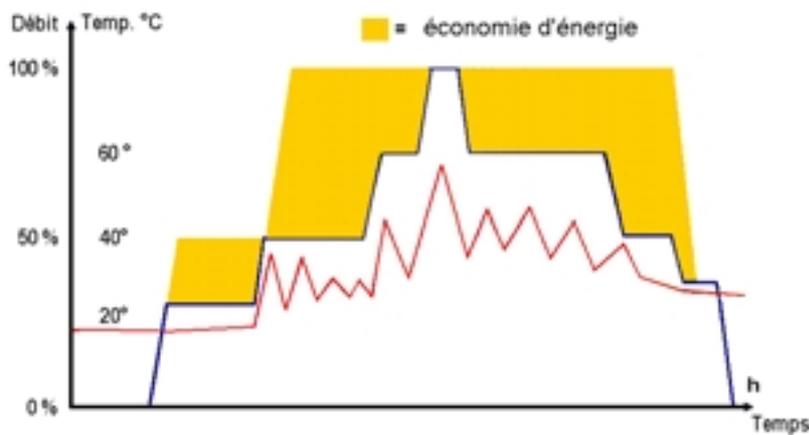


# L'ADAPTATION DES POMPES ET DES VENTILATEURS AUX BESOINS



## VARIATION DE VITESSE



Principe de fonctionnement de la Hotte à Débit Autoréglable



Horloge pour circulateur de l'eau chaude sanitaire

«Une double lecture»



Exemples  
Informations  
complémentaires

Contenu de la brochure

---

# SOMMAIRE

<b>Quel est l'intérêt financier d'adapter le fonctionnement des pompes et ventilateurs aux besoins ?</b> .....	3
<b>Comment comprendre les courbes caractéristiques des fabricants ?</b> .....	5
<b>Comment régler le débit ?</b> .....	13
1. Possibilités et méthodes de réglage .....	13
2. Influence de la méthode de réglage utilisée sur l'énergie consommée .....	19
<b>Comment savoir si une pompe ou un ventilateur mérite d'être adapté ?</b> .....	21
1. Surdimensionnement .....	21
2. Puissance .....	23
3. Durée de fonctionnement .....	25
4. Variation de charge .....	25
5. Coût de l'électricité .....	27
6. Investissement .....	27
7. Évaluation de la rentabilité .....	29
<b>Projets d'installations neuves ou de rénovation lourde</b> .....	31
1. Circuits hydrauliques .....	31
2. Circuits aérauliques .....	33
<b>Particularités des variateurs de vitesse à convertisseur de fréquence</b> .....	37
<b>Une réalisation concrète :</b>	
<b>la blanchisserie de l'hôpital Vésale</b> .....	41
1. La situation de départ .....	41
2. Le projet de rénovation .....	41
3. La rentabilité financière .....	43
<b>Conclusions</b> .....	45

## **ANNEXE : Comment commander la vitesse de rotation d'un circulateur de chauffage ?**

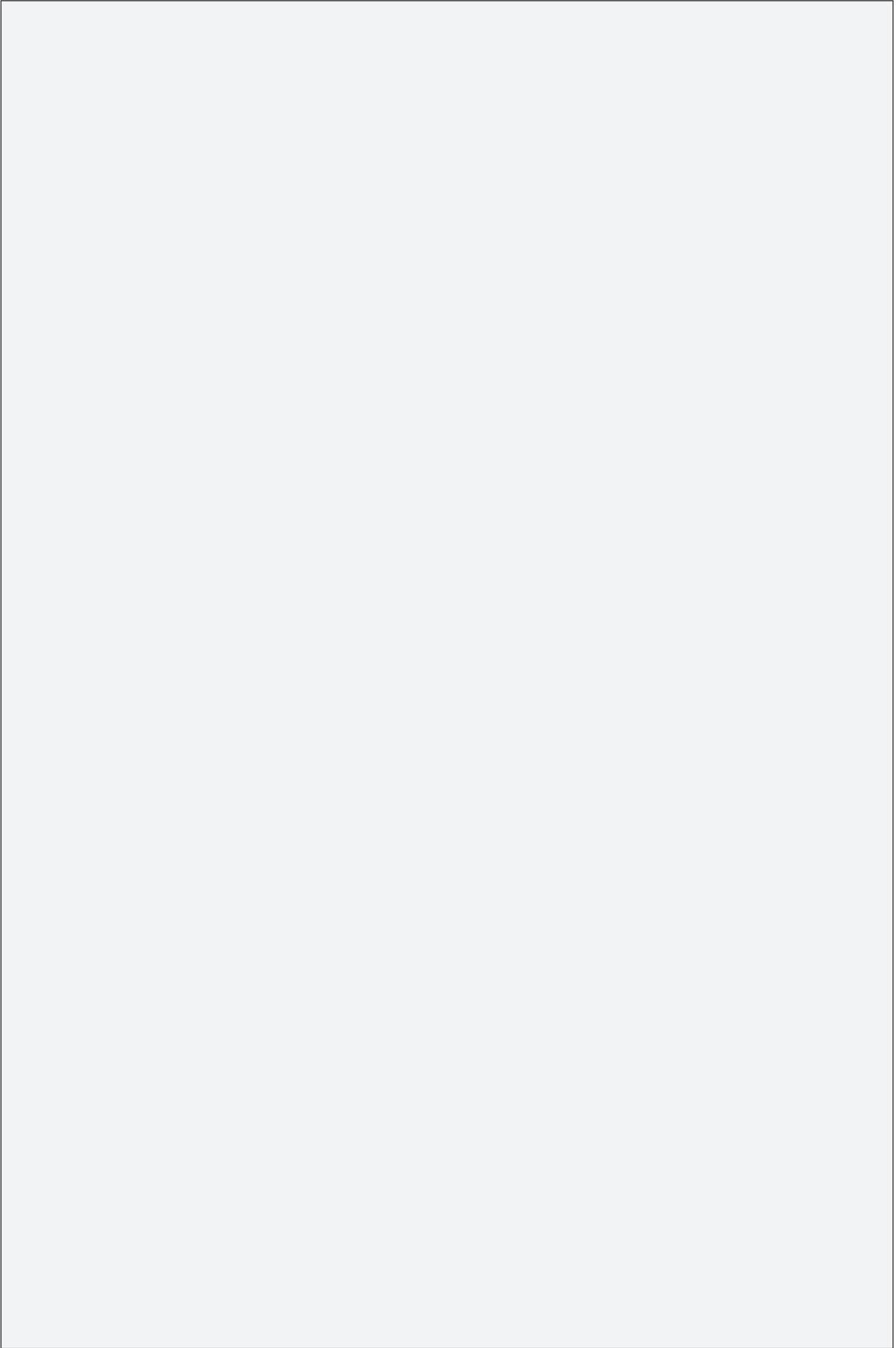
Que se passe-t-il lorsqu'une vanne thermostatique se ferme ?

Et si on place une soupape à pression différentielle ?

Et si on place un circulateur à vitesse variable réglé pour maintenir la pression ?

Et si plusieurs vannes sont présentes sur le réseau,

faut-il toujours essayer de réduire la vitesse en restant sur la courbe du réseau ?



## QUEL EST L'INTÉRÊT FINANCIER D'ADAPTER LE FONCTIONNEMENT DES POMPES ET VENTILATEURS AUX BESOINS ?

L'énergie nécessaire au transport de l'eau ou de l'air dans un bâtiment représente :

- pour les circulateurs :
  - de 2 à 3 % de l'énergie de chauffage transportée ;
  - de 10 à 15 % de l'énergie frigorifique transportée ;
- pour les ventilateurs :
  - de 10 à 30 % de l'énergie de climatisation transportée.

Ces ratios sont encore amplifiés par le coût du kWh électrique.

Très généralement, les pompes et ventilateurs sont installés lors de la construction du bâtiment ou lors d'une rénovation importante. Ensuite, **ils tournent dans les conditions d'installation** pendant toute leur durée de vie. En cas de défaillance, ils sont remplacés par un modèle de même type, **sans que l'on se pose la question de savoir si un modèle avec d'autres caractéristiques ne conviendrait pas mieux ...**

Or, lors de la sélection de la pompe ou du ventilateur, le point de fonctionnement souhaité est déterminé théoriquement en définissant le débit nécessaire à l'application considérée et en calculant les pertes de charge du circuit pour ce débit. Ce calcul est souvent approximatif ou est même une estimation lorsqu'il s'agit d'un circuit ancien, modifié à plusieurs reprises. Il s'ensuit que « par mesure de sécurité », les pertes de charges sont surévaluées et que la pompe ou le ventilateur choisi fournit un débit plus grand que nécessaire : la perte de charge réelle est en effet inférieure à celle qui a servi de base à la sélection.

De même, les besoins thermiques définis lors du dimensionnement ne restent pas constants en fonction des saisons. Il est dès lors judicieux de s'interroger sur la nécessité de maintenir un régime de fonctionnement identique tout au long de l'année.

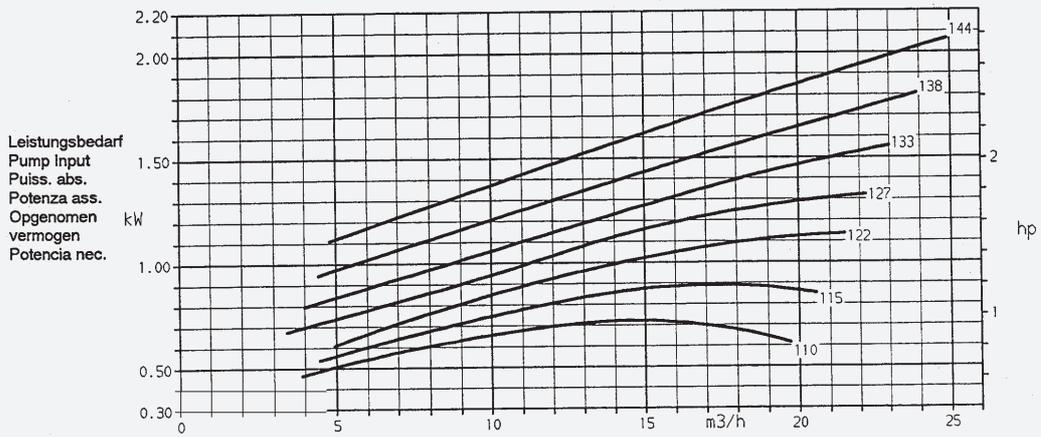
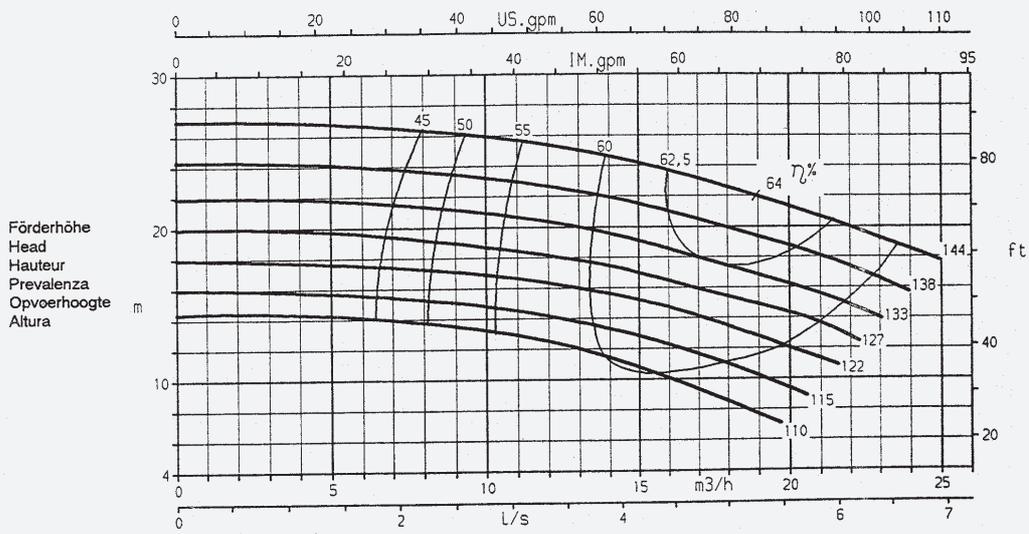
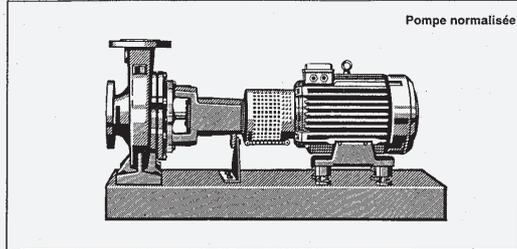
Lorsque l'on sait que **la puissance nécessaire varie proportionnellement au cube du débit**, même si cette puissance demandée n'est pas toujours importante, le **fonctionnement permanent** de l'appareil surdimensionné entraîne une consommation non négligeable dans le bilan global annuel. En première approximation, sur base d'un prix moyen de 3,5 BEF/kWh et d'un fonctionnement annuel permanent, chaque watt excédentaire alourdit la facture électrique de 30,-BEF, chaque kilowatt ... de 30.660,-BEF !

$$1 \text{ kW} \times 365 \text{ j/an} \times 24 \text{ h/j} \times 3,5 \text{ BEF/kWh} = 30.660,-\text{BEF/an}$$

*Une enquête\* réalisée en Suisse sur une centaine d'installations a montré que le débit des circulateurs était en moyenne 2,5 fois trop élevé. **Puisque la consommation augmente avec le cube du débit**, la consommation est donc 15 fois trop grande. Le potentiel d'économie réalisable dépasse donc les 90 % !*

*\*Programme Ravel*

Baureihe Pump type Modèle	Tipo Serie Tipo	Nennzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominal toerental Revoluciones nom.
	<b>32-125.1</b>	<b>2900 1/min</b>	
Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offertnr. Oferta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positiën. Pos.-Nr.

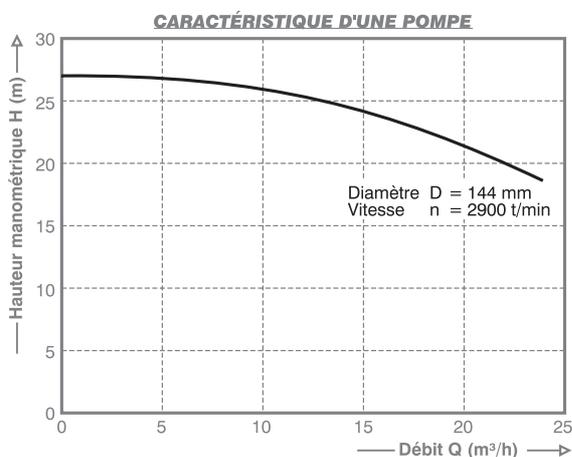


Förderstrom/Capacity/Débit/Portata/Kapaciteit/Caudal

## COMMENT COMPRENDRE LES COURBES CARACTÉRISTIQUES DES FABRICANTS ?

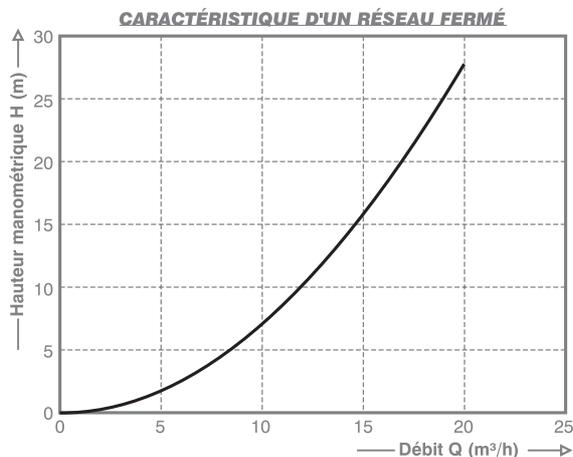
**Remarque : les courbes reprises dans ce document sont établies sur base de caractéristiques d'équipements commercialisés. L'extrait du catalogue du fabricant est donné ci-contre.**

- La première courbe caractéristique d'une pompe centrifuge ou d'un ventilateur centrifuge présente l'allure de la hauteur manométrique  $H$  en fonction du débit volumétrique  $Q$ .
- Sur ce même diagramme, il est possible de représenter la caractéristique hydraulique du réseau : c'est l'évolution de la pression demandée par le réseau en fonction du débit d'eau transporté.



$H$  : en mètres de colonne d'eau pour l'eau,  
en mm de colonne d'eau pour l'air  
 $Q$  : en l/s ou  $m^3/h$

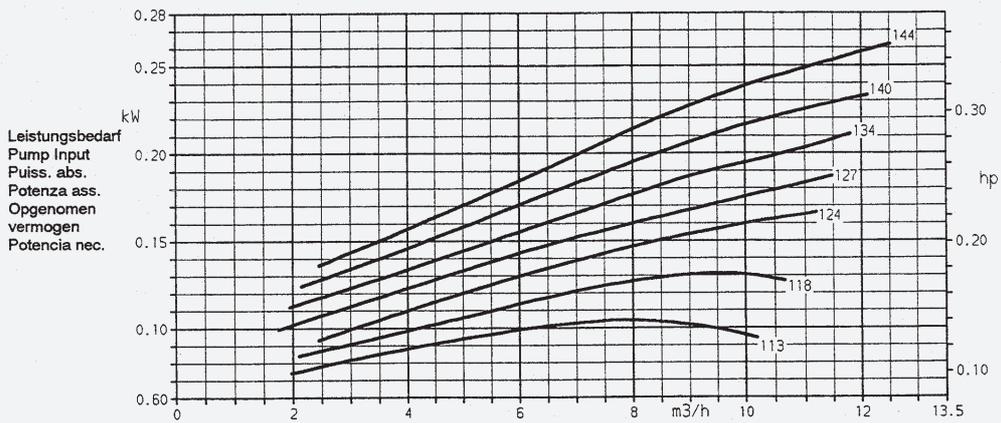
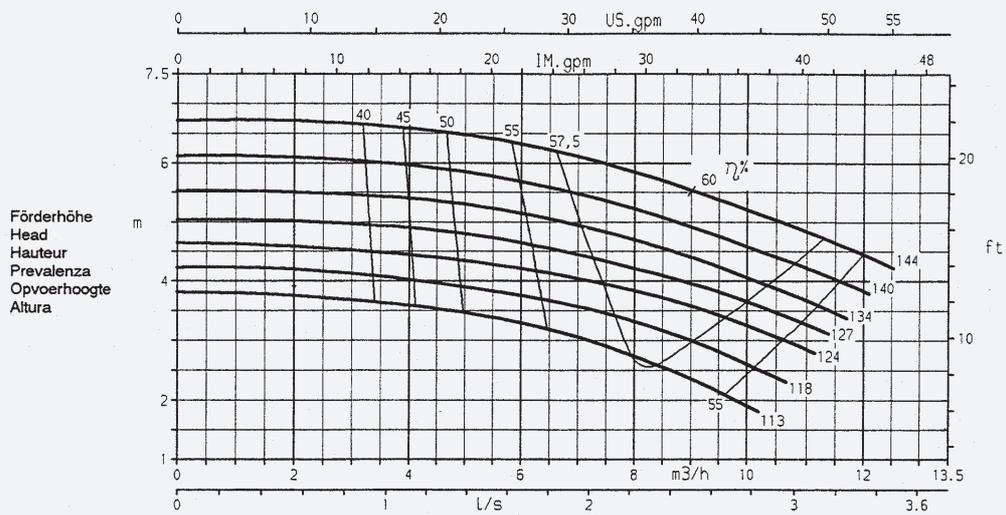
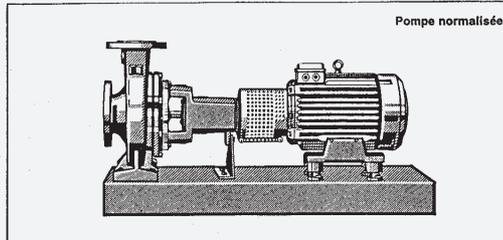
Cette courbe correspond à une vitesse de rotation constante de la pompe ou du ventilateur.  
La hauteur manométrique délivrée sert à vaincre une différence de niveau (cas d'un circuit ouvert : pomper de l'eau d'un niveau bas à un niveau plus élevé) et/ou à vaincre les pertes de charges du circuit hydraulique parcouru.



Pour un circuit fermé (c'est le cas d'un circulateur de chauffage ou d'un ventilateur), la pression n'est utilisée que pour vaincre les pertes de charge. Or, les pertes de charges d'une conduite sont proportionnelles au carré de la vitesse, donc du débit, entraînant une caractéristique parabolique :

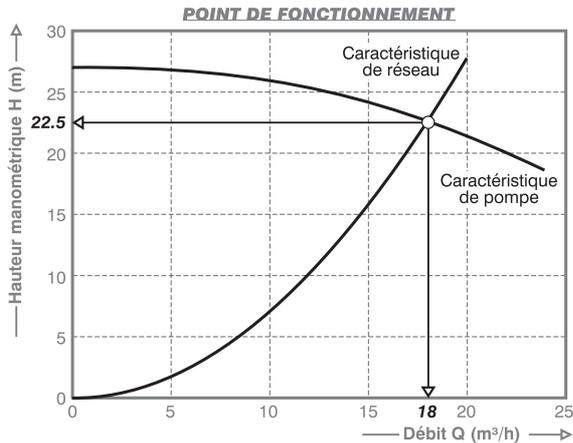
$$H = k Q^2$$

Baureihe Pump type Modèle	Tipo Serie Tipo	Nenn Drehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominaal toerental Revoluciones nom.
	<b>32-125.1</b>	<b>1450 1/min</b>	
Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Ofertent. Oferta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positien. Pos.-Nr.



Förderstrom/Capacity/Débit/Portata/Kapazität/Caudal

Lorsqu'une pompe débite dans un circuit déterminé, un équilibre s'établit au point de fonctionnement, intersection des courbes caractéristiques de la pompe et du réseau.



Exemple : dans ce cas, le circulateur débitera 18 m³/h sous une pression de 22.5 m de colonne d'eau.

- A la courbe caractéristique de la pompe, on peut ajouter les courbes de puissance P et de rendement  $\eta$  :

La **puissance hydraulique** nécessaire au déplacement de l'eau (ou de l'air) est donnée par la relation :

$$P_h = \rho g H Q$$

- $P_h$  : puissance hydraulique (en Watt)
- $\rho$  : masse volumique (kg/m³)
- $g$  : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)
- $H$  : hauteur manométrique en m (de colonne d'eau pour une pompe ou d'air pour un ventilateur)
- $Q$  : en m³/s

La **puissance mécanique** (« à l'arbre ») sera plus importante, suite aux pertes mécaniques de la roue sur le fluide :

$$P_m = \frac{\rho g H Q}{\eta_h}$$

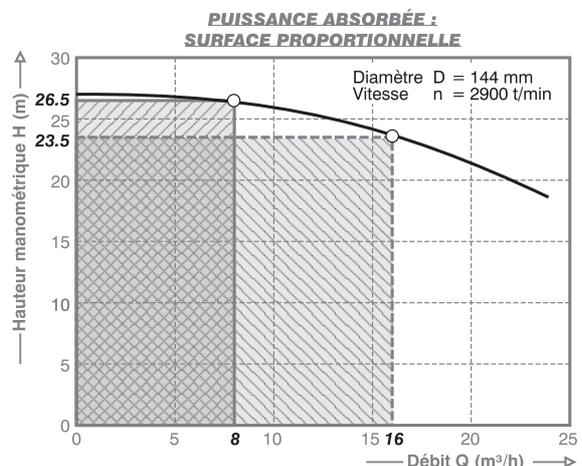
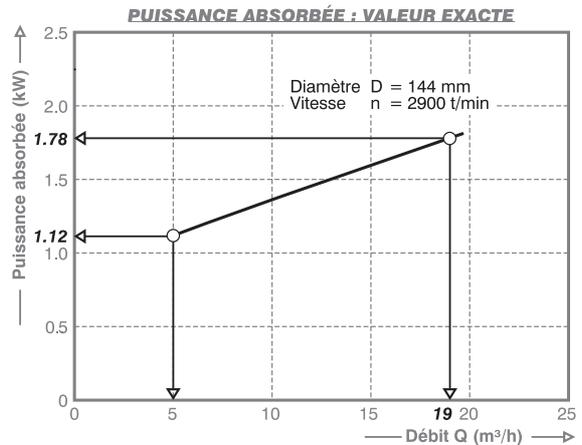
$\eta_h$  : rendement hydraulique

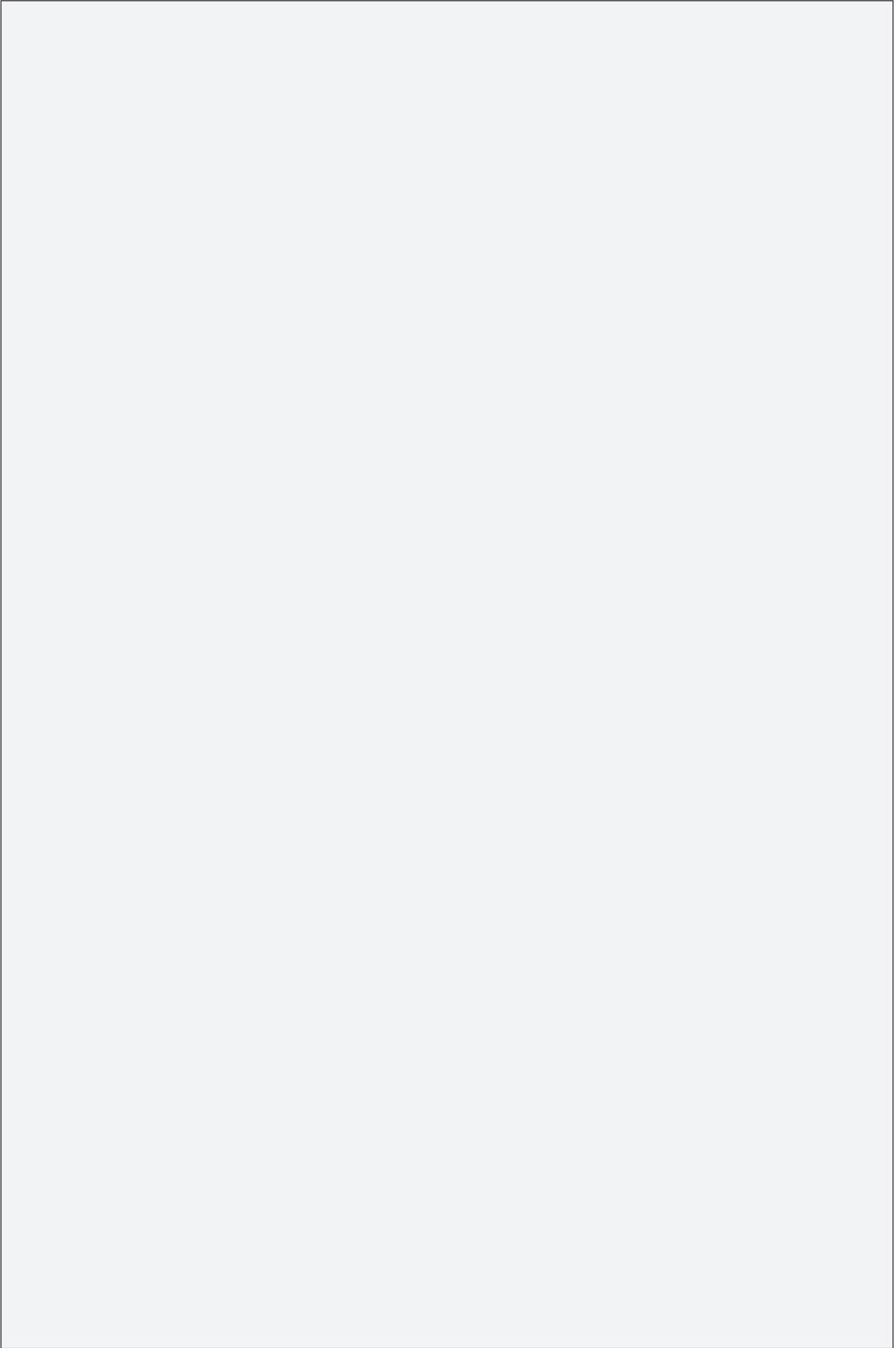
La **puissance électrique absorbée** sera encore plus importante, suite aux pertes électriques du moteur (voire du convertisseur) :

$$P_a = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

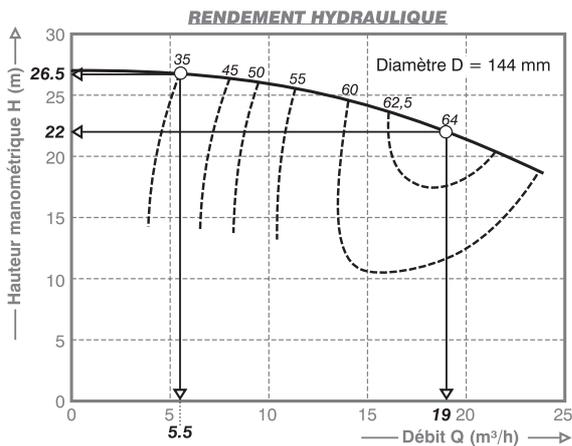
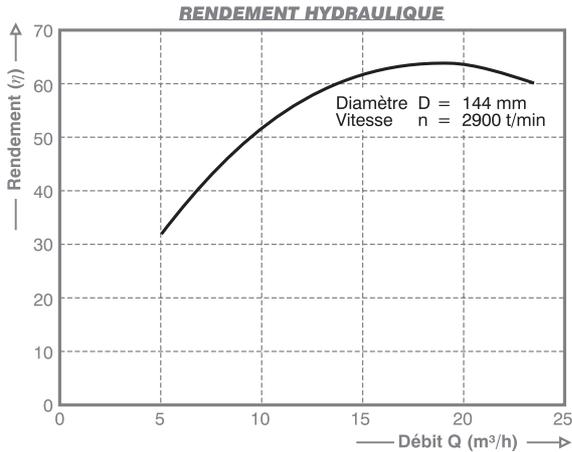
$P_a$  : puissance absorbée, lue au wattmètre.  
 $\eta$  : rendement global du groupe, hydraulique et électrique.

Deux modes de représentation de la puissance sont possibles. La première fournit l'évolution de la puissance en fonction du point de fonctionnement sur la caractéristique de la pompe. Elle correspond à la courbe donnée par le fournisseur. La deuxième est plus visuelle : elle utilise le fait que la puissance est proportionnelle au produit  $Q \times H$  et est donc proportionnelle à la surface du rectangle défini par l'axe H, l'axe Q et le point de fonctionnement.





La **courbe de rendement** est une caractéristique propre à chaque pompe (ou ventilateur). A nouveau, deux types de représentation sont possibles : le rendement en fonction du débit transporté ou les courbes d'iso-rendement dans le diagramme Q-H. Les rendements fournis par les constructeurs sont généralement les rendements hydrauliques des pompes.

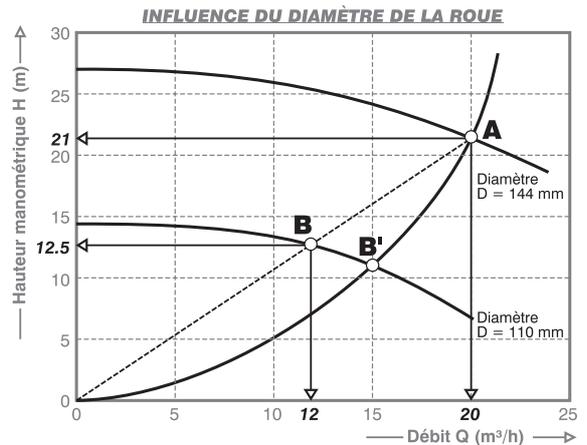


On remarque que le rendement est maximal lorsque la pompe fonctionne «aux deux-tiers de sa plage normale de fonctionnement» donnée par le diagramme Q-H.

Exemple :

- si  $Q = 19 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 22 \text{ m}$  et la pompe présente le rendement maximal de 64 %.  
On retrouve  $P_m = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 19 \text{ m}^3/\text{h} \times 22 \text{ m} / (0.64 \times 3600 \text{ s/h}) = 1780 \text{ Watts}$
- si la perte de charge du circuit augmente (fermeture des vannes thermostatiques, par exemple), le point de fonctionnement se déplace sur la courbe caractéristique.  
Soit, par exemple,  $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $H = 26,5 \text{ m}$  :  
la puissance diminue :  $P_m = 1135 \text{ Watts}$ , mais le rendement chute :  $\eta_m = 35 \%$

- Souvent, les pompes d'un modèle sont disponibles avec **plusieurs diamètres de roues D**. A chaque roue correspond une courbe caractéristique. L'ensemble de ces courbes est alors représenté par une famille sur le même graphique.



Pour les corrections de diamètres situés dans la plage admise par le fabricant, on a (au rendement près) :

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \left\{ \frac{D_A}{D_B} \right\}^2$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \left\{ \frac{D_A}{D_B} \right\}^2$$

$$\text{donc } \frac{Q_A}{Q_B} = \frac{H_A}{H_B}$$

Les points A et B sont donc sur une même droite passant par l'origine.

<i>Vitesse et débit (%)</i>	<i>Pression (%)</i>	<i>Puissance (%)</i>
100	100	100
90	81	73
80	64	51
70	49	34
60	36	22
50	25	12

*Influence de la vitesse de rotation*

Exemple :

En réduisant le diamètre de la roue de 144 mm à 110 mm, débit et hauteur manométrique ont été réduits dans la même proportion :  
 rapport des débits =  $(20/12) = (21/12.5) =$  rapport des hauteurs manométriques.

De plus, on remarque que les puissances demandées diminueront fortement:

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{Q_A \times H_A}{Q_B \times H_B} = \left\{ \frac{D_A}{D_B} \right\}^4$$

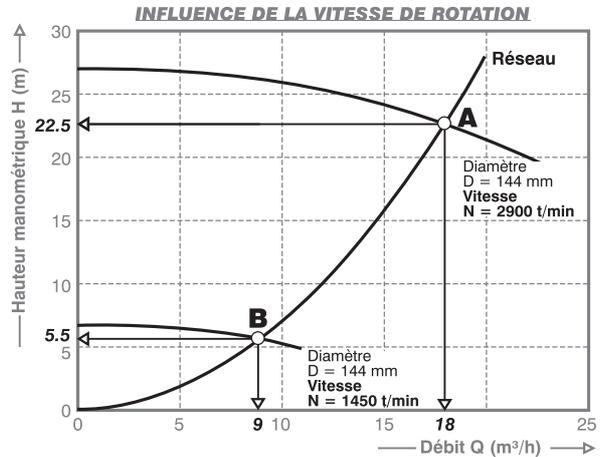
La diminution de rendement est faible pour les réductions de diamètres admissibles. (surtout les circulateurs).

Exemple :

En réduisant le diamètre de la roue de 144 mm à 110 mm, les puissances sont réduites dans le rapport :  
 $(110/144)^4 = 0,34$ .  
 La puissance demandée en B équivaut à 34 % de la puissance en A.

En réalité, lors de la diminution du diamètre de la roue, le nouveau point de fonctionnement sera B' sur la courbe du réseau. La puissance demandée sera donc légèrement différente de celle de B.

- D'autre part, les pompes (surtout les circulateurs) sont de plus en plus souvent fournies avec **plusieurs vitesses de rotation N**.



On a au rendement près

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{N_A}{N_B}$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \left\{ \frac{N_A}{N_B} \right\}^2$$

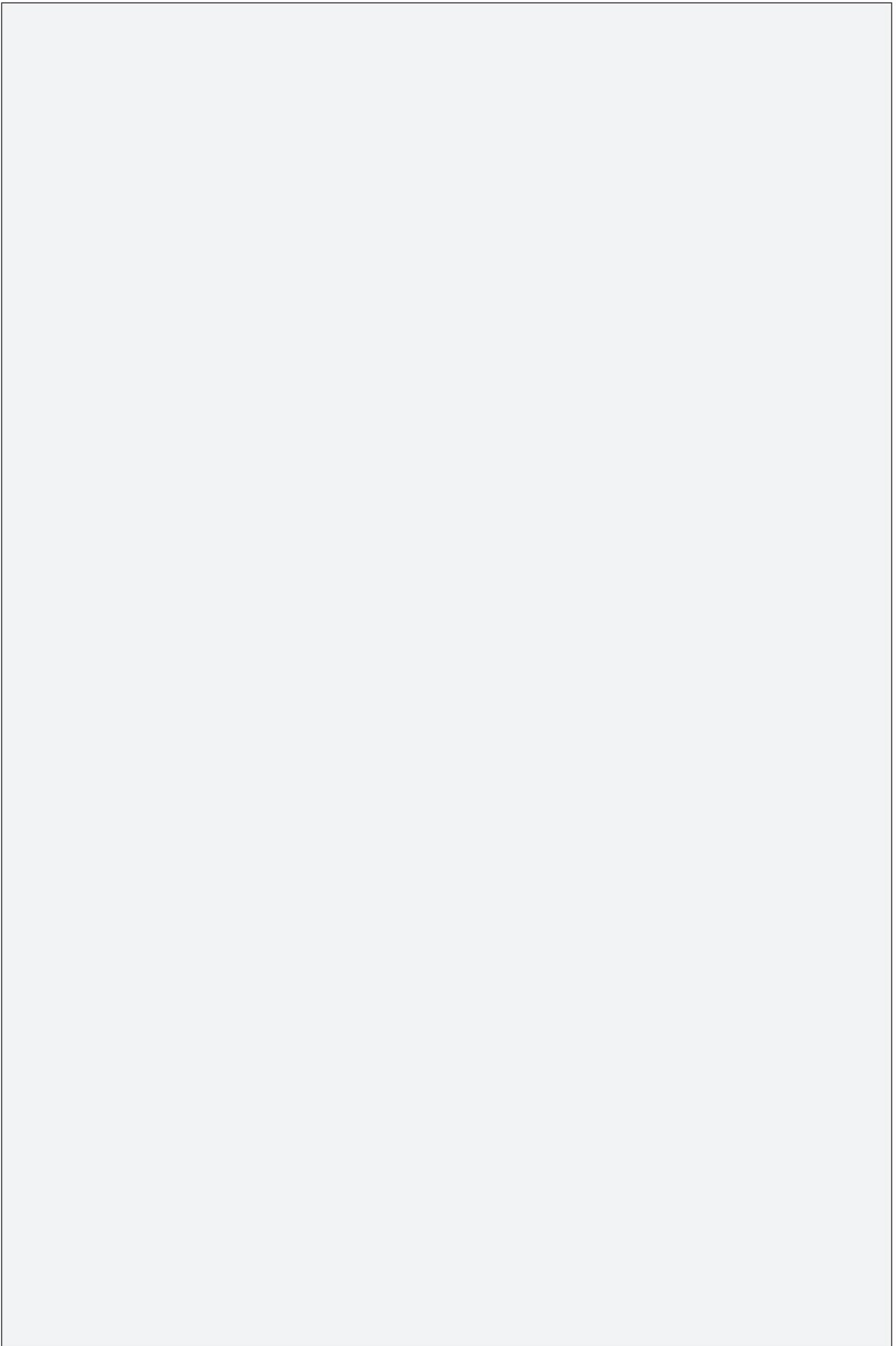
et par conséquent :

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{Q_A \times H_A}{Q_B \times H_B} = \left\{ \frac{N_A}{N_B} \right\}^3$$

Les puissances varient en fonction du cube de la vitesse : si la vitesse chute de moitié, la puissance chutera au huitième de la puissance initiale !

Exemple :

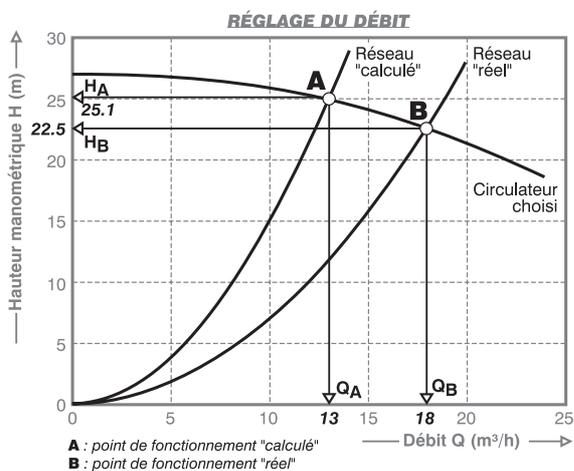
En passant de 2900 à 1450 t/min, le point de fonctionnement s'est déplacé de A vers B. En consultant les courbes de puissance du fabricant (voir ci-avant), on constate bien :  
 $P_A = 1.75 \text{ kW}$  et  $P_B = (1450/2900)^3 \times 1.75 = 0.22 \text{ kW}$ .



# COMMENT RÉGLER LE DÉBIT?

## 1. POSSIBILITÉS ET MÉTHODES DE RÉGLAGE

Dans la pratique, suite à diverses surévaluations des pertes de charge « par mesure de sécurité », la pompe choisie délivrera un débit nettement supérieur à celui calculé. En effet, supposons que la courbe caractéristique du réseau initialement calculé entraîne la sélection d'un circulateur avec un point de fonctionnement prévu en A, point proche de l'optimum de rendement. Le réseau réel générant moins de pertes de charges, le point réel de fonctionnement sera le point B, avec  $Q_B > Q_A$ .



Quelles sont les possibilités de revenir au débit  $Q_A$  désiré ?

### 1. Etranglement

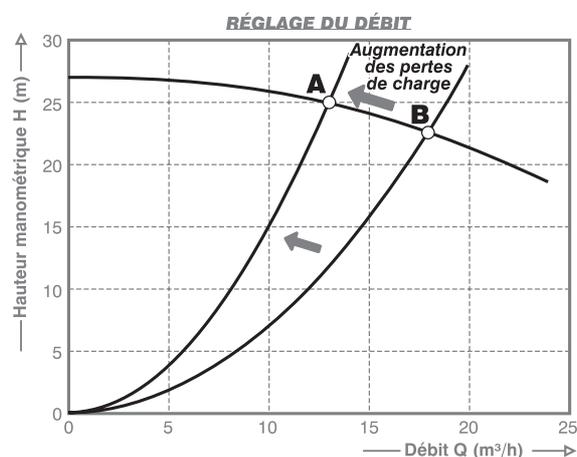
Au moyen d'une vanne que l'on ferme progressivement, on augmente la perte de charge, ce qui entraîne le redressement de la caractéristique du réseau jusqu'à ramener le point B au point A (c'est notamment ce que font les vannes thermostatiques placées sur les radiateurs). On peut aussi placer un diaphragme entre 2 brides au refoulement de la pompe pour créer le supplément de perte de charge.

Avantages :

- grande simplicité, réglage progressif (vanne), pas d'investissements ;
- légère réduction de la consommation d'électricité de la pompe.

Inconvénient :

- cette solution entraîne, par rapport aux autres solutions, un grand gaspillage d'énergie.



## Exemple numérique d'évaluation des consommations

Soit une pompe choisie en fonction d'un point de fonctionnement estimé A :

$$Q_A = 13 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_A = 25,1 \text{ m.c.e.}$$

$$\text{Puissance absorbée} : 1,5 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement} : 0,59$$

$$\text{Consommation} : 45.500\text{-BEF/an, environ (sur base de } 3.5 \text{ BEF/kWh}).$$

Par suite d'une évaluation exagérée des pertes de charges représentées par la courbe O-A et d'un choix « prudent » de la pompe, après installation, on constate que le point de fonctionnement réel est le point B situé à l'intersection de la caractéristique de la pompe et de celle du réseau réel, O-B.

$$Q_B = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_B = 22,5 \text{ m.c.e.}$$

$$\text{Puissance absorbée} : 1,75 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement} : 0,63$$

On voit que :

- le débit  $Q_B$  est plus grand que le débit souhaité de 38 % ;
- la puissance absorbée est plus grande, mais seulement de 17 % (le rendement étant légèrement meilleur).

Dans la plupart des applications, c'est le débit qui constitue la grandeur importante pour assurer les conditions de fonctionnement voulues.

Pour ramener le débit à la valeur désirée de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ , les différents moyens décrits ci-avant sont possibles et permettent les économies approximatives données par le tableau ci-dessous (les points A, B, C, D et E sont ceux repris dans les graphes des pages de droite).

Points de fonctionnement	B	A	D	E	C
Mode de réglage		étranglement	pression constante	pression décroissante	vitesse variable ou changement de roue
Débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	18	13	13	13	13
Hauteur manométrique (m)	22,5	25,1	22,5	20,4	11,9
Puissance absorbée (kW)	1,75	1,5	1,33	1,20	0,7
Économie par rapport à B (kW)	-	0,25	0,42	0,55	1,05
Économie (%)	-	14,3 %	24 %	31,4 %	60 %

Donc, l'adaptation du débit dans le cas envisagé ci-dessus où la pompe avait été surdimensionnée, permet une économie variant de 14 à 60 % (soit un montant pouvant atteindre les 27.000,-BEF annuels), selon la méthode de réglage choisie, en ramenant simplement le débit au débit de base. On pourrait en plus se demander si ce débit était réellement nécessaire ou est toujours nécessaire ...

## 2. Réduction du diamètre de la roue de la pompe

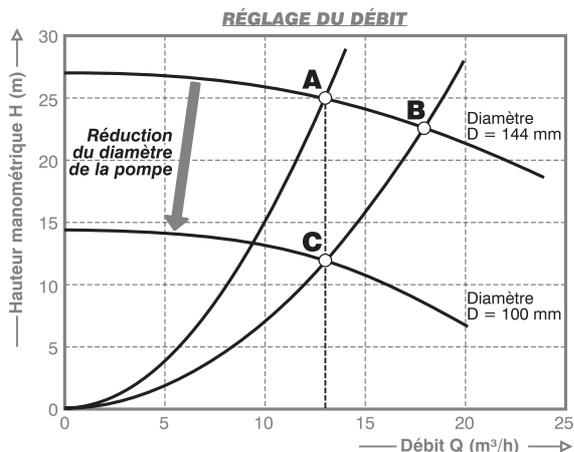
En modifiant le diamètre de la roue, on ramène la caractéristique de la pompe à un niveau inférieur coupant la caractéristique du réseau en C, point de fonctionnement de même débit que A.

Avantages :

- solution simple et peu coûteuse (roue à faire tourner chez un tourneur ou chez le fabricant), applicable pour des pompes de 5 à 20 kW ;
- économie bien plus grande que pour l'étranglement.

Inconvénients :

- immobilisation de la pompe pour démontage et tournage de la roue ;
- plage de réglage limitée (les roues ne peuvent être réduites que dans une proportion limitée) ;
- en cas de réduction exagérée, la roue doit être remplacée par une neuve ;
- légère perte de rendement hydraulique.



## 3. Modification de la vitesse

Là, comme dans le cas précédent, on abaisse la courbe caractéristique de la pompe en réduisant la vitesse de manière à ce qu'elle passe par le point C. Ainsi, une rotation de 2117 t/min entraînerait une caractéristique de pompe pratiquement identique à celle donnée pour la roue de diamètre 110 dans le graphe ci-dessus. Et donc le même point de fonctionnement C.

La modification de la vitesse peut être simple et bon marché ou nécessiter un investissement coûteux selon les caractéristiques de l'équipement.

Pour les **ventilateurs** entraînés par des courroies, il suffit de changer le rapport des diamètres des poulies du moteur et du ventilateur (simple et peu coûteux).

Pour les **pompes** :

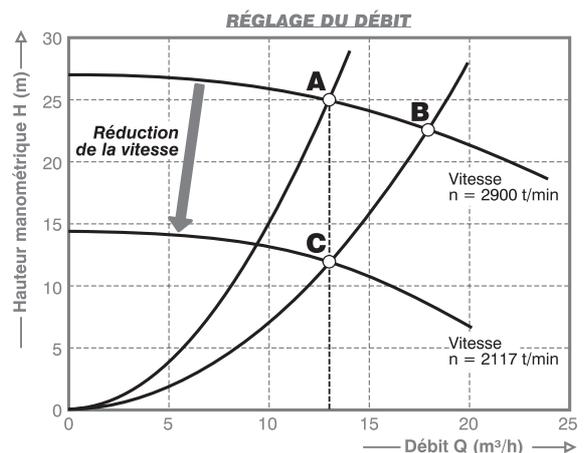
- certaines possèdent différentes vitesses commutables facilement (pompes à 2 ou 3 vitesses, avec sélecteur ou couvercle de bornier pouvant être monté en diverses positions) ;
- d'autres (modernes) sont munies d'origine d'un variateur de vitesses ;
- d'autres encore (en général anciennes), n'ont qu'une seule vitesse. Dans ce cas, la variation de vitesse implique l'achat d'un convertisseur de fréquence indépendant, parfois assez coûteux. C'est cependant la solution la plus adaptée lorsque le régime des débits est variable.

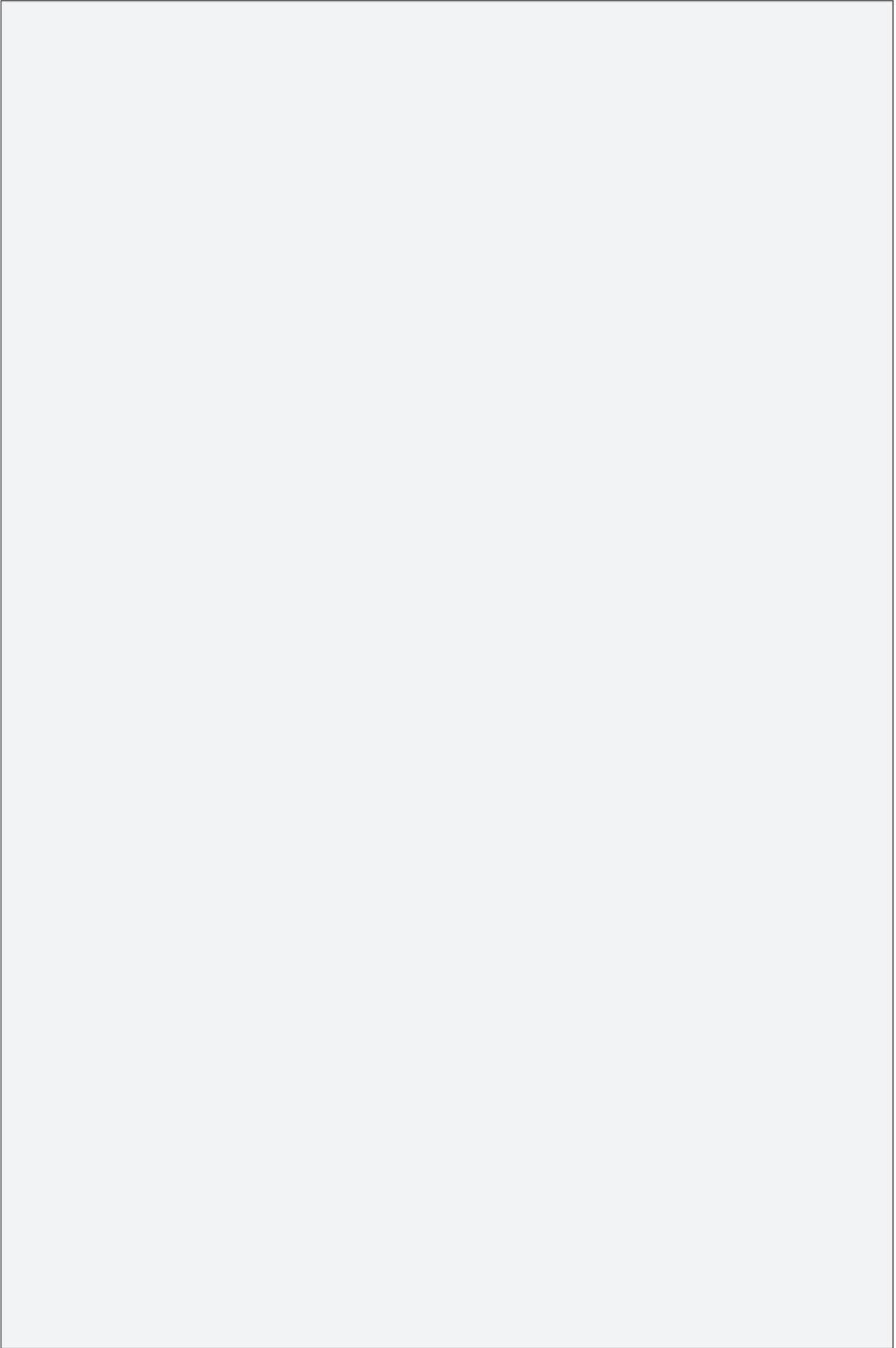
Avantages :

- réduction de la consommation d'énergie importante et, du point de vue économie, de même ordre de grandeur que la réduction du diamètre des roues ;
- selon les cas (variateur de vitesse ou poulies pour ventilateurs), adaptation exacte au débit désiré.

Inconvénients :

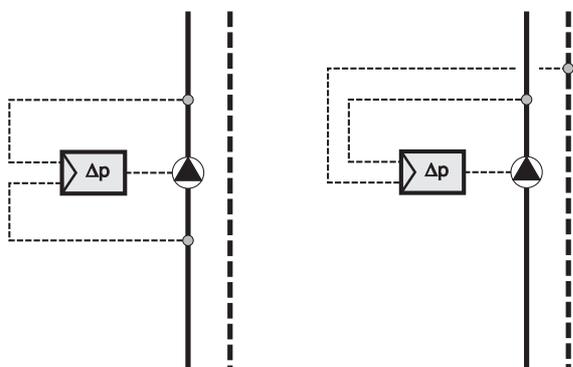
- si l'acquisition d'un variateur de vitesse est nécessaire, solution parfois coûteuse ;
- dans le cas de vitesses commutables, adaptation imparfaite au débit souhaité.





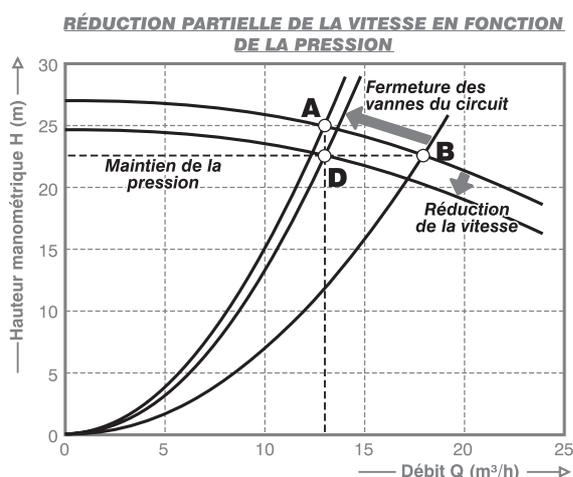
#### 4. Etranglement et variation de vitesse

D'autres solutions intermédiaires sont possibles, notamment proposées par des fabricants sous forme de pompes avec régulateurs de vitesse intégrés :

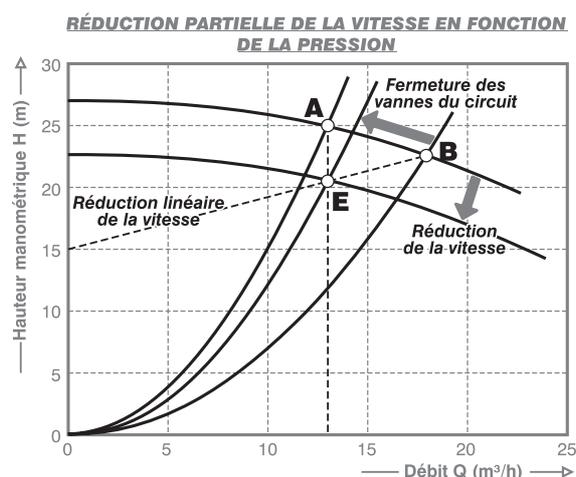


- la pompe diminue sa vitesse de rotation afin d'assurer le maintien d'une pression constante en un point déterminé du réseau. C'est une solution souvent utilisée pour des circuits de radiateurs avec vannes thermostatiques ou pour des circuits avec réglage par vannes à 2 voies. C'est le passage de B à D. Une sonde de pression différentielle est nécessaire.

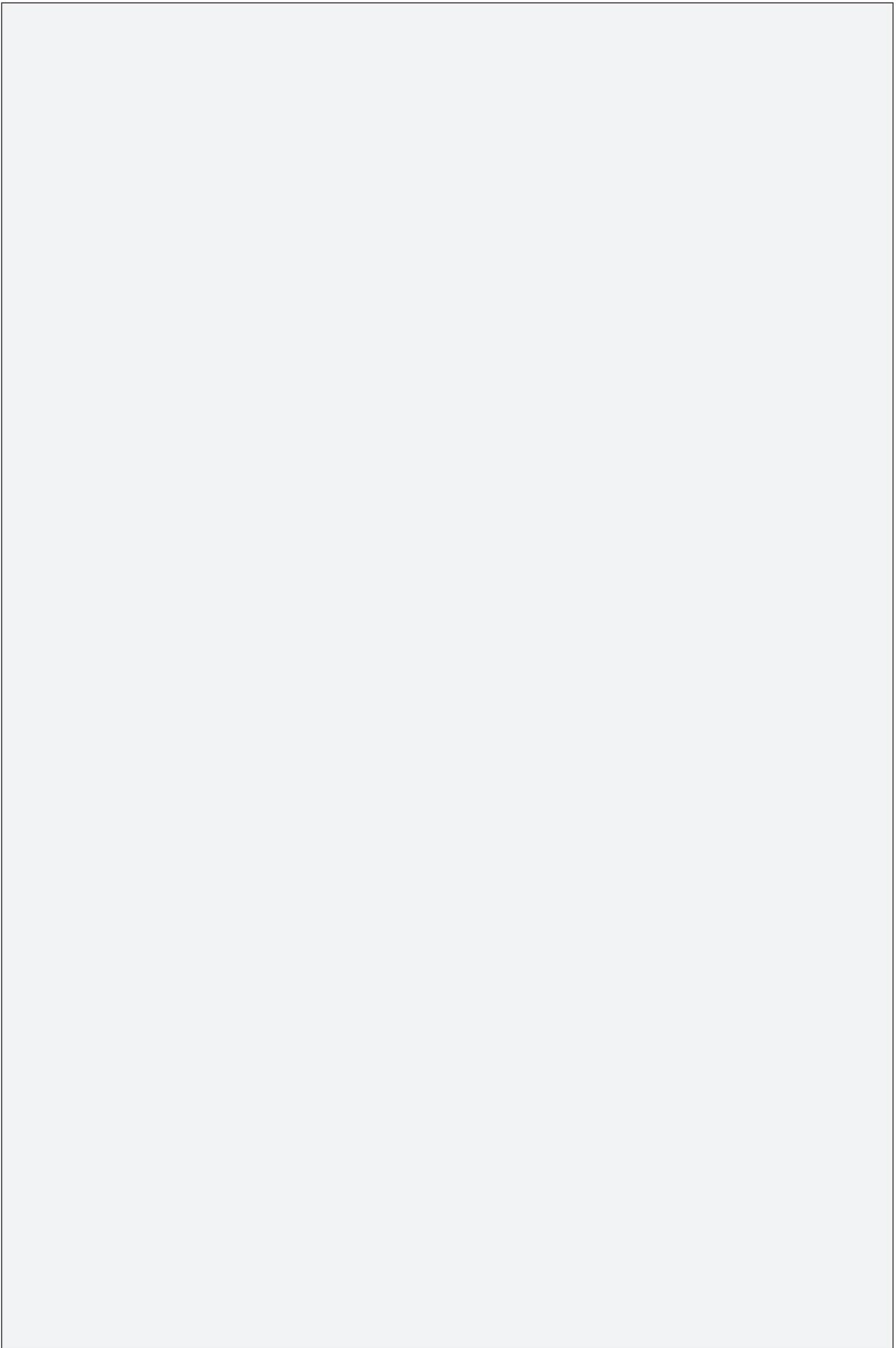
- dans le cas ci-dessus, la pression reste constante. Or, si des vannes se ferment, le débit dans le réseau diminue, entraînant la baisse des pertes de charge dans les tronçons communs. C'est pourquoi, chez certains fabricants, la diminution de la vitesse se fait en réalisant une réduction linéaire de la pression avec la variation de débit. Cette solution, plus économique que la précédente du point de vue de l'énergie consommée, convient la plupart du temps également pour les circuits avec vannes thermostatiques. C'est le passage de B à E.



A défaut, l'augmentation de la pression résultant de la réduction de débit lorsqu'on travaille à vitesse constante, peut rendre la vanne bruyante.

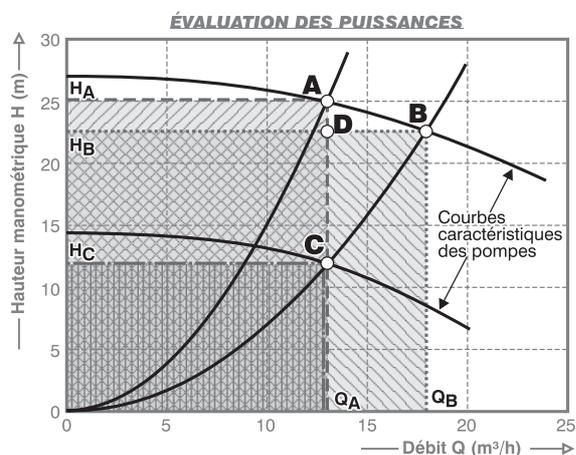


Les problèmes de bruit sont bien entendu aussi évités. **Pour plus de détails sur cette commande de la vitesse de rotation, on consultera l'annexe.**



## 2. INFLUENCE DE LA MÉTHODE DE RÉGLAGE UTILISÉE SUR L'ÉNERGIE CONSOMMÉE

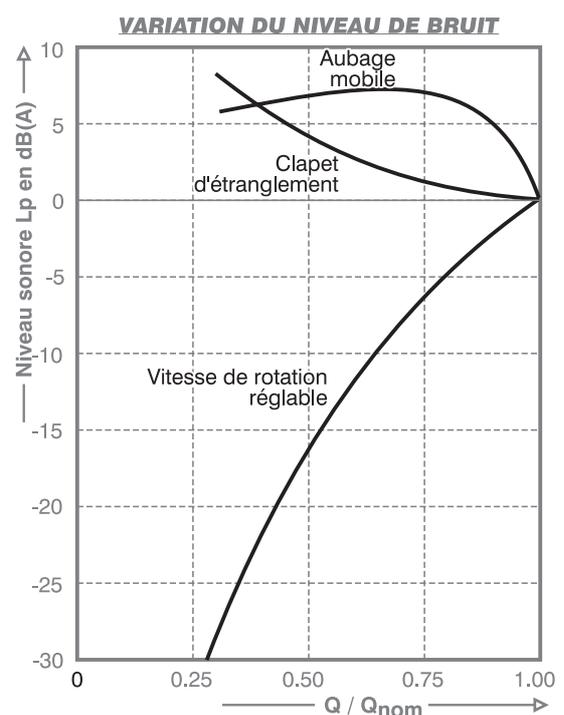
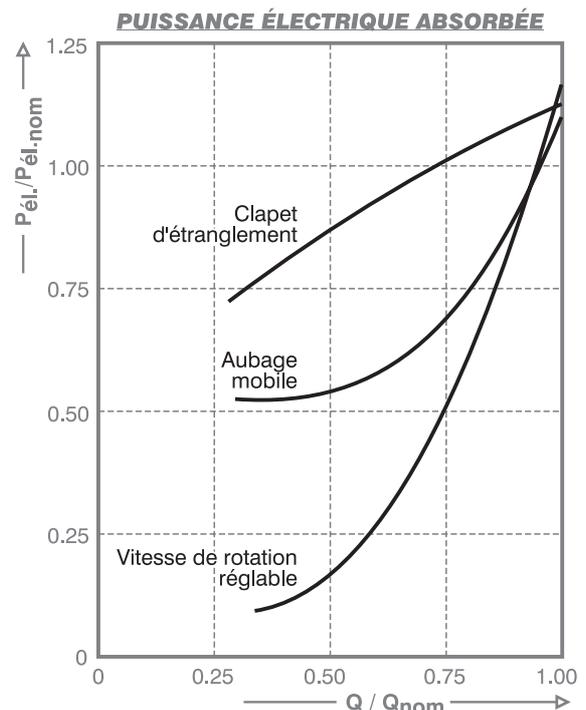
Si on considère que les rendements sont constants, la puissance hydraulique absorbée est proportionnelle au produit  $H \times Q$  (voir rappel théorique) et est représentée par la surface du rectangle défini par les axes  $H$ ,  $Q$  et le point de fonctionnement (par exemple  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , ...).



On voit que :

- la réduction de débit par étranglement (passage de  $B$  à  $A$ ) ne fournit qu'une faible réduction de la surface du rectangle (elle ne saute pas aux yeux), donc de la puissance ;
- le maintien de la pression constante (de  $B$  vers  $D$ ) n'apporte qu'une diminution partielle de la consommation énergétique ;
- la modification de la caractéristique de la pompe ou du ventilateur par réduction du diamètre de la roue ou par réduction de la vitesse permet de se maintenir sur la courbe caractéristique du circuit, ce qui assure la plus grande réduction de la puissance hydraulique (rectangle  $O, H_C, C, Q_A$ , comparé à  $O, H_B, B, Q_B$  ou à  $O, H_A, A, Q_A$ ).  
Une réduction de débit de 20 %, soit un débit égal à 80% du débit nominal, provoque une réduction de puissance de près de 50 % ( $= (80\%)^3$ ).

Les figures ci-dessous synthétisent la réduction des consommations engendrées par les différentes méthodes de réglage de débit pour un ventilateur. La régulation de la vitesse de rotation y apparaît bien comme la méthode la plus élégante, tant au point de vue de l'énergie consommée que du bruit engendré à basse vitesse. C'est également la plus chère à l'investissement ... sauf si l'on peut se contenter d'une réduction de vitesse fixe (poulies).



## *Une régulation adaptée aux besoins dans un hall des sports*

*Dans une école d'Habay-la-Neuve, la salle de sports est utilisée de façon très variable : cours en journée, activités ponctuelles le soir et le week-end. Pour réguler les ventilateurs des aérothermes de la salle, un contact sur la fermeture à clef de la porte d'entrée a été placé. Dès l'arrivée des sportifs, l'installation s'enclenche : la salle est à température dès la sortie des vestiaires. Au départ du responsable, un tour de clef dans la serrure ... et l'installation s'arrête !*



## *Un débit d'air adapté aux besoins dans une salle d'opération*

*Le taux de renouvellement d'air peut dépasser 20 volumes/heure dans les salles d'opération des hôpitaux! Faut-il assurer un tel débit d'air neuf très coûteux en permanence, dans la perspective d'une urgence? Une solution a été trouvée à Ath et Mouscron: la salle est maintenue au débit minimum en cas d'inoccupation (maintien de la surpression du local). Le chirurgien enclenche la ventilation dès son arrivée par un bouton-poussoir ... et une sonde de présence déclenche la haute vitesse après le départ des occupants (avec temporisation de 10 minutes).*

*Plus généralement, on peut faire confiance à l'homme pour enclencher une installation lorsqu'il y a un besoin, ... et à la sonde pour l'arrêter après usage !*



## COMMENT SAVOIR SI UNE POMPE OU UN VENTILATEUR MÉRITE D'ÊTRE ADAPTÉ ?

L'économie produite par l'adaptation est d'autant plus grande ou rentable que :

- l'élément est surdimensionné ;
- la puissance est élevée ;
- la durée annuelle de fonctionnement est grande ;
- la variation de charge en fonction des saisons et/ou des heures du jour et de la nuit est grande ;
- le coût de l'énergie électrique est élevé ;
- l'investissement est faible.

Reprenons ces différents points.

### 1. SURDIMENSIONNEMENT

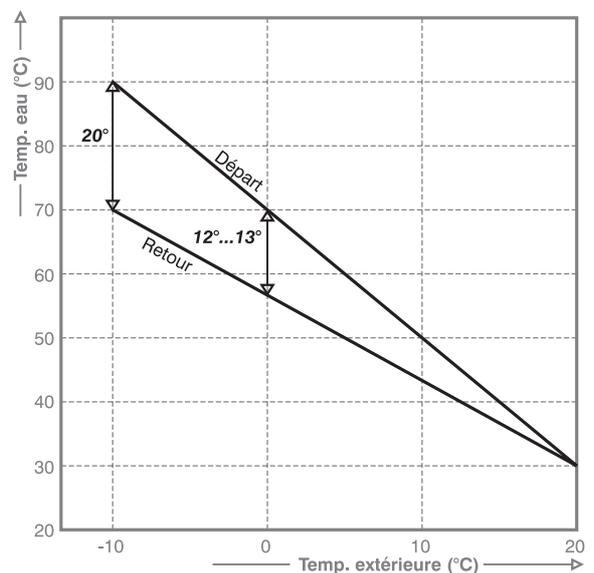
On peut s'en rendre compte en vérifiant les éléments suivants :

#### Circuits de chauffage (circulateurs)

1. Vérifier la différence de température d'eau entre l'aller et le retour en plein hiver.

La plupart des installations sont calculées pour une température d'eau de 90°C au départ du circuit et une température de 70°C au retour lorsque la température extérieure est de -10°C. Par une température de -10°C à l'extérieur, on doit donc avoir une différence de température d'eau de 20°C.

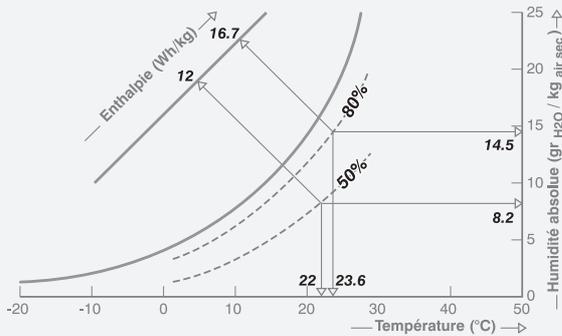
Par 0°C extérieur, on doit logiquement avoir une différence de température d'eau de 12-13°C. Si l'on a moins de 10°C d'écart, le surdimensionnement est manifeste, de même que si la température de départ est nettement inférieure à 60°C par 0°C.



2. Vérifier si le circuit possède des éléments de réglage de débit fixes sur l'ensemble du circuit (vannes de réglage, tés de réglage). Si des éléments fixes provoquent un étranglement permanent, la pompe est surdimensionnée. Attention toutefois aux éléments qui servent seulement à équilibrer les débits dans certains circuits hydrauliques parallèles et qui ne signifient pas qu'un surdimensionnement général existe.

## Quel est l'impact de l'humidité extérieure sur la charge de la batterie d'eau glacée ?

En vue de déterminer s'il y a surdimensionnement de la pompe d'un circuit d'eau glacée, il faut tenir compte des caractéristiques de l'air à traiter (en général de l'air extérieur).

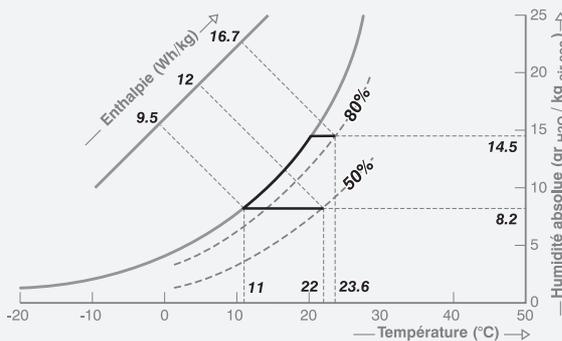


Prenons un exemple.

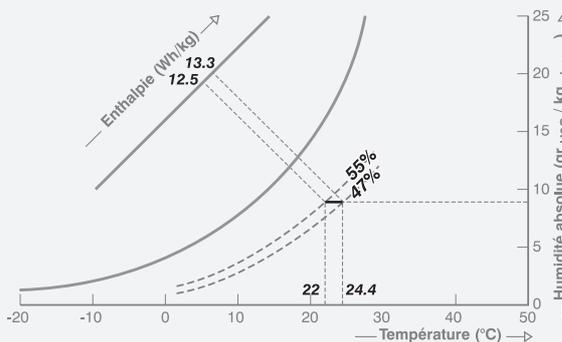
Supposons que l'ambiance souhaitée soit de 22° et 50 % HR (Humidité Relative). Cela correspond à 8,2 g. d'eau par kg d'air sec. Si l'air à traiter a les conditions du 11.07.95, soit 23,6° et 80% HR, ou 14,5 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>air sec</sub> il faudra retirer 6,3 g<sub>H2O</sub>/kg. par condensation sur une batterie froide.

L'enthalpie doit passer de 16,7Wh/kg à 12 Wh/kg, soit une différence de 4,7Wh/kg. Pour 1000 m<sup>3</sup>/h traité, cela donne une puissance théorique de refroidissement de 5,3 kW.

En réalité, il faudra fournir davantage encore de puissance frigorifique car il faut abaisser la température de l'air à 11° pour qu'il ne contienne plus que les 8,2 g<sub>H2O</sub>/kg désirés. L'enthalpie doit alors descendre jusqu'à 9,5 Wh/kg (différence de 7,2 Wh/kg), soit une puissance de 8,2 kW frigorifique. On obtient alors de l'air à 11° qu'il faut réchauffer (puissance de chauffe de ± 3 kW).



Si l'air extérieur a les conditions du 30.06.95 soit 24,4° et 47 % HR (8,9 g<sub>H2O</sub> par kg d'air sec), il présente une enthalpie de 13,3 Wh/kg. Si on se contente de refroidir sans condenser pour obtenir de l'air à 22° et 8,9 g<sub>H2O</sub>/kg (au lieu de 8,2), soit 22° et 55 % HR (au lieu de 22° 50 % HR ), l'enthalpie est de 12,5 Wh/kg. On n'a donc plus besoin que de 0,8 Wh/kg ou une puissance frigorifique de 0,9 kW, sans réchauffage.



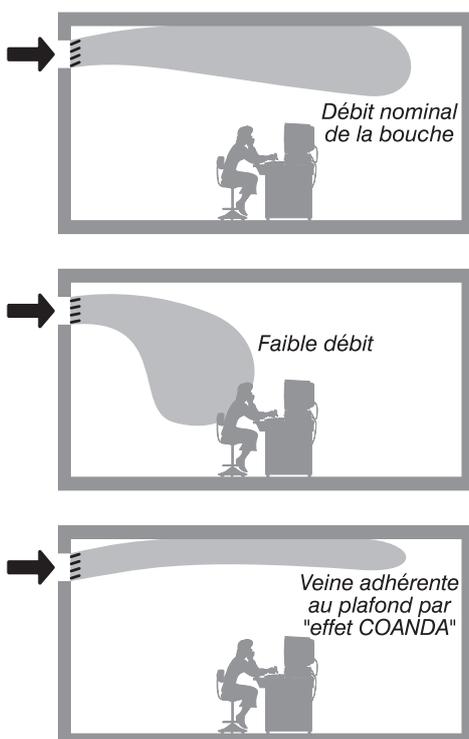
Il apparaît donc entre ces deux jours chauds une différence considérable sur le Dt d'un circuit alimentant à débit constant des batteries de refroidissement.

### Circuits d'eau glacée (circulateurs)

1. Là aussi, par temps chaud, il faut comparer la différence de température entre le départ et le retour de l'eau glacée, à celle de calcul, généralement définie pour 30 ou 32°C extérieurs (exemple : régime 7° - 12°). Si l'écart est nettement inférieur à celui prévu, on peut en déduire un surdimensionnement. Il faut toutefois tenir compte de l'humidité de l'air, dont la condensation demande beaucoup d'énergie : s'il fait chaud et sec, l'écart de température sera moindre que s'il fait chaud et humide (voir encart sur la page de gauche). Le diagnostic doit donc être réalisé lorsque le temps est chaud et humide.
2. De même que pour le chauffage, la présence d'éléments de réglage fixes peuvent indiquer un surdimensionnement.

### Ventilation - climatisation (ventilateurs)

Comme pour les circuits hydrauliques, les monoblocs de ventilation sont prévus pour fournir un débit d'air calculé, avec une différence de température entrée-sortie qui dépend des conditions extérieures (souvent -10° en hiver ou + 32° en été) et/ou des charges thermiques à évacuer des locaux.



En mesurant le débit d'air avec un anémomètre, on peut vérifier s'il est ou non supérieur au débit nominal.

Si la différence de température entre la pulsion dans les locaux et l'extraction est faible dans les conditions extrêmes (-10°C et +32°C), c'est-à-dire inférieure à 4-5°C, on peut également penser à réduire le débit pour augmenter cette différence jusqu'à 8-10°C.

Toutefois :

- il faut veiller à maintenir le débit d'air neuf nécessaire à l'hygiène (en général 30 m<sup>3</sup>/h par personne) ;
- si le débit ainsi obtenu est inférieur au débit nominal, des problèmes de distribution de l'air sur les différentes bouches de pulsion peuvent apparaître, exigeant des réglages (équilibre de la distribution) ou la suppression de certaines bouches de pulsion. Par exemple, dans un grand bureau où le débit total des bouches doit être réduit, il y a un risque de créer un inconfort par une coulée d'air froid sur les occupants ; on préférera obturer une des bouches et conserver les autres à leur débit nominal.

Idéalement, la diffusion de l'air froid, pour ne pas être jugée désagréable et inacceptable aux faibles débits, doit s'assurer avec des bouches spécialement conçues, avec effet dit « Coanda » : la veine « colle » au plafond jusqu'à 20 % du débit nominal.

- il faut bien entendu adapter le débit d'extraction au débit de pulsion.

## 2. PUISSANCE

Il faut examiner en priorité les éléments de puissance élevée.

Remarque :

la puissance réellement appelée par le moteur peut être très différente de celle qui est indiquée sur la plaque. Elle est mesurable au moyen d'un wattmètre.

1. L'adjonction d'un convertisseur de fréquence se justifie avant tout pour des puissances élevées. **Ainsi, il est certain que les ventilateurs et pompes de plus de 20 kW présentent un très bon potentiel d'économies réalisables.**
2. Pour les faibles puissances, on attendra le besoin de remplacement du matériel. Dans ce cas, seul le surcoût de l'acquisition d'un matériel à variateur de vitesse intégré est à amortir et celui-ci est faible pour les petites puissances.

## Régulation d'une tour de refroidissement

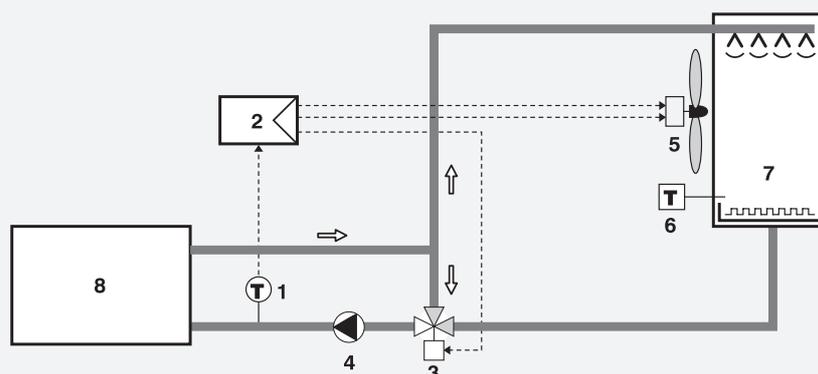
Pour refroidir le condenseur d'une machine frigorifique, des tours de refroidissement sont utilisées. L'eau sortant du condenseur à une température de l'ordre de 32°C (suivant les constructeurs) est pulvérisée dans un fort courant d'air lui permettant de se refroidir au niveau le plus près possible de la température humide de l'air grâce au principe du refroidissement par évaporation d'eau.

La circulation de l'eau ne doit jamais être interrompue dans le condenseur, c'est pourquoi la vanne 3 voies est montée en mélange du côté condenseur.

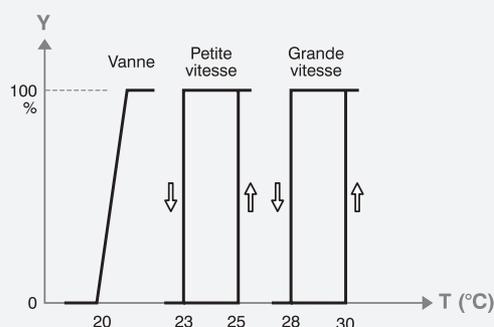
La température d'entrée dans le condenseur est mesurée par une sonde (1) qui envoie son signal à un régulateur proportionnel (2) qui agit, quand la température augmente, sur l'ouverture progressive de la vanne (3) motorisée puis sur la petite vitesse du ventilateur et ensuite sur la grande vitesse.

Une protection contre le gel de l'eau de la tour doit être prévue soit par vidange de celle-ci, soit par contrôle par un thermostat (6) qui, si la température dans le bac descend en dessous de 5°C, enclenche la résistance électrique (7).

La perte de charge que doit absorber la vanne 3 voies grande ouverte est la moitié de la hauteur manométrique de la pompe. Il y a lieu de noter que la chaleur produite au condenseur de la machine frigorifique peut être récupérée pour faire de l'eau chaude sanitaire ou passer dans une batterie de chauffe.



- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1 Sonde de température à plongeur                                    | 5 Ventilateur à deux vitesses         |
| 2 Régulateur P à une sortie progressive et deux sorties tout ou rien | 6 Thermostat pour protection hors gel |
| 3 Vanne motorisée  | 7 Résistance                          |
| 4 Pompe de circulation   | 8 Condenseur                          |



### 3. DURÉE DE FONCTIONNEMENT

Il faut avant tout se demander si la durée de fonctionnement actuelle est justifiée. Penser aux arrêts en été pour le chauffage (en hiver pour la climatisation) en fonction de la température extérieure, la nuit, le week-end, anticipés le soir, démarrages retardés le matin, etc. L'arrêt est toujours une économie importante et peu coûteuse (une horloge et/ou un thermostat suffisent souvent pour plusieurs pompes ou ventilateurs). Attention toutefois au risque de gel d'une tuyauterie passant à l'extérieur ou dans des locaux non chauffés si la circulation est arrêtée (prévoir un thermostat pour éviter ce risque).

La marche des installations de ventilation (on/off) ou leur régime de fonctionnement (vitesse) peut dans certains cas être commandée en fonction d'une programmation horaire, d'une détection de présence ou d'une sonde de qualité de l'air. On pense tout spécialement aux réfectoires, aux salles d'opération, aux salles de sports, aux salles de conférences ...

Ensuite, se préoccuper en priorité des éléments dont le fonctionnement permanent est nécessaire (365 x 24 h, soit 8.760 h/an), puis de ceux à durée de marche importante (plusieurs milliers d'heures/an).

Une pompe de 1 kW tournant sans arrêt pendant un an (8.760 h) consomme 8.760 kWh dont le prix, selon tarifs, peut varier de 2,50,- à 5,-BEF. Le coût de fonctionnement est donc de 21.900,- à 43.800,-BEF/an. Un arrêt de 3 mois rapporte de 5.500,- à 11.000,-BEF.

### 4. VARIATION DE CHARGE

Les installations de chauffage, de climatisation, de ventilation ont pour objectif d'apporter des quantités de chaleur et de froid au moyen d'eau (circulateur) ou d'air (ventilateur). Cette quantité, mesurée par le produit du débit par la différence de température, est variable en fonction des conditions atmosphériques (saison, jour, nuit, occupation ou non des locaux).

$$\text{Puissance calorifique} = \text{débit} \times \text{capacité calorifique} \times \Delta t$$

$$\text{Puissance} \downarrow \text{ si débit} \downarrow \text{ ou si } \Delta t \downarrow$$

La variation de la quantité de chaleur (ou de froid) apportée peut être faite par différentes méthodes.

1. **une variation du débit à température constante** (vannes thermostatiques seules, réglage de batteries de chauffe ou de refroidissement par vannes 2 voies, ventilations à débit d'air variable, ...);
2. **une variation de température sans variation de débit** (cas le plus fréquent des ventilations, circuits de chauffage réglés en fonction de la température extérieure sans vannes thermostatiques, batteries de chauffe ou de refroidissement réglées par vannes à 3 voies);
3. **une variation de la température** en fonction de la température extérieure conjuguée à **une variation du débit** (vannes thermostatiques et sonde extérieure, ...).

**Le premier cas** est typique pour l'utilisation d'éléments à vitesse variable (convertisseurs de fréquence). Une approche peut cependant être effectuée si l'on dispose de pompes ou de ventilateurs à plusieurs vitesses commutables en marche, en fonction d'une différence de pression ou de la température extérieure.

**Dans le deuxième cas**, si les courbes de température des circuits en fonction de la température extérieure ou les réglages des régulations des ventilations par vannes 3 voies donnent satisfaction partout (pas de façades surchauffées), il ne faut pas chercher d'économies importantes dans un réglage progressif des débits.

## Exemple

Soit un circulateur d'un circuit de chauffage à trois vitesses dont les points de fonctionnement sont :

en vitesse maximale

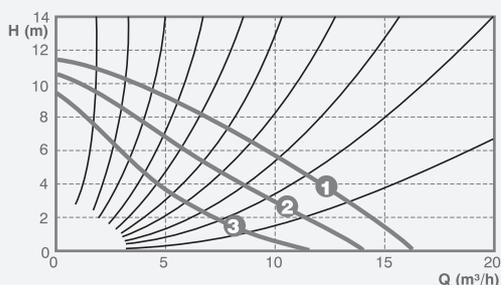
$N = 2700 \text{ t/min}$   
 $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H = 5,6 \text{ m}$   
 $P = 480 \text{ W}$

en vitesse intermédiaire  
 (pour le même circuit)

$N = 2300 \text{ t/min}$   
 $Q = 8 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H = 4 \text{ m}$   
 $P = 400 \text{ W}$

en vitesse minimale

$N = 1840 \text{ t/min}$   
 $Q = 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H = 3 \text{ m}$   
 $P = 360 \text{ W}$



Remarque : la réduction des puissances affichée par le constructeur n'évolue pas aussi fortement que la loi théorique le prédit (fonction du cube du rapport des vitesses). Ceci s'explique par la dégradation du rendement électrique du moteur (voire dans certains cas du convertisseur).

Par simplification, considérons que le circulateur tourne à l'origine toute l'année, soit 8.760 h/an et que le tarif électrique est constant (p. ex. 3,5-BEF/kWh, correspondant plus ou moins à un prix moyen en haute tension). Si l'on estime que l'on peut l'arrêter en été pendant 3 mois, et tous les jours durant lesquels la température moyenne dépasse 15° (référence des degrés-jours), on compte 121 jours d'arrêt (sur base des températures moyennes d'Uccle de 1995).

On a donc :

	Heures de marche à $V_{max}$	Heures de marche à $V_{moy}$	Heures de marche à $V_{min}$	Coût de fonctionnement en BEF	Economie en BEF	Economie par rapport au précédent en BEF
Situation initiale	8.760			14.716		
Arrêt été et $t \geq 15^\circ$ (121 jours)	5.856			9.839	4.877	4.877
réduction de vitesse permanente à la vitesse moyenne (la pompe est souvent surdimensionnée)		5.856		8.198	6.518	1.639
Réduction à la vitesse minimale si $t > 5^\circ$		1.920	3.936	7.648	7.068	551

Il faut couper les circulateurs si la température extérieure dépasse une certaine valeur (12 à 22° selon le type de bâtiment et de circuits : bureaux, écoles, hôpitaux).

On peut toutefois essayer de commuter un circulateur sur une vitesse inférieure, si elle est disponible. La pratique montre qu'en général ça ne pose pas de problèmes, bien que toute réduction fixe des débits implique théoriquement une augmentation des températures de départ des circuits de chauffage, provoquant une augmentation des déperditions de ces circuits. Il n'est dans ce cas pas possible de prédire si l'économie d'électricité que l'on peut obtenir sur les circulateurs compense une augmentation des pertes thermiques des circuits (celles-ci peuvent participer utilement au chauffage du bâtiment et, dans ce cas, ne pas présenter d'inconvénients).

**Le troisième cas** est par exemple celui où un même circuit chauffe la façade nord et la façade sud et où, pour éviter une surchauffe de la façade sud lorsque le soleil brille, on a muni les radiateurs de vannes thermostatiques. On peut alors évaluer la rentabilité d'un réglage ou d'une commutation de la vitesse en fonction de la charge.

**D'une manière générale**, la vitesse variable se justifiera dans les cas où les besoins des différents locaux raccordés sur un même circuit sont très variables : la régulation d'ensemble devra satisfaire les besoins du local le plus demandeur et des vannes thermostatiques limiteront alors le débit dans chacun des autres locaux... Plutôt que de placer la classique soupape différentielle en sortie de circulateur, une pompe à vitesse variable intégrée s'impose !

## 5. COÛT DE L'ÉLECTRICITÉ

Les tarifs sont très variables en fonction du type de consommateur (basse tension, haute tension), du type ou de la composante du tarif (heures pleines, heures creuses, tarif éclairage, force motrice, horo-saisonnier, pointe, etc.). Les prix moyens se situent généralement dans une fourchette de 2,5,-BEF/kWh à 5,-BEF/kWh hors TVA.

Ces coûts moyens peuvent servir de base à une première évaluation des économies possibles. Toutefois, pour les consommateurs dont le tarif présente les éléments

- heures pleines,
- heures creuses,
- pointe (dont le coût peut être variable selon les mois ou les heures du jour),

les réductions de consommation dues aux arrêts ou changements de vitesse de chacun des éléments sur lesquels on compte agir, doivent être valorisées en fonction du tarif en vigueur aux heures de réduction. L'éventuelle influence sur la pointe (y a-t-il réduction possible aux heures de pointe ?) doit également être prise en considération.

## 6. INVESTISSEMENT

- **L'arrêt des pompes** effectué manuellement en tournant un interrupteur (arrêt des circulateurs de chauffage en été, éventuellement en week-end) demande un investissement nul. Cette action doit donc toujours être prise même pour des circulateurs de très faible puissance (quelques dizaines de watts).
- De même, **la commutation d'une pompe sur une vitesse plus faible**, même si elle nécessite la modification du raccordement électrique, peut être considérée comme relevant d'un investissement nul. Elle peut être faite à titre d'essai, ou éventuellement en fonction de la saison.
- La commande de **l'arrêt des pompes par une horloge et/ou par un thermostat** extérieur nécessite un petit investissement (5 à 10.000,-BEF). Il se justifie pour des circulateurs de chauffage au-dessus de 500 W ou si plusieurs circulateurs plus petits sont commandés en même temps.
- **Le changement des poulies et courroies de ventilateurs** constitue un petit investissement (5 à 10.000,-BEF) et se justifie le plus souvent pour des ventilateurs d'assez petite puissance (dès 1 à 2 kW pour 2.000 h. de marche et 20 % de réduction de débit).
- **La commutation automatique des vitesses de pompes** existantes exige des éléments complémentaires au niveau de la régulation, du câblage du moteur et de la commande (les fabricants de pompe peuvent fournir des boîtiers permettant d'accéder aux différents bobinages des moteurs, de manière à réaliser les commandes au niveau du tableau électrique). L'investissement est donc nettement plus important (20 à 30.000,-BEF).
- **Le réglage continu de la vitesse** exige un variateur de vitesse. Actuellement, on n'utilise pratiquement plus que des variateurs électroniques basés sur le principe de la variation de la fréquence du courant alternatif envoyé au moteur électrique classique, le moteur asynchrone à cage. Ce système est traité plus en détail au chapitre 5.

Certains circulateurs modernes peuvent être fournis avec un variateur de vitesse intégré. Pour les très petits (moins de 200 W), la différence de prix est faible (+ 2.500,-BEF ou 40 %). Dès 250 W, la variation de la vitesse implique plus que le doublement du prix. Toutefois, selon une étude effectuée en Hollande par un des constructeurs, dans la plupart des cas, ce surcoût se paie en 2 à 3 ans par les économies réalisées.

## *Suite de l'exemple de la page précédente*

*On peut constater que l'opération la moins coûteuse (l'arrêt) est celle qui rapporte le plus ( $\pm 4.900,-\text{BEF}$ ). La réduction de vitesse permanente apporte un complément de  $1.600,-\text{BEF}$ . La complication supplémentaire nécessaire à la commutation des vitesses par thermostat extérieur apporterait seulement un complément de  $500,-\text{BEF}$ , ce qui ne présente pas une bonne rentabilité. On peut, bien entendu, si l'on veut embellir la situation, mettre l'économie totale - soit  $7.068,-\text{BEF}$  - sur le compte de l'investissement pour le faire passer. Dans ce cas, le Pay Back Time (PBT) peut être de l'ordre de 2 à 4 ans.*

*Si l'on envisage cette procédure, il ne reste ensuite qu'un coût de fonctionnement d'environ  $7.650,-\text{BEF}$  dont la réduction doit financer un investissement, par exemple en variateur de vitesse.*

*Selon l'étude hollandaise mentionnée ci-avant, on peut s'attendre à des consommations réduites au  $1/3$  à  $1/4$  de la consommation originale sur des circulateurs avec variateur de vitesse.*

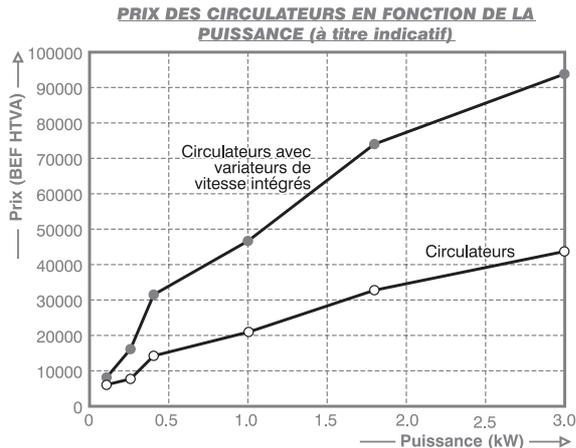
*Dans notre exemple, on peut donc estimer que grâce au variateur, on peut passer d'un coût de  $9.839,-\text{BEF}$  à un coût de  $2.500$  à  $3.300,-\text{BEF}/\text{an}$ , soit  $4.900$  à  $5.700,-\text{BEF}$  de moins que la réduction permanente à la vitesse moyenne.*

*Coût du remplacement :  $32.000,-\text{BEF}$*

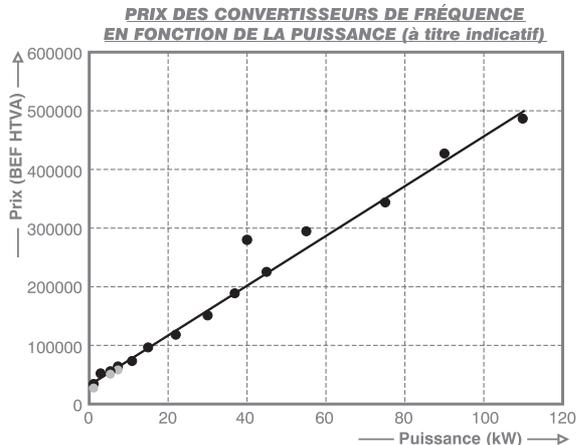
*PBT :  $\pm 6$  ans*

*C'est également le prix approximatif d'un variateur de vitesse indépendant (sans l'installation).*

*Si l'on tient compte des possibilités d'obtenir une participation de  $50\%$  à l'investissement de la part des distributeurs d'électricité (avec un plafond de  $100.000,-\text{BEF}$ ), le PBT descend à  $\pm 3$  ans.*



Pour les circulateurs, pompes et ventilateurs de plus de 2 kW, il faut utiliser des convertisseurs de fréquences indépendants dont les prix varient selon le graphique ci-contre. On peut approximativement estimer le prix du convertisseur en ajoutant 4.300,-BEF par kW supplémentaire au prix de base de 30.000,-BEF pour 1 kW.



## 7. ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ

En fonction des éléments ci-dessus, il faut comparer l'investissement nécessaire aux économies que l'on peut attendre des modifications envisagées.

La division du montant d'investissement par l'économie annuelle obtenue donne le nombre d'années pour récupérer la mise de fonds; c'est le *Pay Back Time* (PBT). En général, on considère que si le PBT est inférieur à 2-3 ans, la rentabilité est très bonne à bonne; de 3 à 5 ans, bonne à acceptable. Au-delà de 5 ans de PBT, peu d'entreprises acceptent d'investir à moins que des considérations autres que purement économiques n'entrent en jeu (obligation de se conformer à de nouvelles réglementations, raisons écologiques, image de marque, etc.).

Le calcul de l'économie que l'on peut attendre est difficile, car de nombreux paramètres sont inconnus, ou peuvent avoir des interférences entre eux (par exemple, débit et température d'un circuit de chauffage).

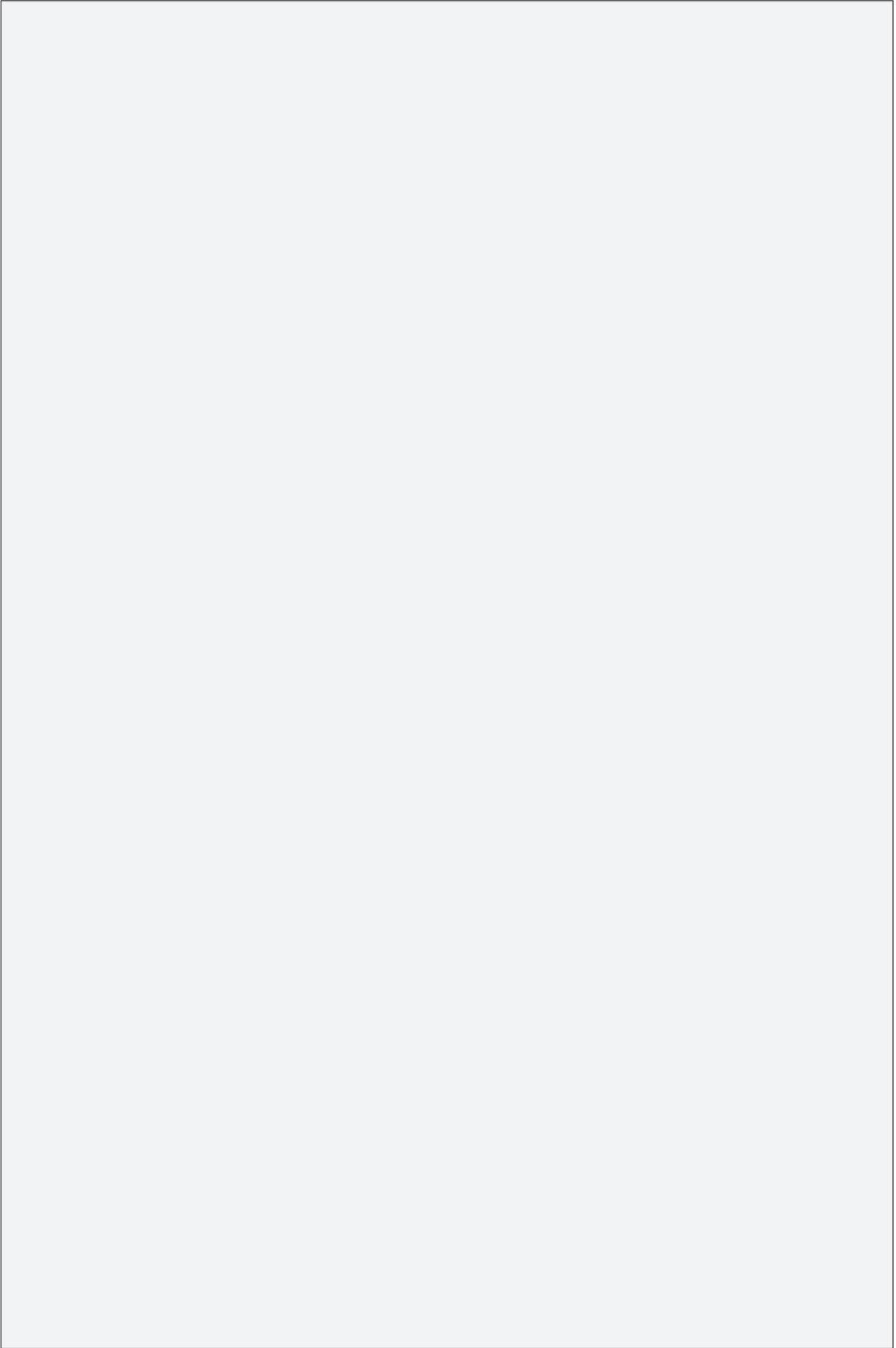
Toutefois, on peut évaluer successivement les économies possibles par les actions suivantes :

- arrêt de l'appareil (en été par exemple) ;
- commutation de pompes, circulateurs et ventilateurs (si le moteur a plusieurs vitesses) sur une vitesse inférieure, pendant les périodes de marche qui subsistent après l'étape précédente ;
- création d'une vitesse moindre (changement de poulies de ventilateurs) ou d'une courbe inférieure (réduction du diamètre de la roue d'une pompe).

Après cette première approche, quel potentiel d'économie reste-t-il pour justifier un investissement plus important, comme par exemple un variateur de vitesse ? La marge d'erreur possible dans l'évaluation est alors moins grande.

### Conclusion

Si la pompe dispose à l'origine de plusieurs vitesses, cette économie justifie un changement de vitesse fixe de la pompe (modification du raccordement électrique ou déplacement d'un sélecteur) dont le coût est pratiquement nul. De même, **en cas de remplacement par nécessité** (raison technique), **le surcoût d'une pompe à vitesse variable intégrée est vite rentabilisé** (pay-back time de 2 à 3 ans). Par contre, **l'adjonction d'un variateur de vitesse externe ne se justifie que pour des puissances élevées et/ou un profil de charge très variable.**



# PROJETS D'INSTALLATIONS NEUVES OU DE RÉNOVATION LOURDE

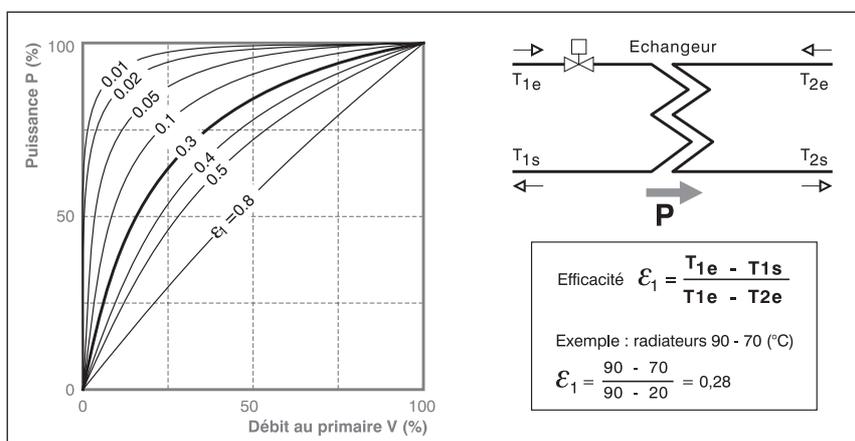
En vue de réduire la consommation d'énergie des installations futures, certains points devraient être pris en considération au niveau des pompes, des ventilateurs et des circuits dans lesquels ils travaillent.

## 1. CIRCUITS HYDRAULIQUES

### Conception des circuits

- Choisir la vitesse variable dans les circuits hydrauliques, c'est choisir de réguler l'émission des radiateurs par la variation du débit d'eau. Cette option ne paraît pas adéquate vu la mauvaise linéarité de la relation débit-puissance (voir graphe ci-dessous). Une régulation de base en fonction de la température extérieure semble préférable.

Toutefois, cette régulation est souvent complétée par une régulation locale sur le débit (c'est le cas des vannes thermostatiques de radiateur, par exemple). C'est ce qui permet de chauffer moins un local d'archives ou un local avec beaucoup d'apports internes (bureautique). **Le placement de variateurs de vitesse sur les départs secondaires s'impose alors**, avec le maintien d'une différence de pression constante, par exemple.

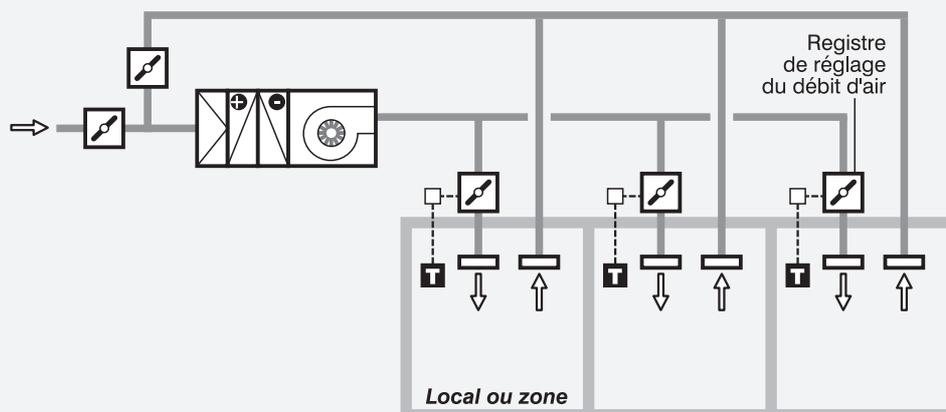


## Les installations à Volume d'Air Variable (V. A. V. )

Une installation V.A.V. comprend :

- un traitement de l'air primaire soufflé avec une batterie de chaud, une batterie de froid, des volets de mélange d'air neuf, air repris et air extrait. L'air est préparé à une température constante (« 16°C ) ;
- une régulation de la température ambiante des différents locaux basée sur la modulation du débit en fonction de la charge frigorifique existante.

Le besoin de chaleur d'un local peut être satisfait par un chauffage terminal de l'air soufflé ou par un appoint statique (radiateurs).

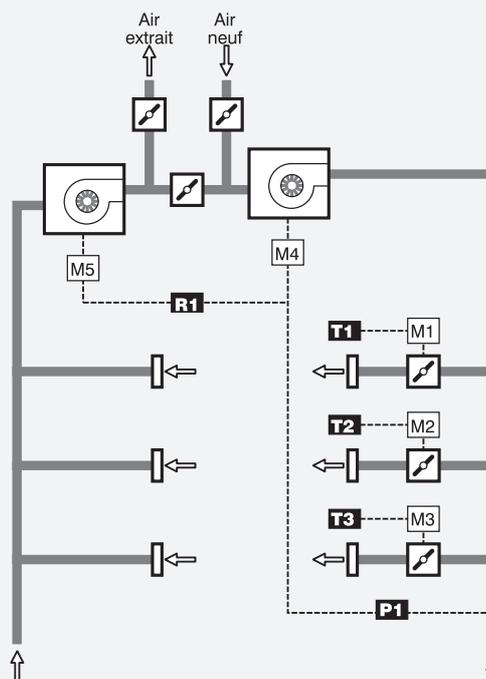


L'avantage important de ce type d'installation par rapport à une installation à volume d'air constant provient du fait que toute la ventilation n'est calculée qu'en fonction du plus fort besoin de réfrigération simultané. Or, des locaux situés à l'est ou à l'ouest connaissent leur bilan thermique maximal en juillet ou en août, alors que ceux exposés au sud le rencontreront de septembre à novembre.

Une double économie en résulte :

- à l'investissement, grâce à la réduction des dimensions des gaines et des ventilateurs ;
- à l'exploitation, grâce à la modulation de la vitesse des groupes de pulsion et d'extraction.

Lorsque le débit d'air soufflé est piloté en fonction de la température des locaux, la fermeture d'un clapet entraîne une augmentation de la pression dans l'ensemble du réseau de conduits de soufflage. La sonde de pression  $P$  détecte cette augmentation et donne l'ordre aux régulateurs  $M_4$  et  $M_5$  de réduire la vitesse, tant à la pulsion qu'à l'extraction.



- Il était courant d'alimenter les boucles primaires des installations à débit constant. L'objectif consistait à alimenter les départs des circuits secondaires quelle que soit la demande, en maintenant une différence de pression très faible entre collecteur de départ et collecteur de retour. Ainsi, la demande d'un circuit n'influçait en rien la pression d'alimentation du circuit voisin. A présent, **le maintien d'une pression constante sur la boucle primaire** peut être assuré par la vitesse variable sur le circulateur primaire. Ce principe peut s'avérer très rentable sur les longues boucles de distribution, en chaud comme en froid (une chaufferie ou une centrale pour plusieurs bâtiments, par ex.). On s'assurera cependant des exigences du fabricant de chaudière en matière de débit d'irrigation à maintenir.

### Choix des pompes et circulateurs

- **Ne pas surdimensionner les pompes et circulateurs.** Garder à l'esprit que pour des radiateurs et des batteries de chauffe, une réduction de débit de 50 % permet encore d'obtenir 80 % de la chaleur prévue dans les conditions nominales.
- **Choisir des pompes ayant un bon rendement** dans les conditions habituelles de fonctionnement. Certains circulateurs ont des rendements de l'ordre de 10 à 30 %, alors que les grosses pompes bien choisies arrivent à plus de 80 %. Il est à noter que les pompes In-Line (plus faciles au montage) ont généralement un rendement nettement moins bon (55 % à 65 %) que les pompes classiques à entrée perpendiculaire à la roue (60 % à 85 %). Le supplément au montage sera rapidement amorti à l'utilisation. Même si la pompe est munie d'un variateur de vitesse, son rendement à vitesse réduite est d'autant meilleur que l'on a un bon rendement à la vitesse nominale.
- **Choisir des circulateurs avec variation de vitesse intégrée**, surtout les petits dont le surcoût à l'achat est faible.

### *Le choix d'un nouveau circulateur*

#### *Forte présomption de surdimensionnement !*

*Lors d'une rénovation de circulateur, très généralement, la sélection de l'équipement va se limiter à choisir une nouvelle pompe présentant les mêmes dimensions afin de pouvoir «s'insérer» sans difficulté dans l'emplacement libéré par l'appareil défectueux ...*

*Il y a pourtant toutes chances que cet équipement soit surdimensionné !*

Au cas où, très exceptionnellement, l'équipement précédent s'avérerait conforme, une sécurité existe : le dimensionnement a été basé sur un  $\Delta t$  de 20° entre le départ et le retour. Or rien n'empêche de fonctionner avec un  $\Delta t$  de 25 ou 30°, c'est-à-dire de mieux utiliser les calories apportées aux émetteurs.

#### *Comment connaître le degré de surdimensionnement existant ?*

- *Le calcul exact des pertes de charges du réseau est irréaliste ...*
- *Si le circulateur dispose de prises de pression, on peut imaginer de mesurer le  $\Delta p$  aux bornes de la pompe et de lire le débit correspondant sur la caractéristique du fournisseur. La puissance globale véhiculée s'en déduit ( $P = 1,16 \times \text{débit} \times \Delta t$ ) et est comparée à la demande de la zone couverte.*
- *Plus simplement, l'insertion d'une pompe avec variateur de vitesse va trouver ici toute sa justification : en le plaçant, il sera possible de diminuer progressivement la vitesse (sans modifier les caractéristiques de température) jusqu'à atteindre celle qui assure une distribution uniforme, sans pénaliser le dernier radiateur du réseau. Sur base des expériences réalisées en Suisse, dans 9 cas sur 10 la vitesse chutera de plus de moitié, entraînant une chute au cube de la consommation !*

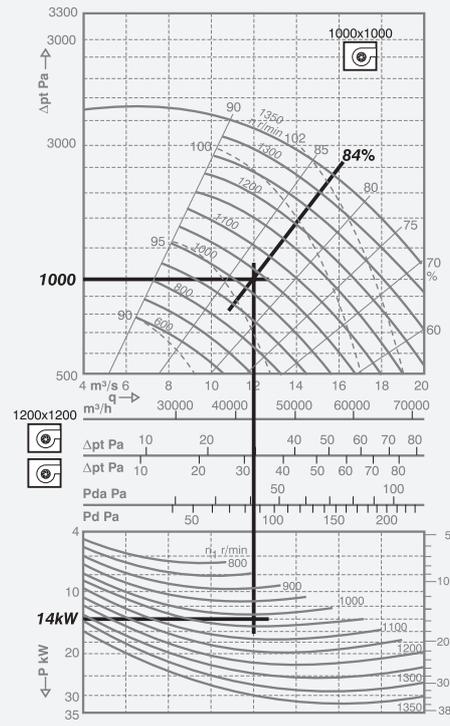
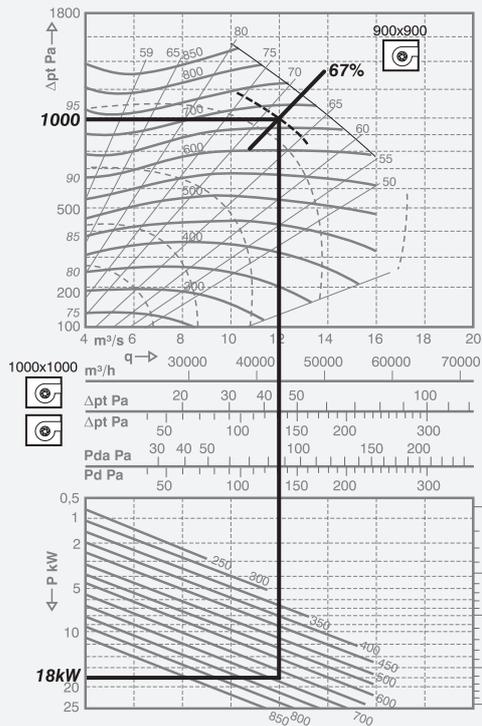
## Choix d'un ventilateur

Un ventilateur doit être sélectionné, avec les caractéristiques suivantes :

Débit :  $12 \text{ m}^3/\text{s}$

Hauteur manométrique :  $1000 \text{ Pa}$

Une recherche dans les catalogues fournit les deux possibilités suivantes sous le même caising :



Le premier ventilateur (aubages recourbés vers l'avant) demande  $18 \text{ kW}$  en fonctionnement nominal, suite à son rendement de  $67\%$ . Prix d'achat :  $\pm 220.000,-\text{BEF}$ .

Le deuxième (aubages recourbés vers l'arrière) ne demande que  $14 \text{ kW}$  pour fournir le même débit sous le même  $D_p$ , suite au rendement de  $84\%$ , ... mais son prix est  $50\%$  plus élevé ! Prix d'achat :  $\pm 340.000,-\text{BEF}$ .

Réalisons le bilan annuel des consommations :

Gain de puissance :  $18 \text{ kW} - 14 \text{ kW} = 4 \text{ kW}$

Economie de consommation :  $4 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ j} \times 3,5,-\text{BEF} = 122.640,-\text{BEF}/\text{an}$

Temps de retour de l'investissement :  $(340.000,-\text{BEF} - 220.000,-\text{BEF}) / 122.640,-\text{BEF} = 1 \text{ an}$

Bénéfice sur 10 ans de fonctionnement :  $10 \times 122.640,-\text{BEF} - 120.000,-\text{BEF} = 1.106.400,-\text{BEF} !$

## 2. CIRCUITS AÉRAULIQUES

### Conception des circuits

- **Prévoir plusieurs modes de fonctionnement en fonction de l'activité, dès le stade de conception :**

par la mise en place d'un sélecteur de vitesse manuel ou automatisé, en fonction d'un paramètre significatif de l'évolution des besoins : horloge, sonde de pression, sonde de qualité d'air, sonde CO<sub>2</sub>, détecteur de présence, ...

- **Penser aux variateurs de vitesse dans les locaux dont la charge est variable :**

On pense tout particulièrement au principe de climatisation VAV (= Volume d'Air Variable), qui consiste à faire varier le débit en fonction des besoins, tout en laissant la température constante. La vitesse du ventilateur, et donc sa consommation, sera réduite dès que la charge diminuera.

Exemples de ventilation ou de climatisation de locaux à occupation variable : salle de réunion, salle de sport, cafétéria, salle de spectacles, ...

Mais, plus classiquement, on privilégiera le placement de ventilo-convecteurs à vitesse variable, permettant à l'utilisateur d'adapter le débit pulsé à ses besoins ... et à son niveau de confort acoustique ! Les utilisateurs demandent toujours la variation de vitesse à leur disposition. Qu'importe alors le bruit du grand débit s'il est occasionnel et volontaire.

- **Prévoir des variateurs de vitesse lorsque le circuit possède des unités terminales avec clapets de réglage :**

⇒ ventilateurs des circuits dont des branches sont mises hors service par des clapets selon des horaires différenciés ;

⇒ ventilateurs de prétraitement d'air destiné ensuite à un ensemble de monoblocs de pulsion, ayant des régimes de fonctionnement différents (horaires et/ou vitesse).

- **Moduler la vitesse des ventilateurs de refroidissement des condenseurs de machines frigorifiques :**

La charge est très variable entre l'été et la mi-saison : les ventilateurs des batteries de refroidissement ou ventilateurs des condenseurs à air des gros compresseurs frigorifiques de climatisation, placés généralement en toiture, se prêtent bien à l'usage de convertisseurs de fréquence. Ces ventilateurs ont souvent plusieurs dizaines de kW et leur vitesse maximale n'est nécessaire que peu d'heures par an. Les ventilateurs de grosses tours de refroidissements sont en général moins puissants, mais constituent un cas similaire (voir encart page 20).

- **Diminuer la perte de charge du circuit aéraulique :** la puissance absorbée par un ventilateur dépend fortement de la perte de charge du circuit aéraulique. Dans les monoblocs de ventilation, les batteries de chauffe ou de refroidissement constituent des résistances importantes. Le type et la dimension de la batterie (à puissance égale) peut avoir une incidence importante sur cette résistance.

### Choix des ventilateurs

- **Demander au fournisseur de préciser le rendement du ventilateur :** des différences importantes de rendement peuvent exister. Les ventilateurs à haut rendement ont en général des aubages recourbés vers l'arrière (et sont moins bruyants). Ils sont un peu plus gros, donc un peu plus chers, mais l'économie d'énergie justifie généralement ce coût supplémentaire.

### Analyser l'intérêt global d'une variation de vitesse :

En première installation, les variateurs permettent :

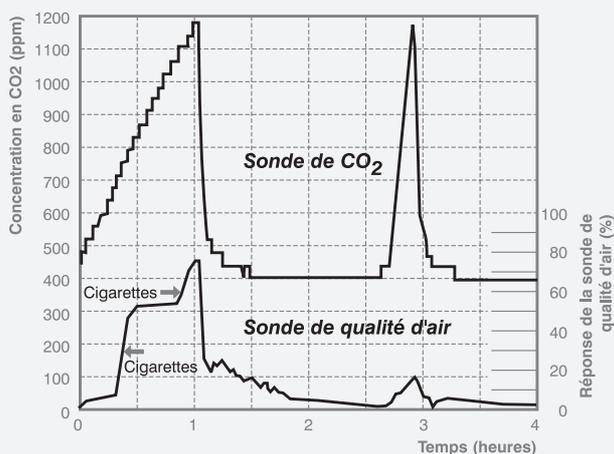
- ⇒ de monter les moteurs directement sur l'arbre (pas de courroies) ;
- ⇒ d'éviter la partie électrique nécessaire au démarrage (contacteurs étoile-triangle et commandes correspondantes).

## Régulation par sonde de « qualité d'air » ou par sonde CO<sub>2</sub> ?

Organiser une régulation du débit d'air neuf en fonction des besoins, c'est trouver le paramètre qui traduira la qualité de l'air dans les locaux.

Les sondes de qualité d'air sont sensibles aux différents composés organiques volatils présents dans l'air. Elles sont sensibles à la fumée de cigarette et aux composés organiques odorants. Elles sont donc adaptées aux salles de réunion pour fumeurs, aux salles de sport, aux restaurants, ... A noter que leur prix d'achat est peu élevé.

Les sondes CO<sub>2</sub> sont elles uniquement sensibles à la présence du dioxyde de carbone, essentiellement produit par l'homme. Elles sont adaptées aux locaux dans lesquels la cause de la pollution est celle provoquée par l'occupation. Elles ne sont pas indiquées pour la ventilation des lieux où se trouvent des fumeurs. Elles sont donc adaptées aux salles de spectacles, aux crèches, aux classes d'écoles et amphithéâtres, ...



L'essai ci-contre réalisé en cellule d'essais traduit les spécificités des sondes :

- phase 1 : une seule personne est présente dans la cellule durant 1 heure. Deux cigarettes sont fumées après 15 et 45 minutes. (cellule de 32 m<sup>3</sup>, sans ventilation) ;
- phase 2 : six personnes sont introduites dans la cellule durant 10 minutes et il leur est interdit de fumer.

Le signal émis par la sonde est envoyé :

- soit au variateur de vitesse du ventilateur (salle de spectacle, par exemple) ;
- soit au servomoteur du registre de la bouche de pulsion (ensemble de bureaux dont l'ouverture de chaque bouche est commandée par détecteur, par exemple). Dans ce cas, le ventilateur du réseau est asservi à une mesure de pression dans le réseau principal.

Les régulateurs doivent être correctement paramétrés lors de la mise en service et les sondes doivent être entretenues (nettoyages et étalonnages périodiques). Si cette maintenance est peu probable ou si l'ambiance se révèle être trop chargée de poussières, on préférera une régulation à deux vitesses basée sur le dépassement d'un seuil critique plutôt qu'une régulation analogique réglée sur le signal 0-10 V de la sonde.

Il est préférable de placer la sonde dans le conduit de reprise d'air afin qu'elle soit représentative de la qualité moyenne de l'air du local, ... tout en lui gardant un accès aisé !

## PARTICULARITÉS DES VARIATEURS DE VITESSE À CONVERTISSEUR DE FRÉQUENCE

On l'a vu ci-avant, le réglage progressif de la vitesse permet d'adapter au mieux le fonctionnement d'une pompe ou d'un ventilateur aux besoins, lorsque ceux-ci sont variables selon les conditions climatiques, l'occupation des locaux ou les charges thermiques à évacuer. C'est dans ce cas la méthode qui permet les plus grandes économies d'énergie.

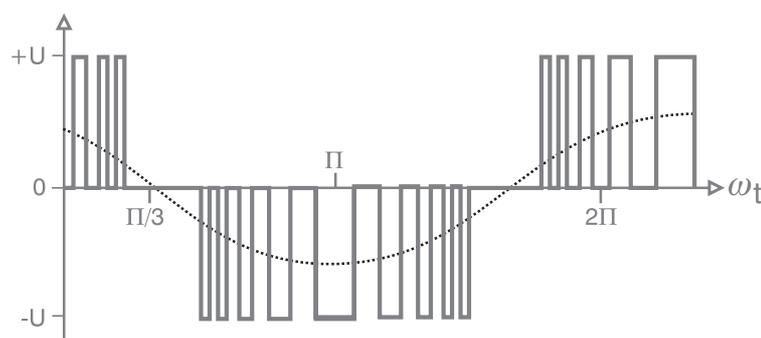
Le réglage de la vitesse se fait actuellement presque exclusivement au moyen de convertisseurs électroniques de fréquence qui alimentent à une fréquence variable les moteurs asynchrones classiques à cage d'écureuil.

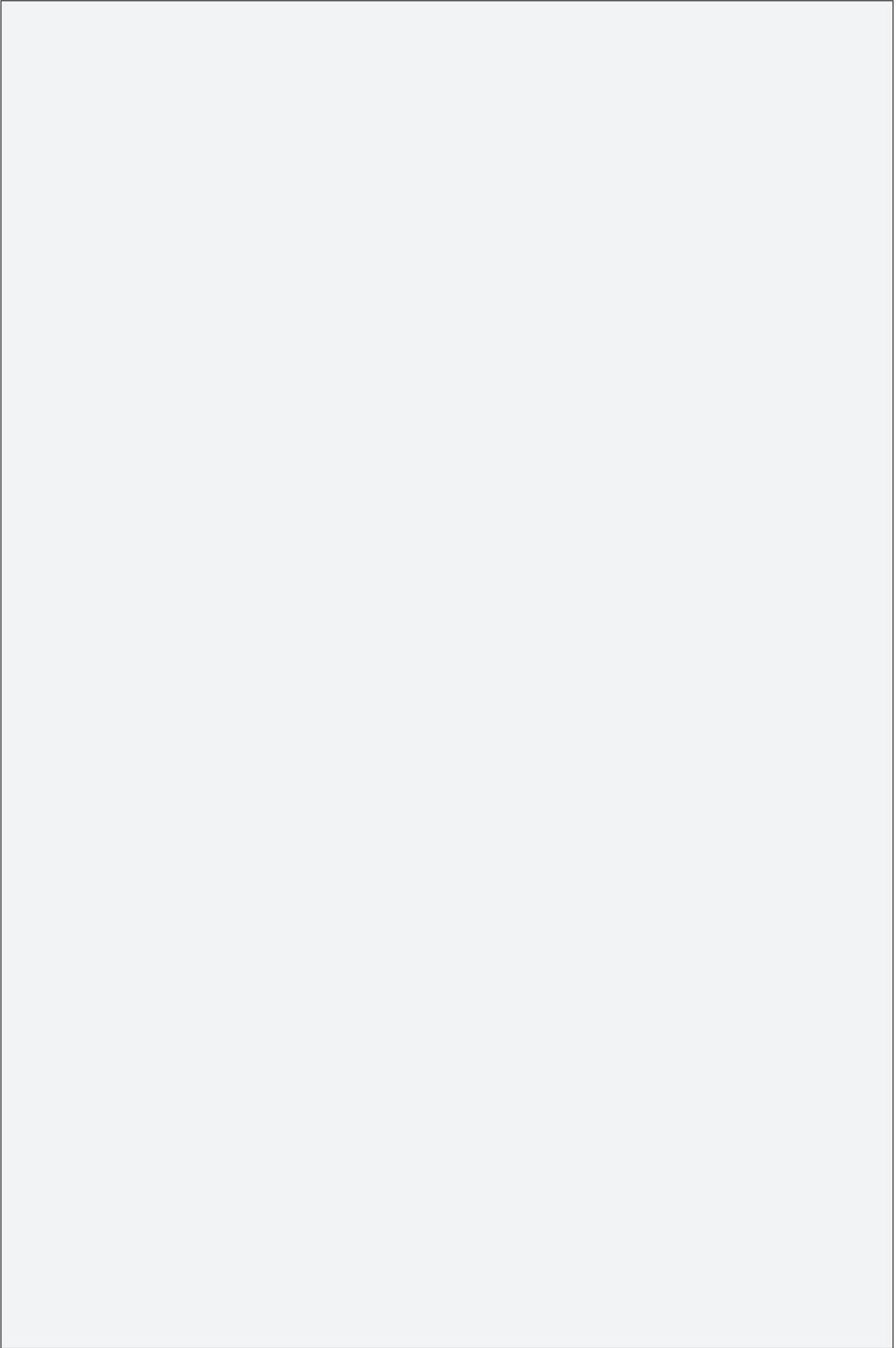
Cette fréquence définit la vitesse de rotation du moteur, légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme.

Il existe d'autres types de variateurs de vitesse, par exemple à courants de Foucault, mais leur rendement est médiocre et ils sont peu répandus (leur avantage est de ne pas introduire d'harmoniques dans le réseau électrique).

Sans entrer dans les détails techniques, notons que les convertisseurs de fréquence comportent généralement les éléments suivants :

- un redresseur transformant la tension alternative 50 Hz du réseau en tension continue ;
- un onduleur transformant la tension continue fournie par le redresseur en une tension alternative (mono- ou triphasée) de fréquence réglable alimentant le ou les moteurs.  
 Cette tension n'est pas une vraie sinusoïde : la sinusoïde est «reconstituée» par des trains d'impulsions de longueur modulée et de hauteur fixe.  
 L'amplitude de la tension est par ailleurs également réglable. C'est ce qui permet :
  - d'ajuster le  $\cos \varphi$  pour les faibles charges ;
  - d'optimiser les caractéristiques de démarrage en fonction du couple demandé ;
- un régulateur permettant de piloter le convertisseur au moyen d'un signal de consigne variable. Ceci permet de faire dépendre la vitesse de n'importe quelle loi choisie en fonction de l'application.  
 Par exemple :
  - vitesse fonction d'une différence de pression ;
  - vitesse fonction d'une température ;
  - vitesse fonction d'une différence de température.





Mis à part le réglage de la vitesse, le convertisseur de fréquence présente les **avantages** suivants :

- grande fiabilité ;
- permet le contrôle du démarrage du moteur (couple et intensité de courant). De ce fait, les contacteurs de démarrage étoile-triangle et leur commande ne sont pas nécessaires (économie de matériel, de place dans le tableau et de main-d'oeuvre, dans le cas d'installations nouvelles) ;
- permet de fixer des limites haute et basse de vitesse, pour définir une plage de réglage ;
- la vitesse nominale correspondant aux 50 Hz du réseau, peut être dépassée ;
- le cosinus  $\varphi$  est bon (environ 0,9). Une compensation n'est donc pas nécessaire ;
- permet d'éviter des entraînements intermédiaires (poulies- courroies) ;
- offre la possibilité d'utiliser un convertisseur de puissance plus faible que la puissance nominale du moteur (adaptation à la puissance nécessaire dans les conditions réelles d'utilisation) ;
- peut régler la vitesse de plusieurs moteurs.

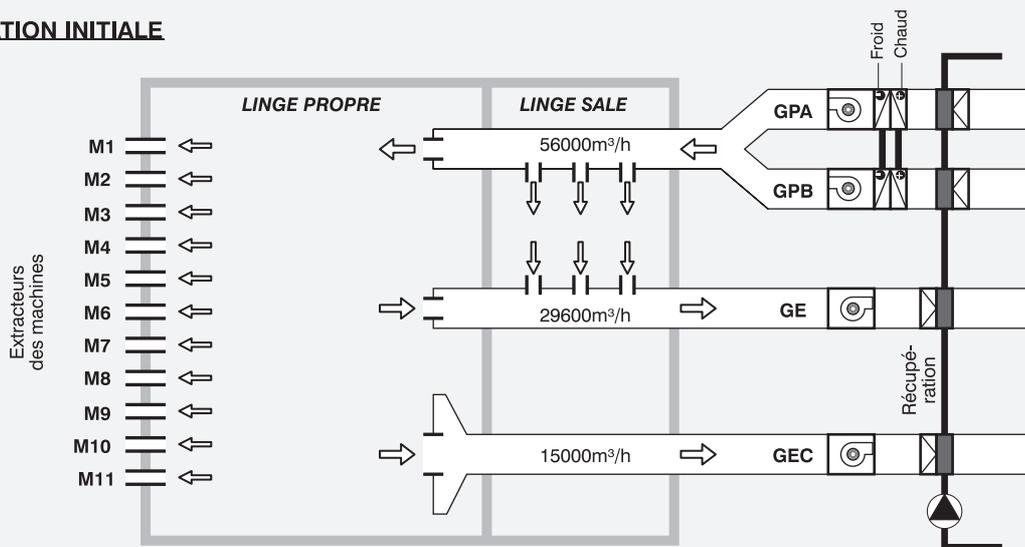
Les **inconvénients** peuvent être (plus ou moins importants selon les marques) :

- création d'harmoniques. Ceux-ci peuvent être gênants pour :
  - le réseau où ils engendrent des perturbations, nuisibles en particulier pour l'informatique. L'adjonction d'un filtre peut être nécessaire (coût supplémentaire),
  - les moteurs car ils provoquent une augmentation des pertes par effet Joule, donc une élévation de température pouvant nécessiter une diminution de la puissance ou l'adjonction d'un ventilateur supplémentaire à vitesse fixe, surtout aux basses vitesses (< à 30 % du régime nominal). Ce «déclassement», de l'ordre de 10 %, peut être ramené à 5 % par l'utilisation de filtre antiharmonique ;
- le rendement du convertisseur n'est pas de 100 %; il est moindre à faible charge (0,75 à 20 Hz, par exemple) qu'à la puissance nominale où il peut dépasser 0,95 ;
- sollicitation plus importante des isolants du moteur à cause des ondes de tension à flanc raide et à fréquence élevée, servant à générer la sinusoïde.

Lors d'une demande de prix et pour les comparaisons du matériel proposé par les différents fournisseurs, il faut être attentif aux possibilités de réglage et de signalisation offertes ainsi qu'au degré des inconvénients. En particulier, si le montage d'un filtre d'harmoniques est nécessaire, il peut renchérir sensiblement l'équipement.



**SITUATION INITIALE**



## UNE RÉALISATION CONCRÈTE : LA BLANCHISSERIE DE L'HÔPITAL VÉSALE

### 1. LA SITUATION DE DÉPART

La blanchisserie de l'hôpital est divisée en deux zones :

- une zone "sale" où arrive le linge souillé ;
- une zone "propre", maintenue en surpression pour éviter toute contamination.

En pleine activité, des apports de chaleur importants sont dégagés par l'ensemble des machines (ils sont estimés à plus de 500 kW) et sont évacués par une ventilation forcée. Cependant, en début de journée hivernale, un complément de chauffage est nécessaire pour "casser le froid" du matin. L'installation de ventilation comprend deux groupes de pulsion et deux groupes d'extraction. Un récupérateur de chaleur sur l'air extrait assure en partie la fourniture de chauffage. Anciennement, la gestion de l'ambiance se faisait manuellement, selon les habitudes et les saisons. Il en résultait souvent des oublis et des aberrations telles que la simultanéité entre le chauffage maximum et l'évacuation forcée des calories excédentaires ...

De plus, le respect de la surpression de la zone propre n'était pas toujours assuré ...

### 2. LE PROJET DE RÉNOVATION

Les groupes de pulsion et un groupe d'extraction ont été équipés de variateurs de vitesse (le deuxième groupe d'extraction est maintenu en fonctionnement continu pour prévenir tout risque de contamination du linge propre).

De plus, le circulateur du récupérateur de chaleur a lui aussi été muni d'un variateur de vitesse.

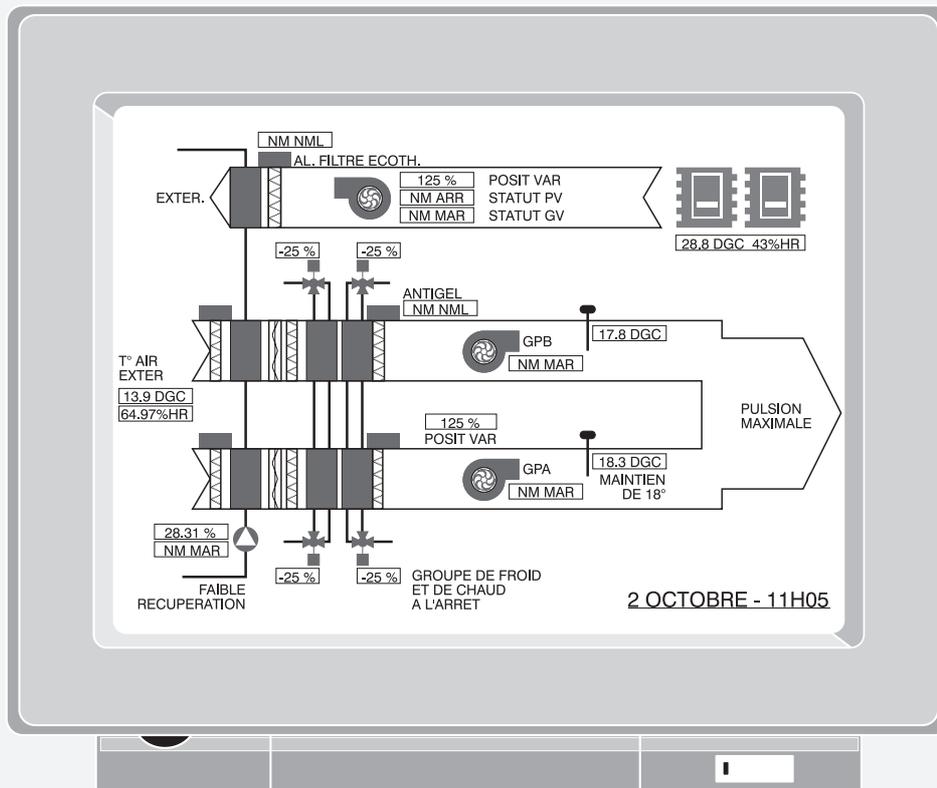
Il est donc possible de passer graduellement d'une position chauffage avec récupération de chaleur sur l'air extrait vers une position de ventilation maximale des apports donnés par des calandres et séchoirs.

Une régulation en fonction de la température et de l'humidité ambiantes et de la température extérieure permet une adaptation des débits d'air tout en maintenant la surpression en zone "linge propre".

De plus, une régulation du circulateur de la récupération de chaleur permet d'utiliser cette chaleur gratuite tout en contrôlant la température de pulsion.



02/10/92 - 11h05 : Phase de régime  
 la récupération de chaleur assure la limite basse de pulsion



Le diagramme ci-contre est un "print screen" de la GTC qui supervise les installations thermiques de l'hôpital. Il nous permet de visualiser la phase de fonctionnement à 11h00 : la récupération assure seulement la limite basse de pulsion à 18°C.

Et les groupes de froid et de chaud sont à l'arrêt !

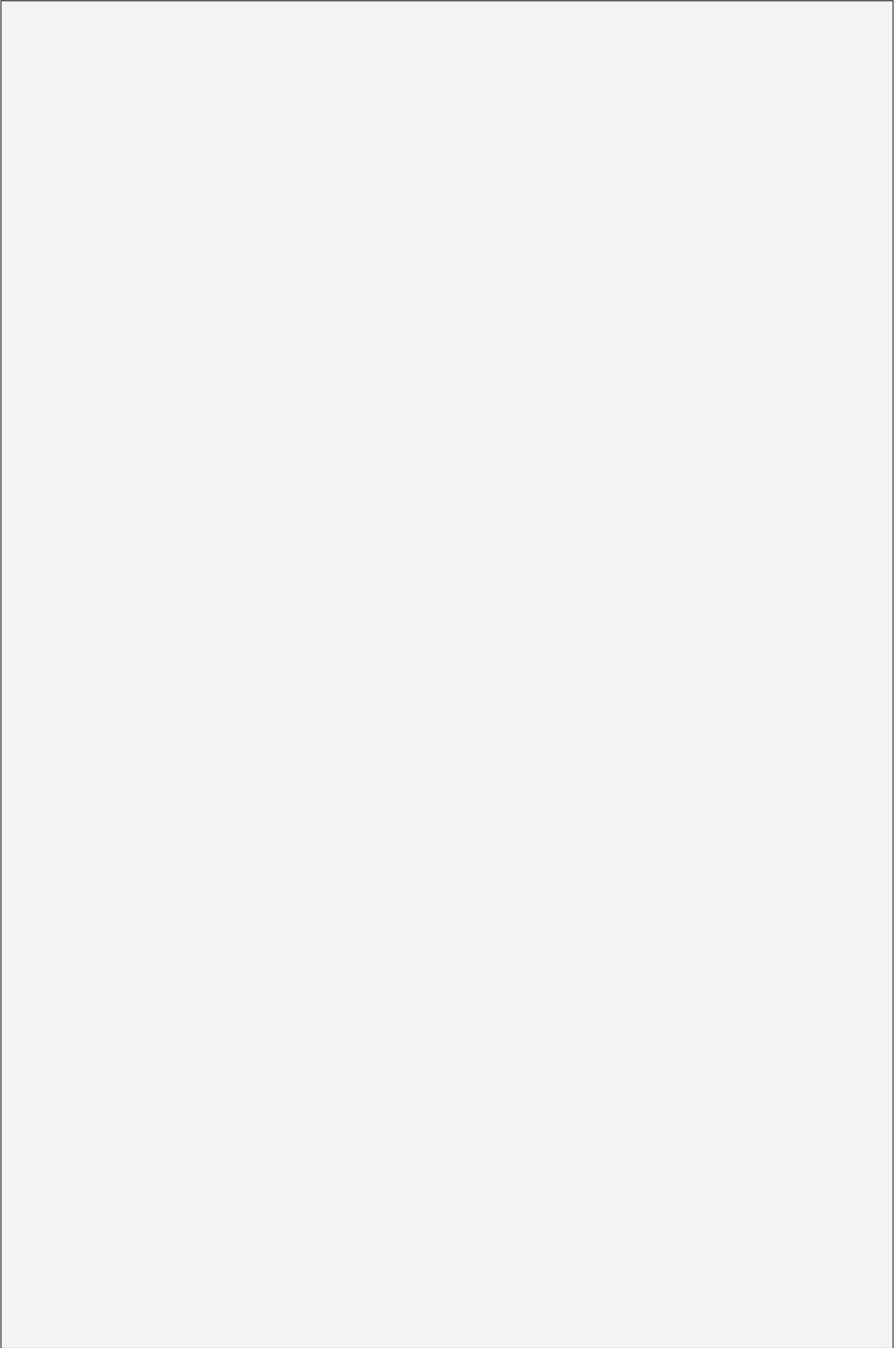
### 3. LA RENTABILITÉ FINANCIÈRE

L'investissement total a été de 1,7 million BEF, dont 1,2 Mio BEF pour les trois variateurs et 0,5 Mio BEF pour le complément de GTC.

L'économie n'a pu être mesurée puisque intégrée à la consommation de l'hôpital. L'estimation calculée montre une économie de 330.000,-BEF en gaz de chauffage et 550.000, BEF en électricité (dont 250.000, BEF pour la réduction de la pointe 1/4 horaire). Le temps de retour est donc de deux ans environ.

Il est certain que cette estimation a été confirmée par la pratique puisque l'ensemble des mesures prises pour réduire le coût du transport de l'énergie dans l'hôpital (actions sur les circulateurs et les ventilateurs) a entraîné une réduction de la consommation électrique de 9 %, soit 1 million de kWh ou 3 Mio BEF par an.





## CONCLUSIONS

La conception traditionnelle des installations thermiques (chauffage, climatisation) est basée sur un débit d'air ou d'eau constant et une variation du régime des températures en fonction de la charge.

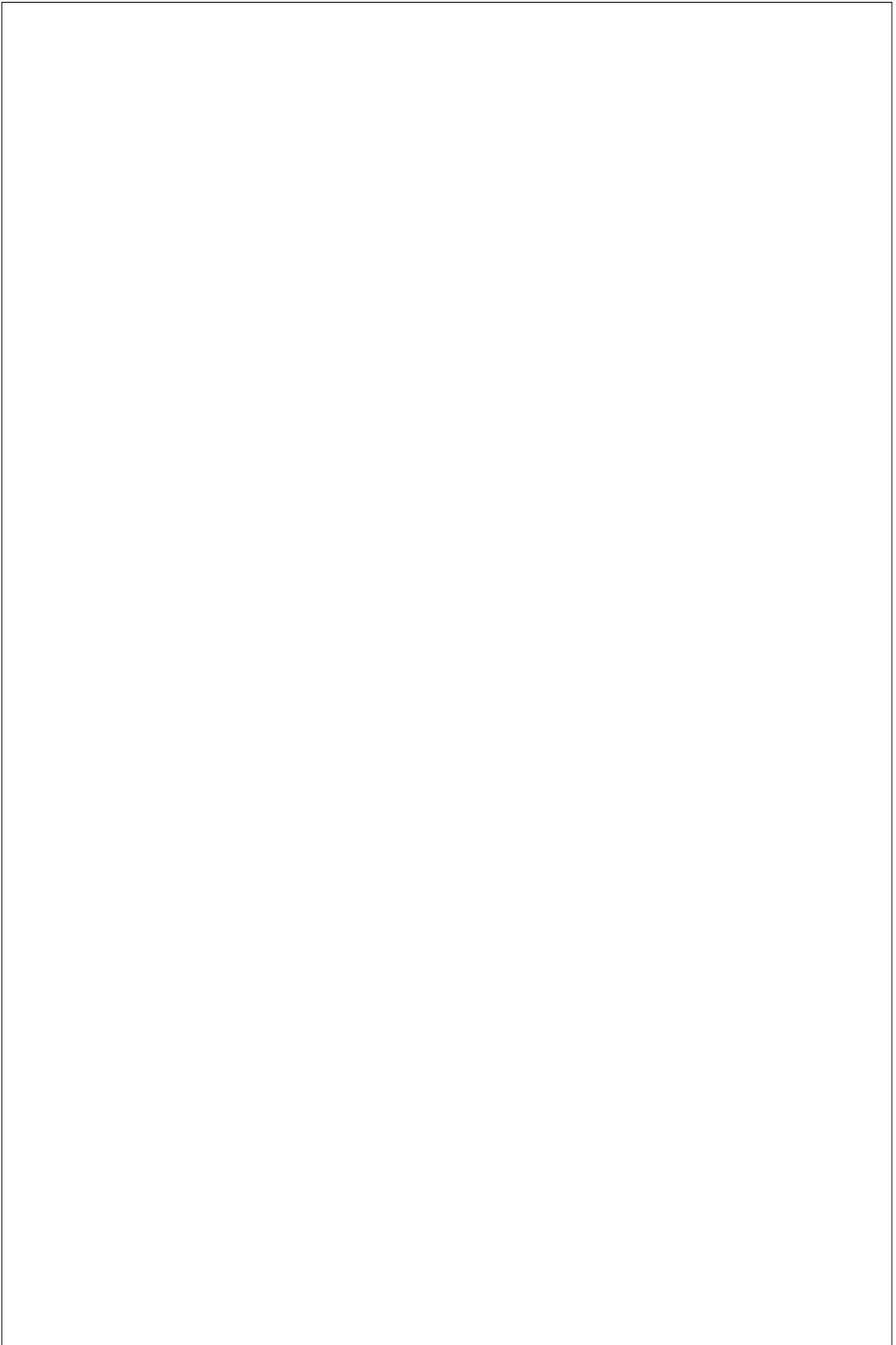
Les possibilités technologiques actuelles de modification des débits en fonction des besoins modifient l'approche. Le premier système concerné a été l'installation de conditionnement d'air qui a adopté le VAV (Volume d'Air Variable). Et pour cause : le transport de l'air représente de 10 à 30 % de l'énergie transportée. Progressivement, les applications hydrauliques vont apparaître, après adaptation des circuits de distribution.

**Dans les installations existantes**, l'introduction de la variation de débit entre en conflit avec les régulations agissant sur les températures de départ. Une éventuelle augmentation des températures de départ, favorable à la réduction de vitesse, entraîne une augmentation des pertes à la distribution. L'adjonction de variateurs de vitesse ou le remplacement de pompes par des pompes à vitesse variable n'est rentable que pour des éléments de puissance élevée ou pour des applications à forte variation de charge, telles que :

- ventilations réglées en fonction de la présence des occupants (salles de spectacles, salles de sport, réfectoires, ...);
- ventilateurs de tours de refroidissement ;
- circulateurs sur circuits alimentant des locaux à charges très variables et dont les radiateurs sont équipés de vannes thermostatiques ;
- ...

Dans les autres cas, on privilégiera d'autres interventions moins coûteuses, comme l'arrêt des installations en fonction de la température extérieure.

Par contre, **dans des installations nouvelles**, qui plus est conçues en pensant à la vitesse variable, il est vivement conseillé d'installer systématiquement des circulateurs, pompes, ventilateurs à vitesse variable. Avec une régulation appropriée, le surcoût de ces équipements est amorti rapidement.

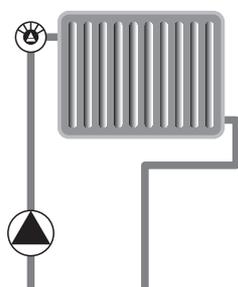


## COMMENT COMMANDER LA VITESSE DE ROTATION D'UN CIRCULATEUR DE CHAUFFAGE ?

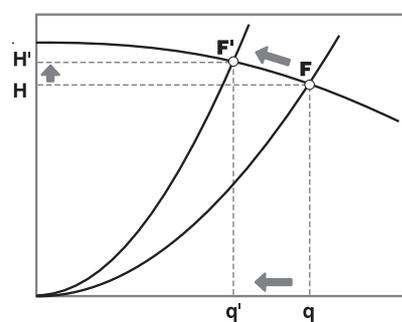
Pour comprendre les solutions à adopter sur les réseaux équipés de vannes deux voies, on décrit ci-dessous la situation hydraulique lors de la fermeture des vannes.

### QUE SE PASSE-T-IL LORSQU'UNE VANNE THERMOSTATIQUE SE FERME ?

La température est presque atteinte dans le local.  
Le débit d'alimentation du radiateur doit diminuer.  
La vanne se ferme.



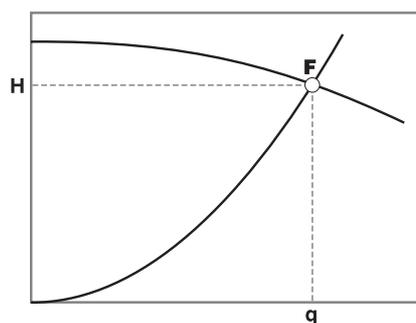
APRES



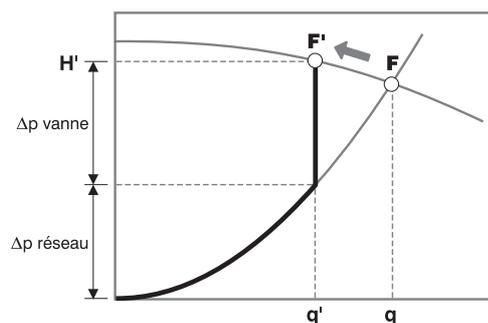
L'augmentation de la perte de charge suite à la fermeture de la vanne entraîne une augmentation de la pression délivrée par le circulateur.

Mais on aurait pu également représenter cette évolution comme suit :

AVANT

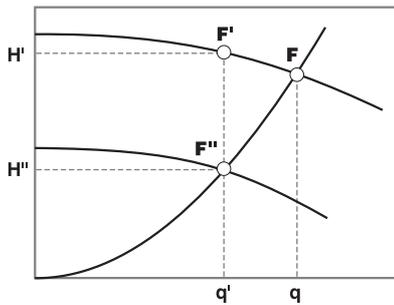


APRES



Le débit ayant diminué, le  $\Delta p$  du réseau a diminué également. Et une perte de charge locale supplémentaire  $\Delta p_{\text{vanne}}$  a été provoquée pour freiner le débit.

Ce  $\Delta p_{\text{vanne}}$  est provoqué en pure perte ! Idéalement, c'est la vitesse du circulateur qui aurait dû diminuer :



$H''$  est suffisant pour générer un débit  $q'$  dans le radiateur !

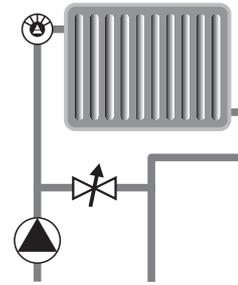
La pompe s'adapte alors aux besoins et suit la courbe du réseau.

La consommation énergétique est minimale.

**«Freiner avec une vanne thermostatique, c'est un peu appuyer sur la pédale de frein sans lâcher l'accélérateur !»**

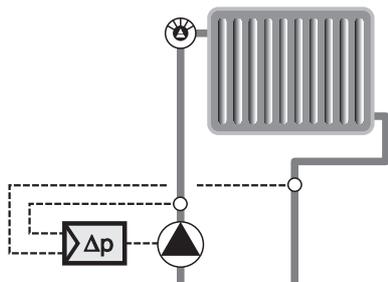
Mais les installations ne comprennent pas qu'un seul radiateur, et la solution qui consisterait à réguler la vitesse du circulateur par un thermostat d'ambiance et de se passer de vanne thermostatique n'est malheureusement pas applicable.

## ET SI ON PLACE UNE SOUPAPE À PRESSION DIFFÉRENTIELLE?

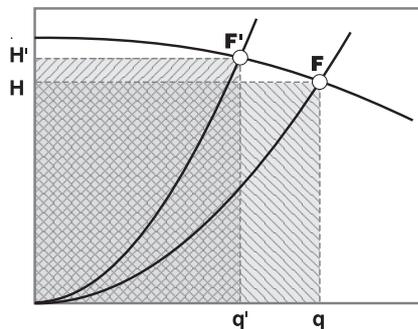


Le débit qui ne passa pas dans le radiateur est à présent by-passé dans la soupape. Le circulateur n'y voit que du feu ! Autrement dit, la consommation restera identique.

**ET SI ON PLACE UN CIRCULATEUR À VITESSE VARIABLE RÉGLÉ POUR MAINTENIR LA PRESSION ?**

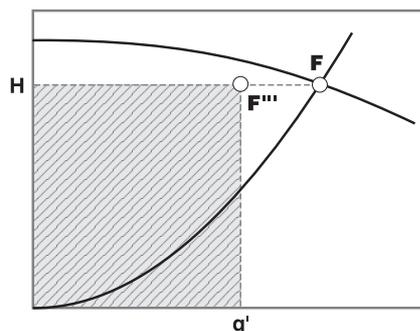
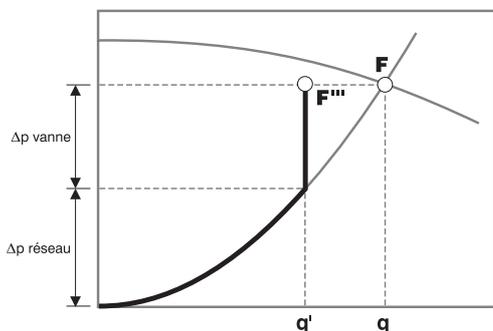


Comparons les niveaux d'énergie des différentes solutions :



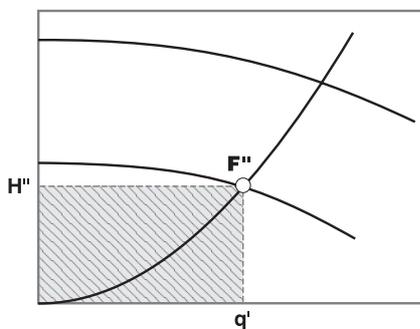
Solution 1 :  
Etranglement

Cette solution apparaît comme une demi-mesure : le réseau n'a plus besoin d'une pression identique puisque le débit de l'eau a diminué, entraînant la diminution des pertes de charge.



Solution 2 :  
Vitesse réduite par pression constante

L'économie d'énergie est partielle.

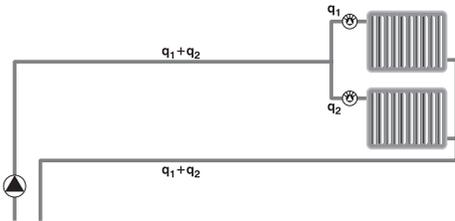


Solution 3 :  
Vitesse réduite par suivi courbe réseau

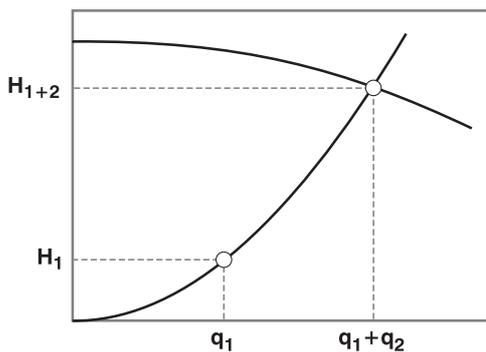
**ET SI PLUSIEURS VANNES SONT PRÉSENTES SUR LE RÉSEAU, FAUT-IL TOUJOURS ESSAYER DE RÉDUIRE LA VITESSE EN RESTANT SUR LA COURBE DU RÉSEAU ?**

La situation est un peu plus complexe car plusieurs réseaux sont mis en parallèle et en série.

- si le réseau commun représente l'essentiel de la perte de charge : OUI

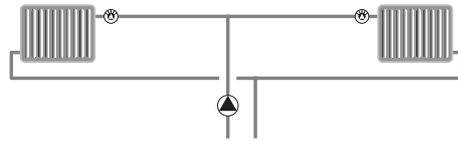


La fermeture de  $q_2$  peut être interprétée comme dans le cas précédent, en bonne approximation.



C'est en particulier le cas des longs réseaux de chaleur entre chaufferie et sous-stations : le pilotage de la pompe nécessite des prises d'informations dans les sous-stations (télégestion obligatoire). Voir article de J. Quinton dans la revue CVC de mai 95.

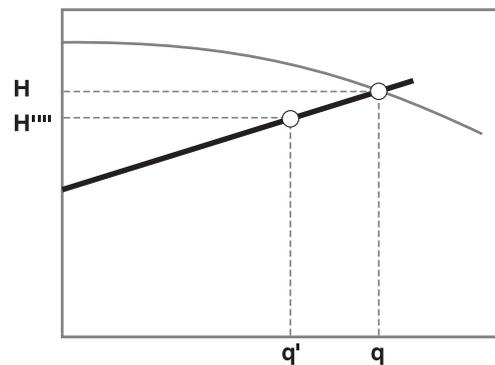
- si le réseau commun est court : NON

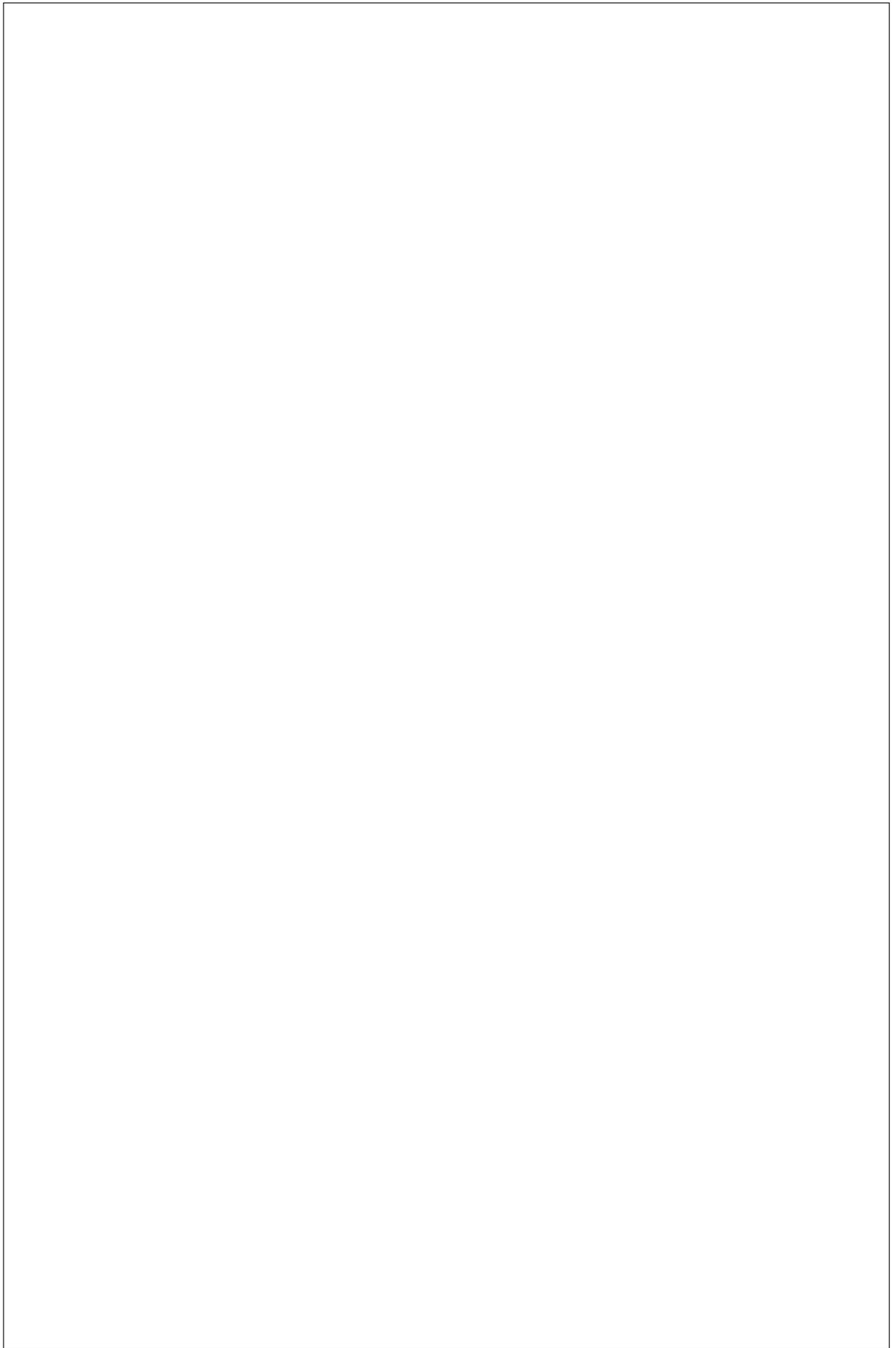


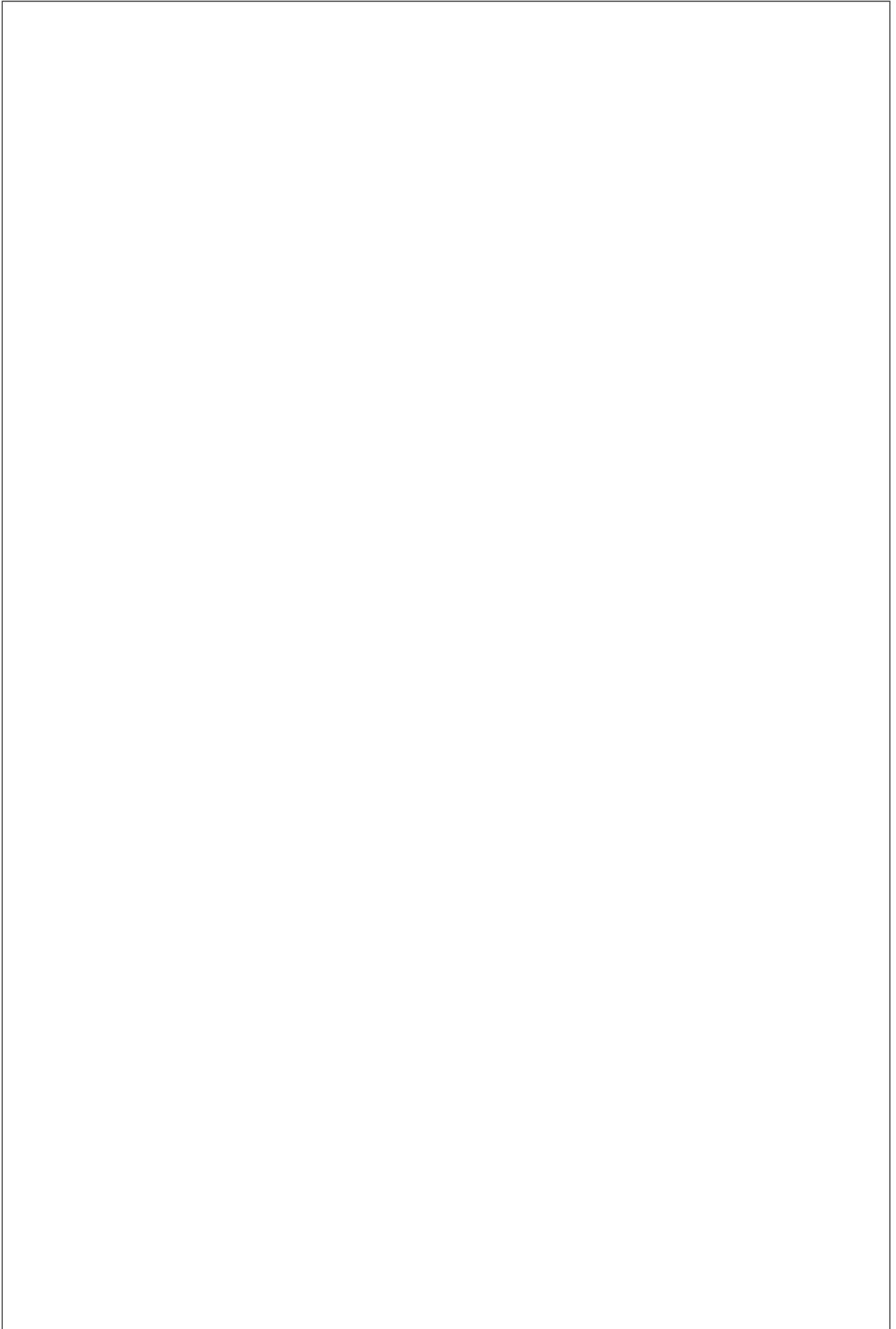
Lorsqu'un des radiateurs se ferme, le débit total diminue mais son influence est faible sur les pertes de charges à vaincre par le circulateur. La pression disponible pour l'autre radiateur doit pratiquement rester identique.

- si le réseau est constitué d'associations multiples de radiateurs en parallèle et en série (cas le plus fréquent des réseaux de chauffage de grands bâtiments) ?

C'est la solution intermédiaire qui doit être rencontrée. De là, la solution proposée par certains fabricants de faire suivre une diminution linéaire de la pression lorsque le débit demandé diminue.







Déjà parus dans la même collection :

Fascicules techniques

- Guide au dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire
- Comment réagir à une situation d'urgence ?
- La surveillance des cuves à combustible liquide enfouies dans le sol
- Comptabilité énergétique. Pourquoi ? Comment ?
- La signature énergétique. Interprétation
- La télégestion des petites chaufferies décentralisées
- Motiver à l'utilisation rationnelle de l'énergie
- Choisir une protection solaire
- Climatiser un local
- La gestion de la pointe 1/4 horaire
- La récupération de chaleur
- La rénovation de l'éclairage
- Bureautique et énergie

Fiches technico-commerciales

- Mesure de la consommation du fuel
- Types de vitrages
- Types de châssis

Etudes de cas

- Rénovation de chaufferie à la communauté scolaire Saint Benoît à Habay-la-Neuve
- Isolation thermique et étanchéité d'une toiture plate

Le Ministère de la Région Wallonne peut vous aider à mener à bien une politique URE dans votre institution via des formations, des conseils méthodologiques et techniques sur le terrain, des subsides à l'investissement URE.  
Renseignements au 081/32.12.11

**Auteur :**

Philippe Marique  
Enerplan  
rue Beeckman, 67  
1180 bruxelles  
Tél. : 02/346.10.11

**Réalisation :**

Architecture et Climat (UCL)  
Place du Levant, 1  
1348 Louvain-la-Neuve  
Tél. : 010/47.21.42

**Editeur responsable :**

Ministère de la Région Wallonne  
DGTRE - Service de l'Énergie  
Avenue Prince de Liège, 7  
5100 Jambes  
Tél. : 081/32.12.11

© 1997, Ministère de la Région Wallonne  
Dépôt légal : D/1997/5322/55  
Reproduction autorisée moyennant indication de la source

