

Réduction des consommations énergétiques par l'optimisation des circuits à débit variable

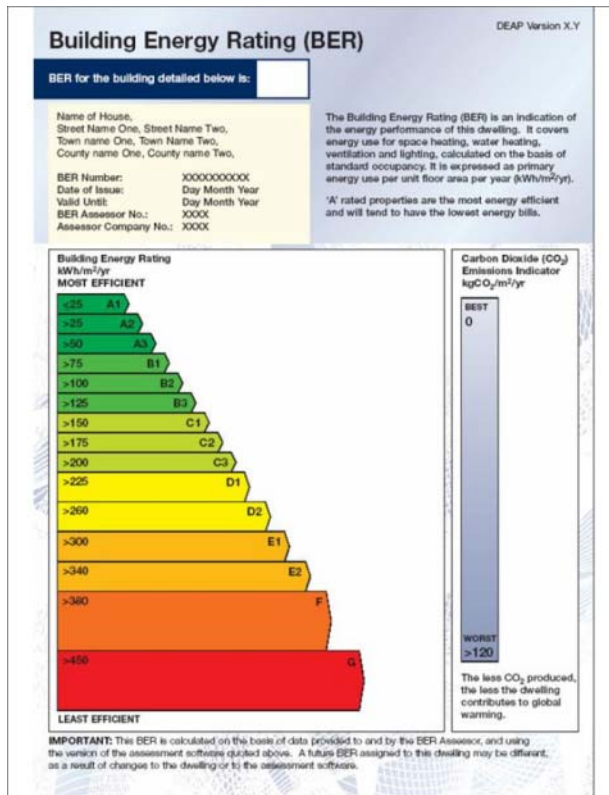


Economie d'énergie...

- 40% de l'énergie totale est utilisé dans les bâtiments
- 60 % de l'énergie d'un bâtiment est lié à l'installation CVC



Labellisation des bâtiments



Affichage dans les bâtiments



■ Introduction

- Utilisation de l'énergie
- Efficacité énergétique de la production: la gestion du ΔT

■ Comportement des unités terminales travaillant à débit variable

- Caractéristique globale d'un circuit

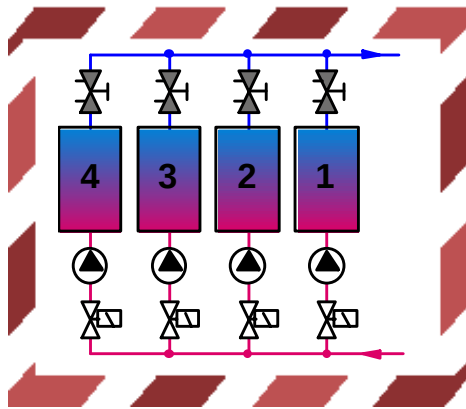
■ Consommation électrique des pompes

- Pompe à vitesse variable: mode de régulation et emplacement du capteur de DP
- Optimisation de la consommation d'énergie grâce à la qualité de la régulation et minimisation de la consommation des pompes

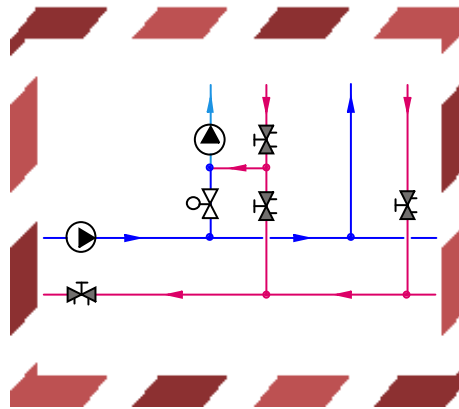
■ Conclusion

CVC: Production-Distribution-Dissipation

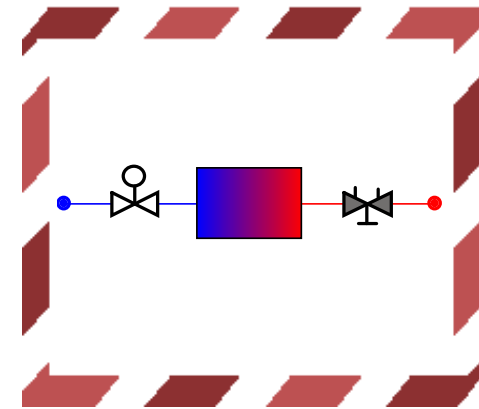
Production



Distribution



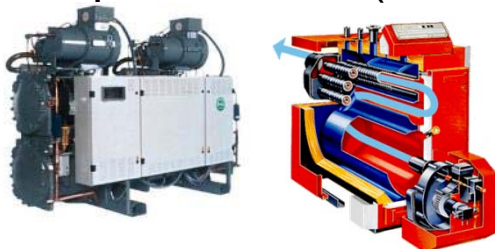
Dissipation



Utilisation de l'énergie:

70% to 80%

Groupe de froid (électricité)
Chaudière(gaz/fuel ...)
Pompe à chaleur (électricité, ...)



10% to 15%

Pompes (électricité)



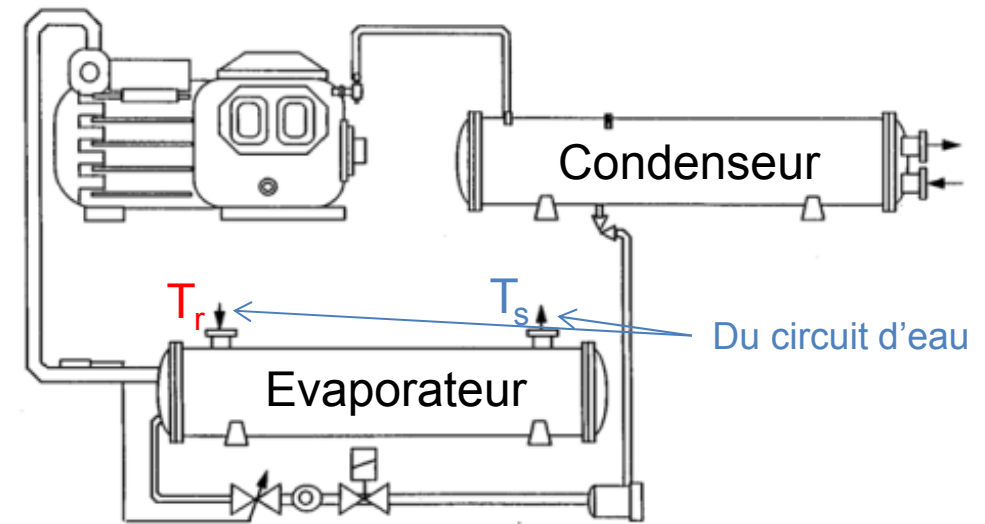
Moteurs(électricité)
GTB / régulateur(électricité)



Les groupes de froid...

- Le Coefficient de Performance (COP) est utilisé pour indiquer le rendement du groupe de froid:

$$COP = \frac{P_{\text{évaporateur}}}{P_{\text{compresseur}}} \approx 2.5 \dots 4 \dots 6$$



- Maintenir un $\Delta T = T_s - T_r$ élevé, permet d'obtenir un meilleur coefficient COP au charge partielle (lié à la moyenne logarithmique de la différence de température entre le fluide frigo-porteur et le fluide frigorigène)
- Si la température de départ est constante alors la température de retour doit être maintenue la plus élevée possible

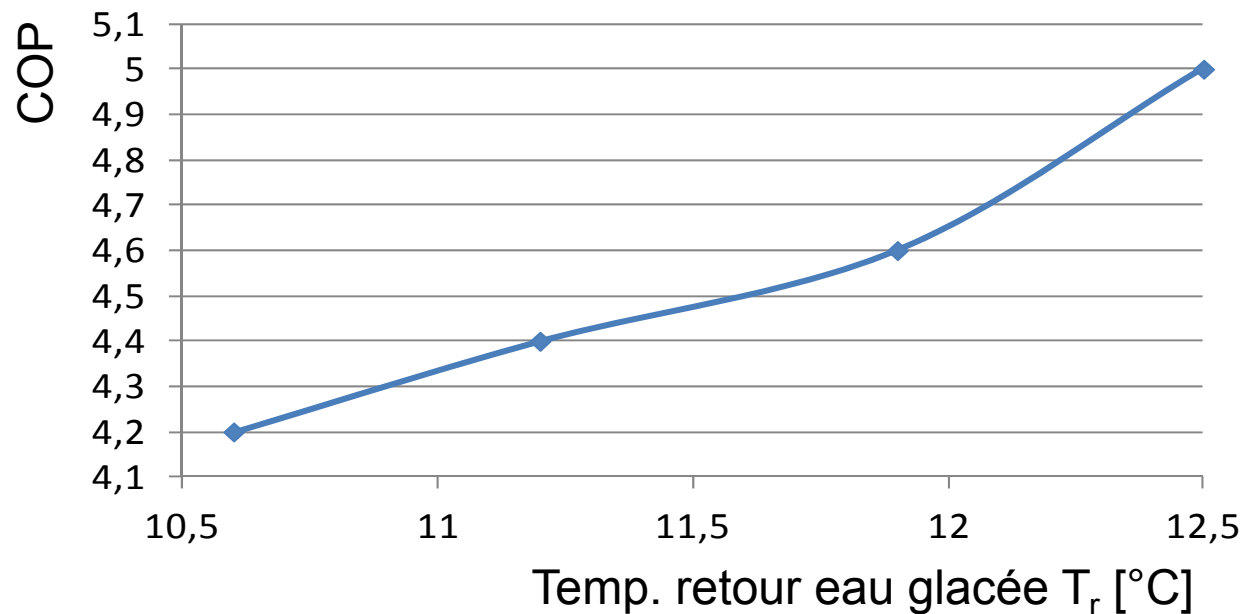
Effet d'une réduction de la t° de retour sur le COP

■ Exemple :

Groupe de froid : 200 tons (703 kW)

Régime de température condenseur à eau : $29,5^\circ/35^\circ\text{C}$

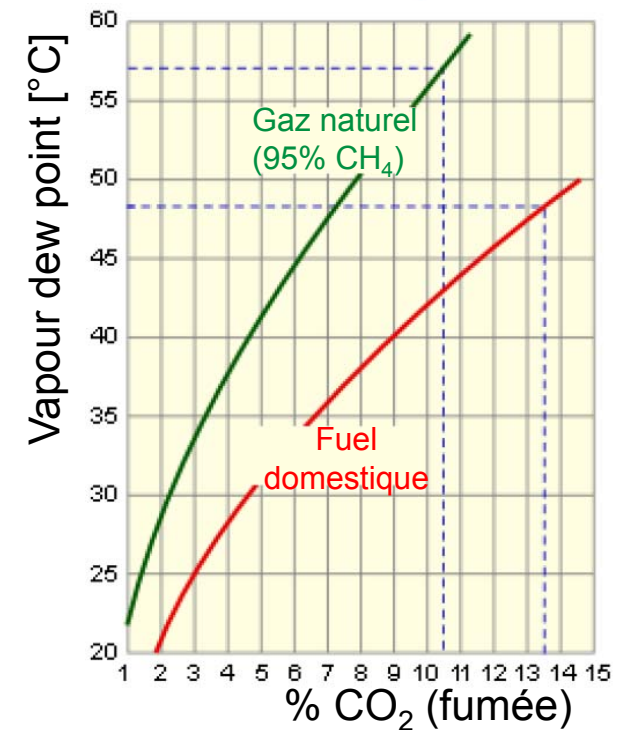
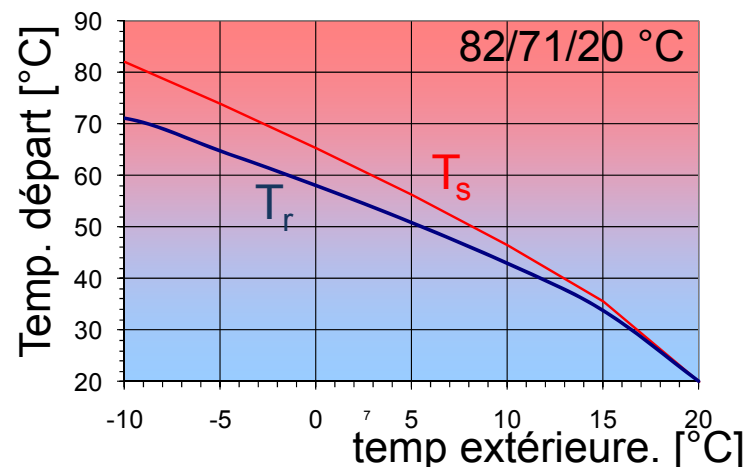
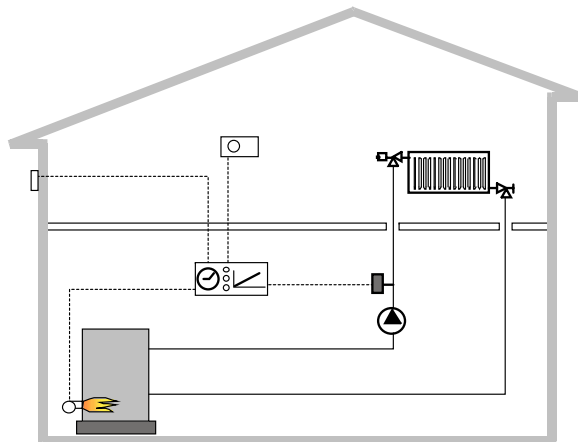
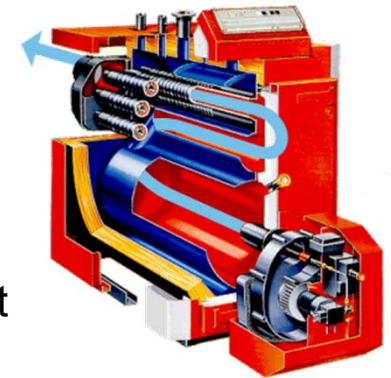
Température départ eau glacée T_s : 7°C



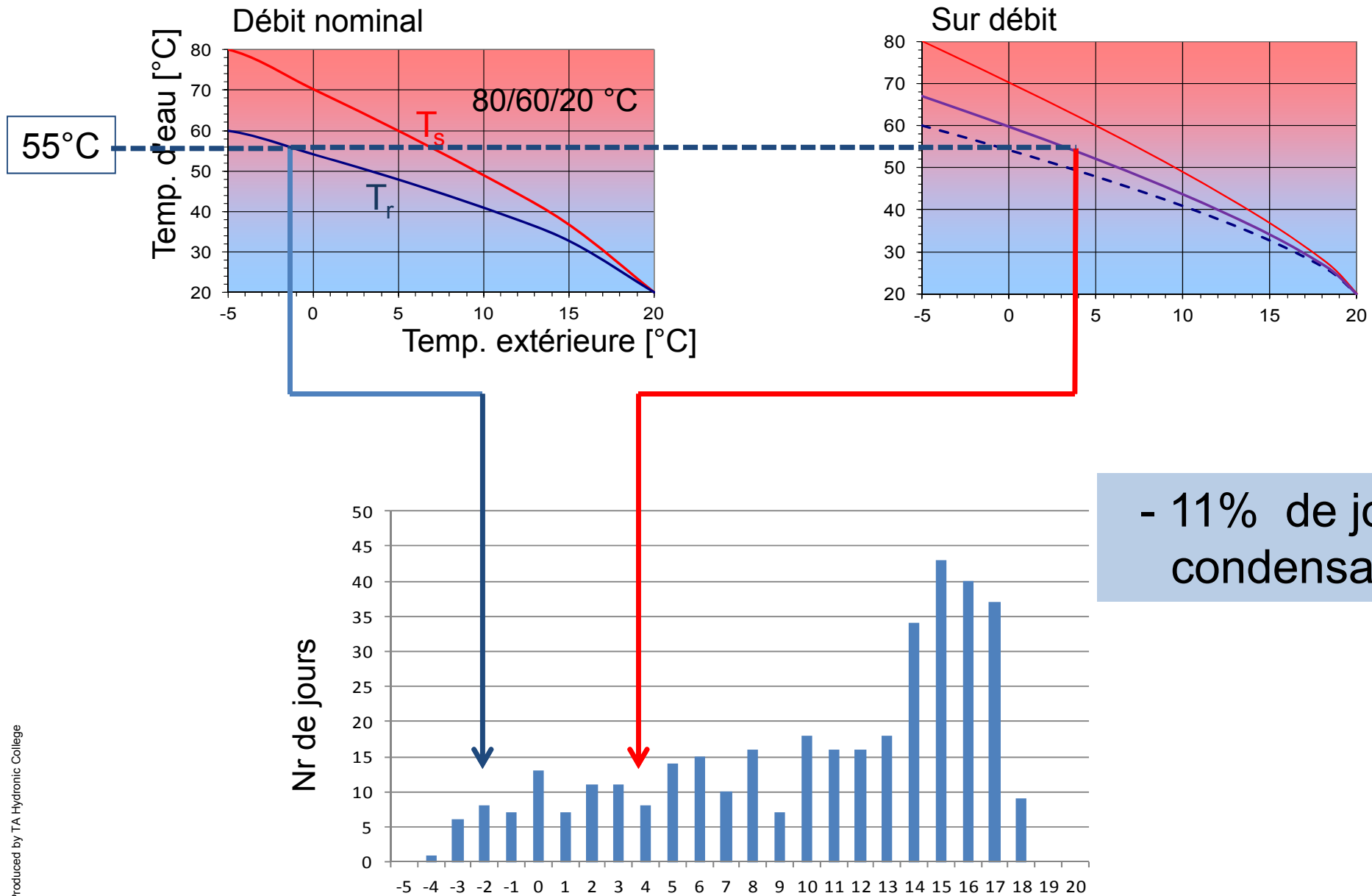
- Une réduction de la t° de retour de l'eau glacée peut entraîner une chute du COP jusqu'à 15%

Les chaudières à condensation...

- Diminuer la température des fumées, avec un échangeur spécifique, de 5 à 15°C au dessus de la température d'eau de retour:
 - La condensation de la vapeur d'eau contenue dans les fumées permet de récupérer jusqu'à 11% de rendement (chaleur latente).
 - La Réduction de la température des fumées permet de récupérer jusqu'à 4-5% de rendement (chaleur sensible)
- La température de retour doit être maintenue la plus basse possible (grand ΔT) pour bénéficier de la condensation

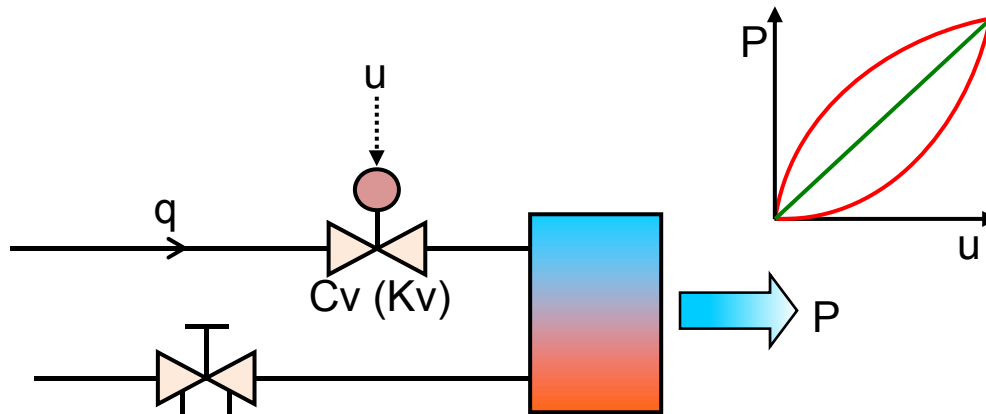


Influence du sur débit sur la condensation



Débit variable et régulation

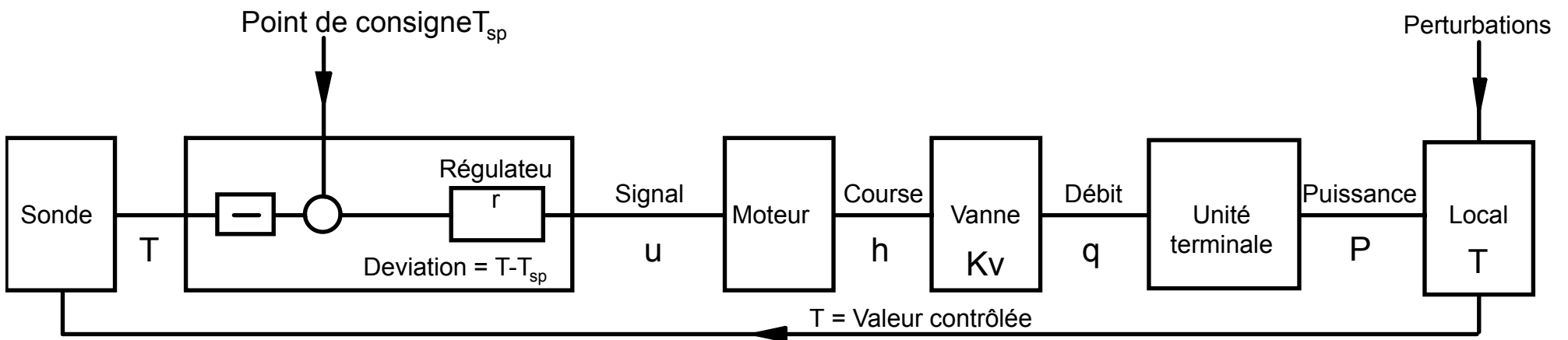
Régulation de la température ambiante



Pour un contrôle **stable** et **précis** de la température ambiante, la **caractéristique globale** du circuit doit être aussi **linéaire** que possible.

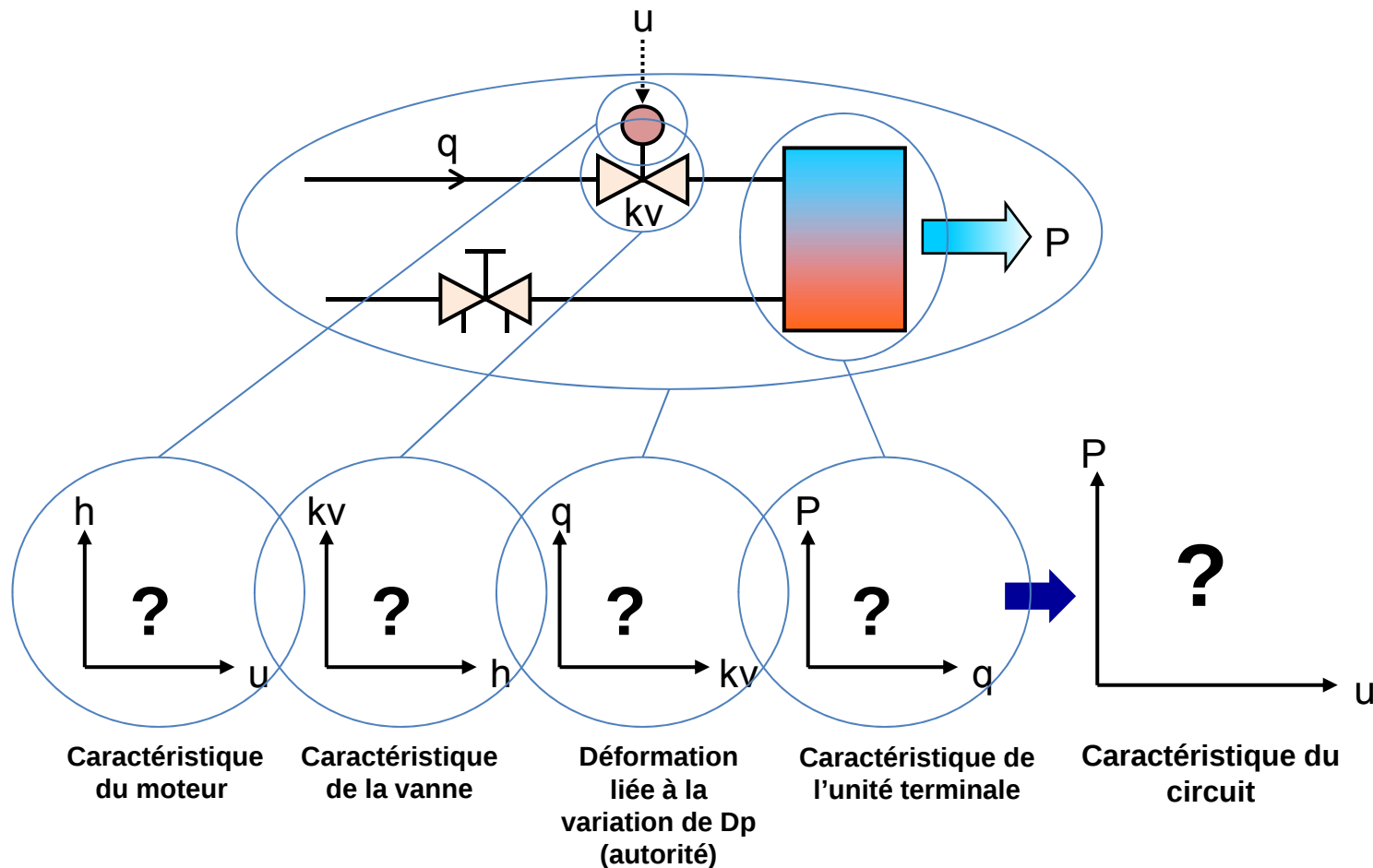
Toutes autres caractéristiques conduisent à une **oscillation** et un **mauvaise précision** de la régulation et ce indépendamment de la qualité du système de régulation.

Boucle de régulation de température ambiante:



Caractéristique globale du circuit...

La **caractéristique globale** est le résultat de la **combinaison** des caractéristiques de chacun des **composants** de la boucle



Le coût de l'inconfort...

6 à 11% *

Coût pour 1°C trop haut
de la température ambiante

Chauffage

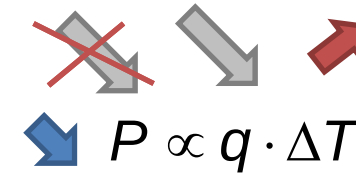
12 à 18% *

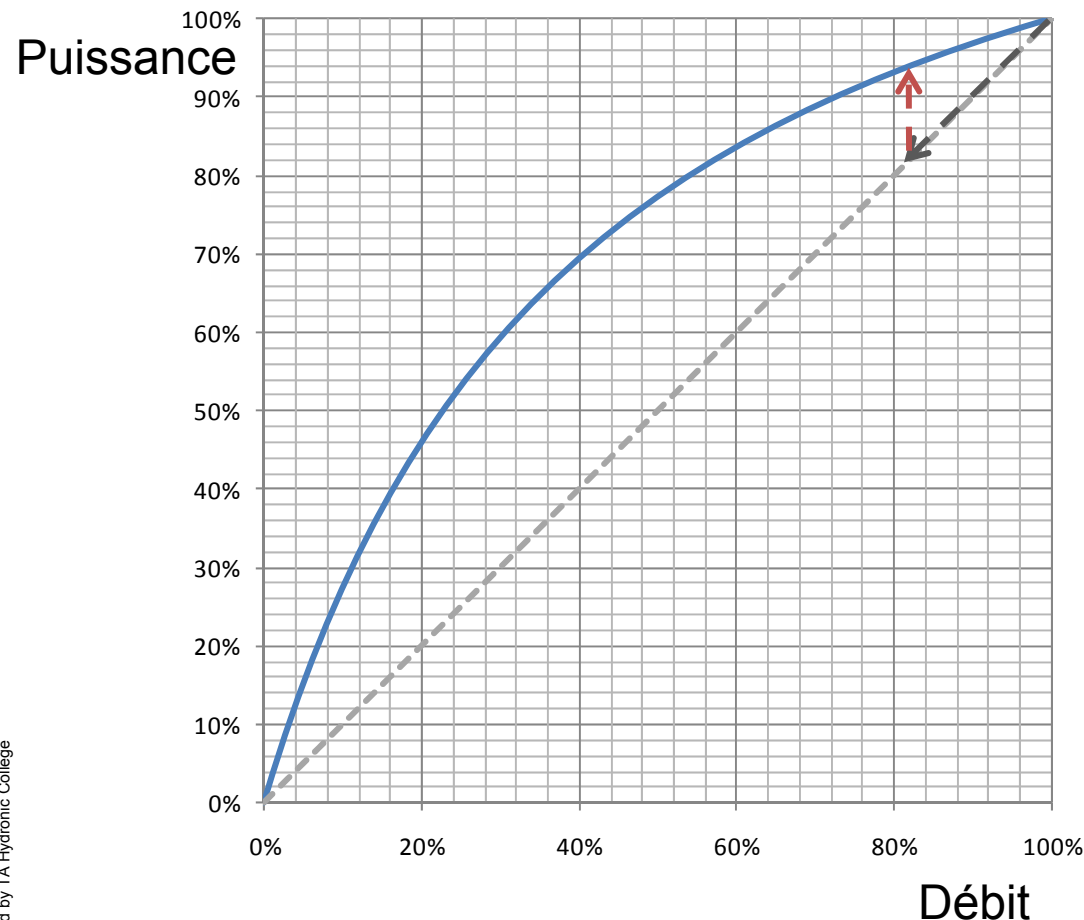
Coût pour 1°C trop bas
de la température ambiante

Froid

(*) par rapport à la consommation annuelle d'énergie

Caractéristique de l'unité terminale...


 $P \propto q \cdot \Delta T$



- Quand le débit est réduit alors,
- le ΔT augmente,
- donc la caractéristique n'est pas linéaire.

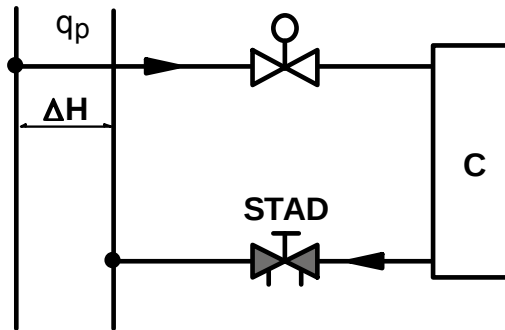
- Le degré de non linéarité dépend du coefficient d'efficacité Φ :

$$\Phi = \frac{T_{\text{Retour}} - T_{\text{Départ}}}{T_{\text{Intérieure}} - T_{\text{Départ}}}$$

Exemple : $\Phi = \frac{12^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}}{24^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}} = 0.29$

Débit variable sur une unité terminale...

Vanne 2 voies(débit variable)



Le ΔT augmente quand le débit diminue.



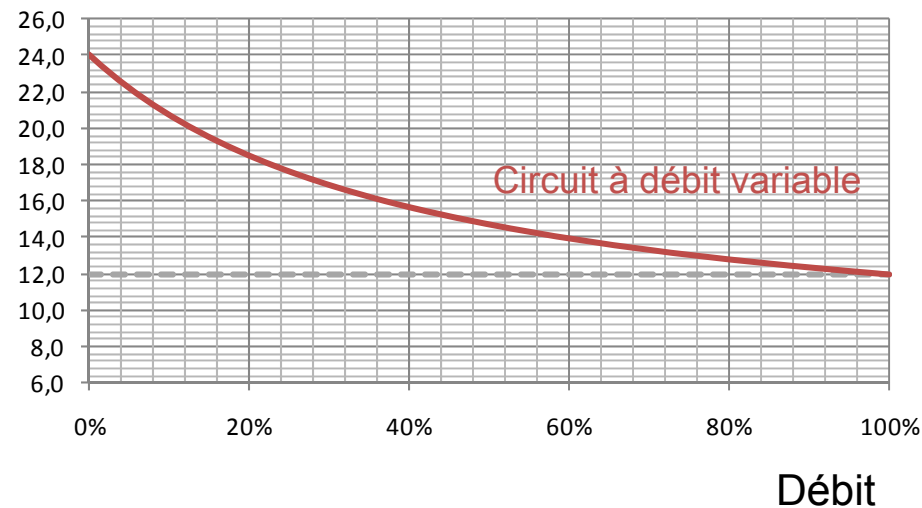
La température de retour **augmente**
quand le débit diminue.

Froid



Bénéfique pour le COP des groupes de froid.

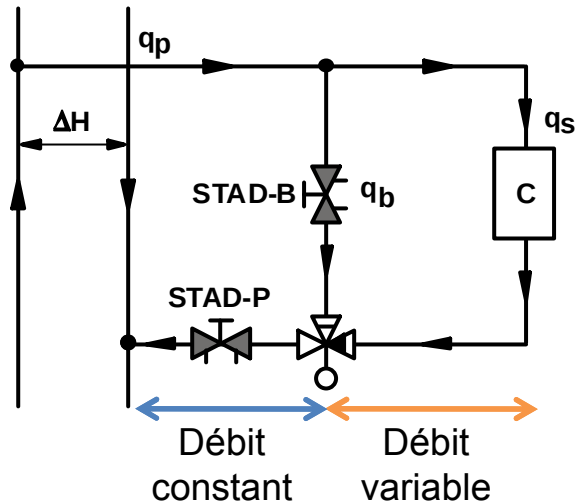
Temp. retour T_r



Températures nominales:
 $T_s/T_r/T_i = 7/12/24^\circ\text{C}$

Débit variable sur une unité terminale...

Vanne 3 voies(Débit constant)



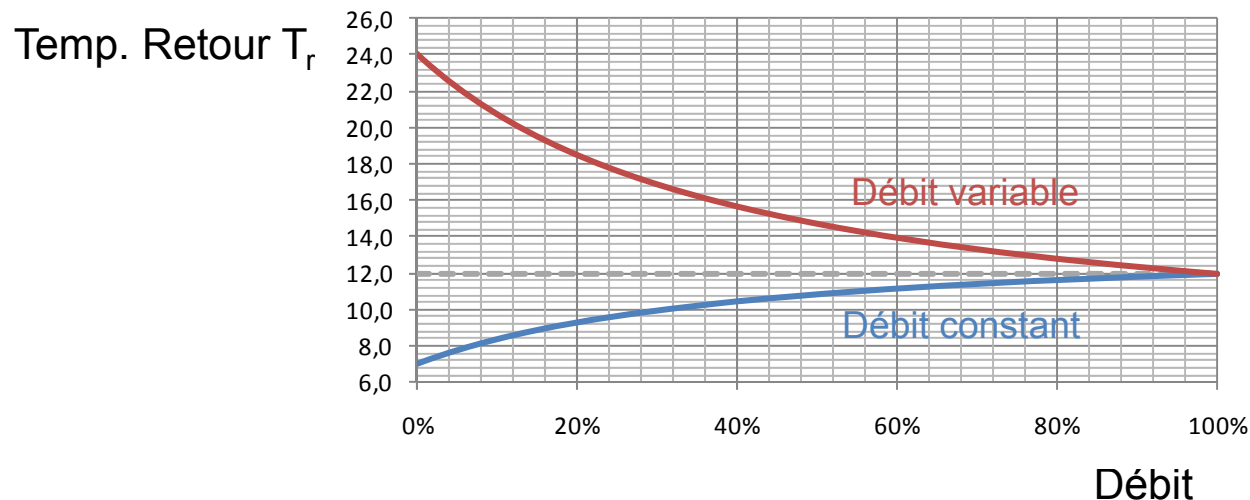
Le ΔT augmente quand le débit diminue.



Mais le débit du bipasse de la vanne 3 voies augmente proportionnellement.



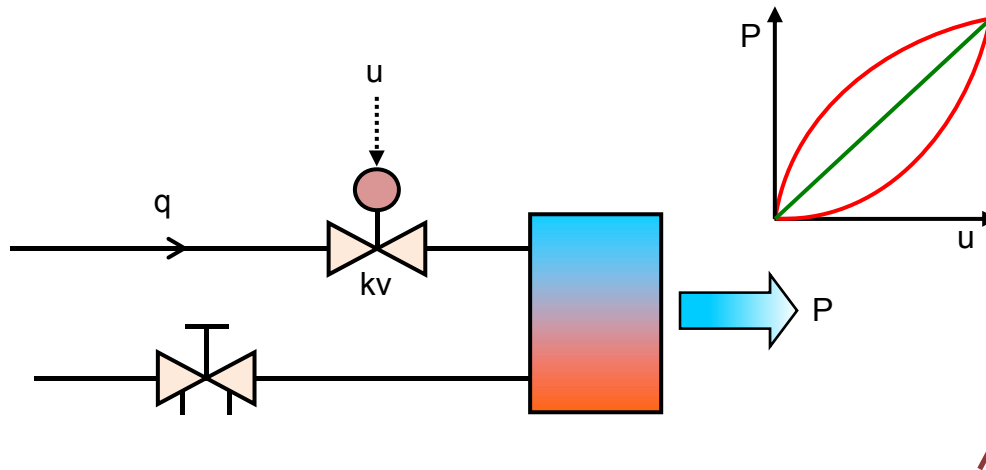
La température de retour diminue quand le débit diminue!!!



Froid

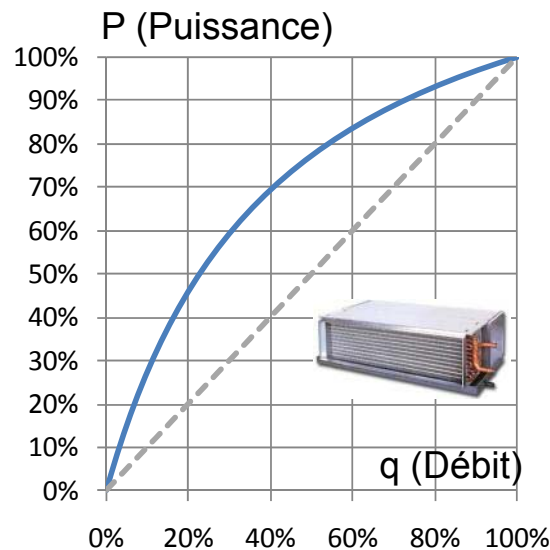
Régime de température:
 $T_s/T_r/T_i = 7/12/24^\circ\text{C}$

Compensation de la caractéristique...

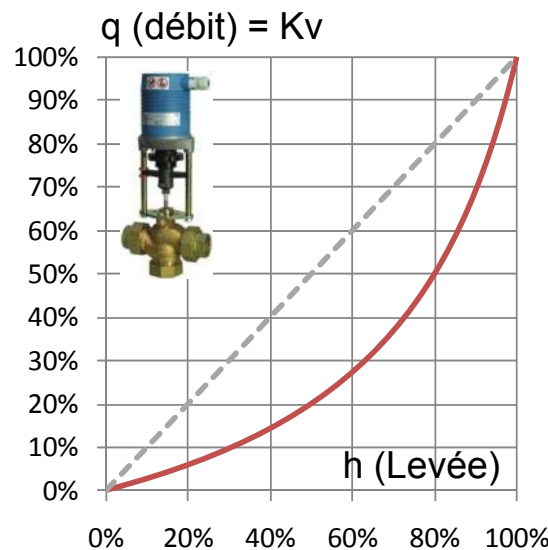


Pour obtenir une caractéristique de circuit linéaire, la non linéarité de l'unité terminale est compensée par une vanne de régulation « Egal pourcentage »

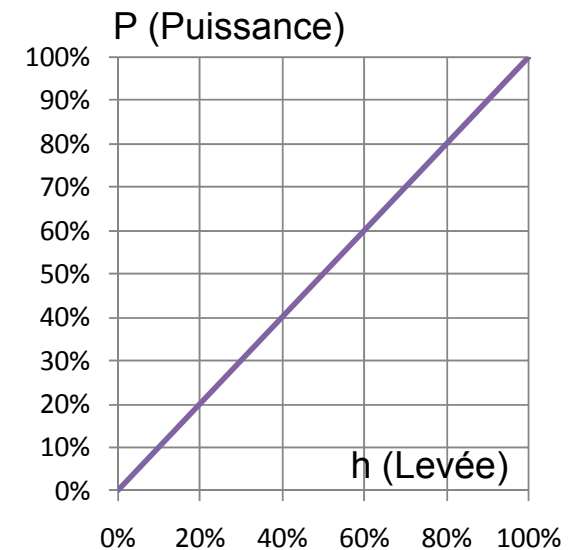
Vraie si Δp est constant car:
 $q = Kv \sqrt{\Delta p}$



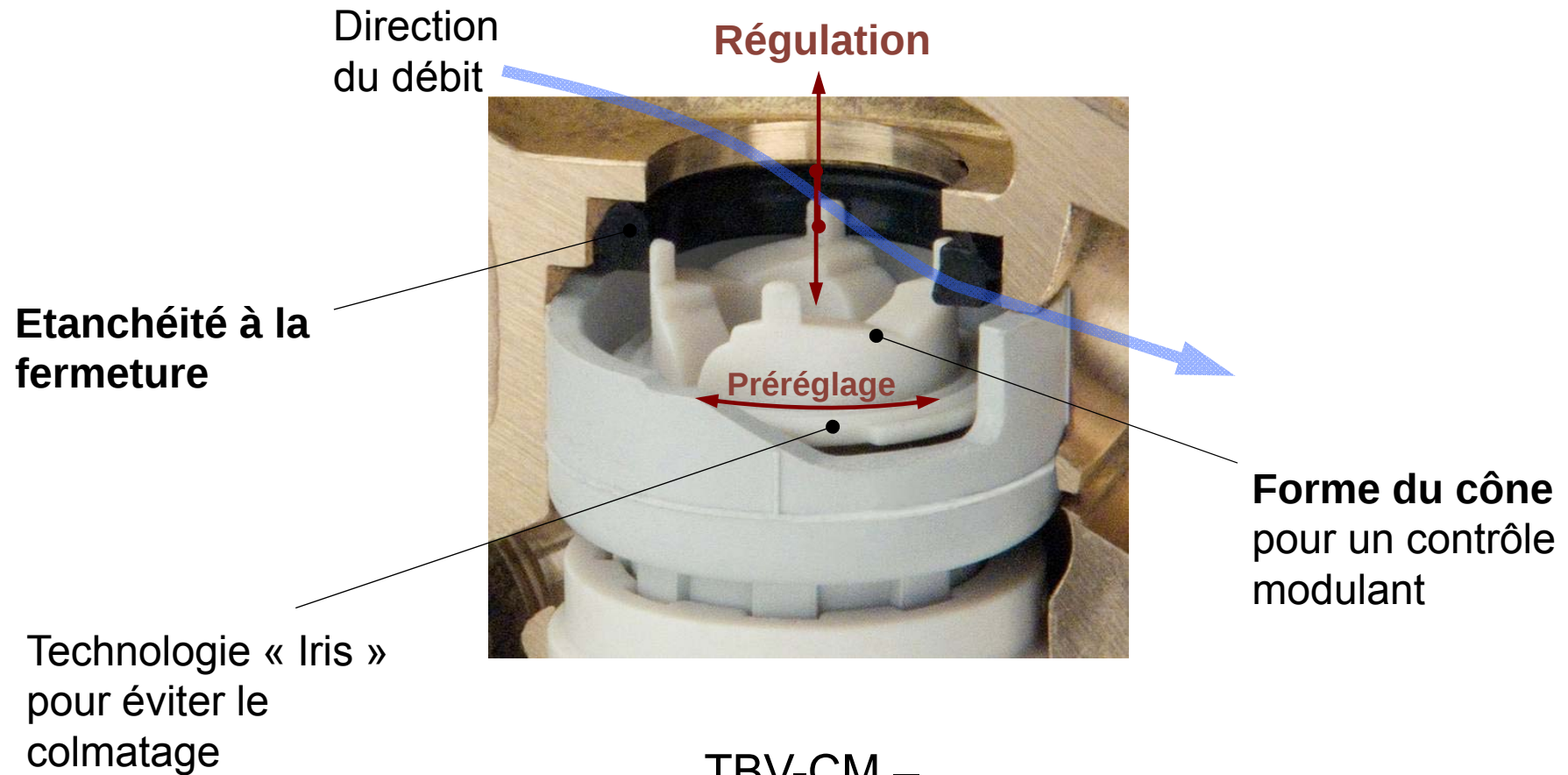
Unité terminale



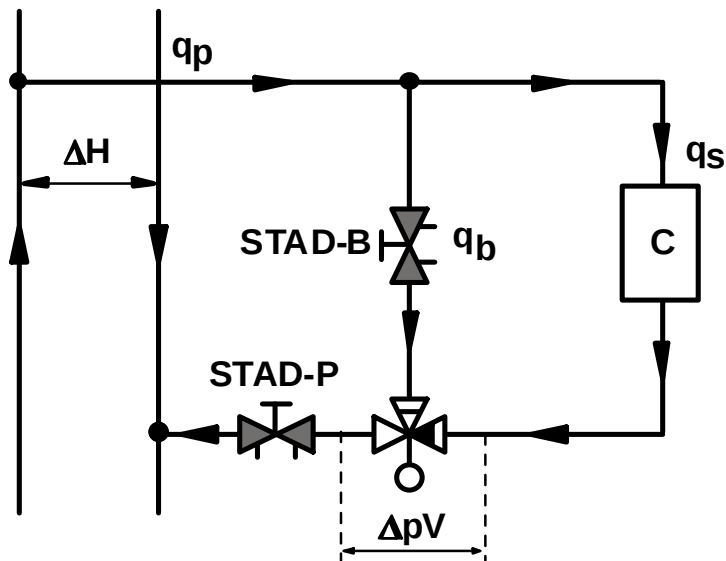
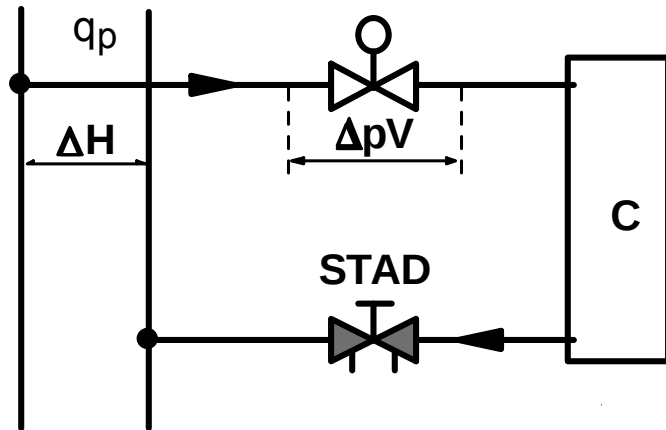
Vanne égale pourcentage



TBV-CM - Vanne "Egal pourcentage"



TBV-CM –

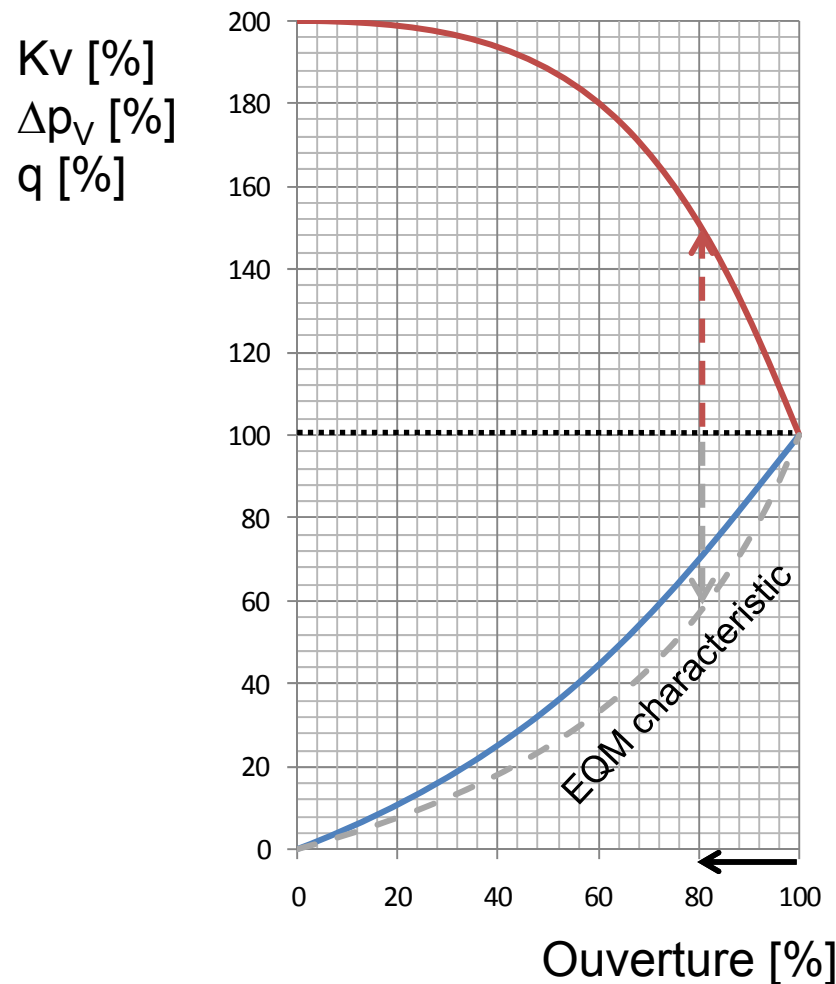
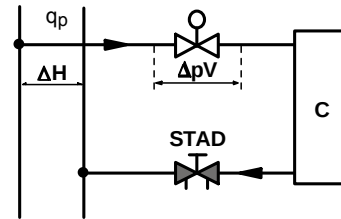


$$\beta = \frac{\Delta P_{\text{vanne ouverte en grand pour le débit nominal}}}{\Delta P_{\text{vanne fermée}}}$$

L'autorité traduit l'influence de la pression différentielle sur le contrôle du débit à la fermeture de la vanne de régulation.

Déformation de la caractéristique...

Autorité 0.5



Hypothèse: ΔH est constant

■ Quand la vanne de régulation se ferme, son K_v diminue suivant sa caractéristique

■ Le débit du circuit diminue

$$q = K_v \sqrt{\Delta p_v}$$

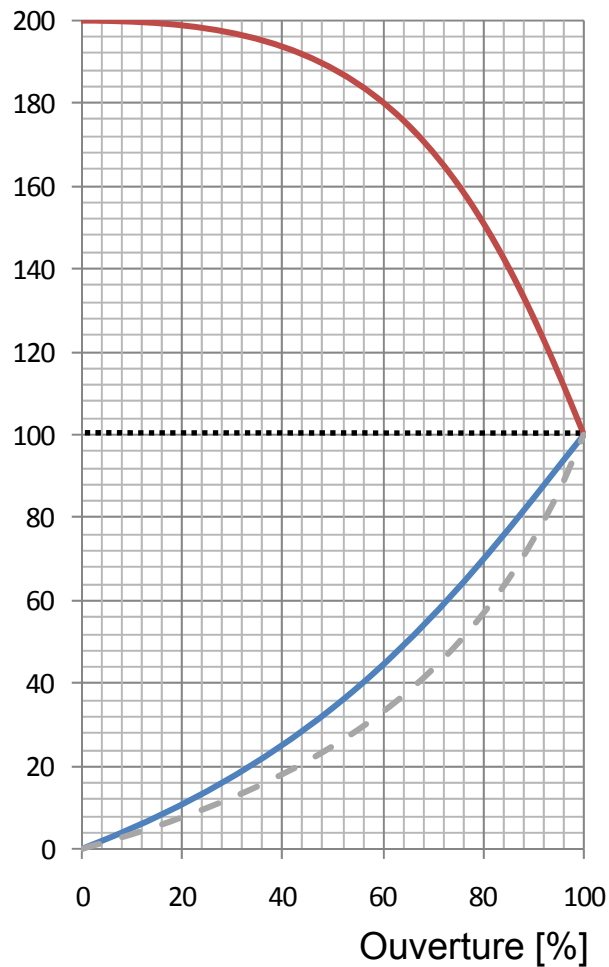
■ Cependant, la D_p de chaque composant du circuit diminue provoquant un transfert de pression sur la vanne de régulation.

■ Au final, le débit ne diminue pas proportionnellement au K_v :
La caractéristique de la vanne de régulation est **déformée**

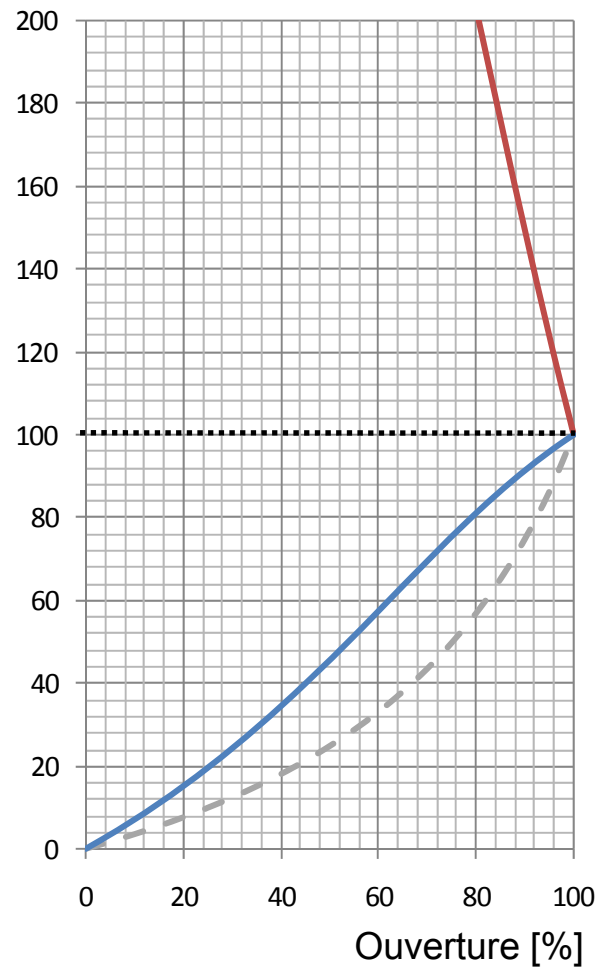
Déformation de la caractéristique...

K_v [%] ---
 Δp_v [%] —
 q [%] —

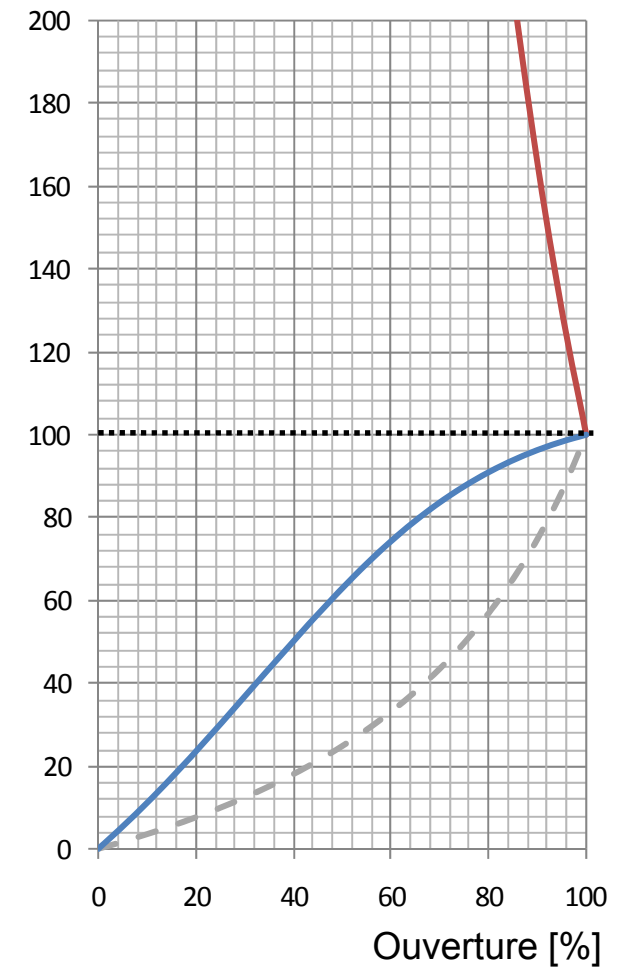
Autorité 0.5



Autorité 0.25

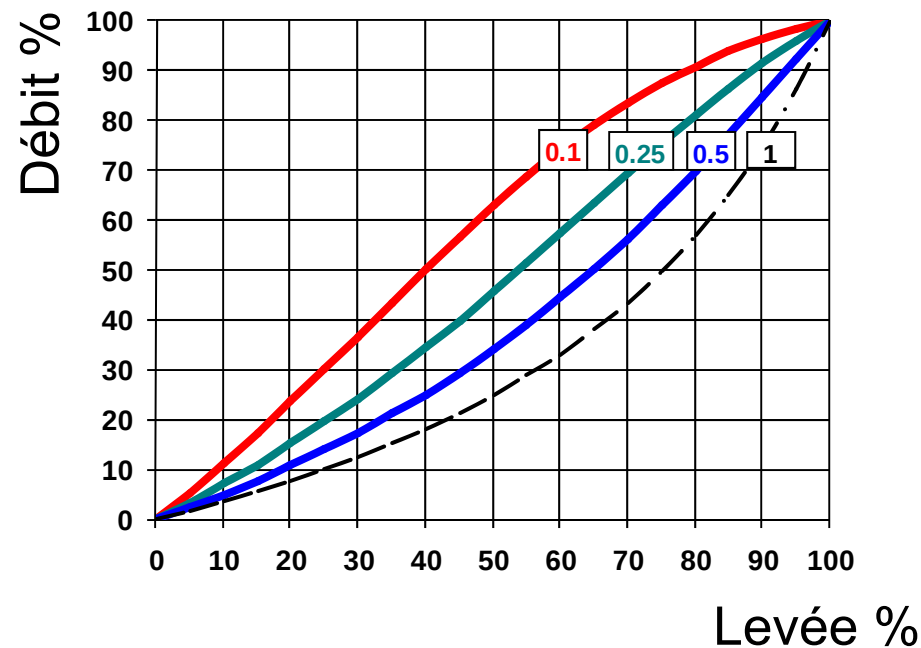


Autorité 0.1



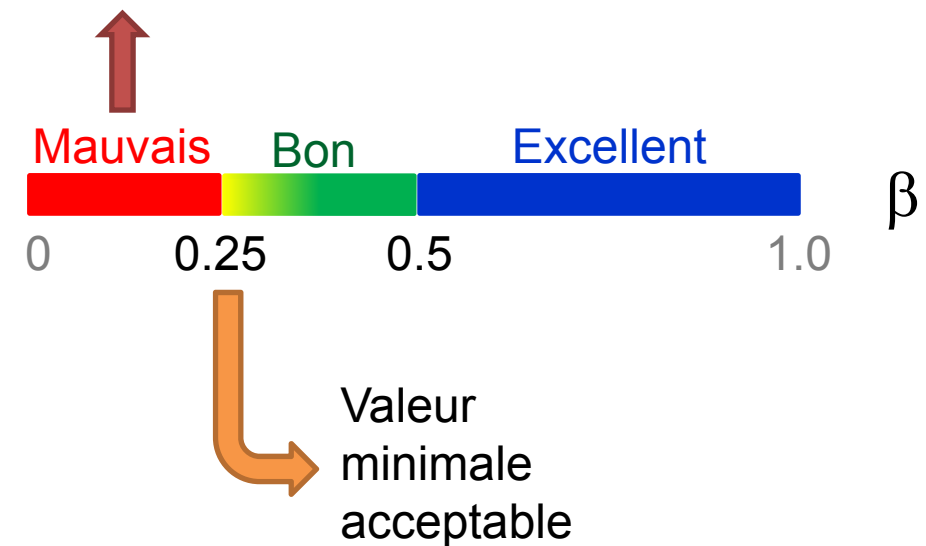
Autorité...

Plus l'autorité est faible, plus la variation de Dp est importante et plus la caractéristique sera déformée.



**Caractéristique
Egal-pourcentage**

Instabilité



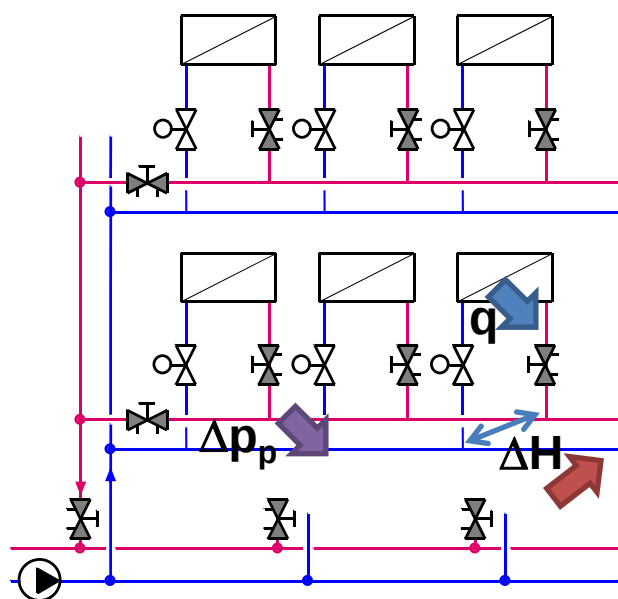
Conséquence d'une variation du ΔH ...

En général, la pression différentielle disponible ΔH n'est pas constante:

■ Quand les vannes de régulation commencent à se fermer,

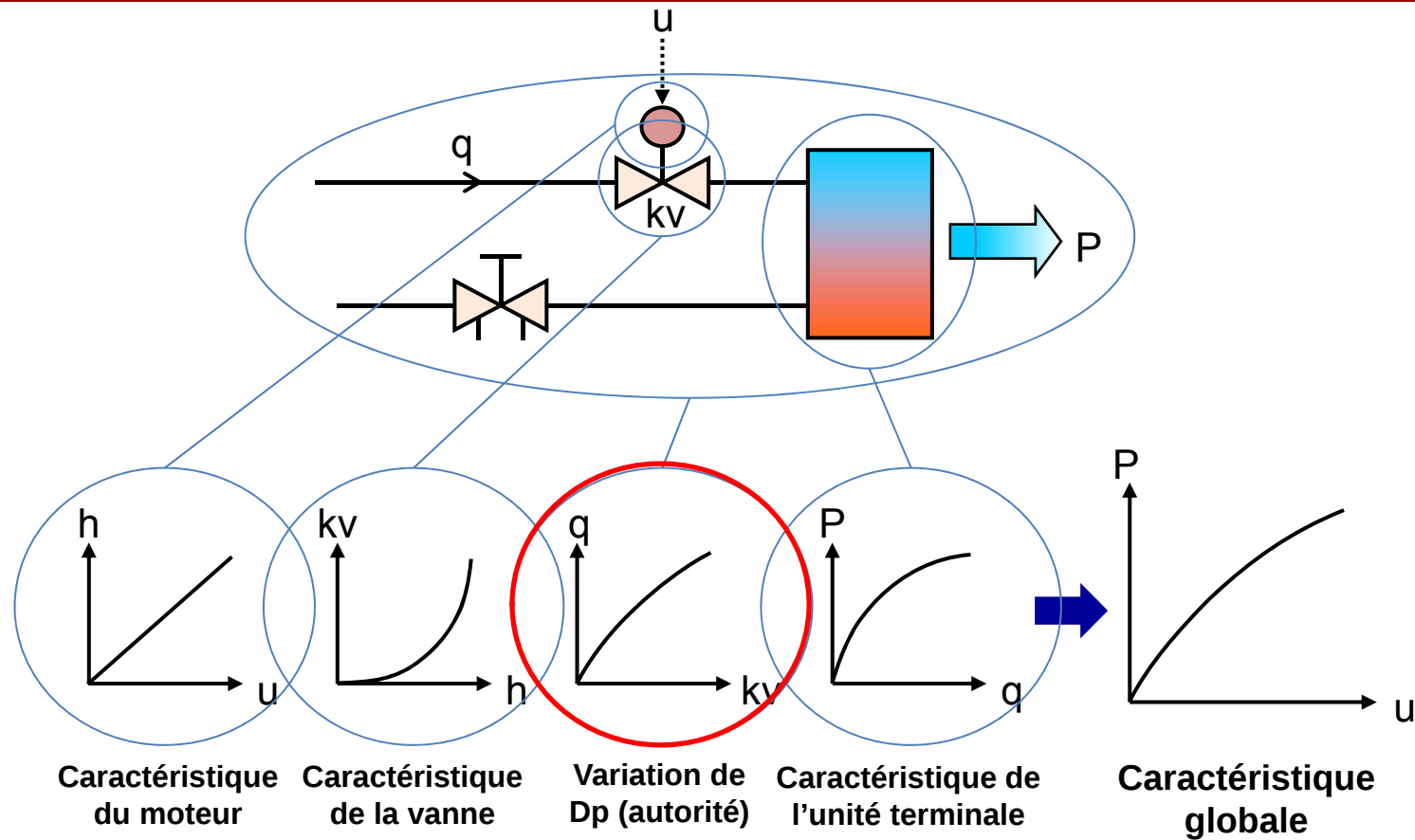
- Le débit des circuits diminue
- cela diminue les pertes de charge en amont,
- provoquant une augmentation de ΔH ,
- et donc une plus grande pression différentielle sur la vanne de régulation

La déformation de la caractéristique de la vanne de régulation est encore plus importante



« TA SELECT 4 » logiciel spécifique pour le calcul hydraulique

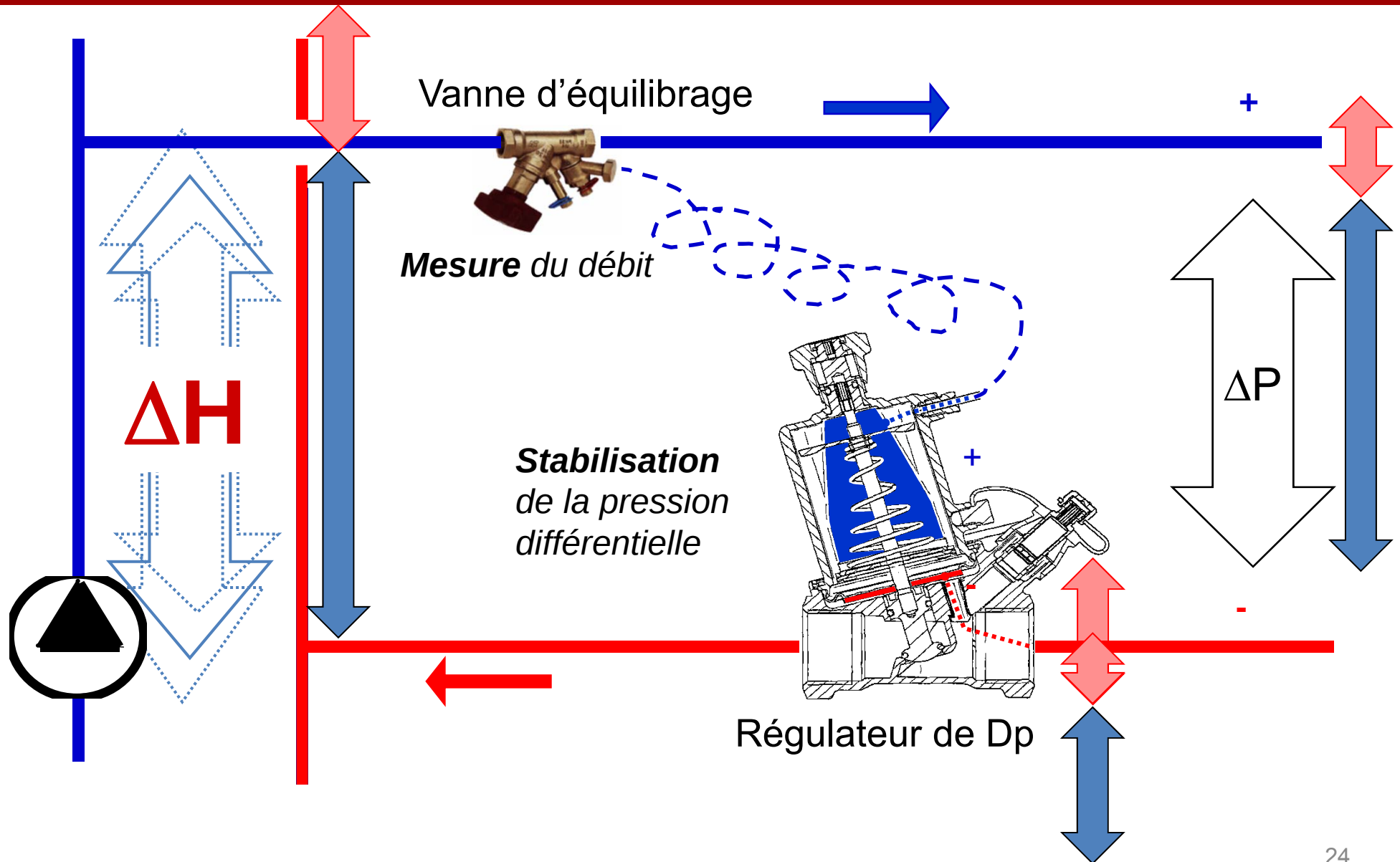
Caractéristique globale...



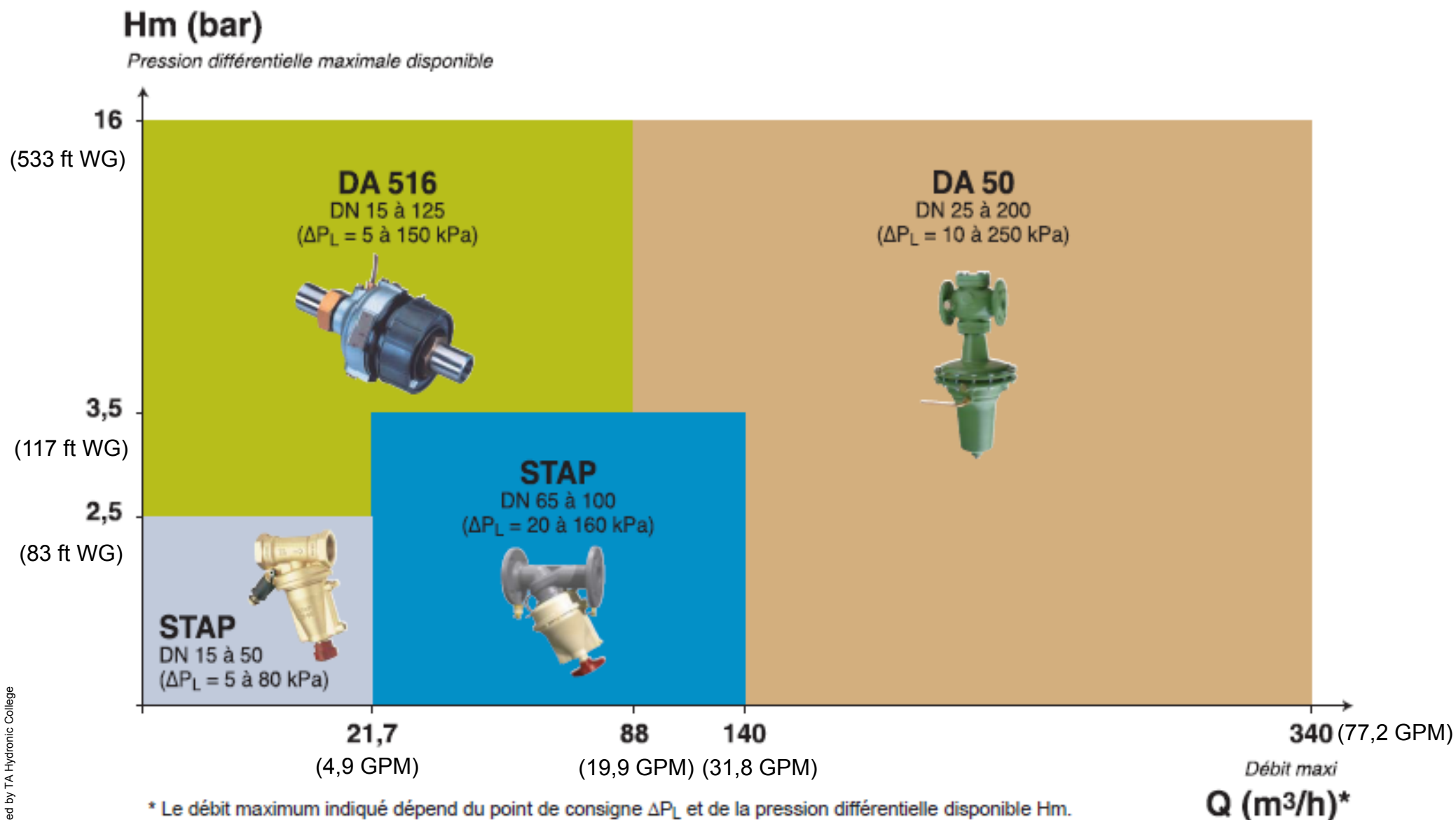
- Le point « clé » est d'obtenir une bonne autorité
- C'est le rôle des régulateur de D_p



Comment ça marche ?



La gamme disponible....



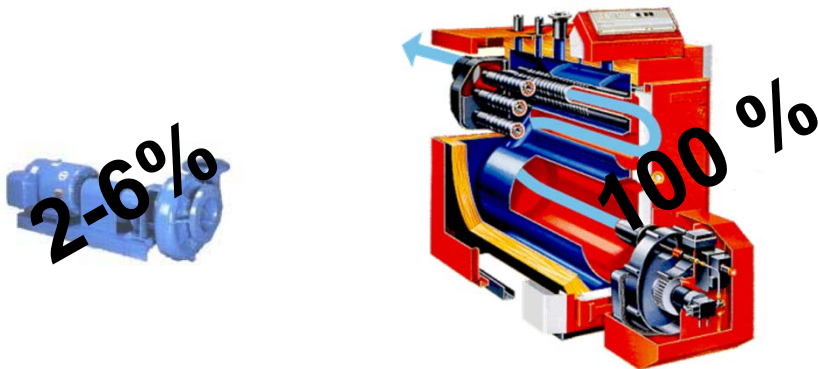
Consommation électrique des pompes

Coût de pompage...

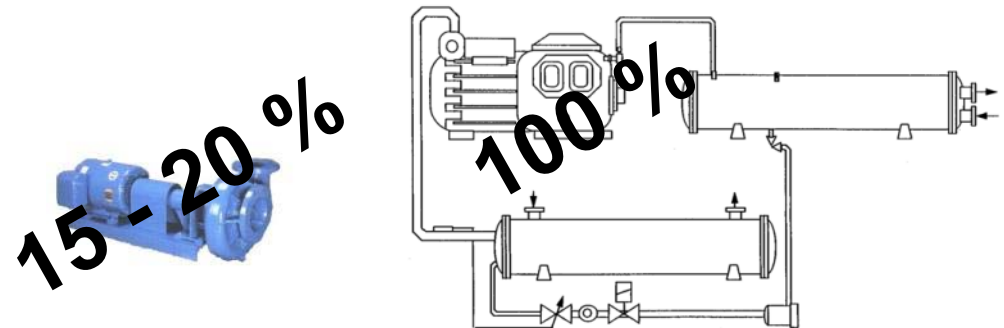
$$\text{Coût de pompage} \approx C_0 + \frac{H_m \times \text{Débit}}{\text{Rendement}}$$

Les coûts de pompage représentent:
(par rapport à la consommation annuelle)

Chauffage



Froid



1.5% bureaux, écoles, hôpitaux

Etude réalisée en 2009 en Suède: "Efficiency of building related pump and fan operation"
Caroline Markusson, Chalmers University of Technology, May 2009

Plus importants en froid...

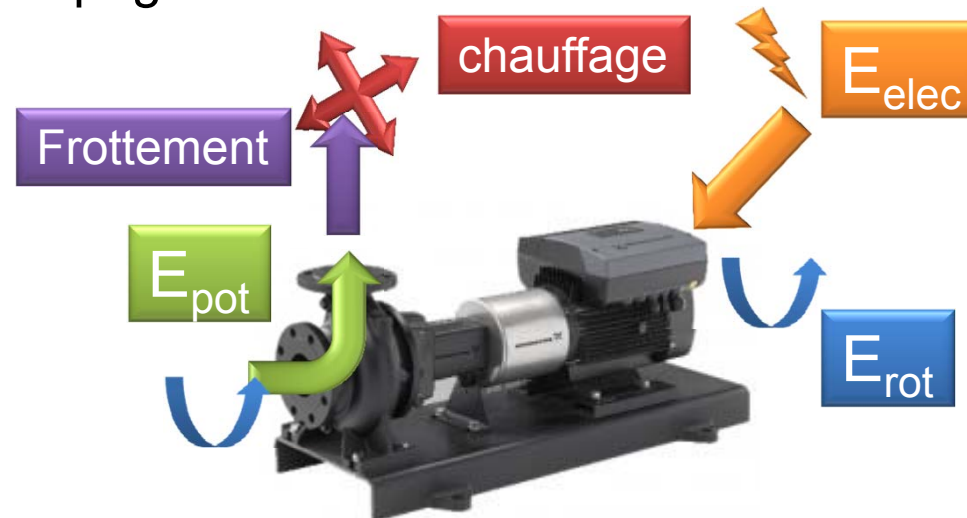
Car:

- Pour la même puissance, le débit est 2 à 3 fois plus faible en chaud car le Δt est 2 à 3 fois plus élevé.

$$P \propto q \cdot \Delta T$$

$\Delta T \sim 11-20 \text{ K}$ en chauffage
 $\Delta T \sim 5-6 \text{ K}$ en froid

- L'énergie de pompage chauffe l'eau!

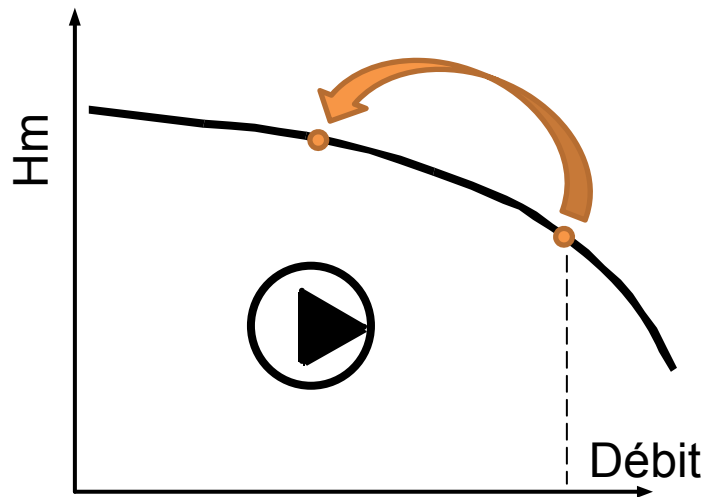


L'énergie de pompage est payée 2 fois! Par la pompe et par les groupes de froid.

Coût de pompage...

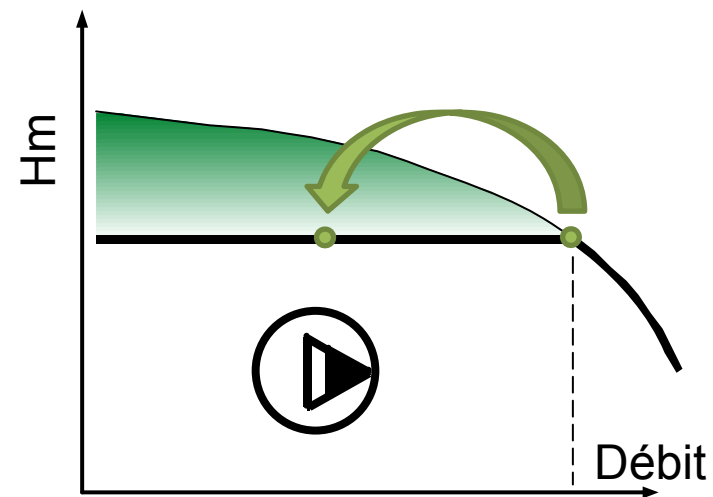
$$\text{Coût de pompage} \approx C_0 + \frac{H_m \times \text{Débit}}{\text{Rendement}}$$

$\xrightarrow{\text{x 0.7}}$
 $\xrightarrow{\text{x 1.4} \quad \text{x 0.5}}$



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

$\xrightarrow{\text{x 0.5}}$
 $= \text{x 0.5}$



- Le débit variable permet de réduire les coûts de pompage
- La pompe à vitesse variable permet de réduire d'avantage les coûts de pompage

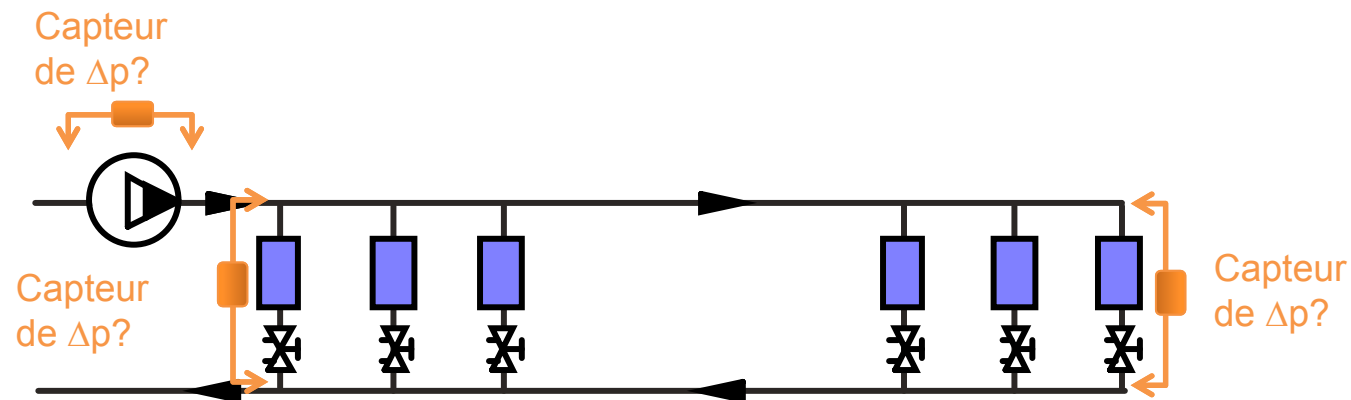
Régulation des pompes à vitesse variable...

Objectifs:

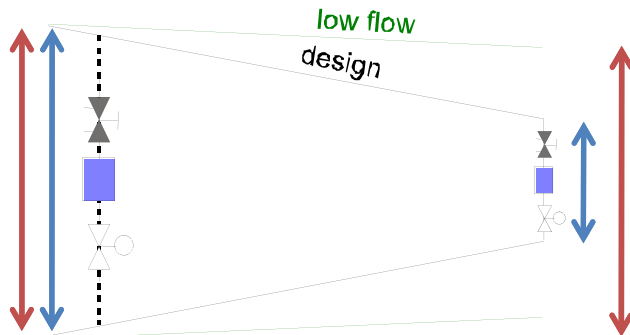
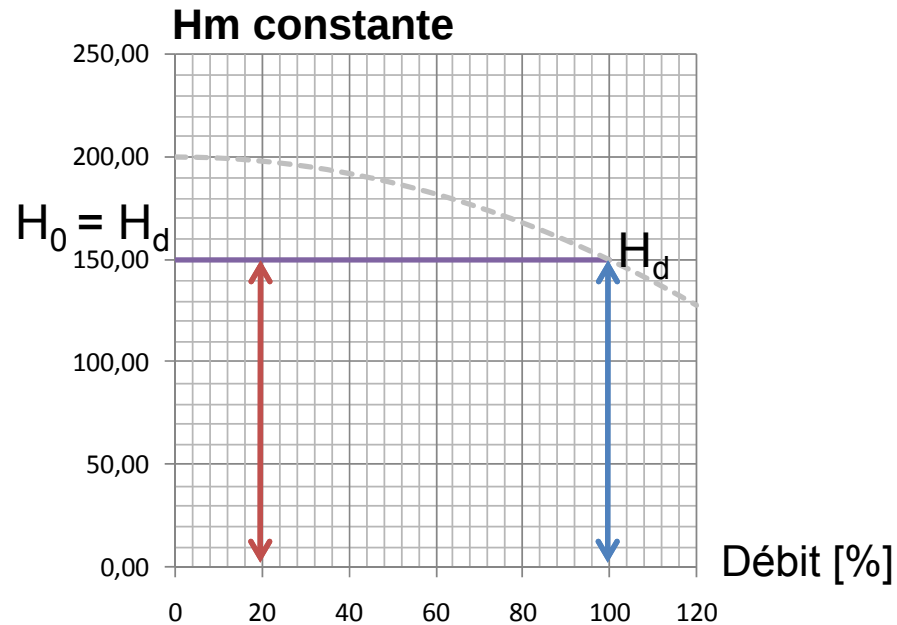
- Réduire les coûts de pompage
- Garantir un fonctionnement optimal des boucles de régulation (confort)



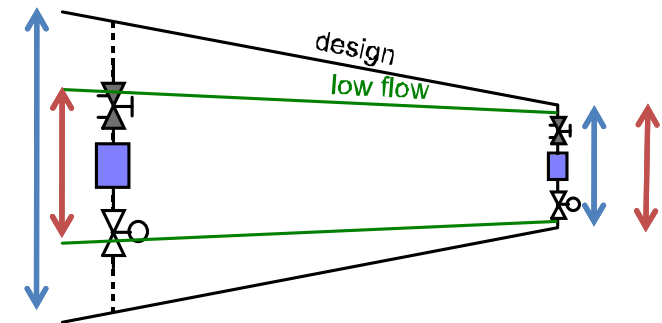
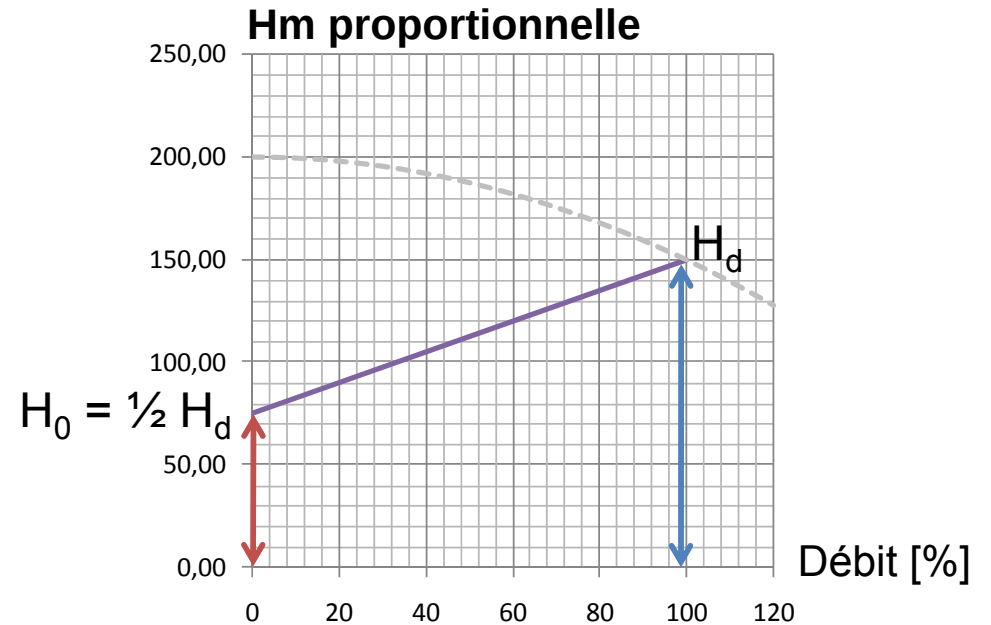
- Quel mode de contrôle?
- Dans le cas d'utilisation d'un capteur de Δp séparé, où l'installer?



Hm constante ou proportionnelle?



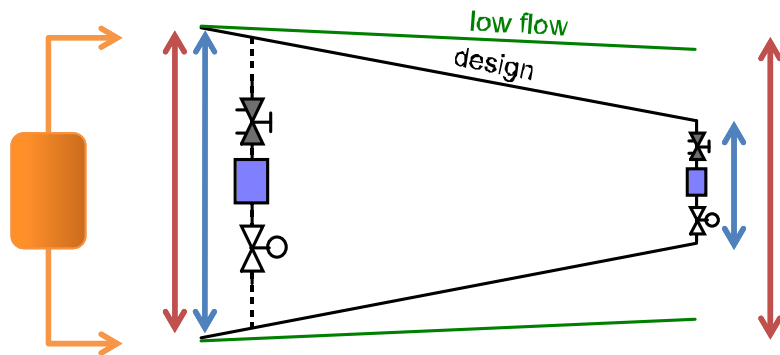
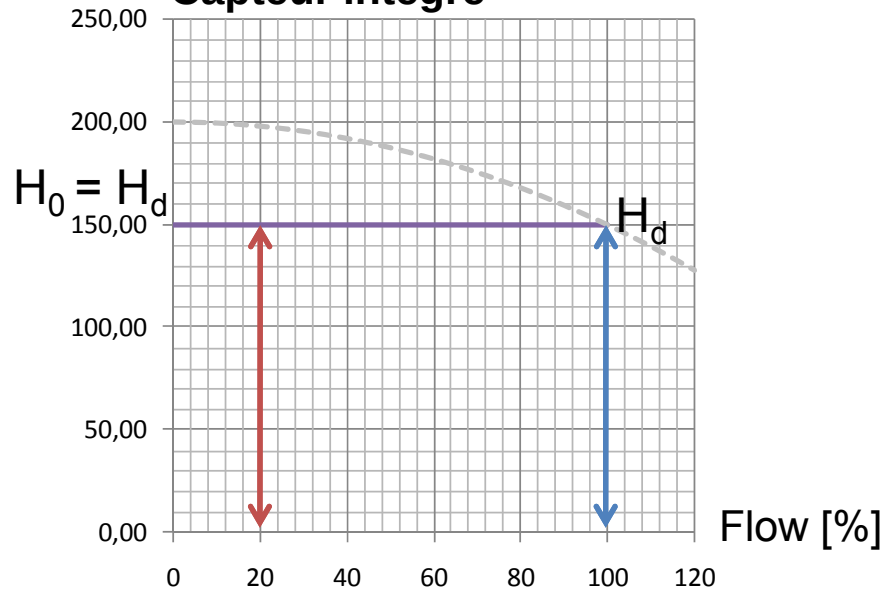
La Hm disponible augmente fortement pour les derniers circuits



La Hm disponible diminue fortement pour la plupart des circuits à charge partielle provoquant un risque de sous débit!

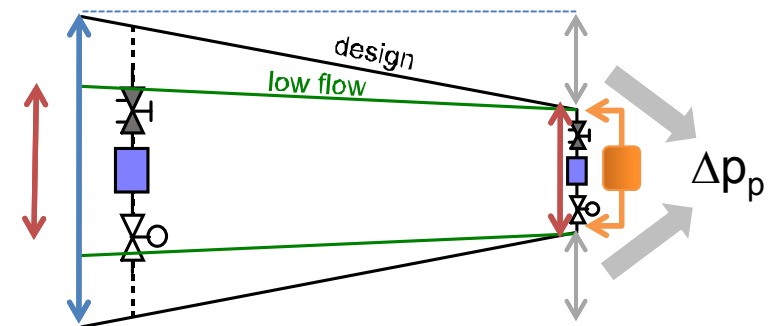
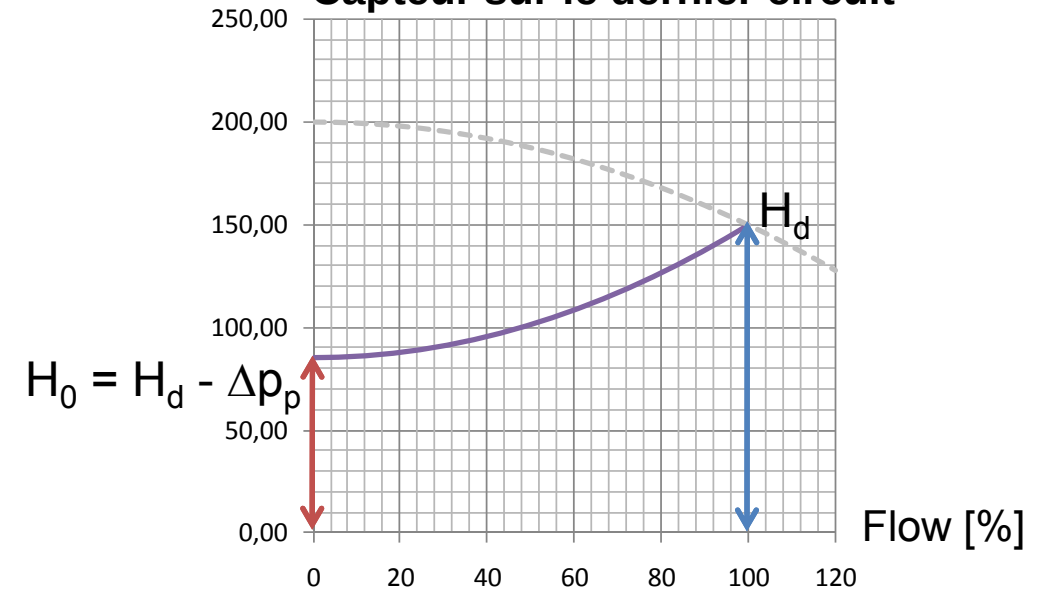
Capteur intégré à la pompe ou sur le dernier circuit?

Capteur intégré



La Hm disponible augmente fortement pour les derniers circuits à charge partielle.

Capteur sur le dernier circuit



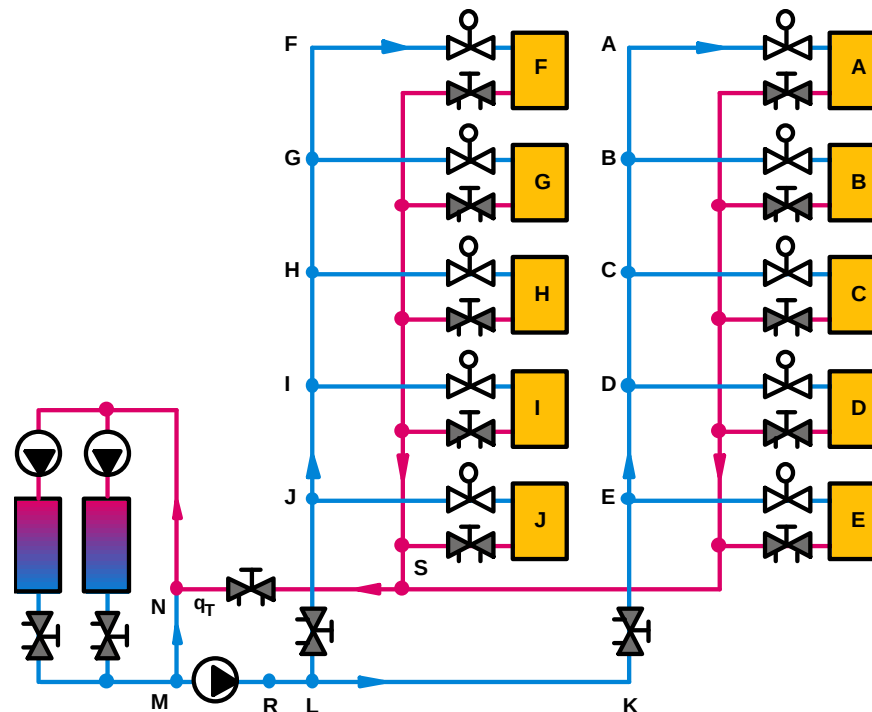
La Hm disponible diminue fortement pour la plupart des circuits à charge partielle provoquant un risque de sous débit!

Pompe à vitesse variable et régulation de Δp

En fonction du mode de contrôle de la pompe et de la situation du capteur de Δp

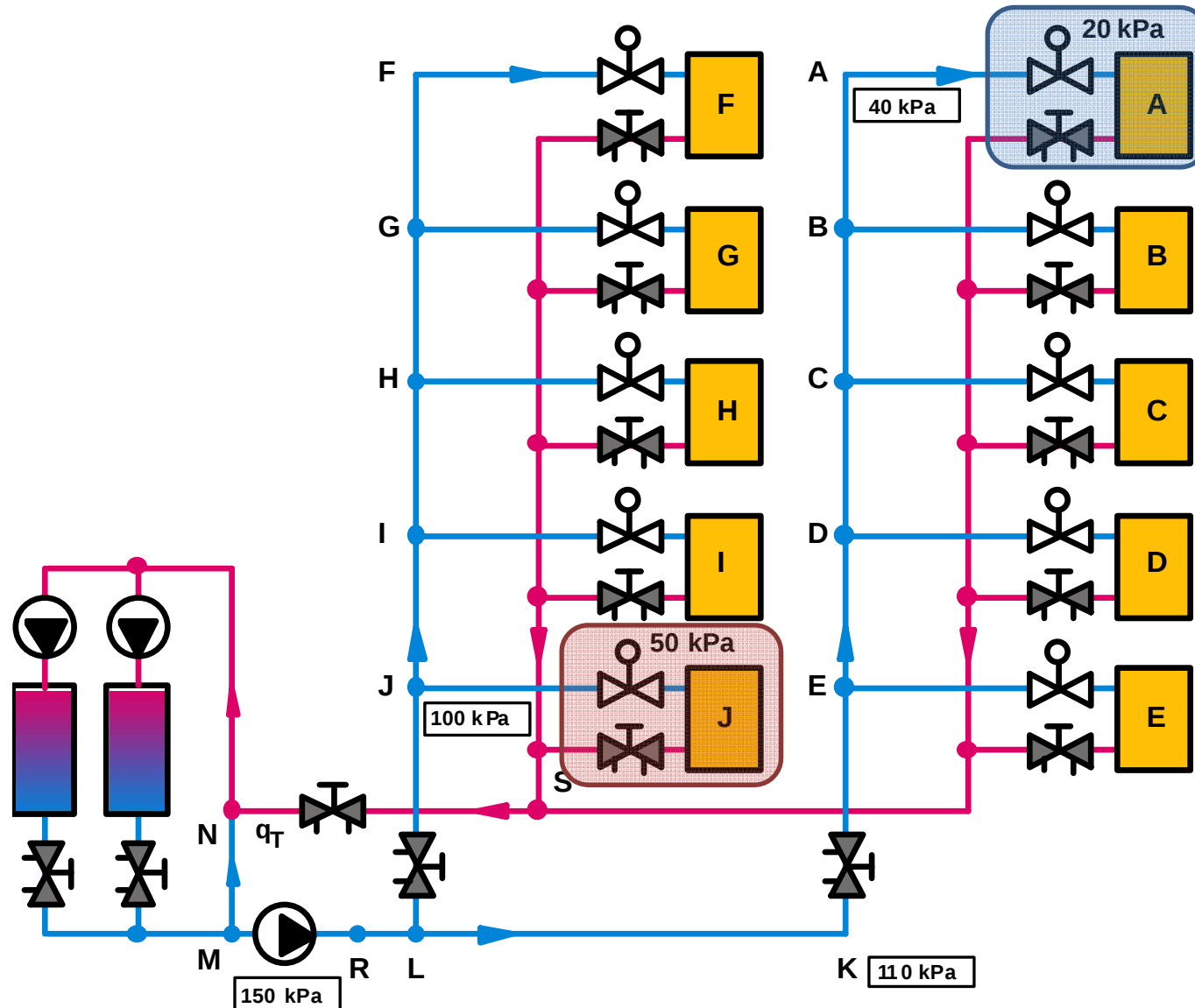
- Comment évolue l'autorité des vannes de régulation à différentes charges
- A quel moment l'autorité des vannes est-elle minimale?

Observations sur une même installation:

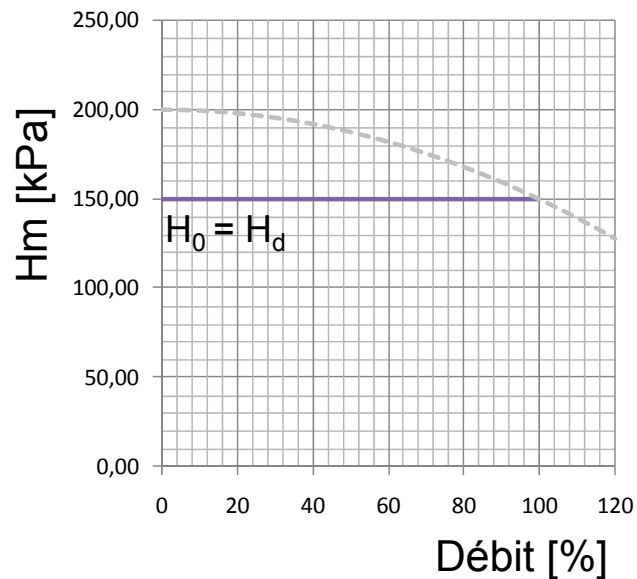
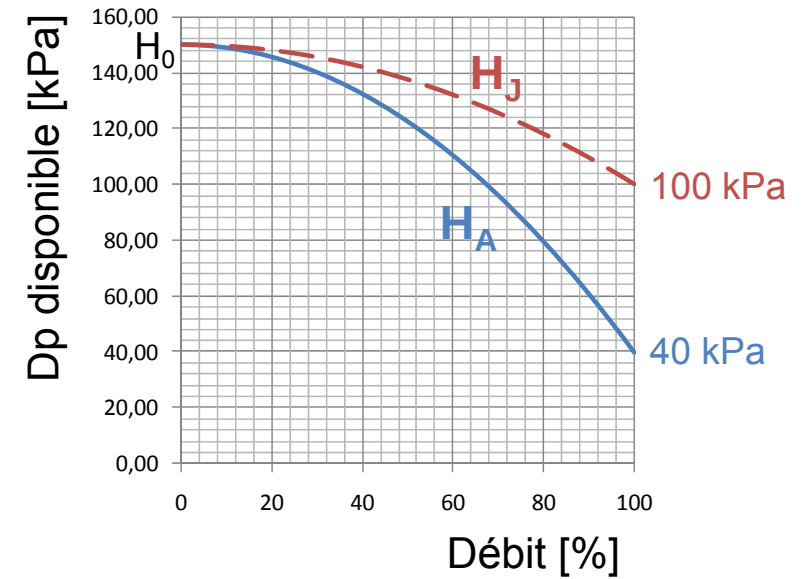
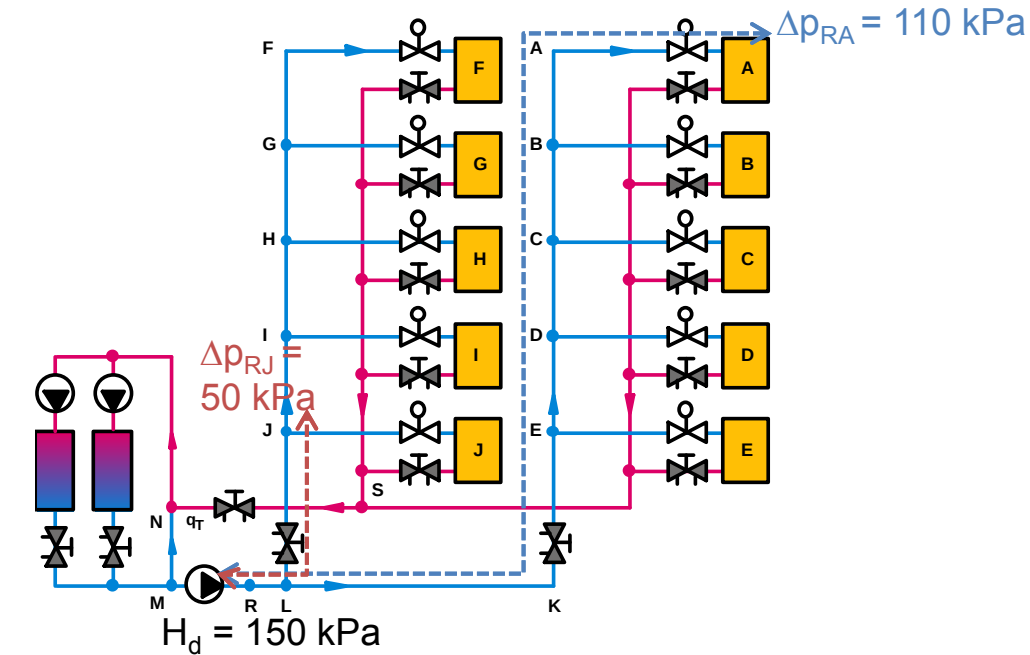


Hypothèse:
Tous les circuits varient dans la même proportion en même temps.

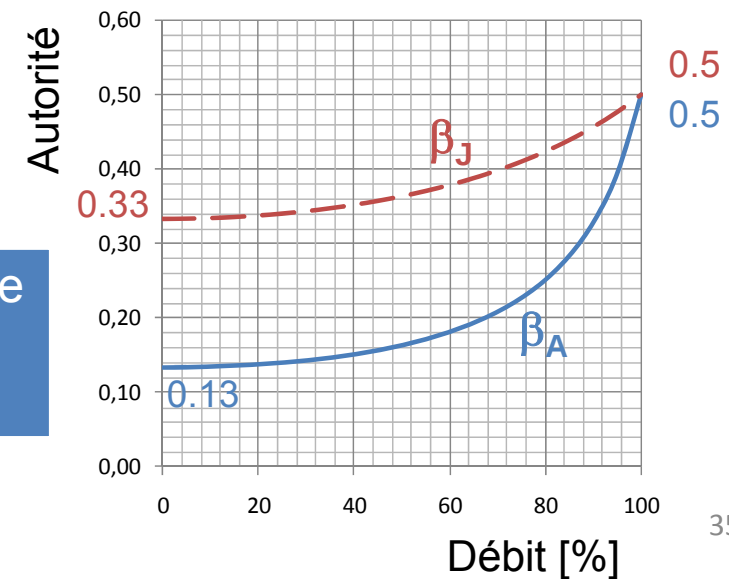
En fonctionnement nominal (100%)



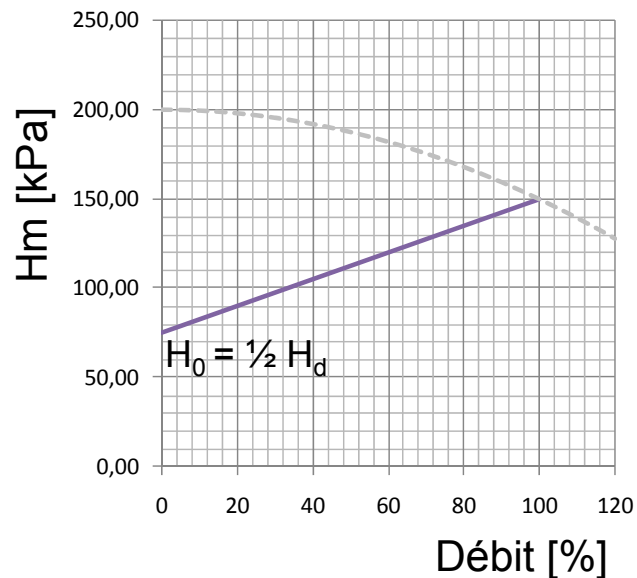
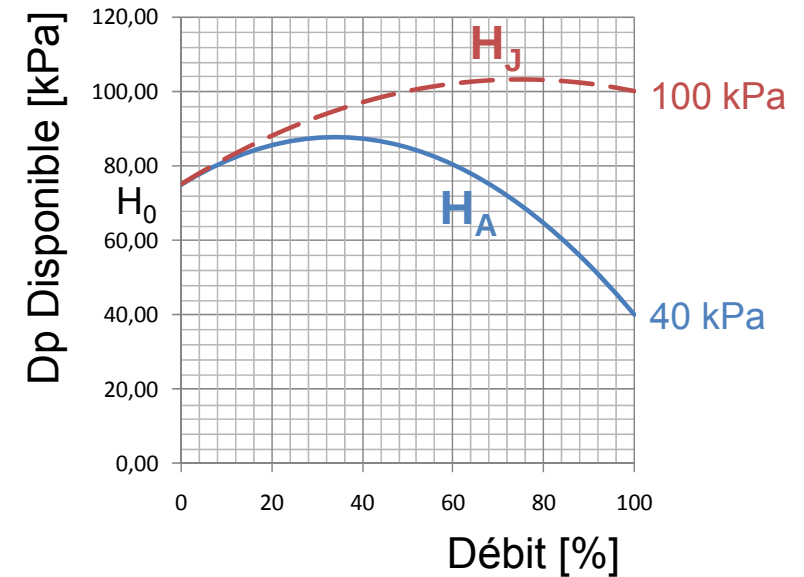
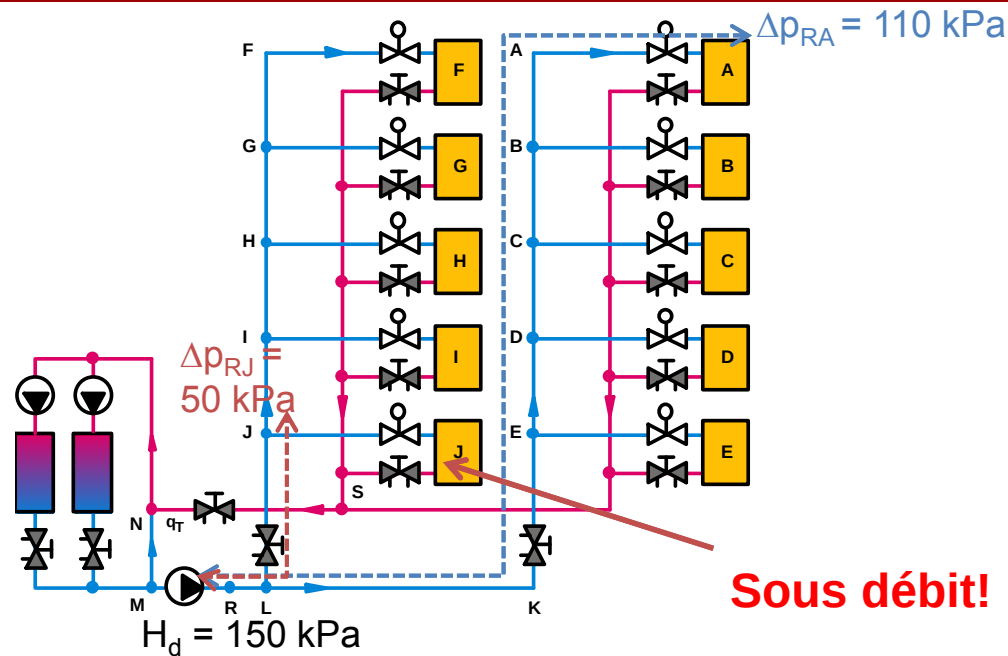
Pompe à vitesse variable – Hm constante



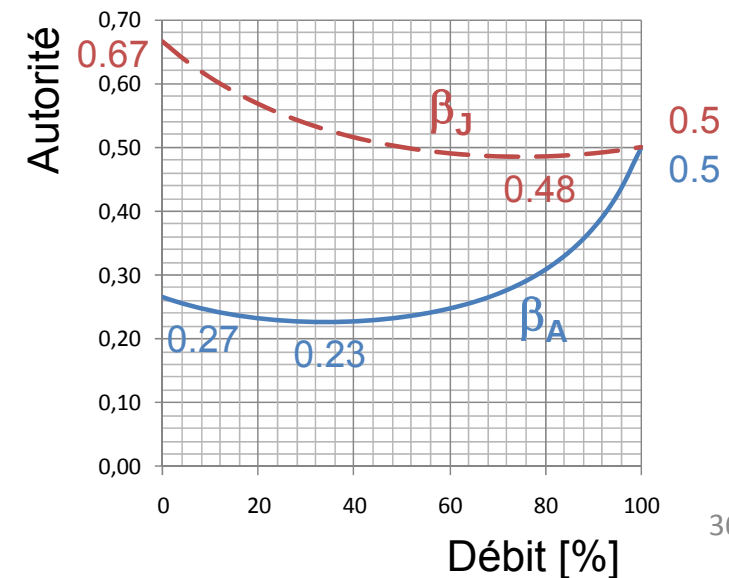
L'autorité minimale est un peu améliorée



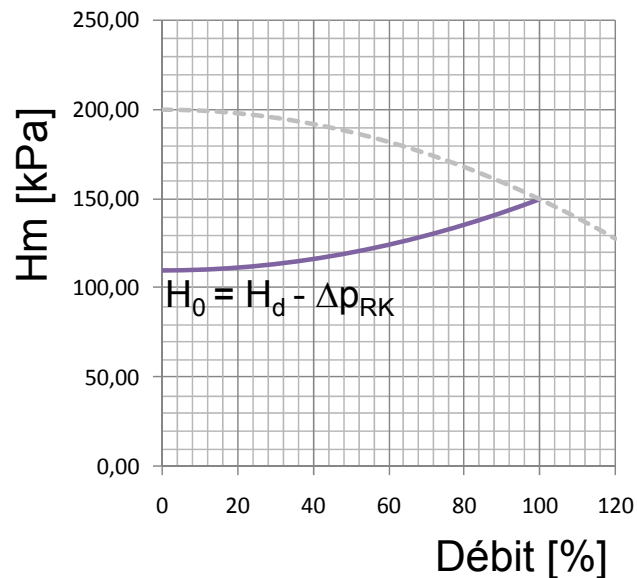
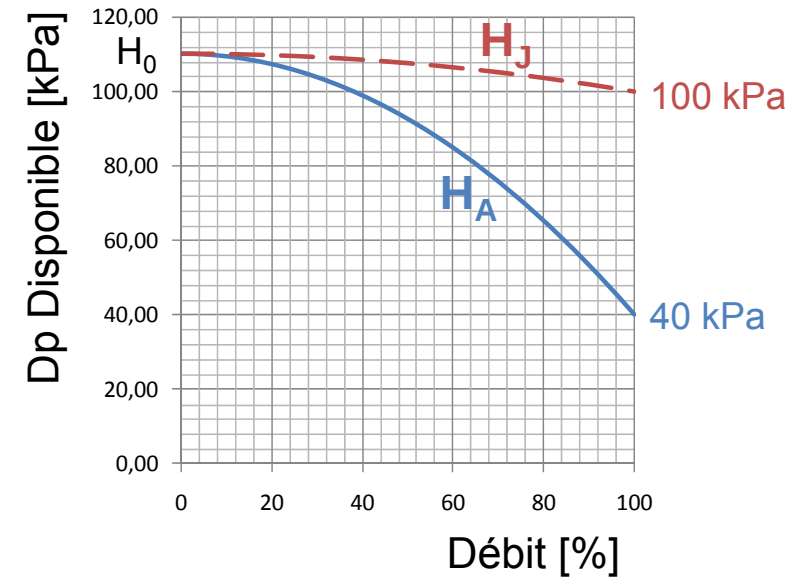
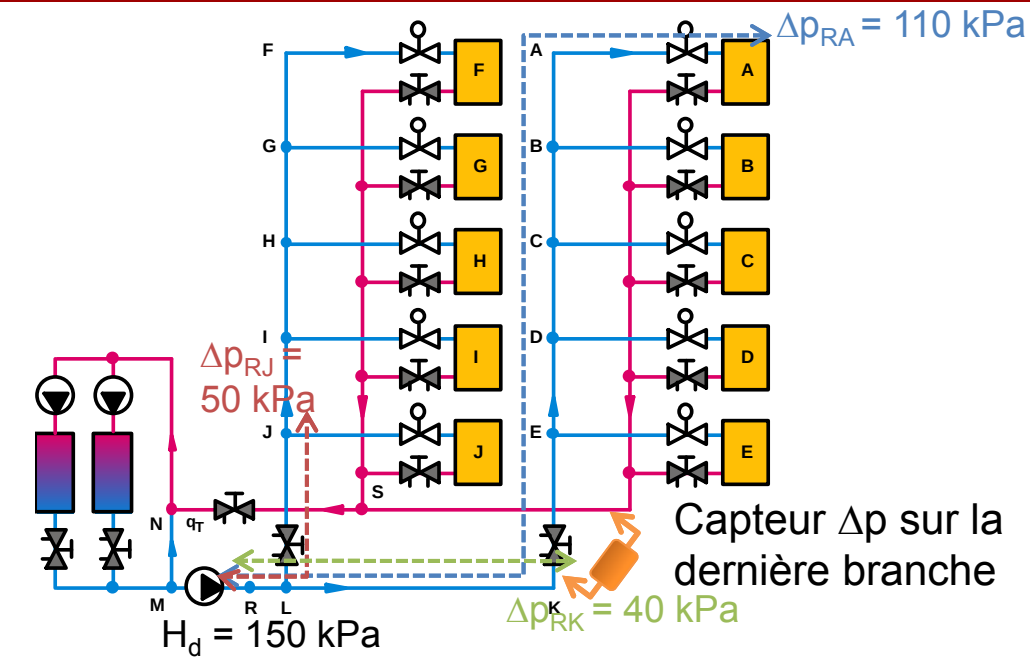
Pompe à vitesse variable – mode proportionnel



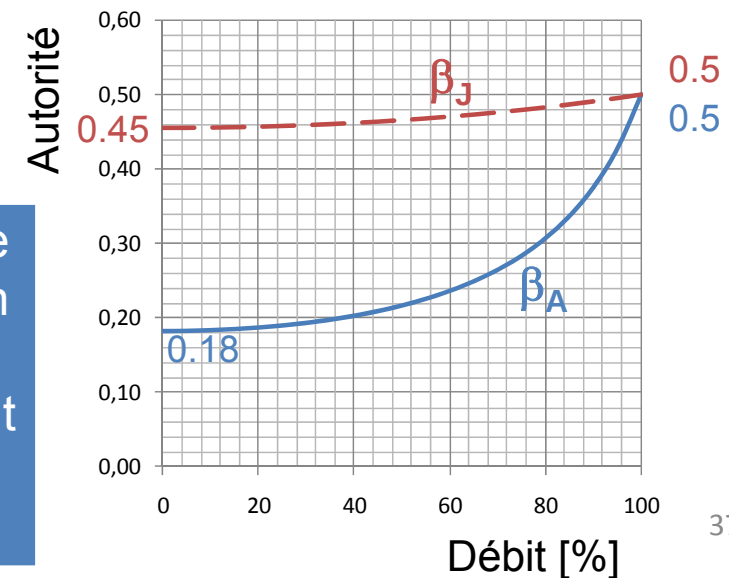
Autorité minimale améliorée pour certains circuits, avec le risque de sous débits dans d'autres.



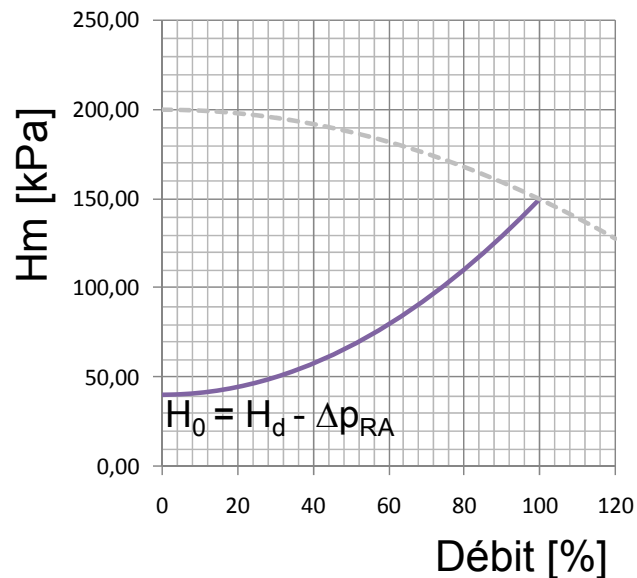
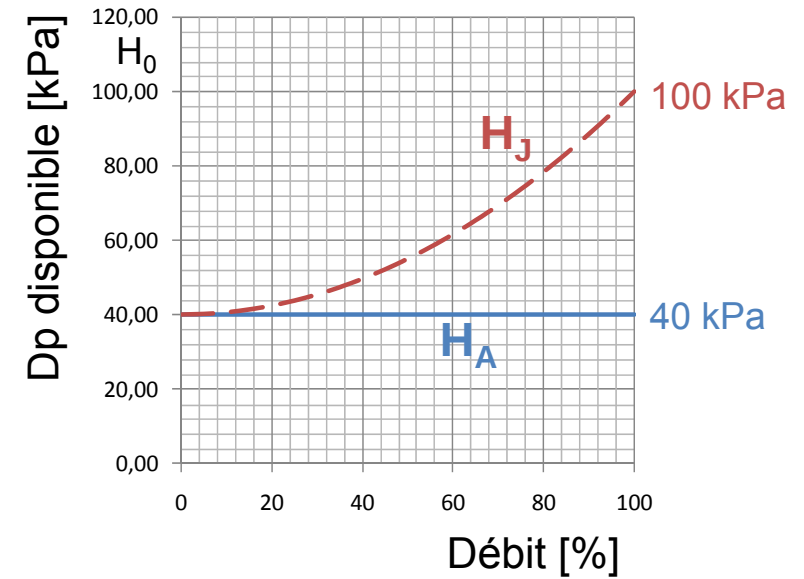
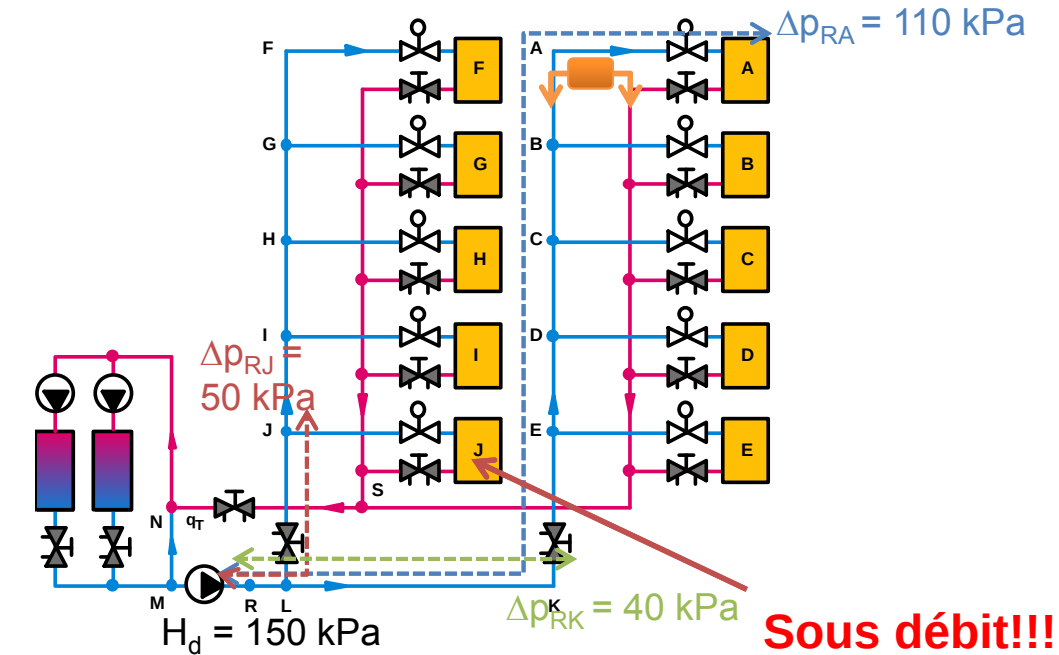
Pompe à vitesse variable – Capteur Δp séparé



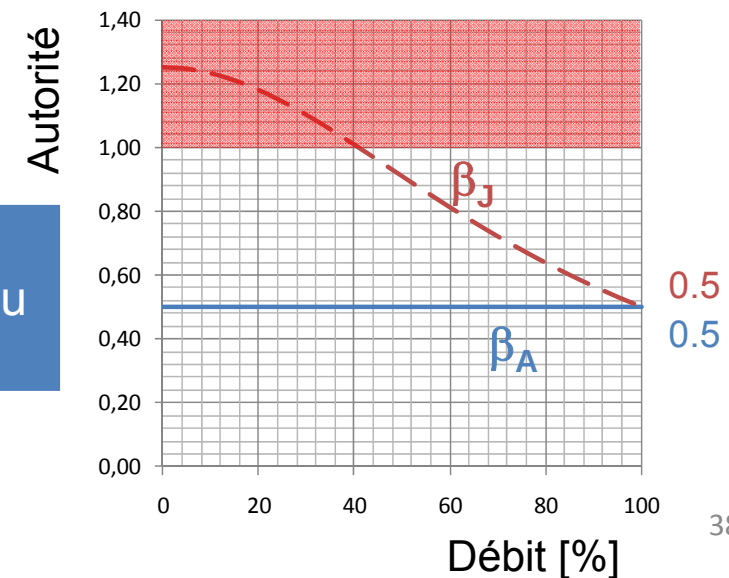
Autorité minimale améliorée ou non suivant la situation du circuit et la Δp des tuyauteries



Pompe à vitesse variable – Capteur Δp séparé



L'autorité est améliorée du fait du sous débit!

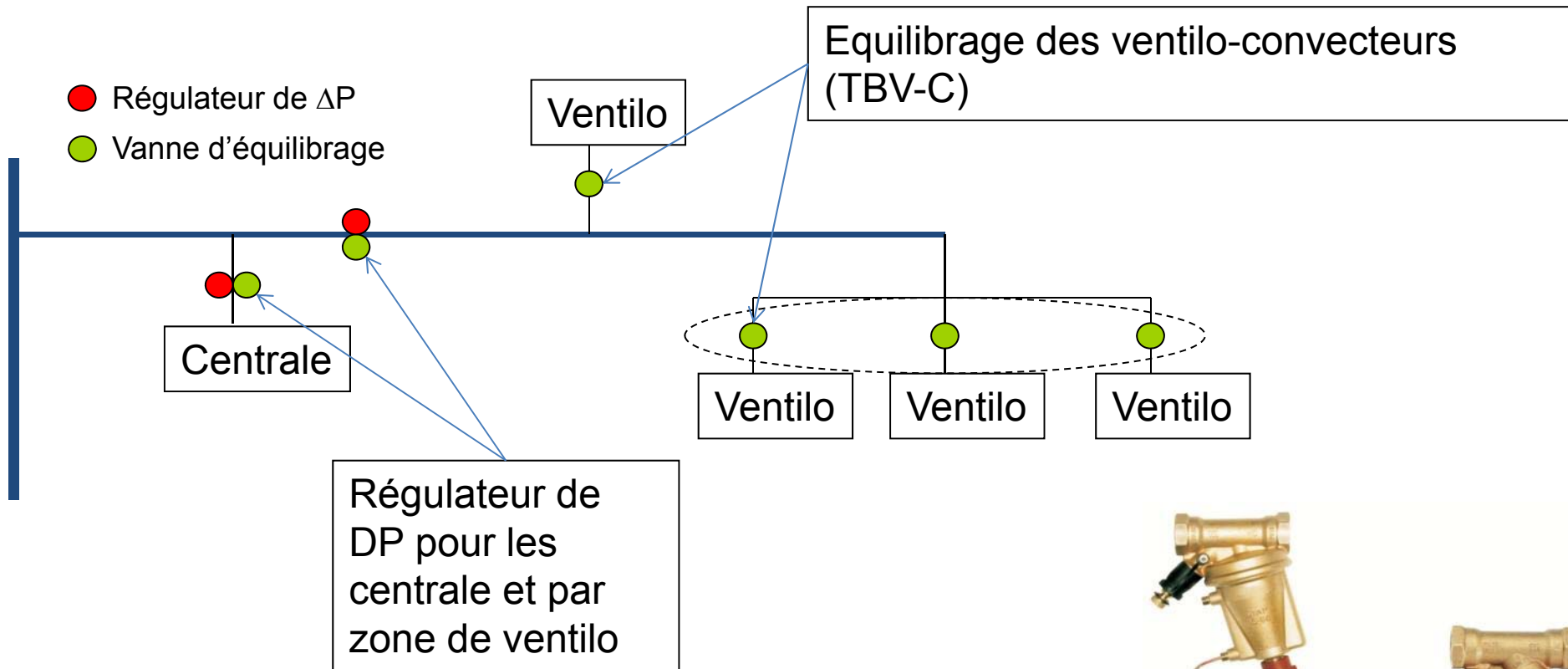


Exemple chiffré...

- Installation de froid (ventilo-convecteur + centrale de traitement d'air)
- 2 groupes de froid avec pompe de charge individuelle
- Secondaire à débit variable avec interface avec une vanne de décharge
- Rénovation du système de distribution

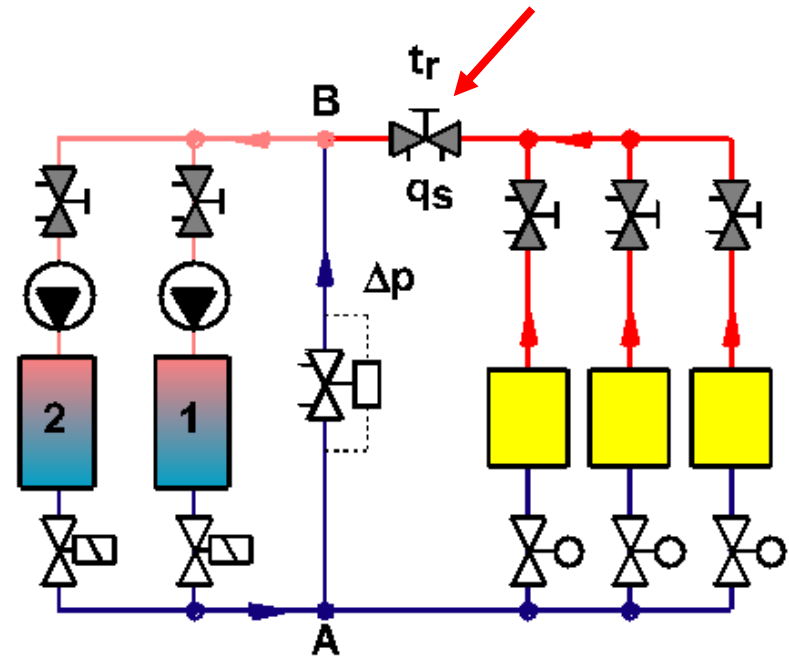


Principe de distribution...



Mesures réalisées...

- Débit total sur le retour et DT (Puissance)
- Enregistrement Octobre 2008 à Juin 2009
- Enregistrement de la consommation électrique des groupes de froid
- 3 semaines d'enregistrement par mois:
 - 2 semaines avec les régulateurs de Dp ON
 - 1 semaine avec les régulateurs de Dp OFF



Enregistrement
avec le TA SCOPE



L'appareil de mesure et d'équilibrage.....

Instrument de mesure, d'équilibrage et de diagnostic, sans fil...

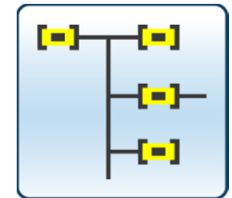
Communication ordinateur



Mesure Q,Dp,T,P



Diagnostic



« GPS » de l'équilibrage



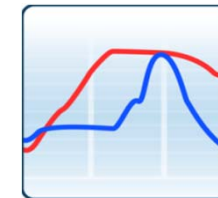
Correction de viscosité
et de régime
d'écoulement



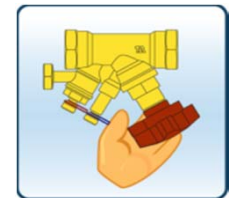
Paramétrage



Outils
hydrauliques



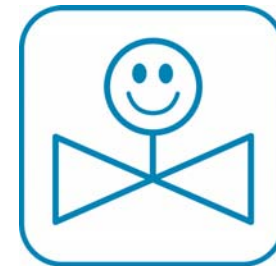
Enregistrement
Q,Dp, T, P



Méthode
d'équilibrage

■ Le COP est passé de 1.571 à 1.901 avec STAP (régulateur Δp) à l'arrêt ou en service.

Cela représente une augmentation de **21% du COP** (performance)!



TA
HYDRONIC COLLEGE



- 44

Site Empalot, Toulouse, France



■ Remplacement des chaudières en 2007

■ Ré- équilibrage en 2008

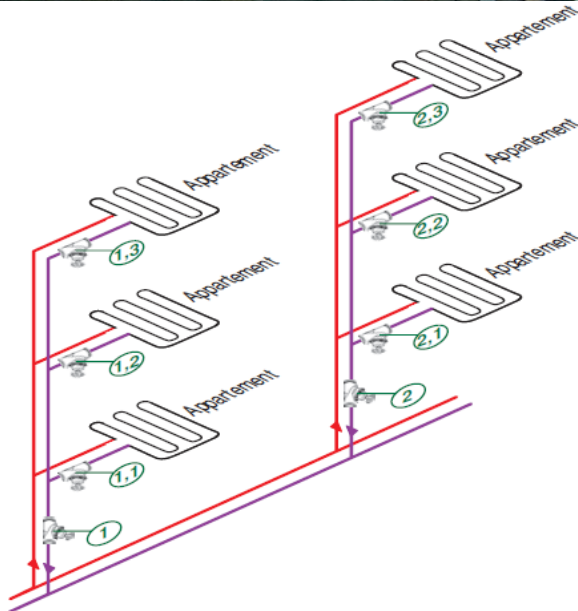
○ Vérification des pompes (Hm)

○ Décomposition en modules hydrauliques

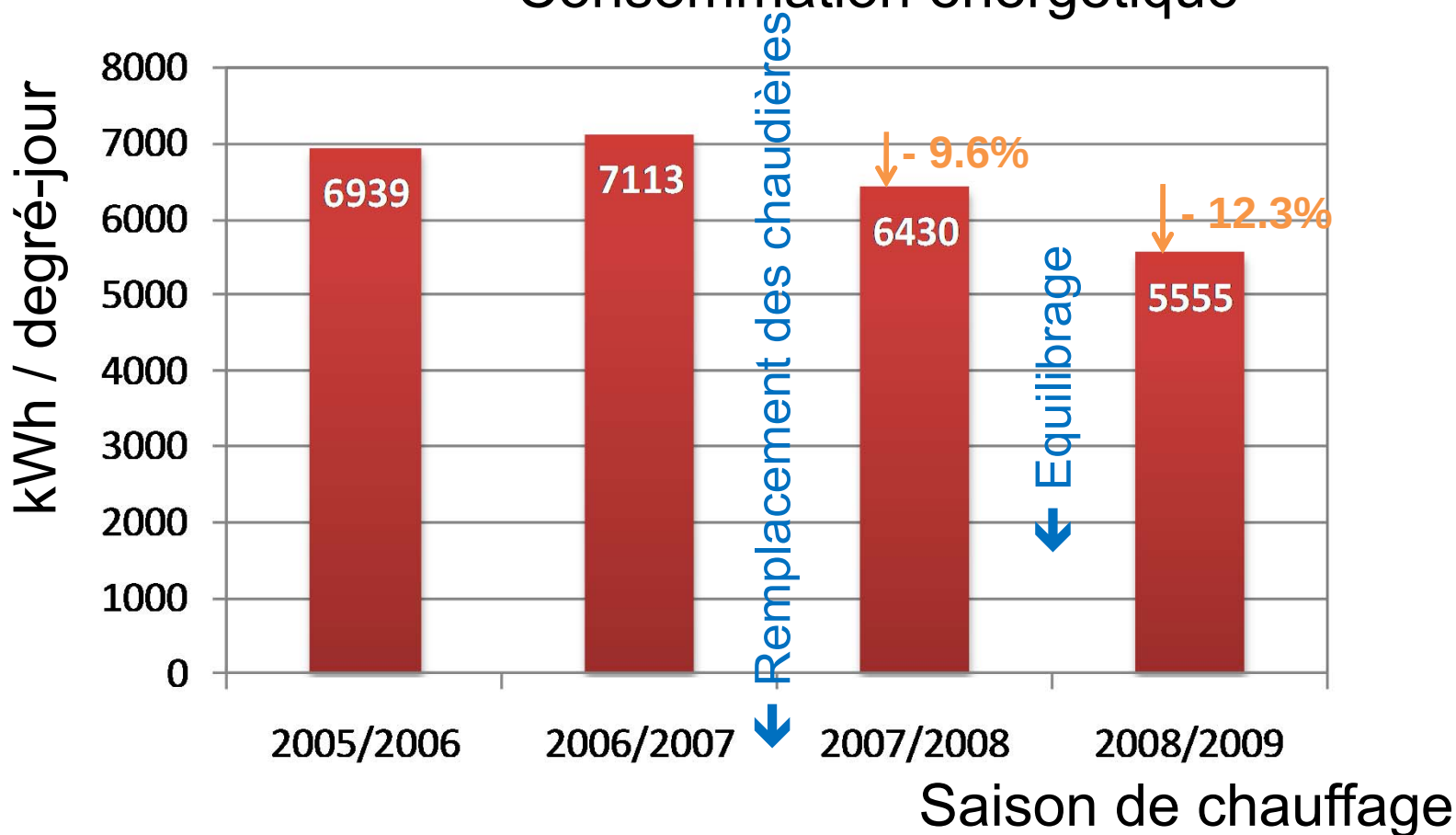
○ Mise en place de quelques vannes d'équilibrage complémentaires

○ Calcul des pré-réglages

● Equilibrage sur site en méthode « REGIS »



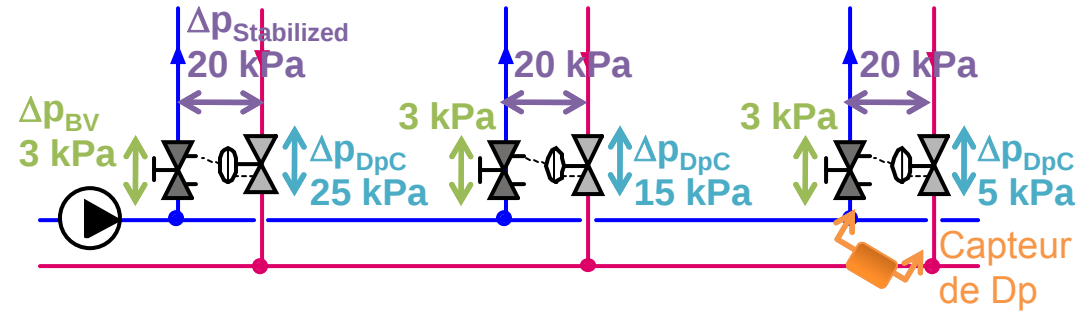
Consommation énergétique



■ Amortissement en moins d'un an!

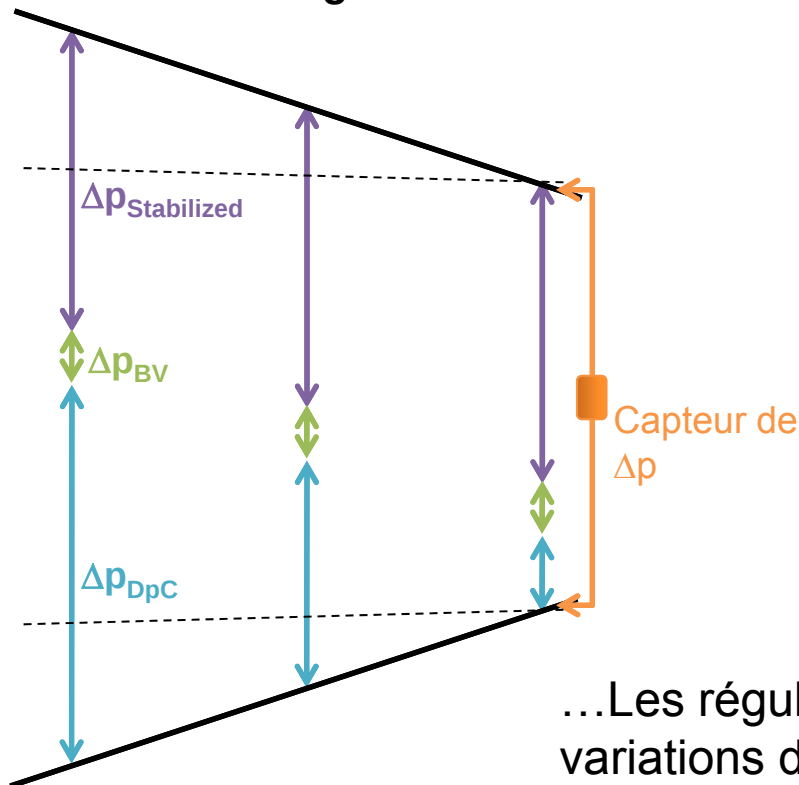
*Article CFP (French HVAC nr 731,
Fév. 2010 par Asterm, Dalkia and
TA.*

Pompe à vitesse variable et régulateur de Δp



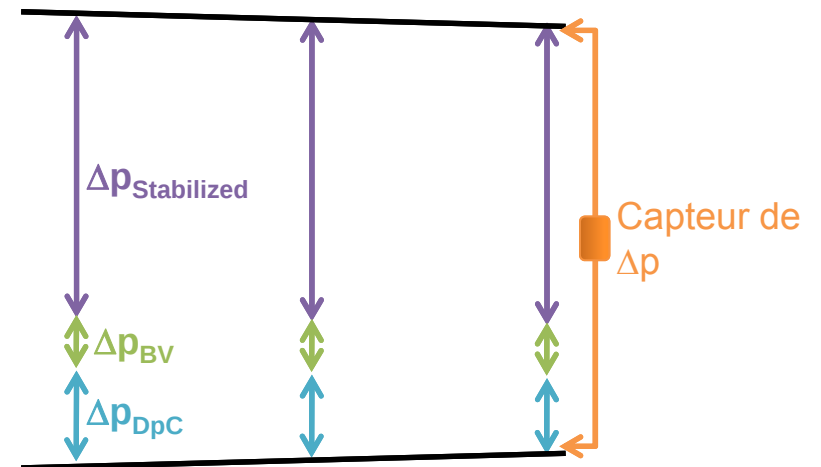
A 100 % de la charge

Hm
48 kPa



A 50 % de la charge (20% du débit)

Hm
29.6 kPa



...Les régulateur de Dp sont nécessaires pour gérer les variations de pression du mini au maxi...

Optimisation des pompes à vitesse variable

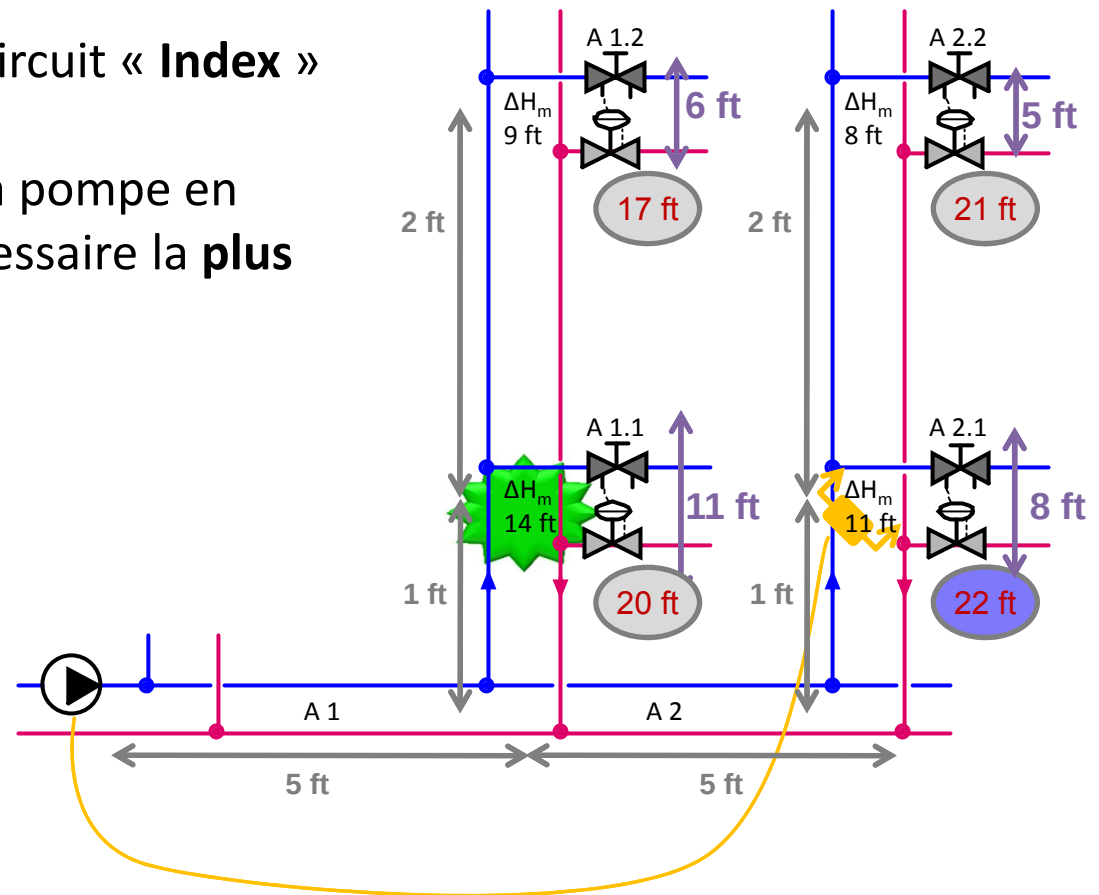
Réglages pour optimiser les coûts de pompage et la qualité de régulation

1. Réaliser le **balancement des régulateurs de Dp** sur les branches
2. Installer le **capteur de Dp** sur le circuit « **Index** » (le plus résistant)
3. Ajuster le point de **consigne** de la pompe en fonction de la **Dp disponible** nécessaire la **plus forte**

	Circuit:			
	A 1.1	A 1.2	A 2.1	A 2.2
Circuit	11	6	8	5
MBV	1	1	1	1
Δp_c	2	2	2	2
ΔH_{min}	14	9	11	8
Line				
A.1	5	5	5	5
A.1.1	1	1		
A.1.2		2		
A.2			5	5
A.2.1			1	1
A.2.2				1
$\Sigma \Delta P$	20	17	22	20

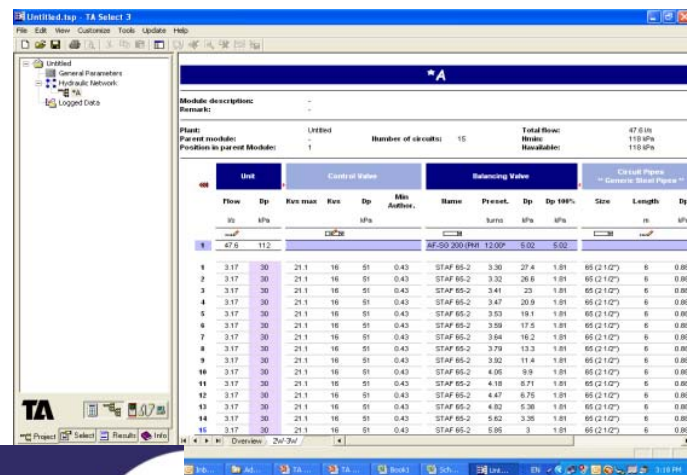
→ Δp set point

→ Index circuit



Optimisation de la consommation et qualité de régulation...

- Les régulateurs de Dp garantissent la bonne autorité des vannes de régulation
- L'emplacement du capteur de Dp sur le circuit le plus défavorisé permet d'optimiser la Hm de pompe
- Un calcul hydraulique complet est fortement recommandé

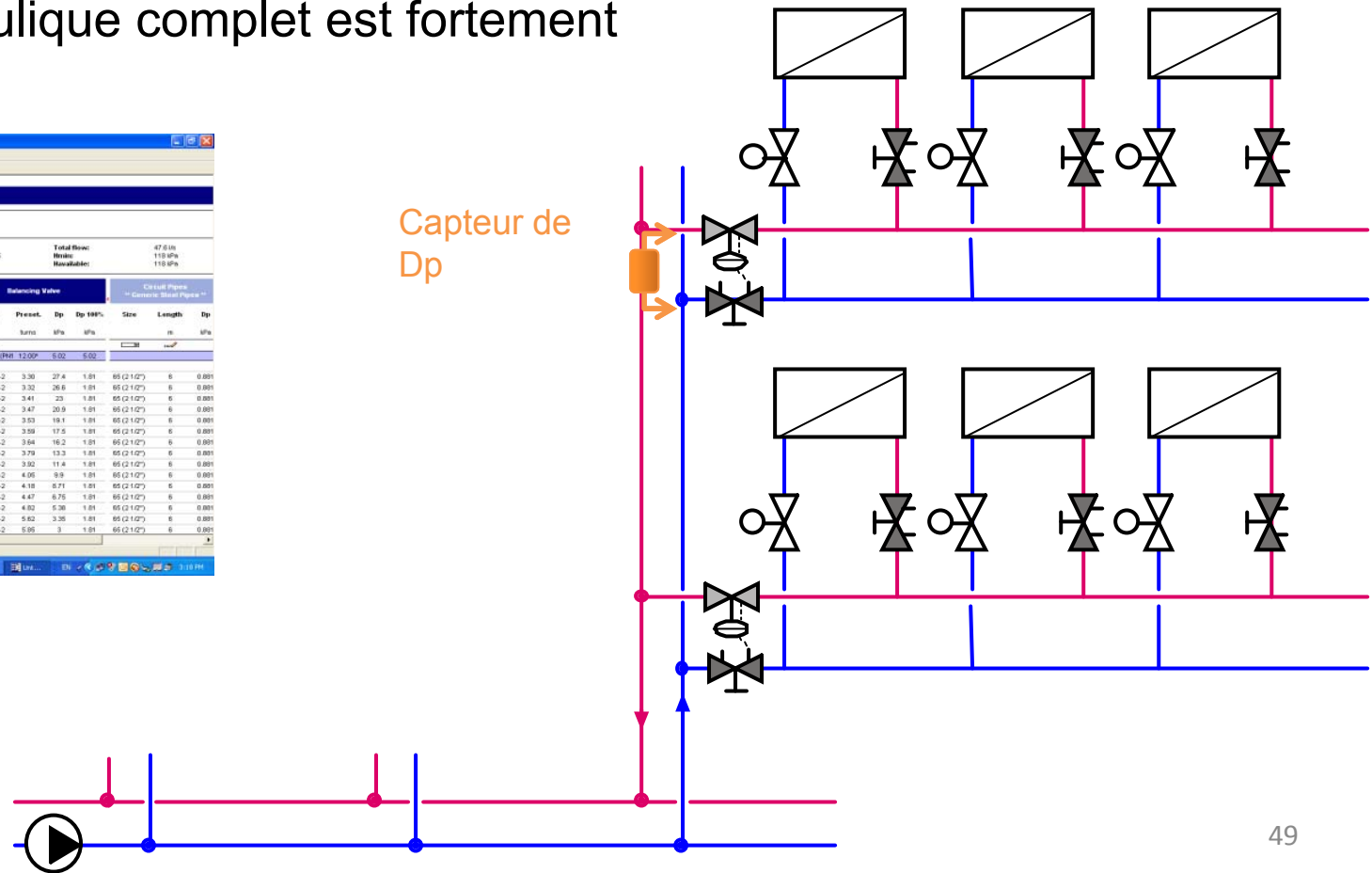


The screenshot shows the TA Select software interface with a table of hydraulic data. The table has columns for Flow, Dp, Rm max, Rm, Dp, Min. Authority, Name, Preset, Dp 100%, Size, Length, and Dp. The data is organized into rows for different circuit components.

Flow	Dp	Rm max	Rm	Dp	Min. Authority	Name	Preset	Dp 100%	Size	Length	Dp
47.6	112					STAF 65-2	3.30	27.4	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.32	26.6	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.41	23	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.47	20.9	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.53	19.1	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.58	17.5	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.64	16.2	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.79	13.3	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	3.92	11.4	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	4.06	9.9	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	4.18	8.71	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	4.47	6.75	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	4.82	5.38	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	5.62	3.26	1.81	65 (2 1/2")	6
3.17	30	21.1	16	51	0.43	STAF 65-2	5.95	3	1.81	65 (2 1/2")	6

TA Select

Capteur de Dp



- Garantir l'**autorité** des vannes de régulation est crucial pour éviter les instabilités de la température ambiante et une dégradation du DT et donc une augmentation des consommations énergétiques
 - Régulation modulante
 - Sélection des vannes de régulation (autorité)
- Une pompe à **vitesse variable** contribue à minimiser la consommation énergétique
- Mais les régulateurs de Δp sont nécessaires pour gérer les variations de pression liées aux changements de charge
- Il est possible de placer le **capteur** de Δp sur le **circuit index** (le plus résistant) à condition de placer un **régulateur de Δp sur chaque branche** et les sélectionner correctement.

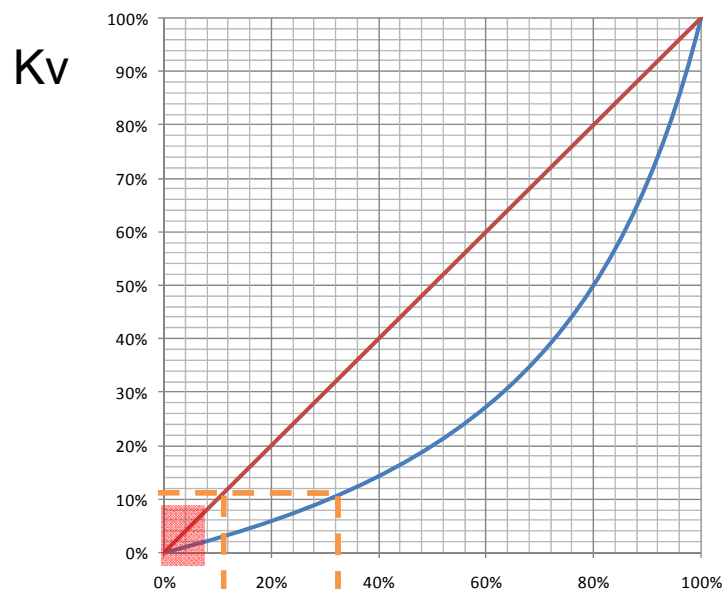
Merci!



Annexe....

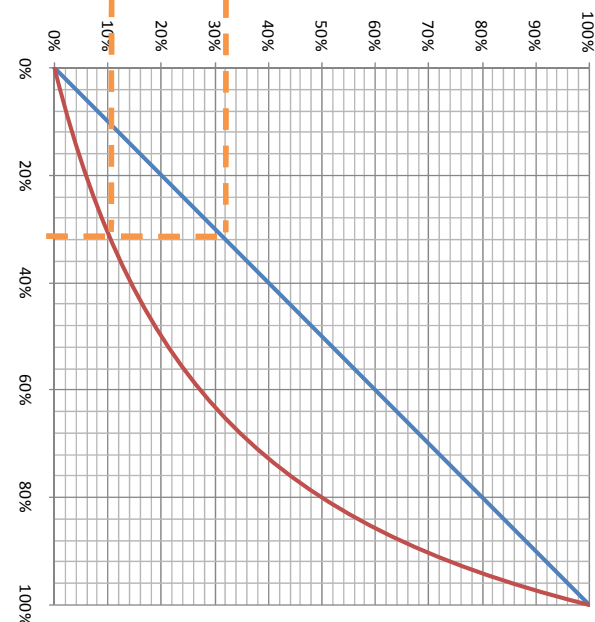
Compensation par le moteur...

Caractéristique
de la vanne



Bleu – Vanne égale % avec
moteur linéaire
Rouge – Vanne linéaire avec
moteur de compensation

Caractéristique
du moteur



h (Course)

Dans les 2 cas, un même
signal permet d'obtenir le
même Kv
Mais, avec une vanne
linéaire, le contrôle des
faibles débits se fait dans une
zone très proche d'instabilité
(rangeabilité).

u (Signal)