

Analyse en coût global : application aux vannes de régulation terminale

Technologies des vannes de régulation terminale et de leurs actionneurs

Consommation électrique

Débit résiduel des vannes en position fermée

Par Cédric Beaumont, directeur technique Costic

Les vannes de régulation terminale sont présentes sur de nombreuses installations de génie climatique. Elles constituent un organe essentiel à la régulation du confort dans les locaux et à la maîtrise des consommations énergétiques. Pourtant, peu de travaux existent pour éclairer les prescripteurs, les entreprises et les exploitants dans le choix des matériels. Présentation d'une analyse en coût global à partir d'éléments évalués sur banc d'essais.

Les vannes de régulation terminale sont des organes de régulation de petit diamètre installés sur des émetteurs tels que les radiateurs, les ventilo-convecteurs ou encore les planchers ou plafonds chauffants (au niveau des collecteurs). Elles sont présentes sur la majorité des installations de génie climatique – notamment dans les bâtiments du secteur tertiaire – et généralement en grand nombre.

Technologies des vannes de régulation terminale et de leurs actionneurs

Le marché de ces organes est principalement constitué de corps de vannes à sièges, mues par des actionneurs thermiques. Leur principe de fonctionnement est simple : un bulbe rempli de cire se dilate sous l'action d'une résistance électrique. Sur les modèles dits normalement ouverts, l'actionneur déplace le siège vers la fermeture pour réduire puis interrompre l'écoulement d'eau. Les vannes terminales fonctionnent généralement ainsi pour permettre d'assurer le service chauffage ou refroidissement, même sans alimentation électrique des vannes. Les vannes normalement fermées nécessitent à l'inverse une alimentation électrique pour ouvrir la vanne et autoriser l'écoulement. Dans tous les cas, il subsiste une consommation d'énergie électrique pour maintenir le clapet en

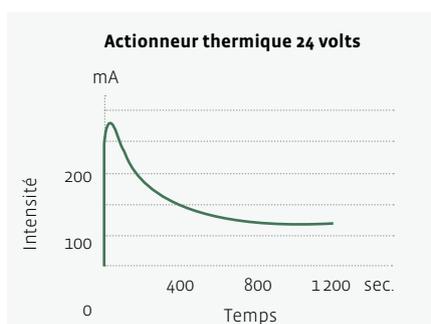


Figure 1 Le profil est caractéristique d'un actionneur thermique : un pic correspondant à l'appel de courant de déclenchement, la puissance diminue ensuite progressivement à mesure que la cire s'échauffe et que le siège de la vanne s'élève. La consommation se stabilise avec le maintien en position de la vanne. Le profil d'un actionneur thermique de 230V reste similaire avec des intensités moindres (pic initial de l'ordre 40 mA).

position. Ces actionneurs présentent donc le défaut de consommer de l'énergie pendant des périodes prolongées. La position du clapet dépend d'une opposition de forces entre la dilatation du bulbe et le ressort de rappel. Il faut donc se demander si ces vannes sont étanches à la fermeture, et si les forces de pression de l'eau sur le clapet ne risquent pas de provoquer une fuite. Enfin, le fonctionnement est pseudo tout-ou-rien car les durées de déplacement dépendent de l'inertie thermique du bulbe. Mais, pour actionner des vannes terminales, il existe également sur le marché des

petits moteurs électriques à rotation. Les durées des déplacements sont maîtrisées, et ils présentent l'avantage de ne consommer l'énergie électrique que durant les déplacements, le maintien en position ne nécessite pas d'énergie supplémentaire. Ces actionneurs motoriques s'accouplent directement aux corps de vanne à boisseau sphérique mus par rotation. Cette conception de vanne présente *a priori* un intérêt en termes d'étanchéité en position fermée (du fait que la "bille" se trouve derrière les joints) et de précision de la régulation. Le couple actionneur à rotation – vanne à boisseau semble donc une solution pertinente dont il convient d'évaluer plus précisément les avantages. L'objectif de l'étude menée par le COSTIC était de comparer ces différentes technologies, du point de vue de leur consommation d'énergie électrique et de l'efficacité de leur étanchéité en position fermée. Des banc d'essais ont été mis en œuvre au Costic, afin de faire subir des tests simultanément à un panel représentatif du marché : quatre vannes à sièges avec actionneurs thermiques et une vanne à boisseau sphérique à actionneur motorique, issues de quatre fabricants différents.

Consommation électrique

Les résultats des mesures montrent des profils similaires pour les actionneurs thermiques, qu'ils soient alimentés à une

tension de 24 ou de 230 V et en courant alternatif ou continu :

- le déclenchement de la vanne donne lieu à un appel de courant qui se traduit par un pic d'intensité;
- la puissance électrique diminue ensuite progressivement, au fur et à mesure que le fluide entourant la résistance électrique monte en température. Le siège de la vanne commence alors à se déplacer verticalement;
- une fois le fluide réchauffé, la consommation se stabilise autour d'une valeur correspondant à la puissance nécessaire au maintien de position, le siège s'étant déplacé entièrement dans le corps de la vanne.

Selon les modèles d'actionneurs thermiques, la valeur de la puissance appelée immédiatement après le déclenchement de l'actionneur vaut entre 1,5 et 2,5 fois la puissance moyenne consommée en régime permanent. L'ordre de grandeur de cette dernière est de 1 à 2 W, les puissances d'appels ne dépassant pas 3 W en général. > **Figure 1** L'actionneur motorique présente un profil de fonctionnement très différent: sa consommation semble relativement constante, qu'il se trouve en mouvement ou au repos. Cela signifie toutefois qu'il consomme de l'électricité en permanence, comme s'il était en veille. La puissance moyenne est de l'ordre de 0,1 W seulement. On notera également que la technologie de la vanne permet la suppression de cette consommation de veille pour peu que le régulateur associé dispose de cette fonctionnalité. > **Figure 2** En ramenant les deux profils à la même échelle, il est aisé de visualiser l'écart entre les technologies en termes de puissance d'appel. Par ailleurs, les puissances électriques mesurées permettent une évaluation des consommations électriques annuelles. Celles-ci sont de l'ordre du kWh, avec, pour l'exemple traité dans l'**Encadré 1**, un rapport de 1 à 3 entre celle d'un actionneur motorique et celle d'un actionneur thermique 230 V, et 1 à 5 entre celle d'un actionneur motorique et celle d'un actionneur thermique 24 V. Enfin, dans le cas où les consommations de veille peuvent être supprimées, la consumma-

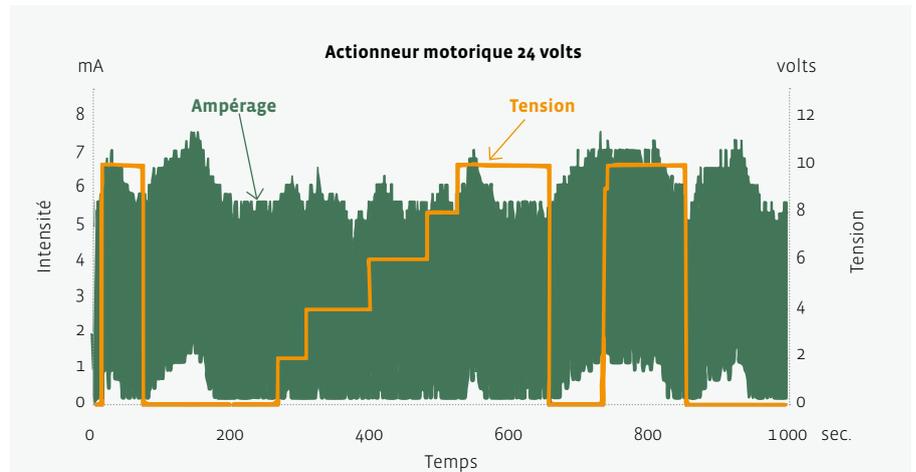


Figure 2 L'actionneur motorique présente un profil très différent (pas de pic d'appel de puissance). La puissance moyenne est de l'ordre de 0,1 W. Mais le mode de fonctionnement de la vanne permet la suppression totale de la consommation "de veille" (hors actionnement de la vanne) quand le régulateur associé est capable de gérer cette fonctionnalité.

Étude de cas : immeuble de bureaux

Pour illustrer les chiffres de consommation électrique mesurée sur les vannes de régulation terminale, prenons l'exemple d'un immeuble de bureaux de 10 000 m² situé à Paris, et dont la performance thermique est représentative d'un bâtiment conforme à la RT 2012. En prenant la valeur courante de 13 m² par bureau et par émetteur, il est équipé de 769 ventilo-convecteurs 2 tubes, soit 769 vannes de régulation terminales.

Actionneur	Thermique 24 V	Thermique 230 V	Motorique 24 V (veille maintenue)	Motorique 24 V (veille coupée)
kWh / an	3 210	1 755	647	162
kWh _{EP} / an.m ²	0.8	0.5	0.2	0.0
€ / an	321	175	65	16

Consommation électrique annuelle des actionneurs de vannes d'un immeuble de 10 000 m²

Hypothèses :

- Bureaux de 13 m²
- Coût du kWh électrique de 6 centimes d'euro (hors taxes)
- 3 250 activations de l'actionneur par an
- Vanne maintenue ouverte pendant 2 200 heures

tion électrique annuelle pour l'actionneur motorique est réduite de plus de 75 %! > **Figure 3 et Encadré 1**

Débit résiduel des vannes en position fermée

Une vanne motorique à billes apporte un autre avantage par rapport aux vannes de régulation terminales "classiques". De par sa conception, l'utilisation d'un

boisseau sphérique en lieu et place du siège permet a priori de limiter les écoulements parasites qui pourraient apparaître en position fermée en cas de déplacement incomplet du siège. Ce débit résiduel fait l'objet de deux normes, qui définissent des classes d'étanchéité :

- la norme européenne NF EN 12266-1 "Essais des appareils de robinetterie métallique", qui compare la valeur de débit

résiduel en mm^3/s au DN de la vanne;

- la norme internationale de l'IEC (International Electrotechnical Commission) 60534-4 "Vannes de régulation des processus industriels - inspection et essais individuels", qui classe la vanne selon le rapport entre le taux de fuite et son Kv nominal (débit en m^3/h traversant la vanne ouverte lorsqu'elle crée une perte de charge égale à 1 bar).

Le **Tableau 1** compare les valeurs de ces deux normes pour une vanne de régulation terminale courante, présentant un Kvs de $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ en DN 15.

Classes d'étanchéité

Un banc d'essai dédié à la mesure de ce débit résiduel a été élaboré et mis en œuvre dans le laboratoire d'essais du COSTIC. Il peut accueillir plusieurs vannes, qui sont soumises à la pression d'un réseau hydraulique en amont et laissées à l'air libre en aval. L'écoulement d'eau est recueilli dans un récipient puis pesé afin de déterminer le débit résiduel. La majorité des produits étudiés par le COSTIC appartient à la classe D selon leurs notices techniques. Ils ont été soumis à des essais dans des conditions similaires à celles des normes NF EN 12266-1 et IEC 60534-4, notamment en ce qui concerne la pression différentielle égale à 1,5 bar (soit la pression de service des vannes). Les résultats montrent qu'il est pratiquement impossible de détecter le moindre débit résiduel sur les vannes à l'état neuf. Cela

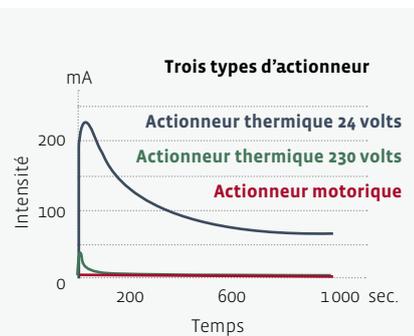
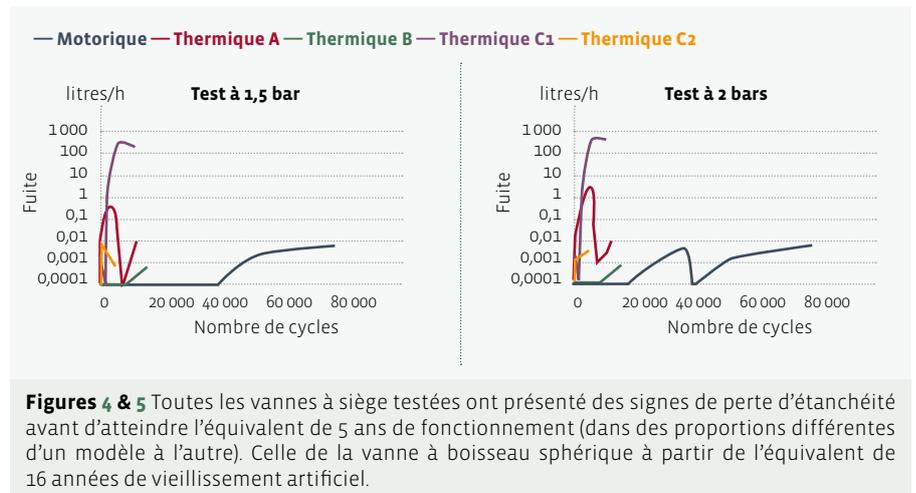


Figure 3 Ramené à la même échelle, l'écart d'appel de puissance entre les technologies thermique et motorique est net. L'écart de consommation annuelle varie de 1 à 3 entre un actionneur motorique et un actionneur thermique de 230 V, et de 1 à 5 entre un motorique et un thermique de 24 V.



Figures 4 & 5 Toutes les vannes à siège testées ont présenté des signes de perte d'étanchéité avant d'atteindre l'équivalent de 5 ans de fonctionnement (dans des proportions différentes d'un modèle à l'autre). Celle de la vanne à boisseau sphérique à partir de l'équivalent de 16 années de vieillissement artificiel.

indique que les vannes méritent *a priori* une meilleure classe que celle qui leur est attribuée par leurs fabricants, en tout cas lorsqu'elles sont neuves.

Vieillessement des vannes

La première partie de l'étude a permis de quantifier les performances, aussi bien électriques (consommation des actionneurs) qu'hydrauliques (débit résiduel en position fermée) des vannes de régulation terminales à l'état neuf. Un second volet s'est intéressé à l'évolution de ces performances dans le temps, c'est-à-dire aux possibles conséquences du fonctionnement des actionneurs et des cycles d'ouvertures et de fermetures des corps de vannes. Pour prendre en compte l'influence de ces paramètres, les vannes ont été soumises à un processus de vieillissement simulé par la répétition de cycles d'ouvertures et de fermetures. Elles ont été placées sur un banc d'essai reproduisant une installation de chauffage à 50°C avec une pression différentielle de 1,5 bar aux bornes de chaque vanne. Plusieurs mois de fonctionnement en laboratoire ont permis de faire subir plusieurs milliers de cycles à chaque vanne. Il peut être noté que la vanne motorique étant beaucoup plus rapide, il a été possible de lui faire subir dans le même temps d'essai, un nombre de cycles beaucoup plus important que pour les vannes thermiques (près de 80 000 cycles contre 10 000 à 15 000 cycles). En considérant par hypothèse qu'une année de fonctionnement comprend 3 250 cycles, nous pouvons considérer que

nos essais ont permis de simuler un fonctionnement de 3 à 5 ans pour les vannes thermiques et de 24 ans pour la vanne motorique. Des mesures de débit résiduel ont été effectuées à intervalles réguliers afin de déterminer l'évolution des performances hydrauliques des vannes en position fermée (> **Figures 4 et 5**). Si l'évolution dans le temps des vannes est assez différente d'un produit à l'autre et parfois difficile à interpréter, il se dégage cependant deux tendances nettes correspondant chacune à deux familles de technologie étudiées (vanne à siège à actionneur thermique et vanne à boisseau sphérique à actionneur motorique). Pour les vannes à siège, les quatre modèles testés ont tous présenté des signes de perte d'étanchéité avant d'atteindre l'équivalent de cinq ans de fonctionnement (dans des proportions différentes d'un modèle à l'autre). La vanne à boisseau sphérique, quant à elle, a présenté les premiers signes de débit résiduel après l'équivalent de 16 ans de fonctionnement. Pour les vannes à siège, les valeurs maximales de débit résiduel (sous 1,5 bar) ont été mesurées à $0,001 \text{ l/h}$ après 4,6 ans pour la vanne présentant les meilleurs résultats et à 250 l/h après 1,9 an pour la moins bonne. Pour la vanne à boisseau sphérique, la valeur maximale de débit résiduel (sous 1,5 bar) a été mesurée à $0,005 \text{ l/h}$ après 26 ans.

Analyse des résultats

Quels enseignements et quelles conséquences peut-on tirer de ces mesures? Le nombre de vannes testées est trop

faible pour tirer des conclusions définitives. De plus, le test de deux vannes identiques (appelées "C1" et "C2" sur la > **Figures 4 et 5**) montre que les résultats peuvent varier d'un échantillon à l'autre d'un même modèle. Enfin, la durée des essais n'a permis, pour les vannes à siège à actionneur thermique, de ne simuler qu'une durée de fonctionnement de trois à cinq ans (10 000 à 15 000 cycles). La conclusion doit donc être plutôt formulée en termes de point de vigilance: si toutes les vannes testées présentent une très bonne étanchéité à l'état neuf, la performance hydraulique de certaines peut se dégrader rapidement. Il reviendrait aux constructeurs d'apporter plus d'éléments sur la durabilité de leurs vannes. Mais il est possible qu'eux-mêmes ne disposent pas de cette information. Dès lors se pose la question de l'impact énergétique et économique de ce débit résiduel. Si un tel débit résiduel peut sembler négligeable, la durée pendant laquelle la vanne est fermée et doit normalement bloquer l'écoulement peut tout de même donner une certaine importance au phénomène. En effet, on peut estimer cette période à plusieurs milliers d'heures par an pour une vanne fonctionnant en tout-ou-rien. Le débit étant très faible, l'écoulement ressort à la température ambiante (l'efficacité de l'émetteur est de 1). Toutefois, cette énergie n'est en réalité consommée que lorsque la vanne est fermée et que le circulateur la desservant est en fonctionnement; or ces derniers sont en théorie arrêtés une fois la saison (de chauffage et/ou de refroidissement, selon les configurations) terminée. Les chiffres annoncés ci-dessus sont donc à relativiser et à considérer comme des ordres de grandeur. **L'Encadré 2** reprend l'étude de cas précédente et évalue cet impact pour différents scénarios de dégradation de l'étanchéité de la vanne. Cet exemple montre qu'une vanne dont l'étanchéité est fortement dégradée constitue un gisement d'économie d'énergie notable (et une source de problème du point de vue de la maîtrise du confort). On rappelle que, dans nos essais, deux des trois vannes à siège testées à plus de 10 000 cycles ont présenté à un moment ou un autre des débits résiduels

supérieurs à 0,1 l/h. La durée de fonctionnement de cinq ans retenue pour les hypothèses de **L'Encadré 2** n'est pas innocente. En effet, c'est à peu près la durée de vie des actionneurs de vannes constatée par les exploitants (il est à noter que ce phénomène n'a pas été observé dans nos essais). Souvent, le remplacement consiste alors à ne changer que l'organe électrique défectueux. Mais les résultats de nos investigations montrent que dans un certain nombre de cas, il serait souhaitable de remplacer l'ensemble de la vanne. À raison d'un taux horaire de 50 €/h et un temps d'intervention moyen de 0,25

h par vanne, notre étude de cas aboutit à un coût de main-d'œuvre pour cette opération de plus de 9 600 €.

Conclusion

Les essais et analyses menés sur les vannes de régulation terminale montrent que la performance économique de ces matériels est beaucoup plus impactée par leur durabilité que par leur performance énergétique, la dégradation de l'étanchéité impactant beaucoup plus que les consommations électriques (surtout si elle oblige à un remplacement du matériel). ■ 54-85

Tableau 1

Débit résiduel maximal (mm³/s)	0,15	0,6	1,5	2,2	6	15	30	44	444	2222	>2222
Classe EN 12266-1	B	C	D	E	F	G					
Taux de fuite	3E-05	1E-04	3E-04	5E-04	0,001	0,003	0,007	0,01	0,1	0,5	> 0,5
Classe IEC 60534-4	IV-S1				IV			III		II	I

Étude de cas : immeuble de bureaux

Reprenons l'exemple précédent, soit un immeuble de bureaux de 10 000 m² situé à Paris dont la performance thermique est représentative d'un bâtiment conforme à la RT 2012 et équipé de 769 vannes de régulation terminales.

		Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Débit résiduel constaté à 1,5 bar après 5 ans		0,001 l/h	0,01 l/h	0,1 l/h	1 l/h
Perte d'énergie thermique par débits résiduels au bout de 5 ans	kWh	129	1 292	12 929	129 290
	kWhEP / m²	0.01	0.13	1.29	12.93
	€	8	78	776	7757

Perte d'énergie thermique annuelle par débits résiduels des vannes d'un immeuble de 10 000 m²

Hypothèses :

- Bureau de 13 m²
- Coût du kWh thermique de 6 centimes
- Consigne de chauffage à 20 °C en journée et 16 °C en réduit
- Climatisation à partir de 26 °C en journée et 30 °C en réduit
- Température d'entrée de 55 °C en chauffage / 6 °C en climatisation (régime 55/45 et 6/12, efficacité de 0,3)
- Loi d'eau en chauffage: 20 °C par 20 °C ext, 55 °C par -5 °C ext (pente 1,4)
- 6 560 heures fermées pour 2 200 heures ouvertes
- 8 mois d'hiver et 4 mois d'été, réduit le week-end et de 19 heures à 7 heures en semaine soit 1 575 heures de chauffage à 20 °C, 2 800 heures de chauffage à 16 °C, 785 heures de climatisation à 26 °C, 1 400 heures de climatisation à 30 °C