sous pression et dans le circuit de caloportage étant relativement constantes). On trouve à la figure 11 b) un exemple de vanne à soupape à caractéristique linéaire.

### **Caractéristique à égal pourcentage (ou parabolique)**

La vanne à égal pourcentage tire son nom du fait que, étant donné des déplacements égaux de l'obturateur, on enregistre la même variation en pourcentage du débit. Lorsque la vanne est presque fermée et que le débit est faible, la variation du débit sera faible. Lorsque l'ouverture et le débit de la vanne sont élevés, la variation du débit sera importante. Une vanne à égal pourcentage affichera donc un faible gain à faible débit et un gain élevé à débit élevé.

En général, les vannes à égal pourcentage sont utilisées dans les cas où une partie importante de la chute de pression est normalement absorbée par le circuit et où une partie relativement faible de celle-ci est disponible à la vanne. On utilise aussi ces vannes dans les cas où l'on prévoit une variation marquée de la chute de pression. On trouve à la figure 11 c) un exemple de vanne à soupape à caractéristique à égal pourcentage.

Notes :

### **Caractéristique parabolique modifiée**

La caractéristique parabolique modifiée, dernière caractéristique que nous allons étudier, se situe entre la caractéristique à égal pourcentage et la caractéristique linéaire. Le gain de la vanne à caractéristique parabolique modifiée s'accroît en fonction de l'ouverture de la vanne. Il arrive que ces vannes soient utilisées en lieu et place des vannes à égal pourcentage.

Nombre de vannes à papillon, à tournant sphérique et à tournant conique et même certains robinets-vannes affichent une telle caractéristique. On trouve à la figure 11 d) un exemple de vanne à soupape à caractéristique parabolique modifiée.

Le débit traversant une vanne dont l'obturateur occupe une position donnée est proportionnel à la racine carrée de la chute de pression entre l'amont et l'aval de la vanne (ainsi, pour doubler le débit, il faut quadrupler la perte de charge). Cette relation vaut pour toutes les caractéristiques de vanne (puisque l'obturateur de la vanne occupe une position donnée).

Pour conclure, nous allons voir quel est l'effet de l'ouverture d'une vanne sur les pressions à l'admission et à la sortie de celle-ci ainsi que sur le débit dans le circuit.

- L'ouverture de la vanne accroît le débit qui la traverse et abaisse la pression de son côté amont (les pertes de charge par frottement augmentant en fonction du débit).
- Si la vanne rejette le fluide dans l'atmosphère, sa pression de décharge demeure constante.



- Si la vanne est installée dans une canalisation, sa pression de décharge a tendance à augmenter, encore une fois du fait de l'accroissement des pertes de charge par frottement.
- Le débit massique de vapeur ou de gaz traversant une vanne dont l'obturateur occupe une position donnée et qui est soumise à une pression différentielle donnée s'accroît en fonction de la pression à l'admission de la vanne du fait que la densité du fluide augmente avec la pression.
- En position complètement ouverte, un robinet-vanne affiche une pression différentielle plus faible et un débit plus élevé qu'une vanne à soupape de mêmes dimensions.

Non seulement la sélection d'une vanne inappropriée se traduit-elle par une régulation de piètre qualité, mais elle peut donner lieu à un écoulement turbulent et être source de cavitation. L'écoulement turbulent provoque une augmentation des pertes de charge dans le circuit et peut entraîner un accroissement de l'érosion. La cavitation risque pour sa part d'endommager gravement les vannes et les canalisations.

### **3.3 MODES DE DÉFAILLANCE DES APPAREILS DE ROBINETTERIE**

Nous avons vu que la plupart des vannes de régulation d'une centrale CANDU sont à commande pneumatique et qu'elles sont en majorité dotées d'un actionneur à membrane. On peut faire en sorte que de telles vannes fassent défaillance en position ouverte ou en position fermée en cas de coupure de l'alimentation en air.

#### **Effet de la perte du signal de commande ou de l'alimentation en fluide moteur sur une vanne**

En cas de perte du signal de commande ou de l'alimentation en fluide moteur, nous voulons que la vanne soit à sûreté intégrée, c'est-à-dire qu'elle se place automatiquement dans la position (ouverte ou fermée) nécessaire pour laisser le circuit à l'état sûr.

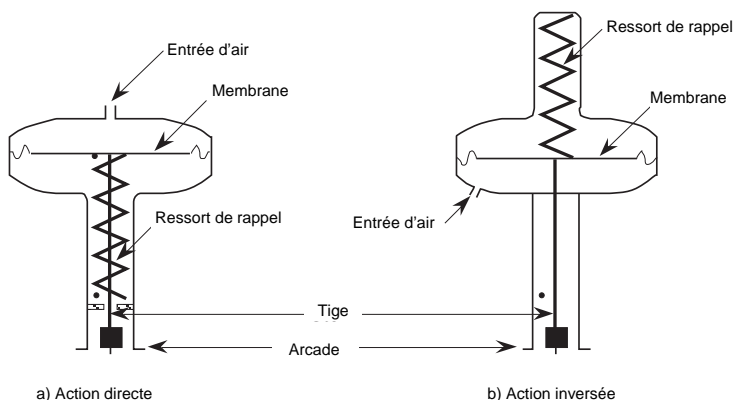
Notes :

Une vanne peut faire défaillance :

1. en position ouverte,
2. en position fermée,
3. dans la dernière position qu'elle occupait.

Cette position est déterminée soit par la conception du corps de vanne et de l'actionneur, soit par le positionneur<sup>11</sup> qui placera la vanne dans la position voulue. C'est le procédé sur lequel on désire agir qui dicte au concepteur du circuit ou de la centrale le mode défaillance approprié ainsi que le choix de la vanne et de l'actionneur qui conviennent.

De façon générale, en cas de coupure de l'alimentation en fluide moteur, une vanne équipée d'un ressort de rappel est automatiquement replacée à la position voulue grâce à l'énergie emmagasinée dans le ressort. La plupart des actionneurs à membrane qui équipent les vannes de régulation comportent un ressort qui retourne la vanne à la position voulue en cas de défaillance. La figure 12 présente deux configurations possibles d'un tel actionneur.



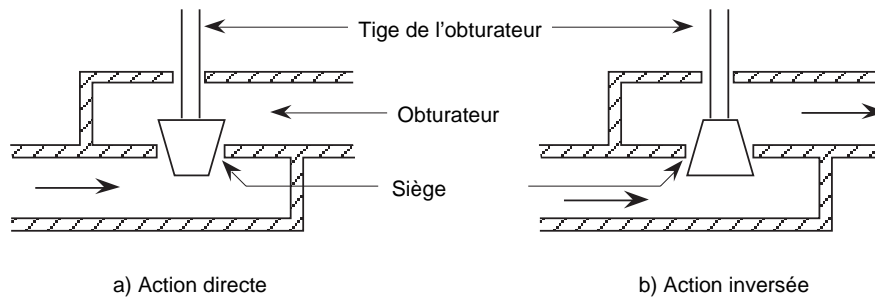
**Figure 12**

<sup>11</sup> Un positionneur est un dispositif qui modifie la position de l'obturateur d'une vanne de régulation en fonction du signal de commande. Quand une vanne est dotée d'un positionneur, le signal est transmis à ce dernier plutôt que directement à l'actionneur.

Dans un actionneur à action directe [figure 12 a)], le signal pneumatique est appliqué sur le dessus de la membrane et la pousse vers le bas. En cas de coupure de l'alimentation en air, le ressort ramène la tige de l'obturateur et l'obturateur vers le haut. Dans un actionneur à action indirecte [figure 12 b)], le signal pneumatique est appliqué sur le dessous de la membrane et la pousse vers le haut. En cas de coupure de l'alimentation en air, le ressort repousse la tige de l'obturateur et l'obturateur vers le bas.

La position occupée par la vanne en cas de défaillance est aussi fonction du type de corps de vanne utilisé. La figure 13 illustre deux types de corps de vanne.

Il convient de noter que les vannes à action inversée sont relativement rares, la majorité d'entre elles étant à action directe.



**Figure 13**

Le tableau 1 présente un sommaire de tous les agencements possibles de corps de vanne, d'actionneurs et de modes de défaillance.

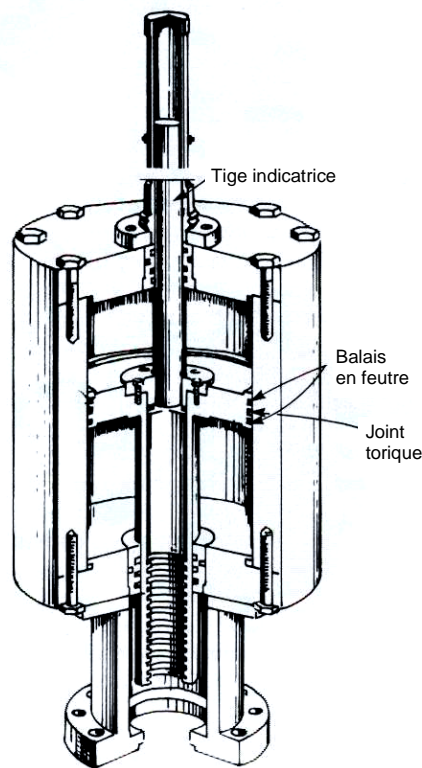
Actionneur	Corps de vanne	Vanne	Mode de défaillance
à action directe	à action directe	à action hyperstatique	en position ouverte
à action inversée	à action inversée	à action hyperstatique	en position ouverte
à action directe	à action inversée	à action hypostatique	en position fermée
à action inversée	à action directe	à action hypostatique	en position fermée

**Tableau 1**

Notes :

Outre les actionneurs à membrane, on trouve aussi des actionneurs à vérin qui utilisent le signal de commande (pneumatique ou hydraulique) pour déplacer la tige de la vanne dans les deux directions. Certains d'entre eux sont dotés d'un ressort de rappel qui remplit la même fonction que celui des actionneurs à membrane. En cas de coupure de l'alimentation en fluide moteur, le ressort place la vanne dans la position appropriée. Cependant, certains actionneurs à vérin ne comportent pas de ressort de rappel. La figure 14 présente le schéma d'un tel actionneur.

Notes :



**Figure 14**

En cas de coupure de l'alimentation en fluide moteur de l'actionneur illustré, la vanne fera défaut dans la dernière position qu'elle occupait. En pareil cas, il est fréquent d'observer par après une fuite lente du fluide par les joints annulaires du vérin, ce qui a pour effet de modifier le réglage de la vanne.

Dans les applications critiques, il est fréquent de prévoir un réservoir d'appoint renfermant assez de fluide sous pression pour commander le déplacement de la tige de manœuvre à quelques reprises sur la longueur de sa course.

En cas de perte du signal de commande, la vanne fera aussi défaillance dans la position appropriée. L'actionneur commande alors les mêmes interventions (mise à l'air libre/vidange) qu'en cas de coupure de l'alimentation en fluide moteur.

### **3.4 FLUIDES MOTEURS**

Les actionneurs à vérin et à membrane utilisent en général l'air comme fluide moteur. Il arrive toutefois que l'on ait recours à l'huile lorsque le déplacement des tiges nécessite une pression importante ou que le délai inhérent à l'utilisation de l'air, fluide compressible, aurait pour effet de prolonger excessivement le délai de fonctionnement.

#### **Impuretés dans le fluide hydraulique ou l'air d'instrumentation**

Il importe pour la sûreté de la centrale que les vannes de régulation et d'isolement soient fiables. Or, un facteur qui contribue à assurer un fonctionnement fiable des vannes est la propreté du fluide hydraulique et de l'air d'instrumentation.

Les impuretés pouvant entraîner un mauvais fonctionnement des actionneurs pneumatiques et hydrauliques, ou même leur défaillance, sont les suivantes :

- eau,
- particules,
- huile.

En général, l'eau s'introduit dans les fluides hydrauliques et l'air d'instrumentation par condensation de l'air ambiant humide. L'eau accélère la corrosion dans les circuits d'air d'instrumentation, elle peut entraîner un mauvais fonctionnement des petits organes de commande des positionneurs et geler si une partie du

Notes :

circuit est exposée à l'atmosphère extérieure. Si elle s'accumule en quantité suffisante, elle peut être la cause de coups de bélier.

Dans les circuits hydrauliques, l'eau provoque l'hydrolyse du fluide moteur—processus donnant lieu à la production d'acides organiques, de résines, de cires et de boues. Les acides favorisent la corrosion et accélèrent la dégradation du fluide. Dans le cas des fluides résistants au feu (FRF), les acides favorisent également l'érosion électrocinétique<sup>12</sup>. Les produits de corrosion peuvent fermer les faibles jeux (quelques  $\mu\text{m}$ ), ce qui peut empêcher ou ralentir le mouvement des organes de la vanne ou entraîner un fonctionnement erratique de celle-ci.

Afin de limiter le plus possible les problèmes liés à la teneur en humidité de l'air, on maintient le point de rosée<sup>13</sup> de l'air d'instrumentation bas. Dans les circuits hydrauliques, on soutire périodiquement de l'huile au bas du réservoir de stockage et aux points bas du circuit. Dans le cas des FRF plus lourds que l'eau, on utilise des cartouches de terre à foulon<sup>14</sup> et un traitement sous vide<sup>15</sup>.

Les particules peuvent obstruer et/ou éroder les petits organes de commande et de déclenchement des circuits hydrauliques de même que les petits orifices et pistons des circuits de commande. Pour prévenir cette éventualité, on procède au filtrage des fluides hydrauliques et à celui de l'air à l'aspiration des compresseurs d'air d'instrumentation.

---

<sup>12</sup> L'érosion électrocinétique est un phénomène complexe attribuable à une réaction électrochimique entre le métal et les phases stationnaire et mobile du fluide. Son étude déborde du cadre du présent cours.

<sup>13</sup> Le point de rosée est la température à laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air commence à se condenser ou à se sublimer en glace. Le point de rosée des circuits d'air d'instrumentation est de façon type établi à  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

<sup>14</sup> La terre à foulon, composé hydraté de silice et d'alumine principalement, a pour propriété d'absorber de nombreux produits chimiques dont l'eau.

<sup>15</sup> Le traitement sous vide consiste à chauffer le fluide et à le soumettre à un vide poussé. La majeure partie de l'eau s'évapore et est évacuée à l'aide d'une pompe à vide.

Notes :

L'huile présente dans les circuits d'air d'instrumentation peut obstruer les petits passages et orifices internes des circuits de commande et entraîner un mauvais fonctionnement de ces derniers. La majeure partie de l'huile est éliminée à l'aide de refroidisseurs intermédiaires, de refroidisseurs complémentaires, de séparateurs, de déshydrateurs et de réservoirs.

Notes :

### **3.5 FONCTION D'ISOLEMENT**

Les appareils de robinetterie installés dans un circuit aux fins d'isolement surtout sont en général complètement ouverts ou complètement fermés. Ils peuvent être commandés manuellement ou à l'aide d'un actionneur.

Les appareils de robinetterie à commande manuelle sont d'ordinaire désignés par la lettre V et ceux qui sont dotés d'un actionneur par les lettres MV. La commande est communément assurée par un moteur électrique, hydraulique ou pneumatique.

### **3.6 ROBINETS À COMMANDE MANUELLE**

#### **Vérification de la position d'un robinet à commande manuelle**

La détermination ou vérification de la position d'un robinet à commande manuelle fait partie intégrante des contrôles effectués avant l'entrée en service. Certains robinets à main sont pourvus d'un indicateur de position ou conçus pour donner une telle indication. Ainsi, la position de la poignée de manœuvre d'un robinet à tournant sphérique ou d'un robinet à papillon indique clairement la position de son obturateur. Un robinet à tournant sphérique à tige montante peut en outre être doté d'un indicateur de position. Cependant, lorsque l'organe de fermeture ou d'étranglement du robinet est dégagé de la tige, il est possible que l'indicateur donne une lecture erronée.

Il est donc prudent d'effectuer les vérifications additionnelles suivantes :

- observez les renseignements fournis par les indicateurs de température, de niveau et de pression pour vous aider à déterminer si le robinet se trouve bien dans la position prévue;
- vérifiez le sens d'écoulement et servez-vous des sens de l'ouïe et du toucher pour recueillir des renseignements supplémentaires sur la position du robinet.

### **Précautions relatives à l'exploitation des robinets à commande manuelle**

Il convient de prendre certaines précautions lorsque l'on actionne un robinet à commande manuelle.

Précautions relatives à la sécurité personnelle

- En plus de porter l'équipement de protection individuelle habituel, porter des gants pour prévenir les blessures aux mains, et actionner le robinet graduellement.
- Lorsqu'un robinet est mal placé, tenir compte des principes de la mécanique corporelle avant de l'actionner.

Précautions relatives à l'équipement

- S'assurer d'actionner le robinet approprié.
- Déterminer l'état du robinet, en vérifiant notamment :
  - s'il fuit;
  - s'il est endommagé;
  - s'il présente des caractéristiques de fonctionnement inhabituelles (résistance plus forte que prévu de la poignée de manœuvre, température plus élevée que prévu, bruit ou vibrations).

Notes :



Observer de saines pratiques d'exploitation, notamment :

- ouvrir le robinet graduellement afin d'éviter les coups de bélier ou de vapeur, sauf indication contraire;
- vérifier si le point de consigne désiré est atteint en se reportant aux paramètres systèmes réglés à l'aide du robinet.

Notes :

### 3.7 ROBINETS À COMMANDE PNEUMATIQUE

De nombreux robinets tout-ou-rien sont dotés d'un actionneur pneumatique. Leur aspect est presque identique à celui des vannes de régulation, si ce n'est qu'ils sont rarement pourvus d'un positionneur. Leur position est en effet déterminée par des circuits logiques qui commandent des vannes électromagnétiques ayant pour fonction d'alimenter l'actionneur en air sous pression ou de le mettre à l'air libre.

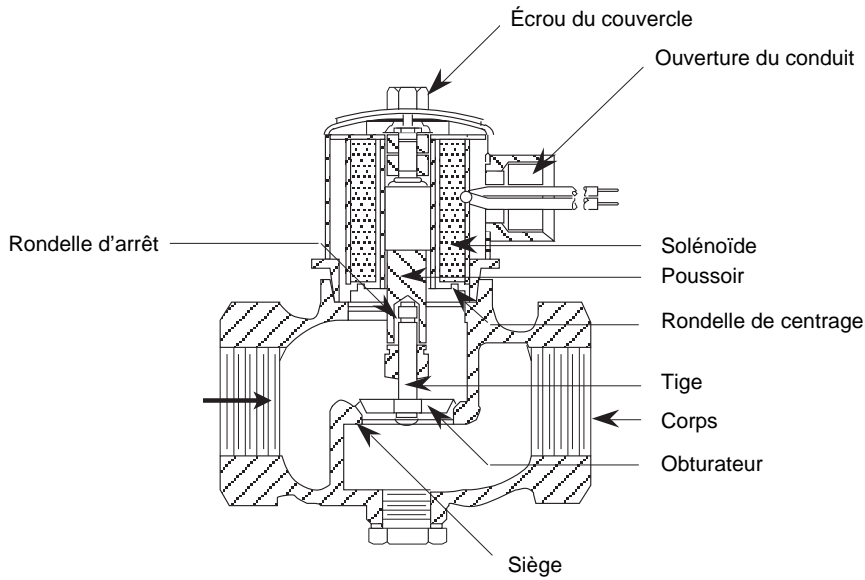
#### Utilisation des vannes électromagnétiques

Une vanne électromagnétique (figure 15) se compose d'un solénoïde, qui produit une force électromagnétique, ainsi que d'un poussoir relié à un obturateur. La vanne s'ouvre ou se ferme lorsque le solénoïde est excité et elle est retournée à sa position initiale par un ressort ou par le poids du poussoir, de l'obturateur et de sa tige de manœuvre lorsque le solénoïde est désexcité.

Les vannes électromagnétiques sont d'ordinaire des vannes de petites dimensions<sup>16</sup> qui sont utilisées pour régler par tout ou rien le débit d'un fluide. Ces vannes, que l'on trouve dans les circuits à faible débit, à basse pression et à basse température, sont le plus souvent utilisées dans le circuit d'air d'instrumentation. Elles assurent l'alimentation en air sous pression des actionneurs des vannes à commande pneumatique.

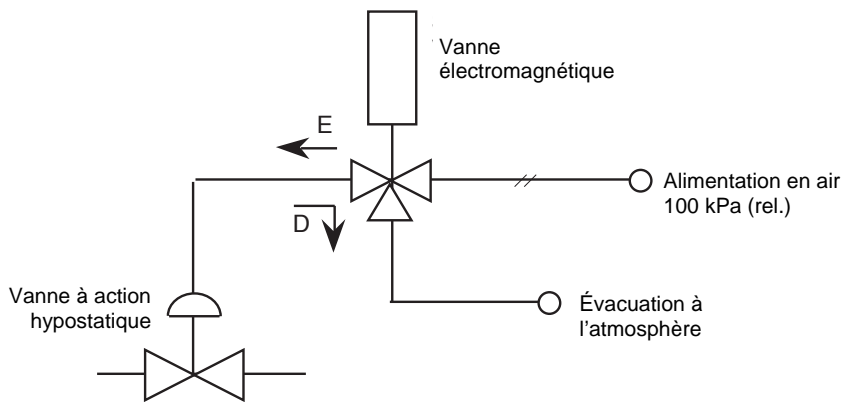
<sup>16</sup>

D'ordinaire moins de 25 mm (1 po).



**Figure 15**

La figure 16 présente le schéma d'une vanne électromagnétique assurant la commande par tout ou rien d'un robinet à commande pneumatique. Le robinet à commande pneumatique (AOV) en question est une vanne à action hypostatique.



**Figure 16**

Notes :

Si la vanne pneumatique était une vanne à action hyperstatique, lorsque la vanne électromagnétique serait excitée, une pression d'air s'exercerait sur elle pour la fermer. Lorsque la vanne électromagnétique serait désexcitée, l'alimentation en air serait coupée et la pression résiduelle accumulée entre les deux vannes serait simultanément évacuée à l'atmosphère, ce qui permettrait l'ouverture de la vanne à action hyperstatique sous l'effet du ressort de son actionneur.

Notes :

### 3.8 ROBINETS MOTORISÉS

#### Principe de fonctionnement de l'actionneur à moteur électrique

Les actionneurs motorisés développent un couple élevé, mais ils actionnent les vannes lentement. Ils sont donc utilisés pour assurer le réglage par tout ou rien du débit ou dans des circuits où le réglage du débit varie rarement. Ainsi, on utilise des robinets-vannes motorisés dans divers circuits de nos centrales. La figure 17 présente le schéma d'un actionneur à moteur électrique dont les principaux organes sont identifiés. Nous allons nous y reporter pour expliquer le principe de fonctionnement de l'appareil.

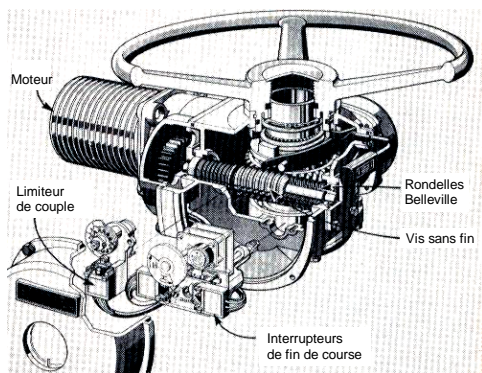


Figure 17

Le moteur électrique entraîne une vis sans fin dans laquelle est engagée une roue dentée, qui entraîne à son tour la tige de manœuvre du robinet. L'actionneur peut être placé en mode manuel (dans lequel le moteur est débrayé) et être actionné à l'aide du volant.

Les actionneurs à moteur électrique sont dotés d'un certain nombre de dispositifs permettant de commander un fonctionnement approprié du robinet et de prévenir l'endommagement des organes du robinet – siège et tige de manœuvre en particulier. En voici la liste :

- limiteur de couple,
- interrupteurs de fin de course,
- indicateur de position,
- réglage vitesse.

### **Limiteur de couple**

Le limiteur de couple est conçu pour limiter le couple appliqué à l'engrenage à vis sans fin et transmis à la tige de manœuvre et aux sièges. L'engrenage cesse de tourner lorsque l'obturateur occupe l'une des deux positions extrêmes (robinet complètement ouvert ou fermé) ou, ce qui est moins probable, qu'il est coincé dans une position intermédiaire. En pareil cas, la vis sans fin a tendance à se déplacer axialement telle une vis dans un écrou fixe, l'engrenage jouant le rôle de l'écrou et la vis sans fin celui de la vis. Dans les conditions normales de fonctionnement, ce déplacement est limité par les rondelles Belleville<sup>17</sup> placées à l'extrémité de la vis sans fin. Ces rondelles limitent la charge axiale à une valeur prédéterminée.

Pour se déplacer axialement, la vis sans fin doit vaincre la force antagoniste exercée par les rondelles.

Lorsque la charge excède la valeur de déclenchement, les rondelles sont comprimées davantage et le déplacement axial résultant de la vis sans fin déclenche le limiteur de couple.

---

<sup>17</sup> Les rondelles Belleville qui se distinguent des rondelles plates par leur forme conique, sont placées par groupe de deux de façon à ce que les bases évasées du cône se touchent. Un certain nombre de ces paires sont empilées sur l'arbre. Lorsque cet empilage est soumis à une force axiale, les rondelles fléchissent vers le bas et agissent comme un ressort.

Notes :

### **Interrupteurs de fin de course**

Les interrupteurs de fin de course mettent le moteur hors tension juste avant que l'obturateur atteigne les positions ouverte ou fermée. L'inertie du rotor du moteur électrique, de l'engrenage et de la tige de manœuvre du robinet permet à la tige de poursuivre son mouvement un peu après la mise hors tension du moteur.

L'indicateur de position indique la position dans laquelle se trouve l'actionneur.

### **Réglage vitesse**

Le réglage vitesse permet de faire varier le temps de fonctionnement à l'intérieur de limites prédéfinies. Il est parfois important qu'un robinet s'ouvre ou se ferme à l'intérieur d'un délai prédéterminé afin d'éviter les coups de bélier, la surchauffe de la pompe ou le dépassement d'autres limites de fonctionnement. Il est rare que l'on ait recours à cette fonction.

## **3.9 COMMANDE MANUELLE DES ROBINETS MOTORISÉS**

La majorité des robinets motorisés de nos centrales peuvent aussi être actionnés manuellement à l'aide du volant faisant partie intégrante de l'appareil. Le volant est engagé à l'aide du levier d'embrayage du robinet. Ce levier permet d'éviter que le moteur électrique n'actionne le robinet pendant qu'un technicien l'actionne à l'aide du volant.

L'actionneur demeure alors en mode manuel jusqu'à ce que son moteur soit remis sous tension.

En cas de tentative d'actionner le robinet électriquement pendant qu'il est manœuvré à la main, un mécanisme de débrayage transfère automatiquement la commande au moteur, l'embrayage manuel est débrayé et le volant ne tourne pas. Ce dispositif de sécurité, qui est intégré à tous les actionneurs motorisés, permet d'éviter qu'un technicien ne soit blessé accidentellement alors qu'il actionne manuellement le volant d'un robinet.

Notes :

Lorsque le levier d’embrayage doit être maintenu en place pour maintenir le volant embrayé, il est possible que le volant et le train d’engrenages du moteur soient débrayés simultanément. Il faudrait alors procéder à un réglage de l’embrayage.

Un jeu est prévu dans le train d’engrenages de certains actionneurs motorisés afin de permettre le déblocage des robinets accidentellement bloqués. Le cas échéant, l’actionneur est placé en mode manuel et la tige de manœuvre est débloquée grâce au jeu en question.

Le fait de serrer le volant d’un robinet à actionneur motorisé à l’aide d’une clé ou d’un autre outil semblable représente une pratique d’exploitation condamnable.

### **3.10 ÉTANCHÉITÉ ARRIÈRE DES APPAREILS DE ROBINETTERIE**

Il est pratique courante, après avoir ouvert un robinet, de ramener le volant d’environ  $\frac{1}{4}$  de tour en arrière. On facilite ainsi la prochaine manœuvre du robinet et on prévient le grippage. Certains robinets comportent toutefois une portée d’étanchéité arrière.

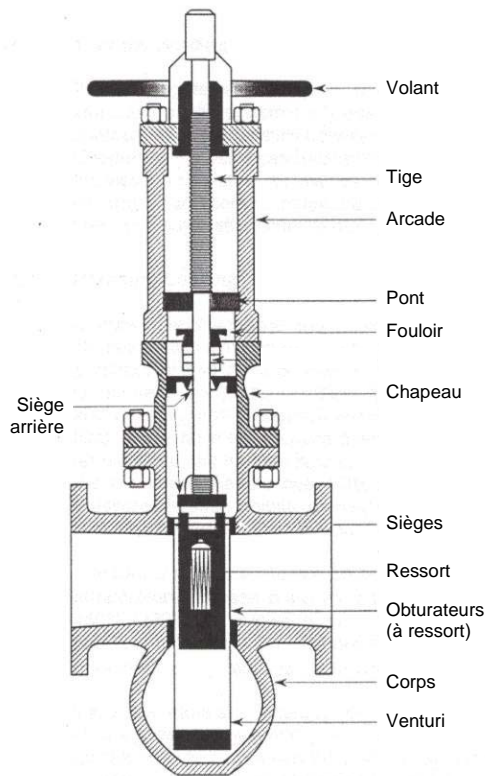
Le siège arrière a pour fonction d’assurer l’étanchéité de la tige de manœuvre de l’appareil et d’alléger la pression exercée sur la garniture, qui pourrait commencer à fuir si elle était soumise à la pleine pression du circuit. La figure 18 illustre un robinet-vanne type doté d’un siège arrière.

Un robinet doté d’un siège arrière a aussi pour avantage de permettre, au besoin, le remplacement de la garniture en puissance, c’est-à-dire sans décompresser le circuit. À cette fin, il faut placer le robinet en position d’ouverture totale de façon à établir son étanchéité arrière. Le personnel d’entretien peut alors déposer le fouloir et remplacer la garniture. Il faut toutefois pour ce faire observer un processus d’approbation spécial et respecter les consignes approuvées en matière de sécurité.

Notes :

Il faut faire preuve de prudence lorsque l'on actionne un robinet dont le siège arrière s'est refroidi placé sur un circuit dont le fluide est normalement chaud. L'ouverture totale du robinet alors que le siège arrière est encore froid risquerait d'endommager celui-ci du fait de sa dilatation alors qu'il est porté à la température de fonctionnement du circuit. Le siège arrière pourrait alors se bloquer contre le corps du robinet, ce qui compliquerait la fermeture de ce dernier. Il pourrait même se révéler nécessaire d'isoler le robinet et de lui permettre de se refroidir afin de pouvoir le fermer.

Notes :



### Robinet d'isolement à commande manuelle

Figure 18

#### 3.11 FONCTION DE LA SOUPAPE INTÉGRÉE

La soupape intégrée a pour fonction de limiter la pression dans la chambre de refroidissement de certains robinets-vannes d'isolement. On peut voir à la figure 18

le chapeau et la chambre de refroidissement entre l'obturateur et le siège arrière.

Le défaut d'utiliser une soupape intégrée correctement peut entraîner la rupture du corps de robinet, surtout en présence d'une source de chaleur. La chaleur provoquerait en effet un accroissement de la pression hydraulique, dont la force pourrait dépasser la résistance du corps de robinet. La pression s'exerçant dans la chambre de refroidissement pourrait aussi empêcher l'actionneur de commander le déplacement de la tige de manœuvre.

Les soupapes intégrées sont laissées ouvertes en fonctionnement normal. Une soupape intégrée qui a été fermée pour fins d'isolement doit être ouverte avant l'ouverture du robinet-vanne d'isolement. On supprime ainsi toute surpression à l'intérieur du chapeau, ce qui facilite l'ouverture du robinet d'isolement et réduit les risques d'endommagement de ce dernier.

### **3.12 FONCTION DE PRÉVENTION DE RETOUR**

Les appareils de robinetterie conçus pour assurer la prévention de retour sont appelés clapets de non-retour. Ils sont désignés à l'aide du code NV.

### **3.13 OBJET ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES CLAPETS DE NON-RETOUR**

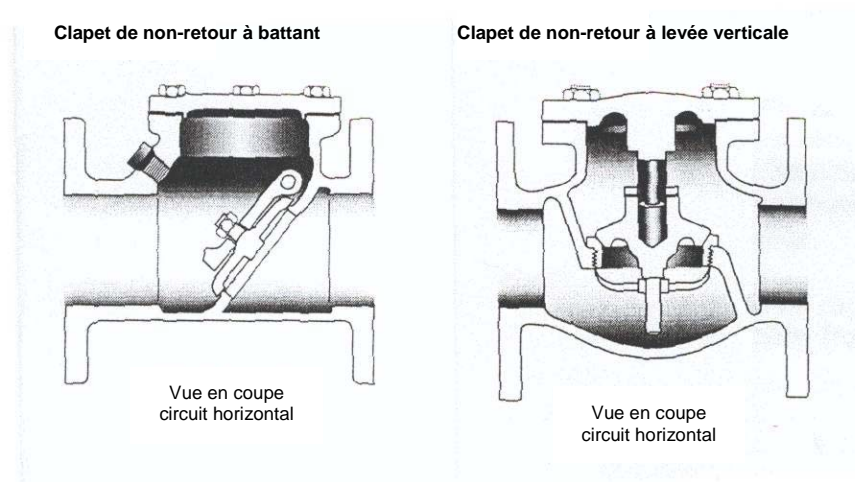
Les clapets de non-retour sont conçus pour empêcher le passage d'un fluide en sens inverse de l'écoulement dans un circuit. Il existe deux grands types de clapets de non-retour :

- à battant,
- à levée verticale.

La figure 19 présente un exemple de chacun de ces appareils.

Notes :





Notes :

**Figure 19**

Lorsque le fluide s'écoule de la droite vers la gauche dans le clapet à battant et du bas vers le haut dans le clapet à levée verticale, il provoque l'ouverture du clapet et le traverse. Cependant, lorsque l'écoulement est inversé, le clapet se ferme rapidement.

Il existe un certain nombre de raisons pour vouloir éviter toute inversion de l'écoulement du fluide. En voici deux exemples :

- prévenir le retour de fluide du circuit dans une pompe à l'arrêt dans le cas d'un circuit pourvu de deux pompes montées en parallèle;
- prévenir le retour de vapeur de soutirage dans la turbine, condition qui pourrait contribuer à son emballement en cas de déconnexion rapide de l'alternateur du réseau.

### **3.14 SOUPAPES DE DÉCHARGE, SOUPAPES DE SÛRETÉ ET SOUPAPES DE SÛRETÉ ET DE DÉCHARGE**

Bien que le personnel d'exploitation ne fasse pas de distinction entre les soupapes de décharge, les soupapes de sûreté et les soupapes de sûreté et de décharge, il en va autrement des normes, des codes et de nos documents d'exploitation. On trouve ci-dessous une définition simple de chacune de ces soupapes.

### **Soupape de décharge**

Appareil de protection contre les surpressions dont l'ouverture graduelle est en général proportionnelle à l'accroissement de la pression par rapport à la pression d'ouverture. Elle est surtout utilisée pour limiter la pression des liquides.

### **Soupape de sûreté**

Appareil de protection contre les surpressions qui se caractérise par son ouverture rapide. Elle est surtout utilisée pour limiter la pression de la vapeur, de l'air et des gaz.

### **Soupape de sûreté et de décharge**

Appareil de protection contre les surpressions qui se caractérise par son ouverture rapide (quand on l'utilise pour limiter la pression des fluides compressibles) ou par son ouverture proportionnelle à l'accroissement de la pression par rapport à la pression d'ouverture (quand on l'utilise pour limiter la pression des liquides).

Les trois types de soupapes définies sont conçues pour limiter à une valeur prédéterminée la pression d'un fluide dans un récipient ou un circuit exposé à des conditions anormales ou d'urgence. Bref, les trois types de soupapes sont utilisées dans nos centrales pour assurer une protection contre les surpressions.

Les expressions ci-après sont utilisées pour décrire le fonctionnement de ces soupapes.

### **Pression de début d'ouverture**

Valeur de la pression statique d'entrée à laquelle le clapet d'une soupape de surpression commence à se lever ou à laquelle l'évacuation du fluide devient continue, comme on peut le déterminer par la vue, le toucher ou l'ouïe.

Notes :

## **Débit**

Débit massique ou volumique de fluide évacué par une soupape de surpression lorsque sa pression d'entrée est égale à sa pression nominale. La pression nominale est supérieure à la pression de début d'ouverture parce qu'une soupape de décharge nécessite une certaine hausse de pression pour s'ouvrir suffisamment pour atteindre son débit nominal.

## **Ouverture rapide**

Mouvement rapide de l'obturateur de la soupape dans le sens de l'ouverture. Ce mouvement est plus rapide que celui qu'on observe en début et en fin d'ouverture.

Il s'agit d'une caractéristique importante des soupapes de sûreté parce qu'elle favorise l'évacuation d'un volume important de fluide compressible, ce qui est nécessaire pour limiter la pression. Dans le cas des fluides incompressibles, la pression du circuit chute rapidement dès que la soupape de décharge s'ouvre. L'ouverture rapide se produit uniquement avec les fluides compressibles du fait de la dilatation du fluide accompagnant la chute de pression le long de la voie de passage de l'appareil. Cette dilatation donne la force supplémentaire nécessaire pour assurer une levée intégrale immédiate de l'obturateur.

## **Chute de pression à la fermeture**

Différence entre la pression de début d'ouverture (pression à laquelle s'amorce l'ouverture rapide) et la pression de fermeture, exprimée en pourcentage de la pression de début d'ouverture ou sous forme de pression.

## **Battement**

Mouvement alternatif rapide anormal des organes mobiles d'une soupape de décharge tel que l'obturateur entre en contact avec le siège. Comme l'impact avec le siège est d'ordinaire très fort, la soupape peut rapidement être endommagée.

Notes :

## **Flottement**

Mouvement alternatif rapide anormal des organes mobiles d'une soupape de décharge ne donnant pas lieu à l'entrée en contact de l'obturateur et du siège. Par exemple, ce mouvement peut être occasionné :

- par un débit insuffisant de gaz ou de vapeur vers la soupape,
- par un écart de pression en fermeture insuffisant,
- par une contrepression excessive attribuable à une conduite de décharge sous-dimensionnée.

## **Chuintement**

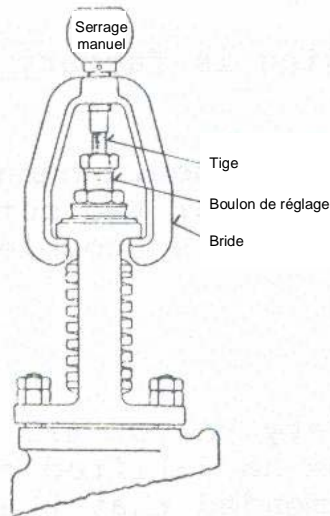
Fuite audible ou visible de fluide entre le siège et l'obturateur à une pression statique d'entrée inférieure à la pression d'ouverture totale et en l'absence de tout débit mesurable. On peut le relever sur les soupapes de sûreté et les soupapes de sûreté et de décharge utilisées pour limiter la pression de fluides compressibles. On peut tolérer un léger chuintement de courte durée et s'en servir comme indication d'une ouverture imminente. Toutefois, si le chuintement est plus prononcé, c'est que le siège est endommagé et a besoin d'être réparé. En cas de chuintement prolongé, le fluide fuyard peut provoquer l'érosion du siège et de l'obturateur.

## **Obturation mécanique des soupapes de sûreté et de décharge**

Une bride est un organe mécanique installé à la main sur une soupape de surpression afin de l'empêcher de s'ouvrir.

On peut procéder à une telle obturation mécanique avant de soumettre à une épreuve hydraulique l'enceinte protégée par la soupape ou lorsque la soupape a fait défaut et ne peut plus remplir sa fonction. La figure 20 présente le schéma d'une soupape de sûreté et de décharge pourvue d'une bride.

Notes :



**Figure 20**

L'obstruction mécanique représente une intervention grave puisqu'elle a pour effet de mettre la soupape de surpression hors service et de laisser le circuit sans protection. Elle est donc assujettie à des règles sévères et à un processus d'approbation.

Les brides doivent être installées conformément aux instructions du constructeur de la soupape, le cas échéant, ou aux exigences des normes applicables.

L'obturation mécanique des soupapes de sûreté et de décharge nécessite une autorisation préalable d'un inspecteur de la TSSA (Technical Standards and Safety Authority), sauf dans les cas suivants :

- l'obturation mécanique des soupapes de sûreté et de décharge relevant de la norme ASME-BPVC-SEC 3D-01 (Section III - Rules for Construction of Nuclear Facility components) nécessite l'approbation préalable de la CCSN (Commission canadienne de sûreté nucléaire) en plus de l'autorisation d'un inspecteur de la TSSA (Technical Standards & Safety Authority);

Notes :

- l'obturation mécanique des soupapes de sûreté et de décharge aux fins d'une épreuve hydraulique peut se faire sans approbation d'un inspecteur de la TSSA puisque la réalisation d'une telle épreuve ne s'inscrit pas dans le cadre de l'exploitation ou de l'utilisation du circuit ou de la centrale.

Notes :

## EXERCICE

Notes :

### APPAREILS DE ROBINETTERIE

1. Expliquez la marche à suivre pour actionner manuellement un robinet motorisé.
2. Expliquez la façon appropriée de dégager un robinet bloqué en actionnement manuellement son actionneur électrique.
3. Énoncez deux façons de déterminer visuellement la position d'un robinet.
4. Énoncez deux vérifications des paramètres de fonctionnement permettant de déterminer la position d'un robinet.
5. Quelle est la fonction d'un clapet de non-retour?
6. Décrivez brièvement le fonctionnement d'un clapet de non-retour.
7. Indiquez trois raisons pour lesquelles il est important de sélectionner une vanne de régulation appropriée pour un circuit.
8. Quelle est la fonction des soupapes de sûreté et de décharge dans un circuit?
9. Indiquez quelle est la différence entre une soupape de sûreté et une soupape de décharge.
10. Expliquez le sens des termes et expressions suivants lorsqu'ils sont utilisés pour caractériser les soupapes de sûreté et de décharge :
  - a. pression de début d'ouverture;
  - b. débit;
  - c. ouverture rapide;
  - d. chute de pression à la fermeture;
  - e. battement;
  - f. chuintement.
11. Indiquez deux (2) circonstances dans lesquelles il est admissible d'obturer mécaniquement une soupape de sûreté ou de décharge.

12. Faudrait-il utiliser une vanne électromagnétique à deux ou à trois voies pour assurer la commande d'une vanne pneumatique? Expliquez les raisons de votre choix.
13. Étant donné les combinaisons suivantes d'actionneur et de corps de vanne, énoncez le mode de défaillance de la vanne en cas de coupure de l'alimentation en air.
  - a. Actionneur à action directe et corps de vanne à action directe
  - b. Actionneur à action inversée et corps de vanne à action directe
14. Décrivez brièvement le mécanisme d'un actionneur à moteur électrique et décrivez le fonctionnement des deux jeux d'interrupteurs pouvant être utilisés pour mettre le moteur hors tension.
15. Énoncez trois types d'impuretés dont il faut limiter le plus possible la présence dans les fluides moteurs des actionneurs hydrauliques ou pneumatiques. Expliquez brièvement les conséquences que pourrait avoir la présence de ces impuretés dans les fluides moteurs.

Notes :



## PURGEURS DE VAPEUR

Notes :

### 4.0 INTRODUCTION

Un purgeur de vapeur est un appareil de robinetterie qui permet d'évacuer l'eau ou les condensats se formant dans une enceinte, tout en y retenant la vapeur. Les deux principales raisons pour lesquelles nous installons des purgeurs de vapeur sur les circuits sont pour en évacuer les condensats, qui pourraient donner lieu à des coups de bélier, ainsi que les gaz non condensables tels que l'air ou le dioxyde de carbone ayant pu s'infiltrer dans le circuit ou se dégager de l'eau. Un purgeur de vapeur doit donc remplir trois fonctions :

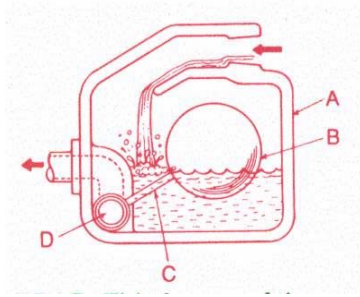
- il doit évacuer les condensats et retenir la vapeur en vue de son utilisation pour un travail utile;
- il doit assurer une évacuation rapide de l'air et des gaz, surtout au démarrage à la suite d'une période d'arrêt du circuit;
- il doit assurer l'évacuation des condensats, de l'air et des gaz en réagissant rapidement aux fluctuations des conditions de fonctionnement dans le circuit.

En d'autres termes, un purgeur de vapeur doit s'ouvrir rapidement au passage de condensats ou d'air, mais se fermer rapidement en présence de vapeur. Pour ce faire, il doit pouvoir différencier l'eau de la vapeur grâce à des éléments sensibles à la masse volumique ou à la température, par exemple.

Les purgeurs de vapeur utilisés dans l'industrie peuvent être classés en trois catégories :

- **Mécaniques** – purgeurs dont le fonctionnement est assuré par les changements de phase du fluide : ils s'ouvrent en présence d'eau et se ferment en présence de vapeur (figure 21);
- **Thermostatiques** – purgeurs dont le fonctionnement est basé sur les variations de température : ils s'ouvrent en présence des condensats plus froids mais se ferment en présence de la vapeur chaude (figure 22);
- **Thermodynamiques** – purgeurs dont le fonctionnement est assuré par la différence d'énergie thermodynamique entre la vapeur et les condensats (figure 23).

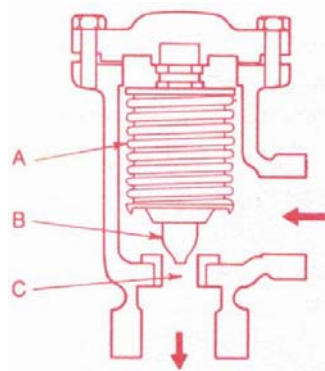
Notes :



### Purgeur de vapeur mécanique

Figure 21

La figure 21 présente le schéma d'un purgeur à flotteur fermé. Le corps du purgeur (A) comporte un flotteur (B) qui, par l'intermédiaire d'un levier (C), commande l'ouverture ou la fermeture d'un clapet (D). Lorsque les condensats commencent à remplir le corps du purgeur, le flotteur monte pour commander l'ouverture graduelle du clapet. Lorsque le débit de condensat augmente, le niveau s'élève dans le corps de l'appareil et le flotteur monte pour le rétablir à la valeur appropriée. Il existe d'autres types de purgeurs mécaniques, mais ils ont le même principe de fonctionnement, c'est-à-dire qu'ils sont sensibles à la différence de masse volumique entre la vapeur et l'eau ou les condensats.

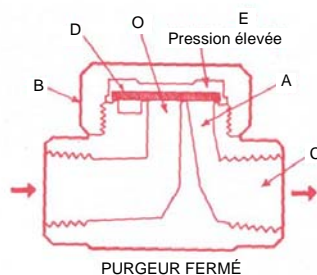


### Purgeur thermostatique

Figure 22

La figure 22 présente le schéma d'un purgeur thermostatique. Le corps du purgeur comporte un soufflet en forme d'accordéon (A) à la partie inférieure duquel se trouve un clapet (B), qui ferme l'orifice d'évacuation (C) lorsque le soufflet se dilate. Le condensat plus froid abaisse la température du soufflet qui se contracte, provoque l'ouverture de l'orifice d'évacuation et laisse passer le condensat. Encore une fois, il existe d'autres types de purgeurs thermostatiques, mais leur fonctionnement est toujours basé sur les variations de température de la vapeur et des condensats.

Notes :



### Purgeur thermodynamique

Figure 23

Enfin, la figure 23 présente le schéma d'un purgeur thermodynamique à disque. Ce purgeur, dont l'obturateur est constitué d'une plaque métallique (D) placée sur un orifice d'entrée central (O), comporte une tubulure angulaire (A) menant à l'orifice de sortie (C). Tous ces éléments sont enfermés dans un chapeau (B). En exerçant une pression dans l'orifice d'entrée (O), le condensat soulève le disque (D), pour ouvrir l'orifice de sortie (A). Dès que la vapeur et le condensat très chaud succèdent, ils s'écoulent à grande vitesse autour du disque (D) et s'engouffrent dans la chambre de pression (E) en créant une dépression sur la face inférieure du disque et en provoquant la vaporisation d'une partie du condensat. Simultanément, le condensat vaporisé s'écoulant à grande vitesse vers la périphérie frappe la paroi de la chambre (E) et provoque dans celle-ci une hausse de pression qui entraîne la fermeture du disque. Lorsque la pression dans la chambre décroît par suite de

la condensation de la vapeur, la poussée à l'orifice d'entrée soulève de nouveau le disque et le cycle recommence. Le fonctionnement des divers types de purgeurs thermodynamiques est assuré par l'énergie thermique du condensat chaud et de la vapeur, c'est-à-dire par la vaporisation et la condensation.

Il existe trois façons simples de s'assurer du bon fonctionnement d'un purgeur de vapeur :

- observation visuelle,
- observation sonore,
- mesure de la température.

L'observation visuelle du condensat évacué par le purgeur constitue la façon la plus simple et la plus fiable d'en vérifier le rendement. Il faut pour ce tenir compte de la différence entre la vapeur instantanée et la vapeur vive. Un purgeur évacue un mélange de vapeur instantanée et de condensat plusieurs fois par minute au fil de ses cycles de fonctionnement. La présence de vapeur instantanée est normale et n'indique pas une déféctuosité du purgeur. En revanche, il est probable que l'évacuation de vapeur vive à grande vitesse soit attribuable à une déféctuosité de l'appareil. S'il est impossible d'observer visuellement le condensat évacué par le purgeur, il faut s'en remettre à l'une des deux autres méthodes.

L'observation sonore consiste à écouter attentivement les sons produits par le purgeur au cours de son fonctionnement. On peut utiliser à cette fin un appareil de précision tel qu'un testeur à ultrasons ou des instruments moins précis tels qu'un stéthoscope industriel, un bout de tuyau  $\frac{3}{4}$  po ou un tournevis. Les sons produits varient selon le type de purgeur. Dans le cas d'un purgeur thermodynamique, on devrait entendre le disque s'ouvrir et se refermer brusquement plusieurs fois par minute. Si l'on entend un battement rapide, c'est que le purgeur est déféctueux. Dans le cas d'un purgeur mécanique, on peut entendre les cycles de fonctionnement se succéder si l'appareil est en bon état et un sifflement continu, s'il est déféctueux. Enfin, dans le cas du purgeur thermostatique, on peut de nouveau entendre les cycles de fonctionnement se succéder si

Notes :

l'appareil est en bon état, mais aucun bruit s'il fait  
défaillance en position fermée.

La dernière méthode consiste à mesurer la température en amont et en aval du purgeur. Si ce dernier fonctionne correctement, on observera un écart important entre les deux températures. Si les températures sont égales ou voisines, le purgeur est probablement défectueux. De nos jours, ces mesures sont effectuées à l'aide d'instruments portatifs de mesure de la température à infrarouge et au laser.

Pour conclure, il importe de savoir qu'aucune des méthodes exposées plus haut n'assure un diagnostic infaillible des anomalies. La pratique courante consiste à contrevérifier les résultats obtenus à l'aide d'une autre méthode de diagnostic.

Notes :

## EXERCICE

### PURGEURS DE VAPEUR

1. Énoncez trois fonctions d'un purgeur de vapeur.
2. Énoncez trois méthodes permettant de vérifier le bon fonctionnement d'un purgeur de vapeur.
3. En vous reportant aux schémas figurant dans le corps du texte, expliquez brièvement comment un purgeur de vapeur remplit sa fonction.

Notes :

## SCHÉMAS DE PRINCIPE

Notes :

### 5.0 INTRODUCTION

Les schémas de principe constituent un élément majeur des documents d'exploitation. Ils illustrent les débits dans les différents circuits de la centrale ainsi que la configuration des débits dans les conditions normales de fonctionnement. Chacun des dispositifs de la centrale figure quelque part sur un schéma de principe. Les schémas de principe servent à fixer le mode de fonctionnement d'une installation, en illustrant alternativement les débits et les points d'isolement permettant d'assurer la protection des ouvrages.

Comme les autres éléments de la centrale, les schémas de principe sont organisés en fonction des numéros de circuits. En règle générale, les pièces d'équipement figurant sur un schéma de principe sont identifiées par un numéro de circuit identique ou similaire. Bien sûr, dans une usine de la taille d'une centrale nucléaire, il n'existe pratiquement rien d'absolu et on trouve toujours nombre d'exceptions à un énoncé. On trouve tout de même ci-après quelques énoncés généraux ayant trait aux schémas de principe qui se vérifient plus souvent qu'autrement.

- Étant donné que la majorité des dispositifs figurant sur un schéma de principe ont le même numéro de circuit, le schéma fait état uniquement des codes d'équipement sauf dans le cas des dispositifs dont le numéro de circuit est différent. Le numéro de circuit commun est indiqué dans une note, quelque part sur le schéma de principe.
- Les notes figurant sur un schéma de principe ne vous sont en général d'aucune utilité. Il arrive toutefois qu'elles renferment un élément d'information essentiel. Vous devez donc toujours les lire.
- Les schémas de principe illustrent le mode de fonctionnement d'une installation. Il arrive aussi qu'ils donnent une représentation de la disposition matérielle de l'équipement. Cependant, en cas de conflit, c'est le mode de fonctionnement qui est illustré.
- Les traits des schémas de principe sont d'autant plus forts que le diamètre de la tuyauterie correspondante est grand ou que la tension représentée est élevée.
- Les schémas de principe illustrent la configuration normale de l'équipement à pleine puissance.

- Il arrive que, pour illustrer les interconnexions entre les circuits, une pièce d'équipement figure sur plus d'un schéma de principe. En pareil cas, l'équipement est représenté à l'aide d'un trait continu sur le schéma qui le représente le mieux et à l'aide d'un trait discontinu sur les schémas où il figure pour illustrer les interrelations entre les circuits.
- Les schémas de principe représentent fidèlement la configuration matérielle de la centrale.
- Des symboles de renvoi sont utilisés pour indiquer la coupure d'une ligne et sa reprise sur un autre schéma.
- Les messages d'alarme sont indiqués à l'instrument à l'origine de l'alarme.
- Les boucles de régulation sont représentées par un cercle figurant au point du circuit où se trouve l'élément principal (soit le capteur ou dispositif de détection).
- La fonction de la boucle est indiquée par les lettres figurant à l'intérieur du cercle.

Notes :

### EXERCICE

Les schémas de principe sur lesquels porte cet exercice ont trait à la centrale de Bruce B.

1. Sur les schémas de principe 43000-0001 à 43000-0002, tracez la voie d'écoulement de l'eau d'alimentation depuis le CD1 vers 43210-P1, LCV3, LP Heater Bank B, BFP3, HP Heater HX5A et, enfin, 33110-BO3.
2. En vous reportant à la légende, trouvez et tracez le symbole des dispositifs suivants :
  - a. moteur c.a.
  - b. sectionneur
  - c. robinet à soupape normalement ouvert
  - d. robinet à papillon normalement fermé
3. Sur le schéma de principe 33000-0001 rev. 12, on trouve en D8 la boucle de régulation 63737-PT2 (G).
  - a. Que signifie le (G)?
  - b. Quelles sont les fonctions de régulation assurées par la boucle?
  - c. Quel est le paramètre mesuré?



4. Sur le schéma de principe 53100-0001-02, cinq alarmes sont associées à l'élément 53230-T11. Quelles sont-elles?
5. Sur le schéma 43000, le dégazeur figure au haut de la page et les pompes d'alimentation des générateurs de vapeur au bas de celle-ci. Quelle en est la raison?
6. Les vannes d'aspiration des pompes d'alimentation des générateurs de vapeur sont verrouillées en position ouverte. Dans quelle section du manuel d'exploitation est-il question de cette mesure?
7. L'ajout d'hydrazine s'effectue entre le dégazeur et la bêche alimentaire du dégazeur. Sur quel schéma de principe le matériel d'injection de l'hydrazine figure-t-il?

Notes :