

# RÉGULATION OPTIMALE DES UNITÉS TERMINALES

Fin mai, IMI Hydronic Engineering a lancé un nouveau cycle de webinaires mensuels, à destination des BE, chargés d'affaires des entreprises d'installation, metteurs au point et maîtres d'ouvrage : 6 modules sur les solutions hydrauliques pour répondre aux nouvelles contraintes d'optimisation énergétique et environnementales. Cet article fait suite au 2<sup>e</sup> module organisé en juin sur le thème «Les modes de régulation des unités terminales : «modulant» versus «tout ou rien».

Par Eric Bernadou, responsable Projets d'IMI Hydronic (Pneumatex, TA, Heimeier).

La mission principale d'un thermicien est d'assurer les conditions de confort pour les occupants d'un bâtiment tout en minimisant les consommations énergétiques et en garantissant la pérennité du matériel de chauffage et de climatisation. Les nouvelles technologies doivent nous permettre de répondre à cet objectif à condition d'assurer un contrôle performant de l'énergie dissipée pour maintenir les bonnes températures et cela quelles que soient les conditions climatiques extérieures.

C'est le rôle de la régulation.

Le choix du mode de régulation («Tout ou Rien», «3 points» ou «Modulant») dépend du temps de réaction du système qui est contrôlé mais également de la précision et la stabilité souhaitées de la température. Outre la précision et la stabilité de la régulation, le concepteur de l'installation (bureau d'études) devra considérer l'impact sur le rendement global de l'installation (consommation énergétique) en fonction du type de régulation préconisée sur les unités terminales.

On peut diviser une installation de CVC en 3 grandes parties qui sont la « Production » (groupes de froid, pompes à chaleur, chaudières ou échangeurs primaires), la « Distribution » (pompe à vitesse constante ou variable, sous-stations régulées, la tuyauterie, les vannes d'équilibrage) et la partie « émission » avec les échangeurs (ventilo-convecteurs, plafonds froids, radiateurs, planchers chauffants, etc.) ayant pour fonction de fournir les conditions de confort optimales



aux occupants. Le comportement thermique et hydraulique de l'ensemble de l'installation dépend du type de vanne (2 voies, 3 voies) et du mode de régulation (Tout ou Rien, 3 points, Modulant) qui auront été spécifiés par le concepteur du système CVC.

La variation des débits de l'installation et donc les coûts de pompage sont directement liés à l'ouverture et à la fermeture des vannes de régulation en dynamique de fonctionnement.

De même, le rendement des groupes de froid et des chaudières à condensation dépend de la température de retour. La température de retour étant elle-même dépendante du type de régulation choisie pour contrôler les vannes de régulation des unités terminales.

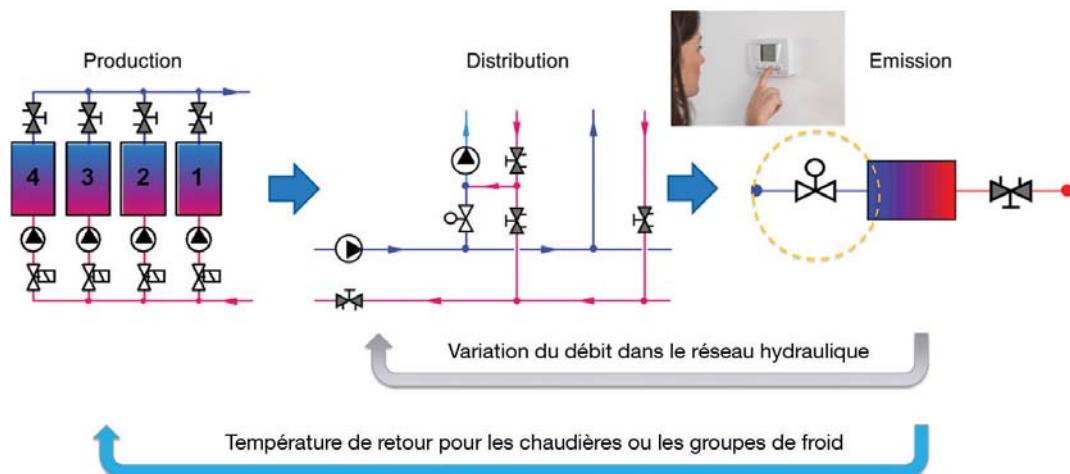


Fig. 1 : Comportement global d'une installation CVC.

## 1. LES MODES DE RÉGULATION DES UNITÉS TERMINALES

Une boucle de régulation est constituée d'un ensemble de composants agissant en « chaîne » et permettant de réguler la puissance transmise dans un local afin d'obtenir la température ambiante souhaitée par l'utilisateur.

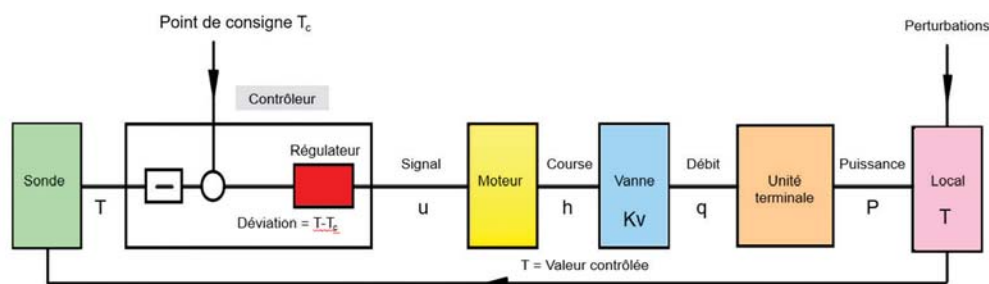


Fig. 2 : Boucle de régulation de température ambiante d'un local.

La qualité de la régulation (difficulté) dépend directement des temps de retard de transmission de l'information au régulateur et de sa faculté à changer la puissance délivrée dans le local. Les temps de retard sont liés principalement à la sonde de température ambiante (emplacement et latence intrinsèque), à la vitesse de déplacement du moteur (plusieurs dizaines de secondes à plusieurs minutes), à l'inertie de l'échangeur de chaleur. Ces temps de retard sont notés  $tm_1$ ,  $tm_2$ ... dans le graphe Fig. 3. Le rapport entre les temps de retard cumulés et la constante de temps du local ( $T$ ) sera indicatif de la difficulté de régulation.

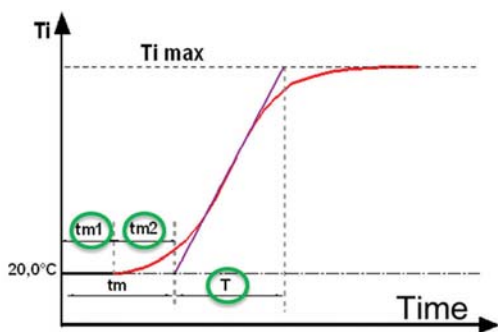


Fig. 3 : Temps de retard et constante de temps.

Les régulateurs utilisés sur nos installations de CVC agissent selon 4 modes.

### LA RÉGULATION «TOUT OU RIEN»

Dans un mode de régulation «Tout ou Rien», tant que la température ambiante est située en dessous du point de consigne, le régulateur demandera l'ouverture à 100 % de

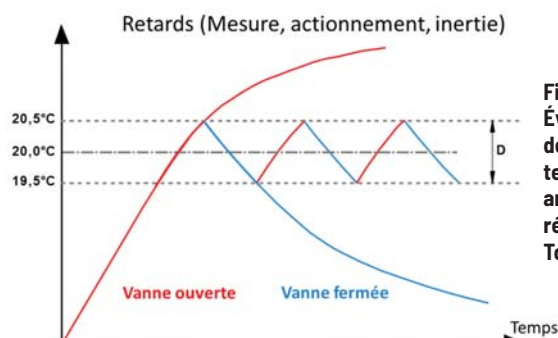


Fig. 4 : Évolution de la température ambiante régulée en Tout ou Rien.

la vanne de régulation. Dès que la température ambiante dépassera le point de consigne, le régulateur fermera complètement la vanne. En réalité, pour éviter des enclenchements et déclenchements incessants, on travaillera avec un différentiel de +/- 0,5 °C autour du point de consigne.

Avec ce principe, on espère maintenir la température ambiante autour de 20 °C à +/- 0,5 °C près. Comme indiqué précédemment, la stabilité et la précision de la température obtenue dépendront des temps de retard des éléments constituant la boucle de régulation. L'expérience et les technologies utilisées permettent généralement d'obtenir une qualité jugée satisfaisante pour le confort dans les locaux.

Nous verrons dans la suite de cet article que le mode de régulation «Tout ou Rien», s'il peut être jugé satisfaisant pour le confort, a toutefois une influence négative sur le débit et la température de retour de l'installation et donc sur le rendement énergétique global.

### LA RÉGULATION «CHRONO-PROPORTIONNELLE»

Le mode de régulation «Chrono-proportionnelle» nous vient de la régulation électrique notamment utilisée pour améliorer le comportement thermique des convecteurs électriques.

Le mode «Chrono-Proportionnel» consiste à observer l'écart entre la température ambiante et le point de consigne (par exemple 20 °C) pendant un temps de cycle « $tc$ ». Pendant le temps de cycle, la puissance électrique du convecteur est enclenchée pendant un temps proportionnel à l'écart mesuré (Fig. 5). Plus l'écart est important, plus le temps d'enclenchement est long et inversement. Cette fonction, anticipatrice, permet de lisser les oscillations de la température ambiante et donc d'améliorer le confort ressenti par les occupants.

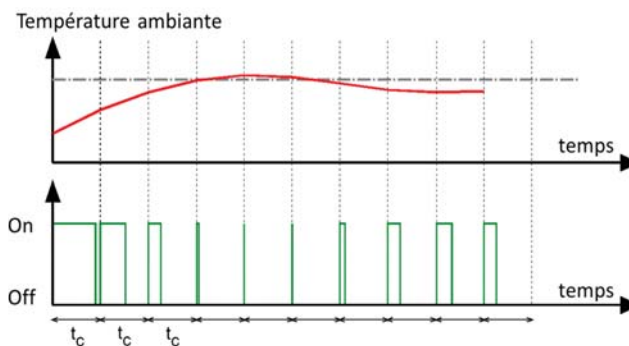


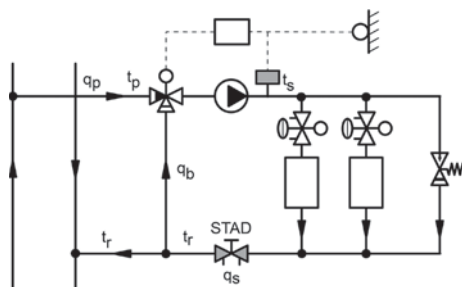
Fig. 5 : Enclenchement de la puissance en fonction de l'écart de température.

La difficulté réside dans la détermination du temps de cycle « $tc$ ». Si « $tc$ » est choisi trop petit (< 5 mn) alors le système n'aura pas le temps de réagir avant que l'on mesure de nouveau l'écart de température du fait des temps de retard de moteur et de l'inertie thermique de l'échangeur. Si « $tc$ » est

trop grand (> 20 mn) alors on perd la fonction anticipatrice que l'on souhaitait avoir avec ce mode de régulation. Les régulateurs «Chrono-Proportionnels» sont généralement préprogrammés, avec un temps de cycle prédéfini, indépendamment du système et du local régulé ce qui affecte leurs performances. Ce mode de régulation convient très bien à des systèmes électriques à réaction quasi instantanée. Pour les émetteurs travaillant avec un fluide thermique (eau chaude ou froide) ayant une plus grande inertie de réaction liée au temps d'ouverture du moteur, de la vanne de régulation et au transfert thermique du fluide à l'ambiance, la régulation sera plus délicate et n'apportera généralement qu'une amélioration très marginale par rapport à une régulation purement «Tout ou Rien».

### LA RÉGULATION «3 POINTS OU FLOTTANTE»

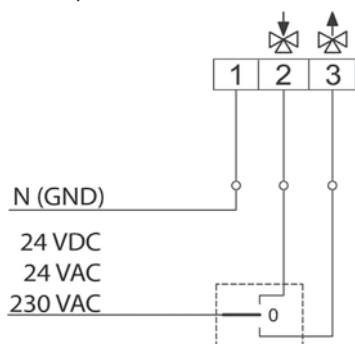
La régulation dite «3 points» est typiquement utilisée en chauffage pour la régulation de la température d'eau de départ en fonction de la température extérieure par action sur une vanne 3 voies mélangeuse (Fig. 6).



**Fig. 6 :**  
Régulation de la température de départ en fonction de la température extérieure.

Si la température d'eau n'est pas suffisante, le régulateur positionnera le contacteur pour alimenter le moteur de la vanne en ouverture, borne «3» sur le schéma électrique de la Fig. 7.

Si la température est trop haute, le contacteur sera positionné sur la borne 2 correspondant à la fermeture de la vanne de régulation. Et enfin, si la température est satisfaisante, le contacteur sera en position «neutre», laissant la vanne dans sa position actuelle.



**Fig. 7 :**  
Schéma électrique d'un régulateur «3 points».

La régulation «3 points» convient très bien pour une régulation de température d'eau en mélange. La vitesse de réaction du moteur et de la vanne est en adéquation avec la vitesse de variation de la température d'eau issue du mélange de l'eau de retour avec l'eau de départ.

Par contre, la régulation «3 points» ne pourra pas être utilisée pour une régulation de température ambiante. Le changement de température d'un local est trop long comparé au temps d'ouverture ou de fermeture de la vanne de régulation conduisant celle-ci à transiter d'une position extrême

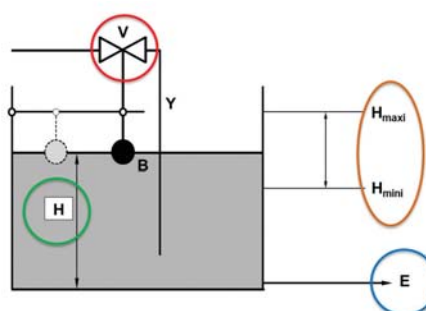
à l'autre, ce qui amène à un comportement «Tout ou rien» de la boucle de régulation.

### LA RÉGULATION «MODULANTE»

La régulation «Modulante» est le mode de régulation le plus sophistiqué permettant d'obtenir à la fois précision et stabilité de la température régulée. Nous verrons plus après que ce ne sont pas les seuls avantages.

Pour illustrer une régulation «Modulante» également appelée proportionnelle, on utilise souvent l'exemple de la régulation d'un niveau d'eau dans une cuve.

Le parallèle avec nos systèmes de chauffage et de climatisation est facile à établir. Le niveau d'eau représente le niveau de température ambiante que l'on souhaite maintenir. Le puisage ou fuite d'eau («E» sur la Fig. 8) est représentatif des déperditions du local.



**Fig. 8 :** Régulation d'un niveau d'eau.

Le flotteur mesure le niveau d'eau et entraîne l'ouverture progressive (proportionnelle) de la vanne pour rajouter le débit nécessaire, comme on le ferait par l'intermédiaire d'une sonde de température ambiante et d'un régulateur agissant sur une vanne de régulation.

Le niveau d'eau sera stabilisé entre une valeur minimale et maximale (Hmin, Hmax). Cet écart correspond à la bande proportionnelle du régulateur. On peut réduire cet écart en augmentant le gain du régulateur (déplacement sur la gauche du flotteur). Cela permet de se rapprocher du niveau d'eau souhaité. Attention toutefois à ne pas augmenter de trop le «gain» du régulateur, car cela conduirait à une instabilité de la boucle de régulation (pompage).

Les régulateurs que nous utilisons en CVC annulent l'écart résiduel lié à l'action proportionnelle grâce à la fonction «Intégrale». Cette fonction permet d'agir sur l'ouverture ou la fermeture de la vanne tant qu'un écart est constaté entre la température mesurée et la température souhaitée.

Un régulateur «Proportionnel/Intégral» permettra d'obtenir une température précise et stable. Bien sûr, on devra s'assurer que le moteur et la vanne permettront de contrôler correctement le débit demandé par le régulateur.

Le tableau page suivante (Fig. 9) résume les caractéristiques et limites des divers modes de régulation qui sont à notre disposition.

## 2. COMPORTEMENT D'UN ÉCHANGEUR EN FONCTION DU MODE DE RÉGULATION

Comme indiqué précédemment, le choix du mode de régulation pour une unité terminale n'impacte pas uniquement la précision et la qualité de la température qui est régulée mais impacte également la consommation électrique des pompes et le rendement des groupes de froid ou des chaudières à condensation.

(Suite page 60)

(Suite de la page 58)

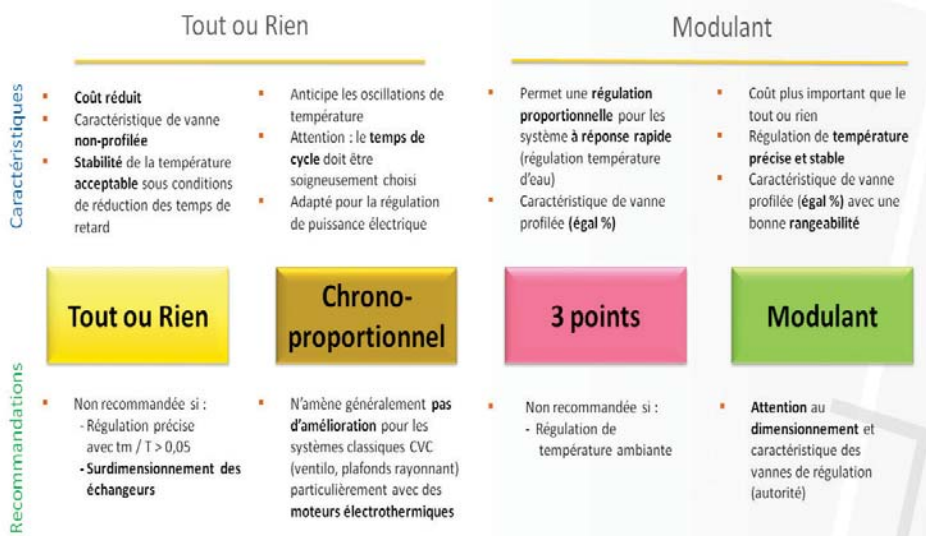


Fig. 9 : Caractéristiques des divers modes de régulation.

Pour évaluer cet impact, on se doit d'analyser le comportement d'un échangeur.

La puissance émise par un échangeur en fonction du débit, pour un régime de température donné, n'est pas linéaire.

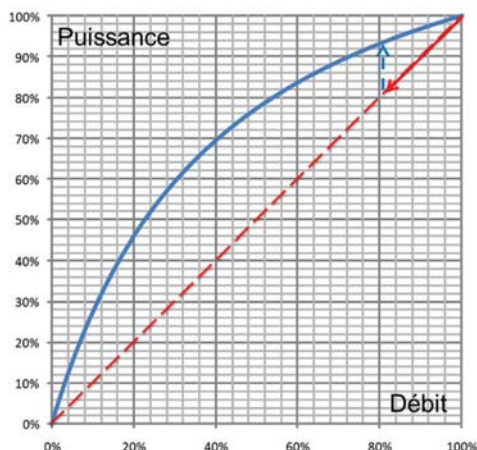


Fig. 10 : Caractéristique d'un échangeur pour un régime d'eau 7°C/12°C et 24°C d'ambiance.

Quand le débit diminue, l'échange thermique augmente, expliquant la non-linéarité de la relation Débit-Puissance (courbe bleue de la Fig. 10).

La non-linéarité dépend du coefficient d'efficacité "thermique Phi" de l'échangeur.

Pour un régime d'eau de 7 °C au départ et 12 °C au retour, avec une température ambiante de 24 °C, le coefficient  $\Phi$  est égal à 0,29.

$$\Phi = \frac{12^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}}{24^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}} = 0,29$$

L'inverse du coefficient  $\Phi$  ( $1/0,29 \sim 3$ ) nous donne la pente de la courbe à l'origine. Dans l'exemple ci-dessus, l'inverse du coefficient  $\Phi$  est égal à  $3 \cdot (1/0,29 \sim 3)$ , cela signifie qu'une augmentation du débit de 10 % engendrera une augmentation de la puissance de 3 fois 10 %, soit 30 %. L'ouverture de la vanne de régulation provoquera une augmentation

rapide de la puissance. Quand on se rapproche du débit nominal, le coefficient nous donne directement la pente de la courbe. Dans cette partie de la courbe, une augmentation de 10 % du débit ne fera varier la puissance que de 0,29 fois 10 % soit  $\sim 3$  %.

Il est important de noter que dans la majorité du temps de fonctionnement (70 % à 80 %), une installation de chauffage ou de climatisation travaille à une puissance inférieure à 50 % et que 20 % du débit suffit pour émettre cette puissance.

Si bien qu'une installation à débit variable, contrôlée par des régulateurs à action Modulante (0-10v) travaillera dans la majorité du temps à un débit relativement faible inférieur à 20 % (Fig. 11).

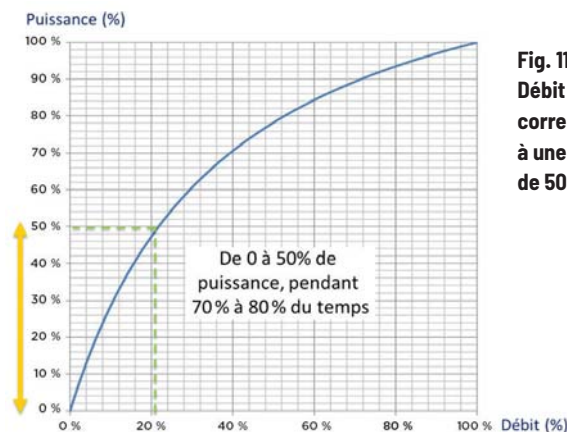


Fig. 11 : Débit correspondant à une puissance de 50 %.

### 3. TEMPÉRATURE DE RETOUR EN FONCTION DU MODE DE RÉGULATION

La température de retour, pour une même puissance, dépend du type de vanne de régulation et du mode de régulation.

Dans le schéma de la Fig. 12, le débit est régulé par l'intermédiaire d'une vanne 2 voies. L'ouverture ou la fermeture de la vanne provoque une variation de débit sur la batterie mais également sur l'ensemble de l'installation, c'est inhérent à une installation travaillant à débit variable. La variation de débit dépendra du mode de contrôle «Tout ou Rien» ou «Modulante» de l'unité terminale.

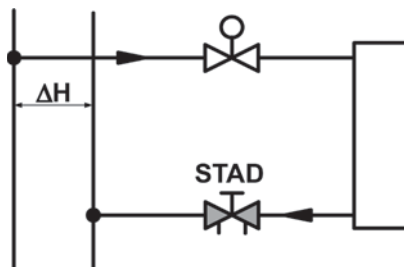


Fig. 12 : Régulation en Tout ou Rien par vanne 2 voies d'une unité terminale.

Le graphe de la figure Fig. 13 montre la température de retour d'un réseau hydraulique équipé de batteries contrôlées par des vannes 2 voies (débit variable) et régulées en «Tout ou Rien».

(Suite page 62)

(Suite de la page 60)

Le régime de température considéré ici est de 6 °C au départ, 12 °C au retour pour une ambiance à 24 °C.

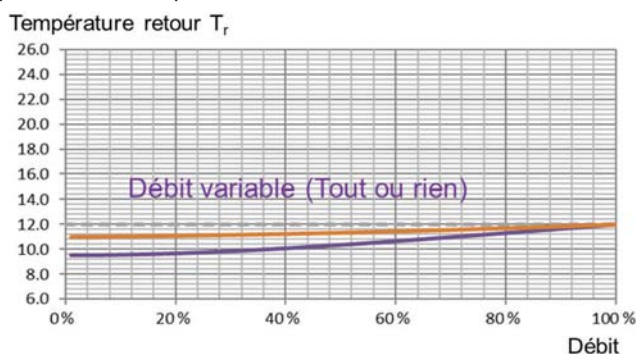
Quand toutes les unités terminales sont en demande, le débit est de 100 % et la température de retour vers les groupes de froid est de 12 °C.

A 50 % de puissance, en moyenne dans le temps, 50 % des batteries sont ouvertes à 100 % de débit et 50 % sont fermées à 0 %. 50 % de puissance correspond donc à 50 % de débit.

La température de retour est de 12 °C puisqu'elle ne dépend que des batteries ouvertes à 100 %.

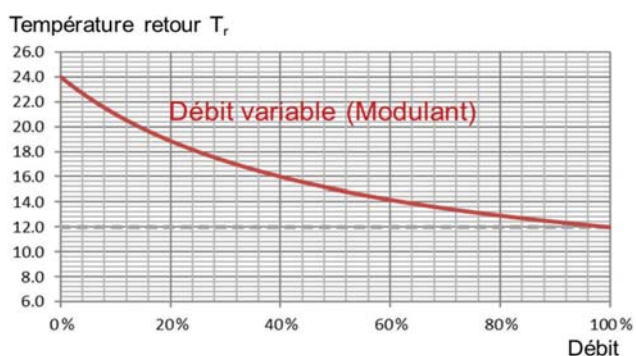
Finalement en mode «Tout ou Rien», quelle que soit la puissance, la température de retour est proche de 12 °C.

En réalité, la courbe violette de la figure Fig. 13 nous indique une température de retour de l'ordre de 10,5 °C. On tient compte ici du phénomène d'interactivité hydraulique. La fermeture de certaines batteries entraîne une augmentation de débit dans les batteries qui sont toujours ouvertes provoquant une chute (en froid) de la température de retour. L'interaction hydraulique sera plus ou moins importante (courbe orange) en fonction de l'utilisation de régulateur de pression différentielle ou de vanne de régulation indépendante de la pression.



**Fig. 13 : Température de retour d'un réseau hydraulique équipé de batteries contrôlées en Tout ou Rien pour un régime d'eau 7 °C/12 °C et 24 °C d'ambiance.**

Si maintenant on régule la batterie ou l'unité terminale en mode «Modulant», la température de retour augmentera en froid ou diminuera en chaud en fonction de la puissance consommée.



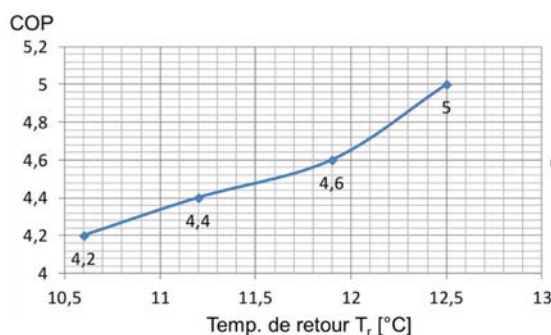
**Fig. 14 : Température de retour d'une batterie contrôlée en Modulant pour un régime d'eau 7 °C/12 °C et 24 °C d'ambiance.**

A 100 % de puissance, la vanne de régulation sera ouverte en grand pour donner un débit de 100 % (installation correctement équilibrée). La température de retour est alors de 12 °C.

A 50 % de puissance, uniquement 20 % de débit sera nécessaire (Fig. 14). A cette puissance, la température de retour sera voisine de 19 °C.

L'augmentation de la température de retour en froid sera favorable à l'amélioration significative du Cop des groupes de froid.

Dans l'exemple de la Fig. 15, on constate que le Cop du groupe de froid, pour une température de retour variant de 12,5 °C à 10,5 °C, passe de 5 à 4,2, soit une chute de l'ordre de 15 % de rendement.



**Fig. 15 : Évolution du Cop d'un groupe de froid en fonction de la température de retour.**

De même, pour une installation de chauffage, la régulation en mode «Modulant» permettra d'obtenir une température de retour plus faible, ce qui est favorable au rendement des chaudières à condensation.

#### 4. LES COÛTS DE POMPAGE EN FONCTION DU MODE DE RÉGULATION

La consommation électrique des pompes dépend directement du débit et de la Hauteur manométrique (Hm) qu'elles délivrent durant toute la période de fonctionnement (Fig. 16).

Pour une installation travaillant à débit constant, le débit et la Hauteur manométrique sont en permanence égaux à 100 %. La consommation électrique sera donc de 100 % indépendamment de la technologie de pompe utilisée (vitesse constante ou variable).

La consommation électrique des pompes peut représenter jusqu'à 15 % de la consommation énergétique globale d'une installation en froid. C'est donc une facture énergétique importante que l'on ne pourra pas négliger.

$$\text{Coût de pompage} \approx C_0 + \frac{Hm \times \text{Débit}}{\text{Rendement}}$$

**Fig. 16 : Consommation électrique des pompes.**

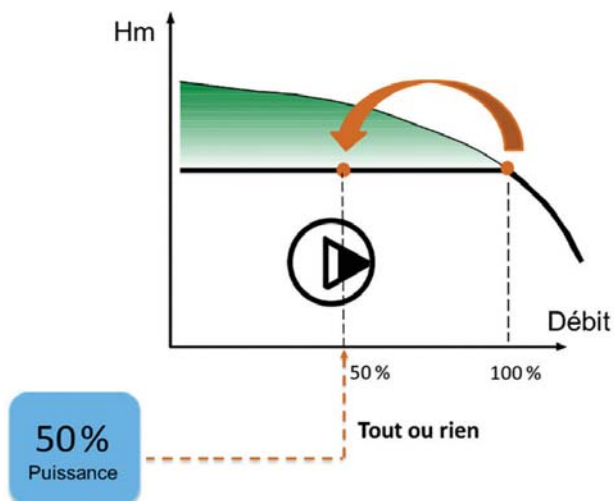
Une installation travaillant à débit variable permettra de réduire la consommation électrique des pompes de façon significative. Comme précédemment, nous devons distinguer le débit variable en mode de régulation «Tout ou Rien» ou en «Modulant».

En mode de régulation «Tout ou Rien», un débit de 50 % correspond à une puissance de 50 % (majorité du temps de fonctionnement). Pour une pompe à vitesse variable, qui maintient sa Hm constante, la consommation électrique sera réduite proportionnellement à la réduction de débit. En réalité, la Fig. 16 nous indique une constante de consom-

(Suite page 64)

(Suite de la page 62)

mation C0 qui traduit la consommation de la pompe à débit «0». Cela dépendra des types de pompe mais on peut considérer que cette consommation électrique à débit nul est de l'ordre de 30 % de la consommation électrique maximale. Si bien que 70 % est lié à la Hm multipliée par le débit.

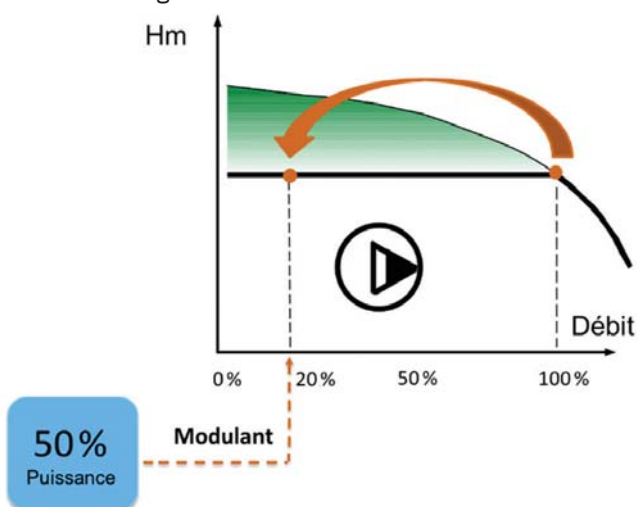


**Fig. 17 : Débit à 50 % de puissance en mode «Tout ou Rien» avec une pompe à vitesse variable (Hm constante).**

Pour un débit à 50 %, la consommation électrique de la pompe est 70 % x 50 % soit 35 % auxquels on rajoute les 30 % (C0), ce qui nous donne au total 65 %. Soit une réduction de consommation de 35 %.

En mode de régulation «Modulant», un débit de 20 % correspond à une puissance de 50 %.

Pour un débit de 20 %, la consommation électrique de la pompe est de 70 % x 20 % soit 14 % auxquels on rajoute les 30 % (C0), ce qui nous donne 44 %. La consommation électrique de la pompe a chuté de 56 % résultant de l'utilisation d'une pompe à vitesse variable travaillant sur une installation réglée en mode «Modulant».



**Fig. 18 : Débit à 50 % de puissance en mode «Modulant» avec une pompe à vitesse variable (Hm constante).**

## CONCLUSION

Le choix du mode de régulation des unités terminales a un impact sur le comportement thermique de l'ensemble des installations de chauffage ou de climatisation.

Le mode «Tout ou Rien», s'il est considéré comme satisfaisant en termes de régulation de température ambiante, ne permettra pas d'optimiser la température de retour pour les chaudières à condensation ou les groupes de froid. Le débit et donc la consommation électrique des pompes seront plus importants.

Pour la régulation de température ambiante, le mode «Chrono-Proportionnel» ou «3 points» n'amèneront pas une réelle valeur ajoutée, le fonctionnement au final sera de type «Tout ou Rien».

Ces éléments expliquent pourquoi de plus en plus de concepteurs s'orientent vers une régulation «Modulante» des unités terminales permettant à la fois de garantir la précision et la stabilité de la température ambiante, tout en minimisant les coûts de pompage et en améliorant le rendement des groupes de froid, des pompes à chaleur et des chaudières à condensation.

Pour réaliser une régulation modulante de qualité, une attention particulière devra être donnée à la sélection des vannes de régulation (autorité) et à leurs caractéristiques de régulation (égal %). C'est un sujet complet qui pourra faire l'objet d'une prochaine publication. ●

## LES PROCHAINS RENDEZ-VOUS WEBINAIRES D'IMI HYDRONIC

**24 septembre :**

### Module 4 - Les solutions «Change-Over»

- Les divers systèmes de distribution hydraulique en «Change-Over».
- Le raccordement des bouteilles ou ballons alimentés soit en chaud soit en froid.
- La gestion du transfert de fluide au niveau des maintiens de pression.
- Les solutions pour la régulation et l'équilibrage des unités terminales.

**29 octobre :**

### Module 5 - Les points clés d'une rénovation hydraulique de qualité

- Evolution hydraulique des chaufferies (débit variable, maintien de pression et qualité d'eau).
- Conversion d'une installation à débit constant en une installation à débit variable (autorité des vannes de régulation, utilisation des régulateurs de pression différentielle).
- Diagnostic des réseaux et rééquilibrage hydraulique.
- Ajustement des débits sur les unités terminales (radiateurs, planchers chauffants, ventilo-convecteurs...).

**26 novembre :**

### Module 6 - Communication digitale au service de l'optimisation hydraulique

Ces webinaires sont organisés et animés par l'équipe d'IMI Hydronic : Vanessa Prost, Eric Bernadou, Antoine Jover et Jean Olivéro.

Informations et inscriptions : <https://www.imi-hydronic.com/sites/fr/fr-fr/Savoir-faire-technique/Webinar/Pages/default.aspx>