

Ajustement des faibles débits et gestion du débit minimal

Les puissances nécessaires pour chauffer ou refroidir les bâtiments ont sévèrement chuté ces dernières années, contribuant grandement à diminuer les consommations énergétiques et l'impact environnemental des installations de chauffage et de climatisation. C'est évidemment une très bonne chose. Les débits circulants dans nos installations sont de ce fait beaucoup plus faibles, particulièrement si on opte pour une régulation modulante performante des unités terminales.

Par Eric Bernadou, responsable Projets d'IMI Hydro-
nic (Pneumatex, TA, Heimeier)



La conception des installations doit prendre en compte la nécessité d'assurer un débit minimal d'irrigation pour les chaudières à faible contenance en eau ainsi que pour les groupes de froid afin d'assurer la modulation de leurs puissances et leur pérennité de fonctionnement. Il en va de même pour les pompes à vitesse variable nécessitant un débit minimal d'irrigation.

Dans cet article nous aborderons :

- La problématique des faibles débits sur les chaudières, les groupes de froid et les pompes
- Les solutions hydrauliques pour garantir le débit minimal
- La régulation performante des petits débits

Introduction

Les échanges thermiques entre fluides (eau/eau ou eau/air) sont dépendants du débit q (l/h) et de la chute ou élévation de température ΔT . La puissance émise est calculée en utilisant la formule de la Fig. 2.

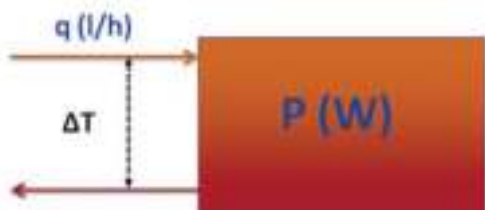


Fig 1. Echange thermique

$$P = \frac{q \cdot \Delta T}{0.86}$$

(eau à 20 °C)

P en Watt
 q en l/h
 ΔT en °Kelvin
 ρ densité en kg/m³
 c_p chaleur spécifique en J/kg.K

Fig. 2. Formule pour le calcul de la puissance en fonction du débit et du ΔT

Pour de l'eau à 20 °C, la formule de calcul de la puissance est simplifiée (Fig. 3).

$$P = \frac{q \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot c_p}{36 \cdot 10^5}$$

(pour différents fluides ou températures)

Fig. 3. Formule simplifiée pour de l'eau à 20 °C

Les débits d'une installation de chauffage ou de climatisation sont donc directement liés à la puissance nécessaire et au ΔT . Les puissances demandées de nos jours en chauffage ont nettement diminué si on les compare aux années 1970. Le coefficient U bat (anciennement G) a été divisé par 4. (voir Fig. 4 page suivante).

Le débit de nos installations dépend également du ΔT (différence de température d'eau entre le départ et le retour) utilisé pour dimensionner les échangeurs.

Augmenter le ΔT permet de réduire le débit et par conséquent le diamètre des tuyauteries, des vannes et accessoires hydrauliques ainsi que la consommation des pompes.

Le choix du ΔT a un impact sur le comportement thermique des échangeurs. Un ΔT plus grand conduit à un coefficient F (coef-

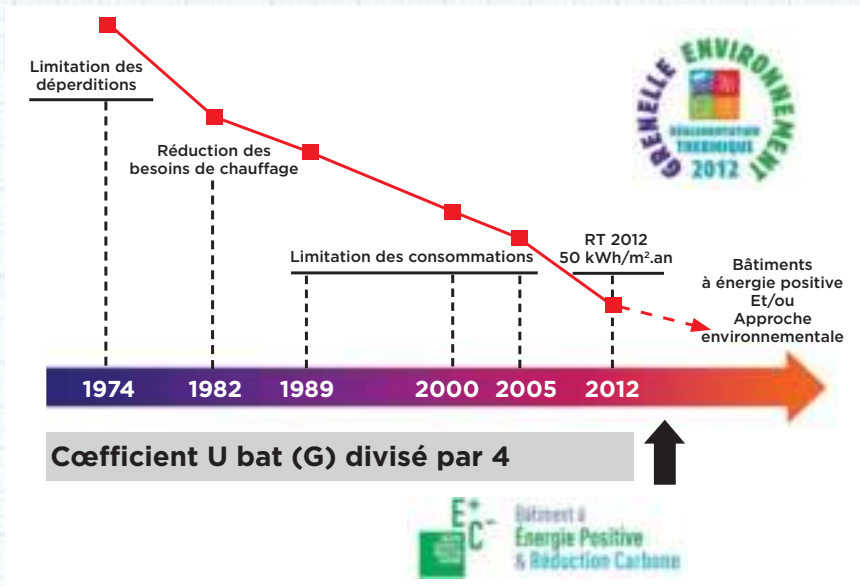


Fig. 4. Evolution de la consommation énergétique des bâtiments

ficient d'efficacité thermique) plus grand. La courbe rouge de la Figure 5 correspond à un ΔT de 25 °C (70-45). Cette courbe nous indique que la puissance émise en fonction du débit est moins «pentue» comparée à la courbe bleu correspondant à un ΔT de 20 °C (80-60) ce qui est favorable pour le contrôle de la puissance. Il faut noter cependant une plus grande sensibilité concernant le réglage du débit nominal à 100 %. Une erreur de réglage du débit nominal aura un impact plus important sur la puissance émise par l'émetteur.

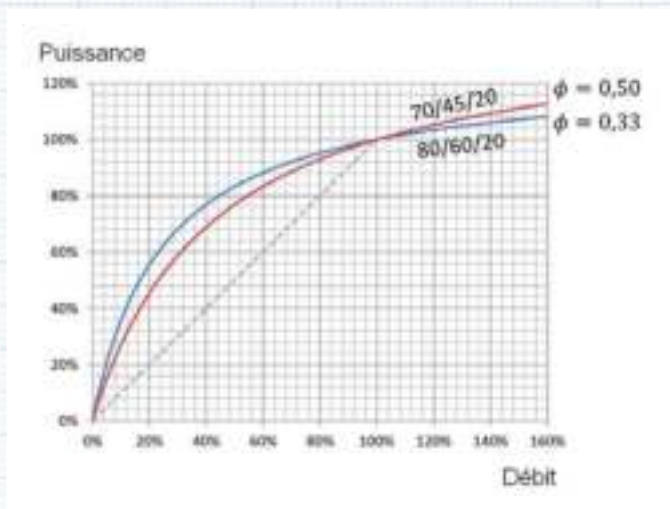


Fig. 5. Courbe d'émission en fonction du ΔT

La tendance actuelle est de diminuer les températures de départ d'eau en chauffage ou de les augmenter en froid pour gagner sur le rendement de distribution et le rendement de la production. Cette tendance ne donne pas beaucoup de latitude pour augmenter également le ΔT car cela conduirait à des surfaces de chauffe trop importantes.

Nous avons précédemment considéré les conditions nominales de fonctionnement, à savoir la puissance nécessaire et le ΔT de calcul de l'installation. Le débit d'une installation dépend également de la puissance demandée en dynamique de fonctionnement pendant toute la période de chauffage ou de refroidissement.

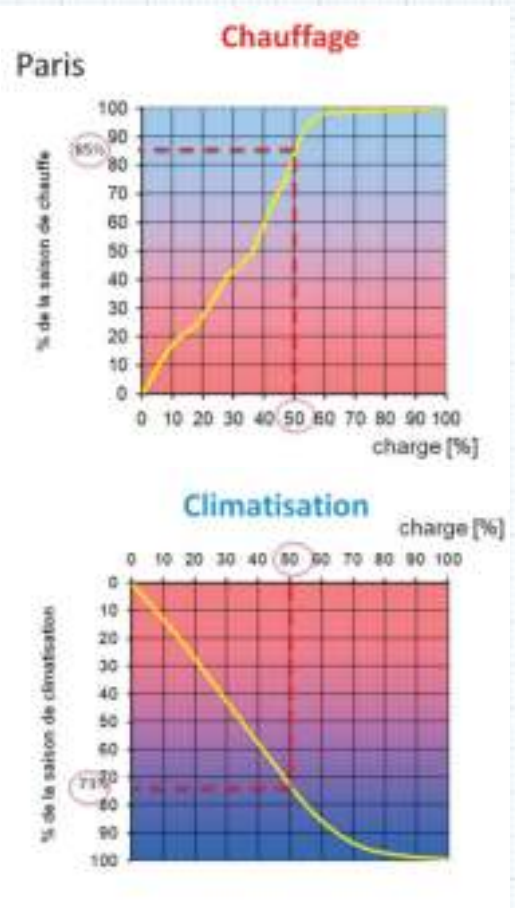


Fig. 6. Pourcentage de la saison de chauffe ou de climatisation en fonction de la puissance demandée

Sur les graphes de la Figure 6, on peut constater que pour 85 % du temps en chauffage et 73 % du temps en climatisation, l'installation travaille à une charge (puissance) inférieure à 50 %. Bien évidemment ces valeurs varieront en fonction du type de bâtiments et de son utilisation et en fonction de la région climatique.

Le fait est que nos installations de chauffage et de climatisation travaillent dans la majorité du temps à des puissances inférieures à 50 %.

Si on se réfère à la courbe d'émission de la puissance en fonction du débit (Fig. 5), on constate que pour 50 % de la puissance, un débit de l'ordre de 20 % est suffisant.

Une installation à débit variable régulée en «Modulant» travaillera dans la majorité du temps avec des petits débits proches de 20 % du débit nominal.

1. La problématique des faibles débits

Les faibles débits ont des impacts sur l'ensemble d'une installation de CVC. Bien qu'acceptant de plus en plus un débit variable, on devra veiller à assurer le débit minimal requis pour les chaudières, les groupes de froid ou les pompes à chaleur. Les nouvelles pompes travaillant à vitesse variable demandent également un débit minimal pour assurer leur bon fonctionnement.

Sur la distribution (tuyauterie), les faibles débits impacteront les vitesses de circulation avec des conséquences sur l'entraînement des «boues» et des poches d'air. La chute de température sur la distribution sera également plus importante pour les faibles débits.

(Suite au dos)

Enfin, la sélection de la caractéristique des vannes de régulation et d'équilibrage devra prendre en compte la contrainte du contrôle des petits débits qui sont toujours plus délicats à gérer.

vitesse de variation de débit plus ou moins importantes. Pour les régulations les plus sophistiquées, on acceptera des variations de débit rapides pouvant aller jusqu'à 30 % par minute,

les régulations les moins sophistiquées n'acceptant pas une variation trop rapide, on se limitera alors à 2 % par minute.

Le débit minimal acceptable pour les évaporateurs est souvent situé entre 40 % et 60 % du débit nominal. On suivra bien sûr les recommandations du fabricant.

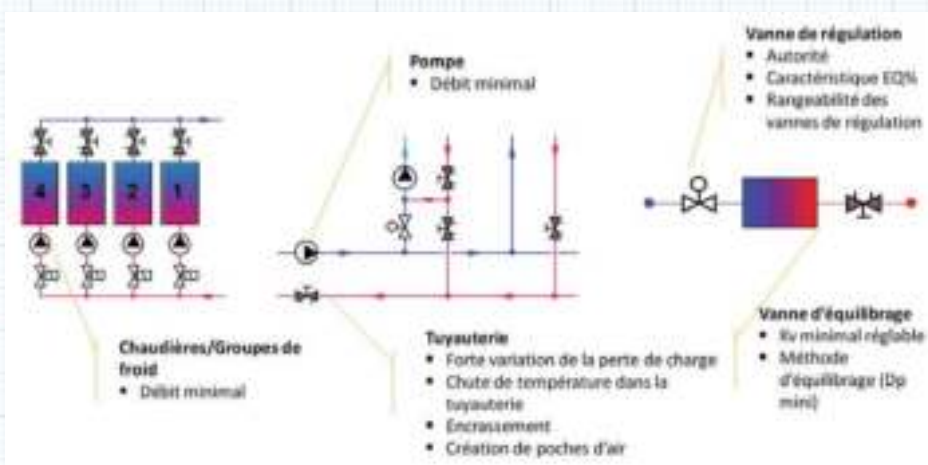


Fig. 7. Problématique des faibles débits sur les installations de chauffage/climatisation



Fig. 10. Groupe de froid

● Le débit minimal pour les pompes



Fig. 8. Refroidissement du moteur des pompes

Il est connu de tous qu'une pompe ne doit pas tourner sans eau ! L'accumulation d'énergie génère de la chaleur pouvant endommager l'arbre, la roue et la garniture mécanique. Le fluide qui traverse la pompe aide au refroidissement du moteur (Fig. 8). Le débit minimal que l'on doit assurer pour le bon fonctionnement des pompes dépend de leurs technologies.

Les informations du tableau (Fig. 9), communiquées par la société Wilo, nous donnent des exemples de débits minimaux à assurer suivant le modèle de pompe.

Débit mini requis (*)		
10%	30%	Sans contrainte
Pompe monobloc en ligne ou monobloc, à moteur vertical	Pompe monobloc «normale», à moteur vertical EN 733, ISO 5199	Circulateur WLD Stratos Maxx

Fig. 9. Débit minimal en fonction des technologies de pompe

● Le débit minimal pour les chaudières et les groupes de froid

Pour les groupes de froid, on considère généralement deux facteurs : le débit minimal acceptable pour l'évaporateur et la vitesse de variation du débit.

Suivant la régulation de puissance du groupe, on admettra des

Pour améliorer le rendement des chaudières, leur contenance en eau a fortement chuté. Bien qu'acceptant la variation de débit, on se devra de garantir un débit minimal d'irrigation des corps de chauffe pour éviter les contraintes mécaniques trop fortes et pour évacuer les calories afin d'assurer une régulation stable de la puissance. Certains fabricants intègrent une pompe de recyclage afin de s'assurer le débit minimal recommandé.

Le débit minimal recommandé pour les chaudières est généralement de 10 à 30 % du débit nominal.

● Dépôt et création de poches d'air

Un faible débit implique une vitesse de circulation lente du fluide dans toute la tuyauterie. Les particules en suspension issues de la corrosion, elle-même étant le résultat d'entrée d'air et d'oxygène, se déposeront à loisir dans la tuyauterie et colmateront les échangeurs et les diverses vannes.

La qualité d'eau et du maintien de pression est alors prépondérante.



Fig. 11. Dépôt de particules

● Chute de température de la tuyauterie de distribution

La chute de température dans un tuyau dépend des déperditions (gain) thermiques et du débit de circulation. Pour un régime de température donné, les déperditions dépendent évidemment de l'isolation du tuyau.

Sur le graphe de la Figure 12, on constate que pour un tuyau correctement isolé (courbe bleue) la chute de température sera négligeable jusqu'à environ 20 % du débit nominal.

A partir de 20 % de débit, la chute de température est de l'ordre de 0,2 °C par mètre de tuyauterie. En débit variable, 20 % du

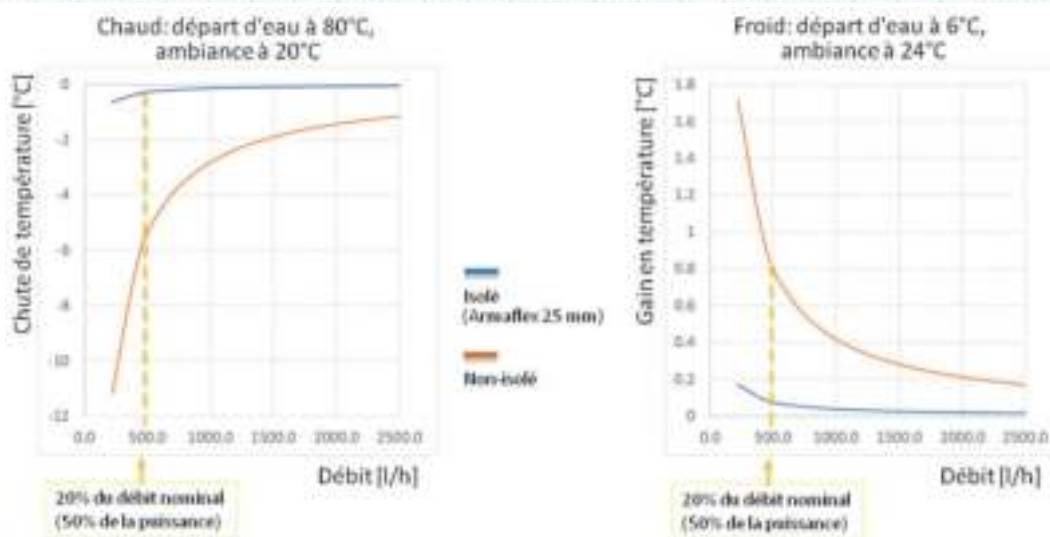


Fig. 12. Chute de température d'un tuyau en DN 32 isolé ou non-isolé en fonction du débit

débit correspond à 50 % de la puissance et à une majorité du temps de fonctionnement de l'installation. La chute de température (gain en froid) n'est alors plus négligeable.

2. Comment garantir le débit minimal ?

Un moyen simple et largement utilisé pour garantir de ne pas descendre en dessous du débit minimal est d'utiliser un bipasse «statique» (Fig. 13, en face) qui garantira un débit constant sur les chaudières ou plus particulièrement sur les groupes de froid.

en rien le débit circulant dans les groupes de froid. Nous n'aborderons pas ici l'aspect dimensionnement de ce bipasse mais on notera l'importance d'assurer la compatibilité des débits entre le primaire et le secondaire de celui-ci.

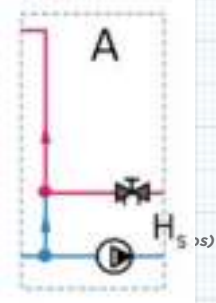


Fig 13. Bypass «statique» (bouteille casse pression, ballon...)

Régulation numérique intelligente

L'association TA-Slider et TA-Modulator permet d'obtenir un contrôle précis de la température, une flexibilité dans la conception et la régulation, l'efficacité énergétique et la facilité de configuration.

Une meilleure rangeabilité de la vanne, même à faible débit, grâce à la caractéristique unique égal pourcentage (EQM) qui permet d'obtenir une course réelle jusqu'à 6 fois supérieure

Serviceur TA-Slider et vanne d'équilibrage et de contrôle indépendants de la pression TA-Modulator

Macteus
BACnet

Gagnez jusqu'à 50% de temps lors de la mise au point grâce à une configuration numérique efficace avec l'application HyTune ou avec un BUS de communication.

Plus d'infos sur www.imi-hydranic.fr

IMI Hydranic Engineering

Pas le droit à l'erreur.

Dans l'exemple de la Figure 14, le débit secondaire est de 150 % et le débit primaire de 100 %. Il y a donc 50 % d'eau de retour de l'installation qui traverse le bipasse de haut en bas pour se mélanger avec l'eau de départ des groupes de froid à 6 °C. Ce remélange provoque une dégradation de la température de départ de l'installation qui au lieu d'être à 6 °C est dans ce cas à 7,9 °C. Pour compenser les désagréments liés à cette dégradation de température, il faudra enclencher un groupe de froid supplémentaire. Le rendement global de l'installation en est alors fortement affecté. Il est donc impératif d'ajuster le débit secondaire à une valeur légèrement inférieure (5 %) au débit primaire.

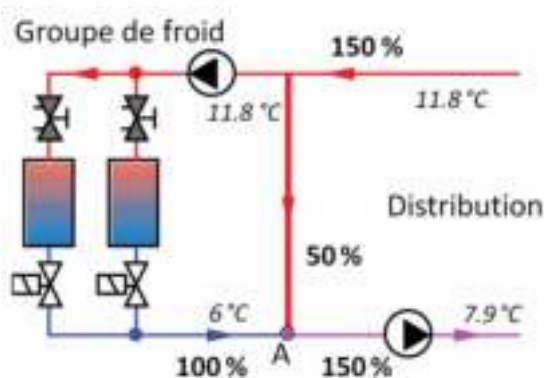


Fig. 14. Incompatibilité des débits entre primaire et secondaire du bipasse



Pour augmenter le rendement de la production, on souhaite de plus en plus faire travailler les groupes de froid et les chaudières à débit variable. On utilise alors un bipasse dit «dynamique» (Fig. 15) qui ne s'ouvrira que si le débit primaire s'approche du débit minimal requis par le fabricant de la chaudière ou du groupe de froid.

Fig. 15. Bipasse « dynamique »

Le bipasse est équipé soit d'une vanne de décharge, soit d'une vanne motorisée. La vanne de décharge s'ouvrira si la pression différentielle augmente et dépasse le point de consigne. Ce sont des technologies «membrane + ressort» avec pour les plus performantes une bande proportionnelle de l'ordre de 20 %. Il faut une augmentation de 20 % de la pression différentielle pour que la vanne s'ouvre à 100 % et laisse passer le débit minimal requis.

Idéalement, bien que plus coûteux, on placera une vanne motorisée dans le bipasse. L'ouverture de la vanne est contrôlée par la mesure du débit primaire par l'intermédiaire d'un débitmètre. Si le débit s'approche de la limite acceptable, alors on ouvrira progressivement la vanne du bipasse. Il faudra porter une attention particulière à la qualité de cette vanne motorisée qui ne devra pas s'ouvrir ou se fermer trop brutalement, provoquant des problèmes de «pompage».

Pour protéger les pompes, maintenir la tuyauterie en température et éviter la création de poche d'air et de dépôt, on devra assurer en bout de chaque circuit un débit minimal de circulation (Fig. 16).

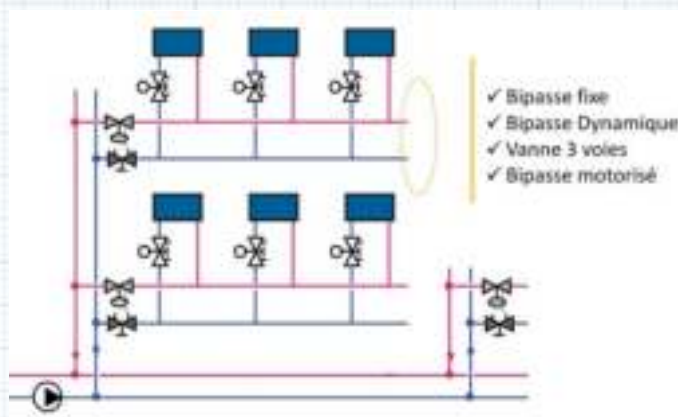


Fig. 16. Débit minimal en bout des circuits

Pour assurer ce débit minimal nous avons à notre disposition quatre possibilités qui sont résumées dans le tableau de la Figure 17.

<p>Bipasse fixe avec vanne STAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût réduit • Réglage facile • Possibilité de modification • Sur-débit • Déterioration de la temperature de retour 	
<p>Bipasse fixe avec vanne décharge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût réduit • Possibilité de modification • Réglage plus complexe qu'une simple vanne • Précision 	
<p>Vanne 3 voies diviseuse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût moyen • Réglage facile • Possibilité de modification • Sur-débit • Déterioration de la temperature de retour 	
<p>Bipasse avec vanne motorisée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût moyen • Réglage facile • Possibilité de modification • Précision 	

Fig. 17. Bipasse en bout de circuit avec avantages et inconvénients

Un bipasse fixe, avec une vanne d'équilibrage STAD, a l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et peu coûteux. On réglera ce bipasse en dessous (2/3) du débit minimal souhaité. Ce réglage en sous-débit permet d'anticiper l'augmentation de pression et donc de débit quand les vannes 2 voies du réseau considéré se fermeront.

Ce bipasse fixe peut être complété d'une vanne de décharge. Bien réglée, la vanne de décharge ne s'ouvrira que dans le cas

d'une augmentation de pression liée à la fermeture des vannes 2 voies du réseau. On limite de ce fait les coûts de pompage et la dégradation de la température de retour.

L'utilisation de vanne 3 voies diviseuses à la place des vannes 2 voies pour les dernières unités terminales du réseau permet également de maintenir un débit minimal d'irrigation. Cette solution est également simple à mettre en œuvre mais ne permet pas d'optimiser les températures de retour des circuits.

L'option optimale consiste à placer dans le bipasse une vanne motorisée qui sera contrôlée de façon à maintenir le débit minimal nécessaire. L'utilisation d'une vanne à pression indépendante dans le bipasse permettra de garantir que le débit ne dépassera pas la valeur limite indiquée par le concepteur de l'installation.

3. Régulation performante des faibles débits

Maintenir un débit minimal n'est pas la seule contrainte liée aux faibles débits des installations que l'on ait à gérer. L'autre contrainte est de contrôler (réguler) correctement la puissance des échangeurs travaillant avec des petits débits.

Pour ce faire, le bureau d'études devra porter une attention particulière aux caractéristiques des vannes de régulation 2 voies.

Les deux critères d'attention seront la caractéristique de la vanne et sa rangeabilité.

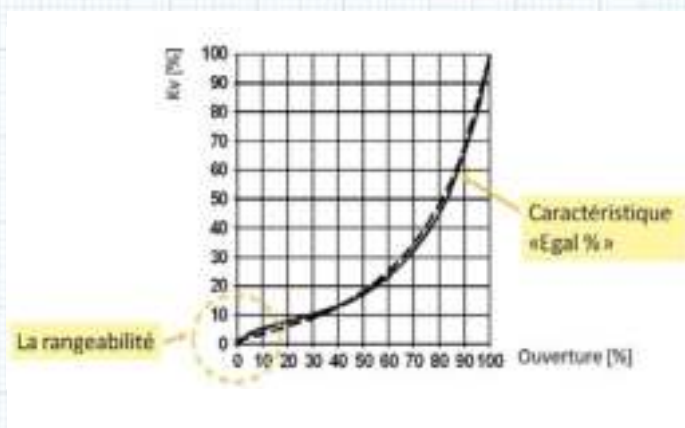


Fig. 18. Caractéristique et rangeabilité d'une vanne de régulation

Pour une régulation «Tout ou Rien», ces critères n'ont pas d'importance puisque la vanne est soit ouverte soit fermée ! On veillera tout de même à avoir une caractéristique «linéaire» pour éviter des variations de débit trop rapides.

Pour une régulation performante, «Modulante», ces critères sont primordiaux. La caractéristique «égal %» permet de compenser la non-linéarité des échangeurs (relation Débit-Puissance, voir le graphe Figure 5). Cette caractéristique permet également d'avoir une course de régulation beaucoup plus importante pour les petits débits. Pour réguler un débit entre 0 et 20 %, la vanne travaillera entre 0 et 50 % d'ouverture (Fig. 17), c'est 2,5 fois plus comparé à une vanne linéaire.

L'autre point d'attention sera la «rangeabilité» de la vanne de régulation. Ce coefficient traduit le minimum de débit contrôlable. Une rangeabilité de 25 signifie que le minimum de débit contrôlable sera de $100/25 = 4\%$ du débit nominal. Cela semble être relativement faible mais pour en juger on se doit de regarder quel sera alors le minimum de puissance contrôlable.

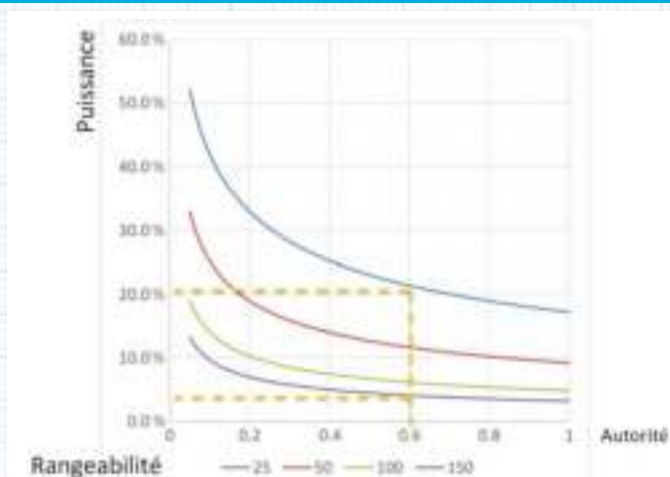


Fig. 19. Puissance contrôlable en fonction de la rangeabilité et de l'autorité

Le graphe de la Figure 19 indique la puissance contrôlable en fonction de l'autorité de la vanne de régulation et sa rangeabilité. L'autorité dépend de la variation de pression que subit la vanne de régulation entre son ouverture au débit nominal et sa fermeture complète. L'autorité dépend de la sélection de la vanne (Kvs) et de la pression différentielle disponible à l'entrée du circuit en dynamique de fonctionnement. L'utilisation de régulateurs de pression différentielle ou de vannes à pression indépendante permet d'obtenir des autorités situées entre 0,5 et 0,8, ce qui est parfait pour assurer une régulation de qualité. La courbe bleue du graphe Figure 19 nous indique que pour une autorité de vanne de 0,6 et une rangeabilité de 25, le minimum de puissance contrôlable sera de 20 %, cela correspond à environ 30 % du temps de fonctionnement de l'installation. En d'autres termes, pendant 30 % du temps de fonctionnement de l'installation on aura un fonctionnement «Tout ou Rien» malgré l'investissement qui a été fait dans une régulation sophistiquée «Modulante». Une rangeabilité de 100 ou au-dessus assurera une régulation «Modulante» de qualité pour la grande majorité du temps de fonctionnement des installations et particulièrement pour les vannes équipant les CTA ou les échangeurs de chaud ou de froid.

Conclusion

L'évolution de nos installations conduit à devoir gérer correctement des débits de plus en plus faibles.

Si on ne prend pas les bonnes précautions, on s'expose au risque d'affecter la durée de vie du matériel (pompe, chaudière, groupe de froid). La qualité de l'eau et particulièrement la non-présence d'air dans l'installation s'avère être cruciale pour les installations travaillant à majorité du temps avec des faibles débits.

L'investissement permettant de contrôler correctement les débits minimaux dans les bypasses de l'installation est relativement faible en comparaison du coût énergétique ou d'usure du matériel. Le concepteur de l'installation devra porter une attention particulière sur les caractéristiques des vannes de régulation qui seront utilisées. Rangeabilité, caractéristique «égal %» et autorité sont les critères qui permettront un contrôle performant de la puissance des échangeurs pendant la majorité du temps de fonctionnement des installations CVC. ●