

# Optimisation du processus de sélection des pompes

*Maxime Boivin, ing*



ASPE, 14 janvier 2025

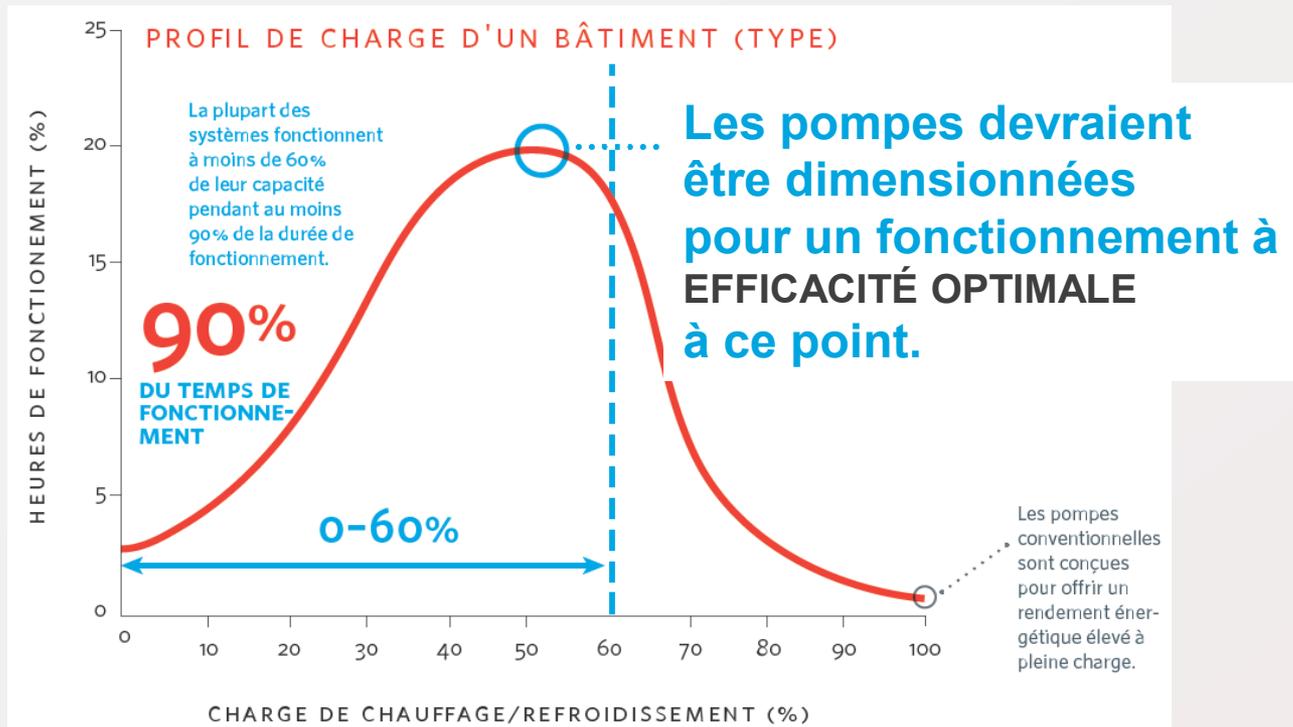
# SOMMAIRE

- Quelques notions de base
- Comment lire une courbe de pompe
- Variateurs de vitesse sur les pompes : avantages, notamment en ce qui concerne les vibrations et la maintenance
- Calcul du débit minimum
- Redondance
- Types de moteurs utilisés pour les pompes
- Résumé et fin

# Quelques notions de base

# Rendement énergétique

## Sélection pour une efficacité optimale à charges partielles



# Législation énergétique – ASHRAE 90.1-2022

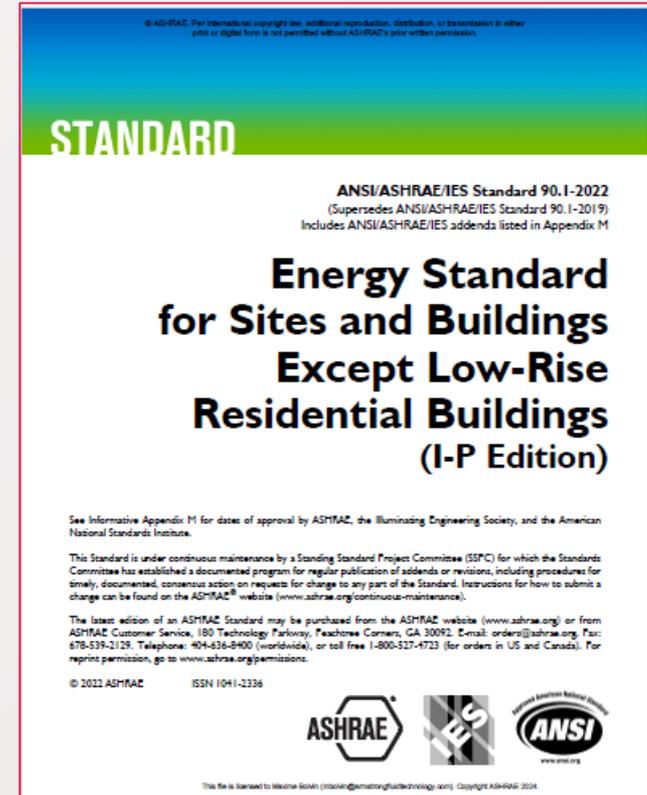
ASHRAE 90.1 est une norme énergétique pour les bâtiments

Établit les critères minimums d'efficacité énergétique lors du design d'un bâtiment

La plupart des codes du bâtiment en Amérique du Nord ont adopté la norme ASHRAE 90.1

Section pour la qualité de l'air mais aussi pour les systèmes de pompage

La version 2022 est maintenant disponible



# Législation énergétique – ASHRAE 90.1-2022

## §6.5.4.2 – Hydronic variable flow systems (2022)

“... Chilled- and hot-water *distribution systems* that include three or more *control valves* designed to modulate or step open and close as a function of load shall be designed for variable fluid flow and shall be capable of and configured to reduce pump flow rates to no more than the larger of 25% of the design flow rate or the minimum flow required by the heating/cooling *equipment manufacturer* for the proper operation of *equipment*. **Individual or parallel pumps** serving variable-flow heating-water or chilled-water *systems*, where the *nameplate horsepower* of the motor or combined parallel motors **is at least the power shown in Table 6.5.4.2**, shall have *controls* or devices that will result in pump motor *demand* of **no more than 30% of design wattage at 50% of design water flow....”**

Table 6.5.4.2 Pump Flow Control Requirements

Chilled-Water Pumps in These Climate Zones	Heating Water Pumps in These Climate Zones	Motor Nameplate Horsepower
0A, 0B, 1A, 1B, 2B	NR	≥2 hp
2A, 3B	NR	≥3 hp
3A, 3C, 4A, 4B	7, 8	≥5 hp
4C, 5A, 5B, 5C, 6A, 6B	3C, 5A, 5C, 6A, 6B	≥7.5 hp
	4A, 4C, 5B	≥10 hp
7, 8	4B	≥15 hp
	2A, 2B, 3A, 3B	≥25 hp
	1B	≥100 hp
	0A, 0B, 1A	≥200 hp

Requiert un minimum de 70% de réduction énergétique @ 50% du débit de design

# Rendement énergétique - lois de similitude

Pour toute variation de vitesse à un diamètre de roue constant :

$$1. (GPM1/GPM2) = (RPM1/RPM2)$$

$$2. (GPM1/GPM2)^2 = (PRS1/PRS2)$$

$$3. (GPM1/GPM2)^3 = (BHP1/BHP2)$$

- Le débit varie directement en fonction de la vitesse de la pompe
- La pression varie au carré du débit
- La puissance absorbée varie au cube de ce même débit

Une réduction de 10% du débit engendre une réduction de  $0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 27\%$  de réduction de la puissance absorbée

Une augmentation de 10% du débit engendre une augmentation de  $1.1 \times 1.1 = 21\%$  d'augmentation de la pression

# Concevoir et faire fonctionner un réseau avec des pompes

Comment calculer et faire varier la puissance consommée pour les pompes centrifuges (Systèmes avec eau)

$$P = \frac{Q \times H \times SG}{3960 \times \eta}$$

↑ Puissance

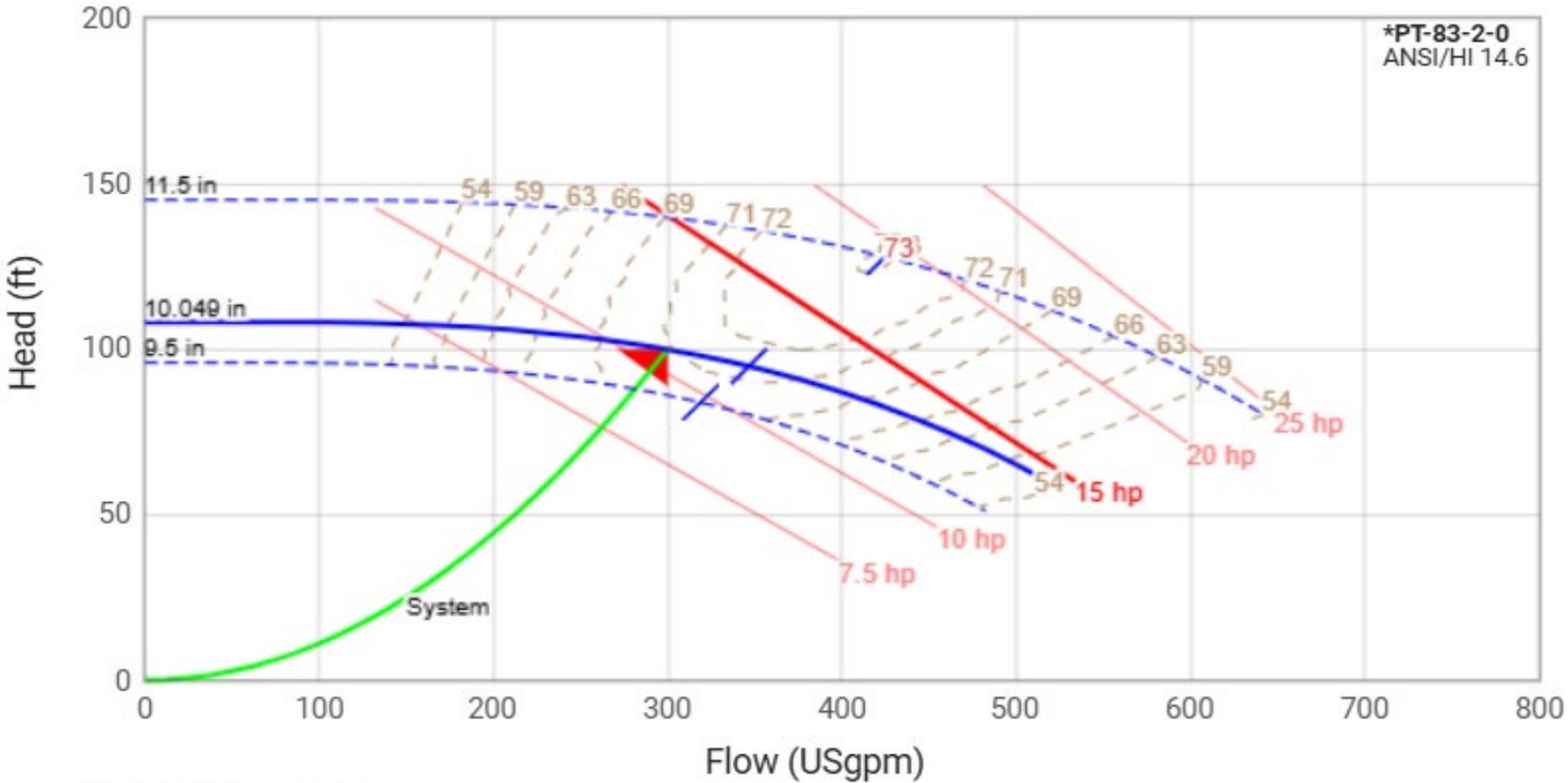
↓ Efficacité

# Comment lire une courbe de pompe

# Courbe pompe à vitesse constante

300 GPM, 100 pi H2O

4300-4x4x11.5

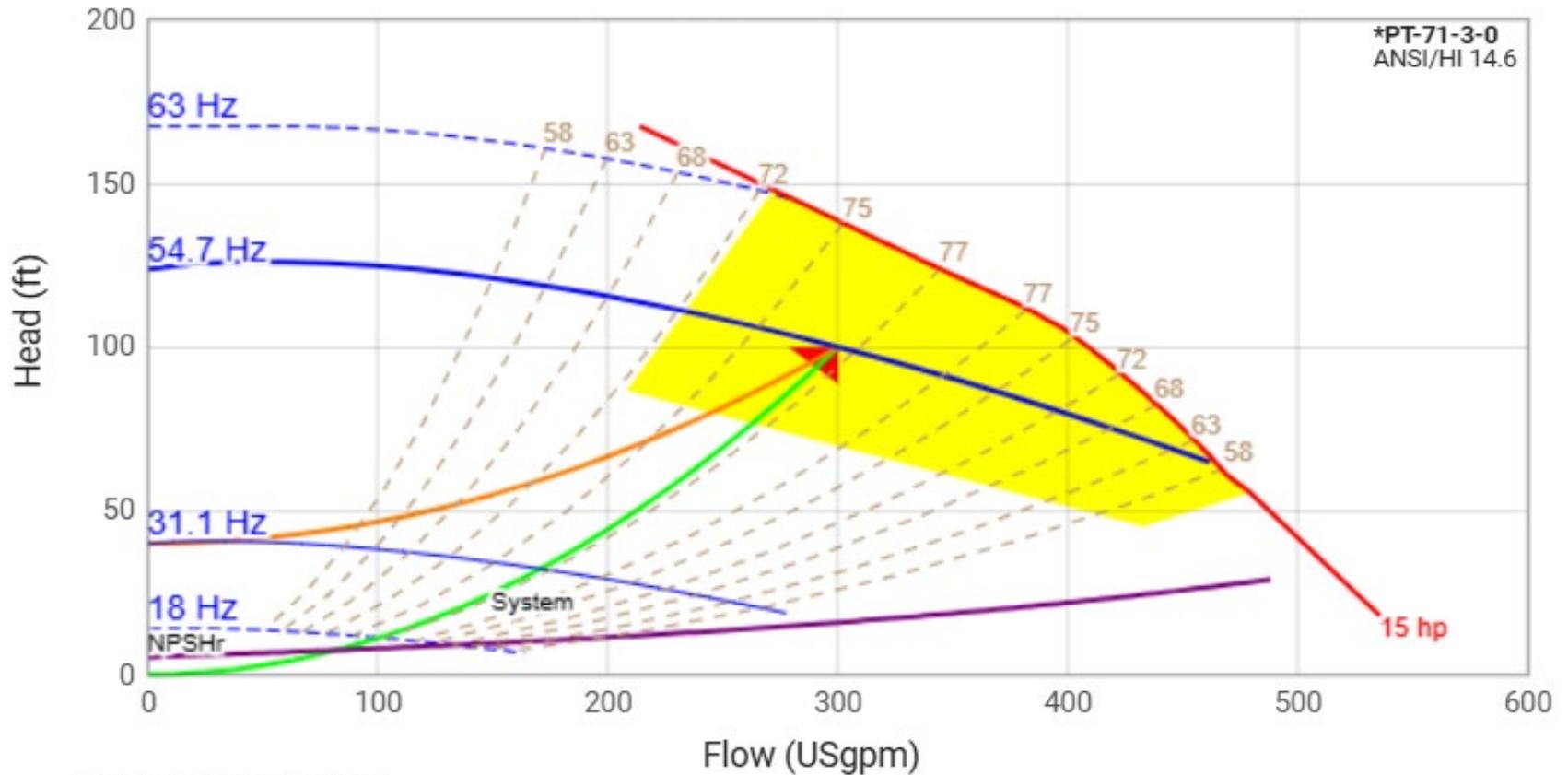


3.3.275-d5863ea7 / 55773

# Courbe pompe à vitesse variable

300 GPM, 100 pi H2O

4300 DE IVS Sensorless 0306-015.0



3.3.275-d5863ea7 / 55773

**Variateurs de vitesse sur les pompes :  
avantages, notamment en ce qui concerne  
les vibrations et la maintenance**

# Technologie Design Envelope – Pompes à vitesse variable avec intelligence intégrée

Logique de régulation intégrée

---

Régulateur avec commande anticipatrice – “feed forward”

---

Information précise du débit

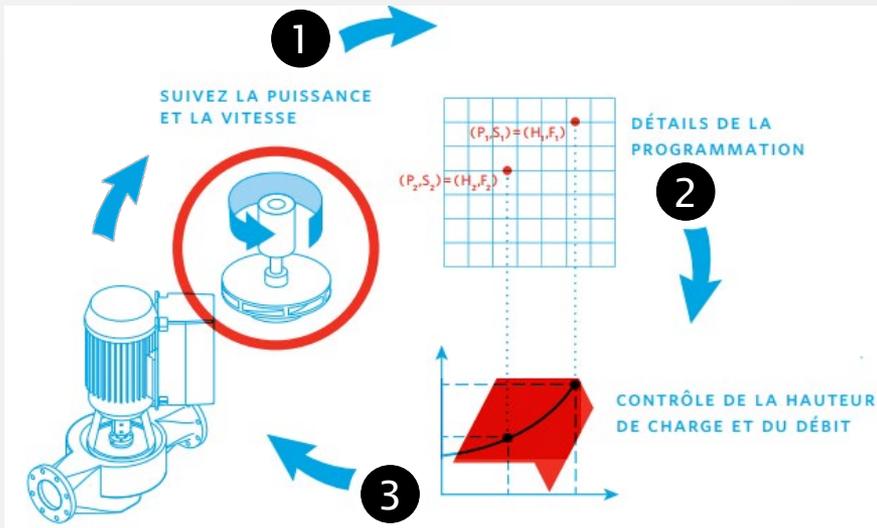
---

Auto-ajustement du débit

---



# Équipement intelligent avec mapping et régulateur avec commande anticipatrice (Feedforward Control Mapping) “Performance Maps”



1. Les caractéristiques hydrauliques de la pompe ont pour chaque point de fonctionnement une combinaison unique de 4 paramètres: **Débit, Pression, Puissance & Vitesse**
2. La pompe intelligente à vitesse variable connaissant sa puissance absorbée et sa vitesse à l'arbre peut alors recommander grâce à sa '**performance map**', le débit et la pression de tête équivalente
3. Grâce à la courbe de régulation pré-programmée pour la spécificité du réseau, la pompe peut alors ajuster sa vitesse pour égaler le débit et la pression nécessaire au réseau par la demande créée par l'ouverture et la fermeture des vannes

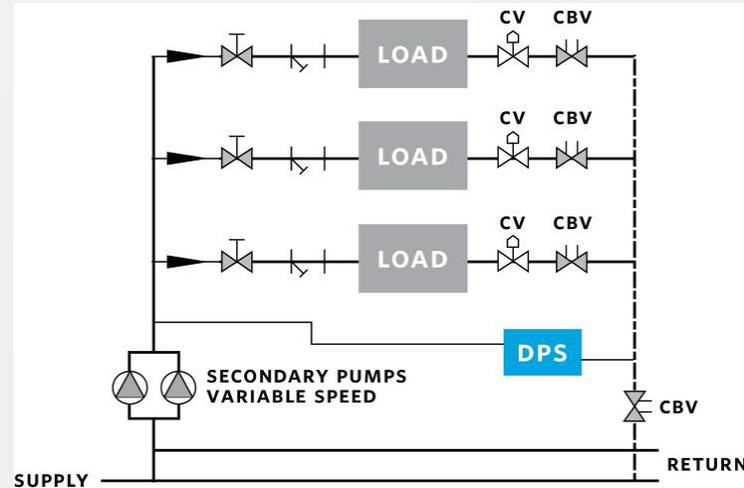
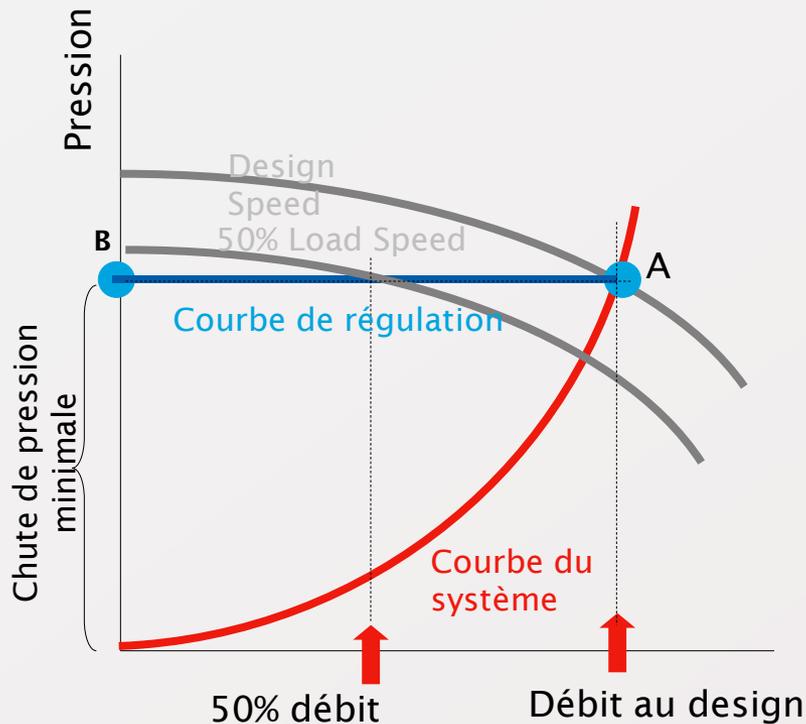
# Design Envelope – Contrôle sans sondes

Hz	Unit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Qgpm	33.31	429.83	859.67	1289.50	1719.33	2149.17	2579.00	3008.84	3438.67	3868.50
60	Hft WG	109.8599	108.24	107.27	106.38	104.97	102.46	98.26	91.79	82.47	69.71
	PmtrinkW	33.3152	36.62	41.41	47.24	53.68	60.29	66.62	72.23	76.66	79.47
	Qgpm	0	386.85	773.70	1160.55	1547.40	1934.25	2321.10	2707.95	3094.80	3481.65
54	Hft WG	88.98648	87.67	86.89	86.17	85.02	82.99	79.59	74.35	66.80	56.47
	PmtrinkW	24.29083	26.70	30.19	34.44	39.13	43.95	48.57	52.65	55.89	57.93
	Qgpm	0	343.87	687.73	1031.60	1375.47	1719.33	2063.20	2407.07	2750.94	3094.80
48	Hft WG	70.3103	69.27	68.66	68.08	67.18	65.57	62.89	58.75	52.78	44.62
	PmtrinkW	17.06307	18.75	21.20	24.19	27.49	30.87	34.11	36.98	39.25	40.69
	Qgpm	0	300.88	601.77	902.65	1203.53	1504.42	1805.30	2106.18	2407.07	2707.95
42	Hft WG	53.83133	53.04	52.56	52.13	51.43	50.20	48.15	44.98	40.41	34.16
	PmtrinkW	11.43283	12.56	14.20	16.20	18.41	20.68	22.85	24.77	26.29	27.26
	Qgpm	0	257.90	515.80	773.70	1031.60	1289.50	1547.40	1805.30	2063.20	2321.10
36	Hft WG	39.54955	38.97	38.62	38.30	37.79	36.88	35.37	33.05	29.69	25.10
	PmtrinkW	7.200882	7.91	8.94	10.20	11.60	13.02	14.39	15.60	16.56	17.16
	Qgpm	0	214.92	429.83	644.75	859.67	1074.58	1289.50	1504.42	1719.33	1934.25
30	Hft WG	27.46496	27.06	26.82	26.59	26.24	25.61	24.57	22.95	20.62	17.43
	PmtrinkW	4.167871	4.58	5.18	5.91	6.71	7.54	8.33	9.03	9.58	9.93
	Qgpm	0	171.93	343.87	515.80	687.73	859.67	1031.60	1203.53	1375.47	1547.40
24	Hft WG	17.57758	17.32	17.16	17.02	16.79	16.39	15.72	14.69	13.20	11.15
	PmtrinkW	2.134305	2.34	2.65	3.02	3.44	3.86	4.26	4.62	4.91	5.09

## Bancs de test validés par Intertek

- Tests faits par Intertek qui visite l'usine 2 fois par an.  
<https://www.intertek.com/canada/>

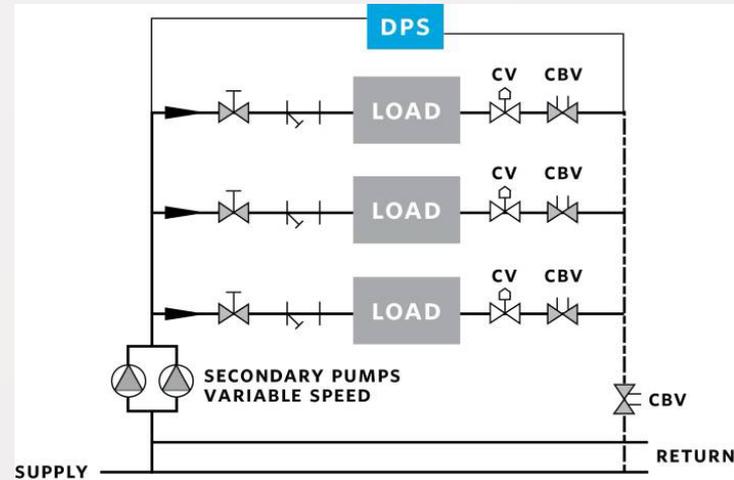
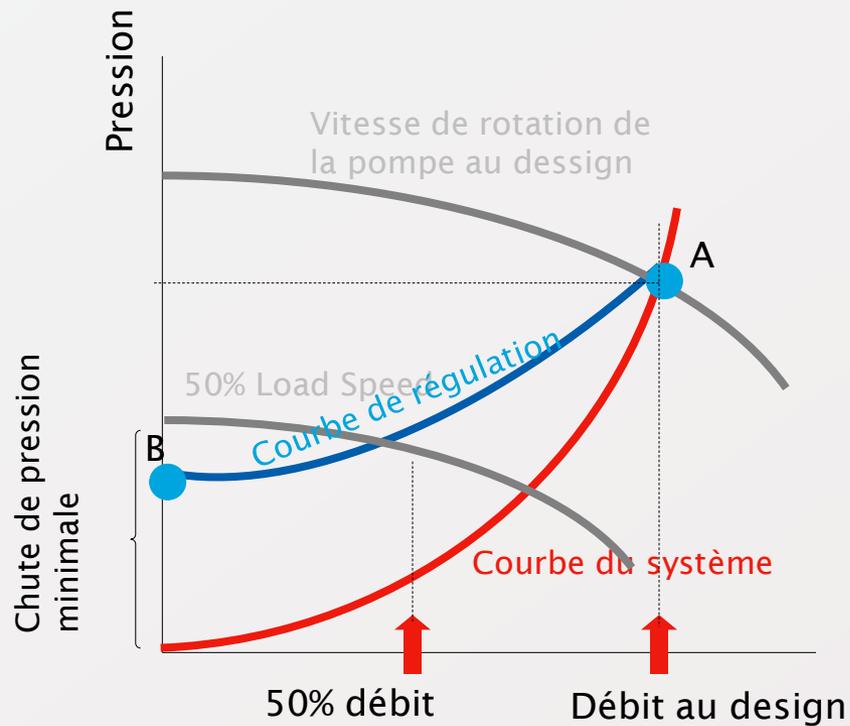
# Emplacement de la sonde – dans la salle mécanique



- A Point de design
- B Chute de pression minimale

La pression minimale équivaut à la valeur de réglage du capteur à travers la pompe dans les systèmes traditionnels

# Emplacement de la sonde – en bout de course

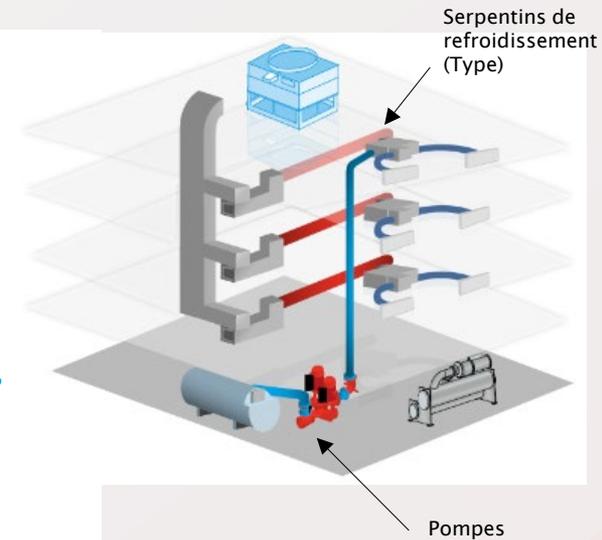
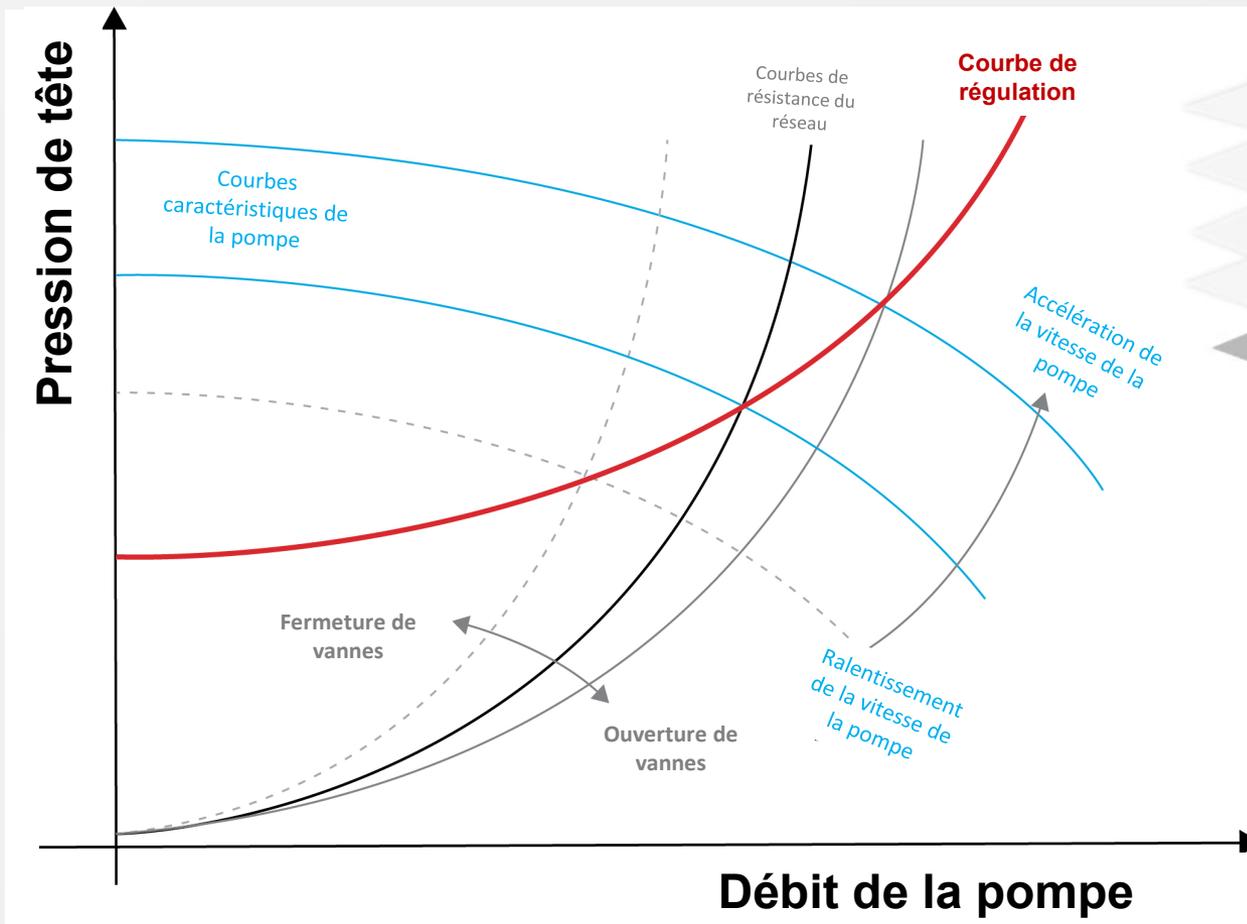


- A** Point de design
- B** Chute de pression minimale

La pression minimale équivaut au réglage du capteur sur le tuyau de charge éloigné dans les systèmes traditionnel

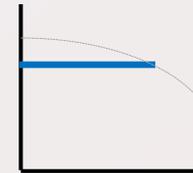
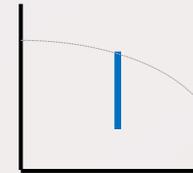
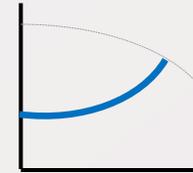
# Lecture de courbe d'une pompe

## Résistance du réseau et courbe de régulation

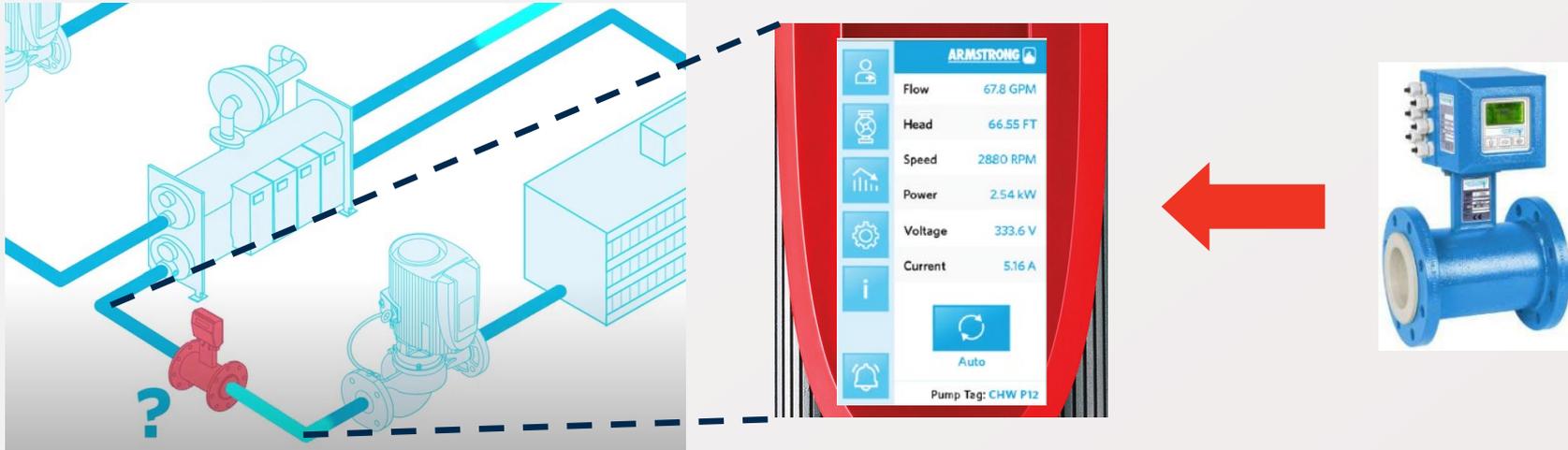


# Courbes de regulation disponibles

- **Modèle quadratique** – simule l'utilisation d'une sonde de pression différentielle dans le réseau avec une perte de pression selon le modèle quadratique
- **Contrôle débit constant** – Maintien un débit préétabli indépendamment de la pression
- **Contrôle de la pression** – simule l'utilisation d'une sonde de pression à la décharge des pompes pour garder une pression constante d'alimentation.



# Les pompes intelligentes fournissent un débit précis (precision de 5%)



Crucial pour les calculs de bilan thermique, les analyses de transfert de chaleur, et les rapports de rendement

$$\text{HEAT} = \text{FLOW} \times \Delta T \times 500$$

# Pump Manager: Un outil de gestion pour l'entretien prédictif et préventif des pompes



Un outil de gestion dans l'info nuage.

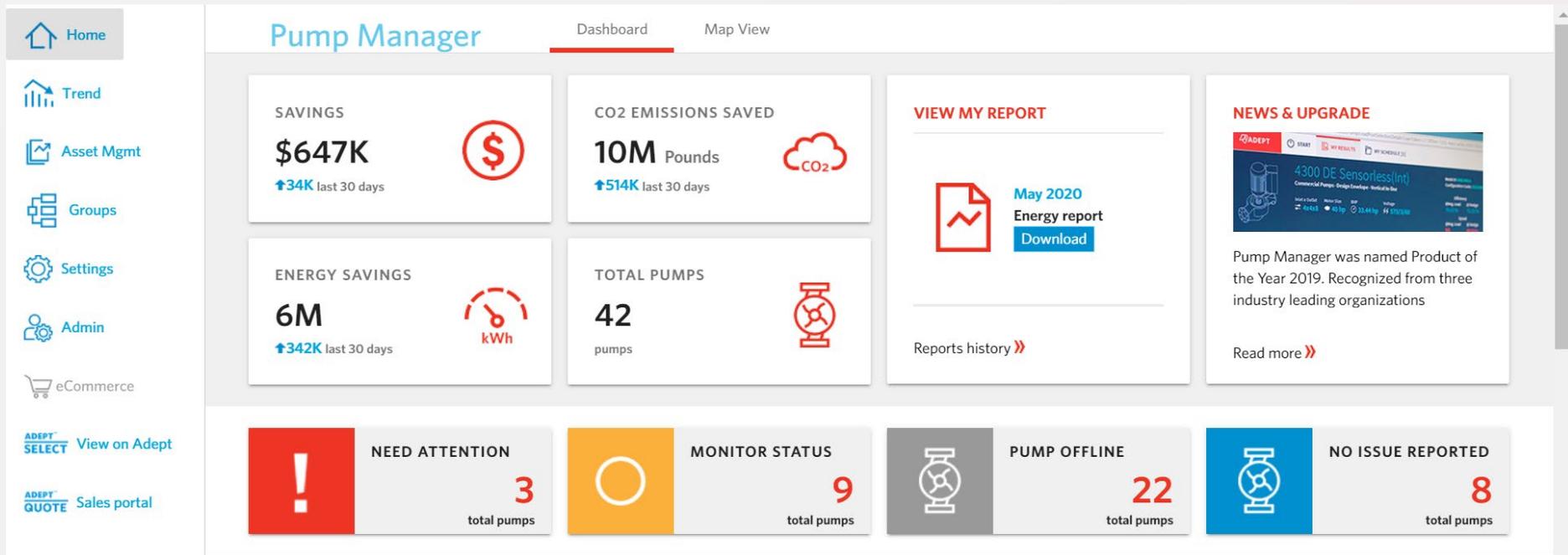


Analyse de pointe et perspectives spécifiques aux pompes.



Améliore la fiabilité et optimise les performances du système

# Résumé du tableau de bord du gestionnaire de pompes affichant un aperçu rapide des économies d'énergie et de l'état de l'appareil



# Gestionnaire de pompes: résumé

## Aperçu et alertes en temps réel

Vous pouvez désormais visualiser les tendances opérationnelles et prendre des décisions éclairées par les données

AVAILABLE NOW:

Excessive vibrations

Broken coupling

Pump in hand

Dead head

Cavitation

## Performances

Identifiez les problèmes avant qu'ils ne surviennent. Le gestionnaire de pompes vous alertera en cas d'anomalie

The average flow profile over time

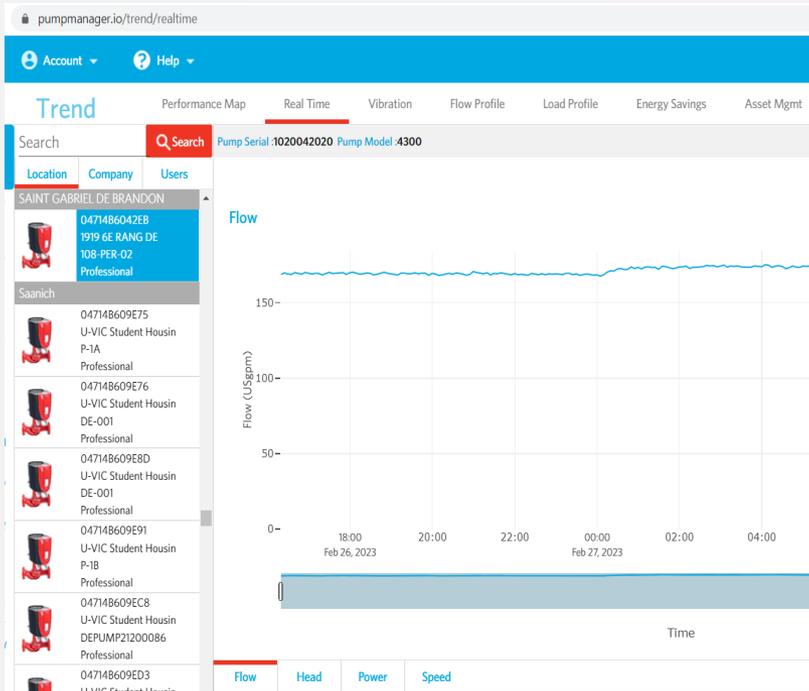
The average energy consumption profile

Current operation conditions relative to design conditions

Flow and head relationships

3 dimensional pump vibration

# Données disponibles via le Pump Manager en temps réel !

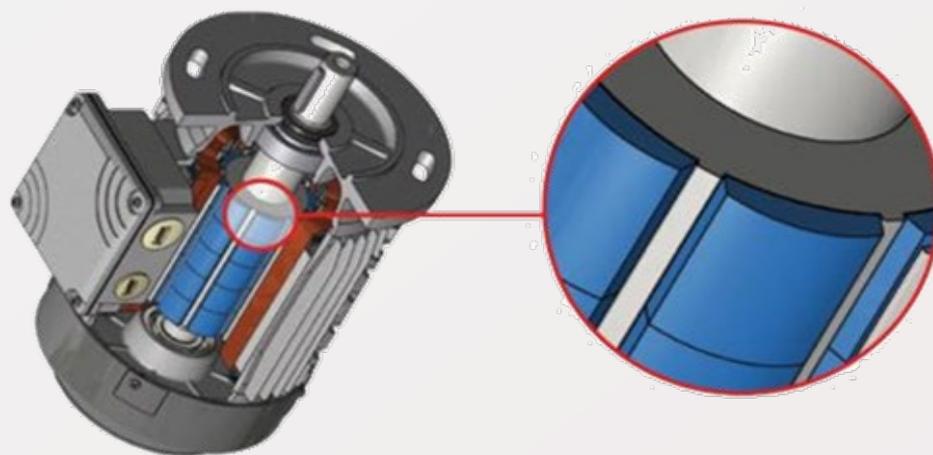


# Proposition de valeur de “Pump Manager”

## Pour les propriétaires de bâtiments et les gestionnaires immobiliers

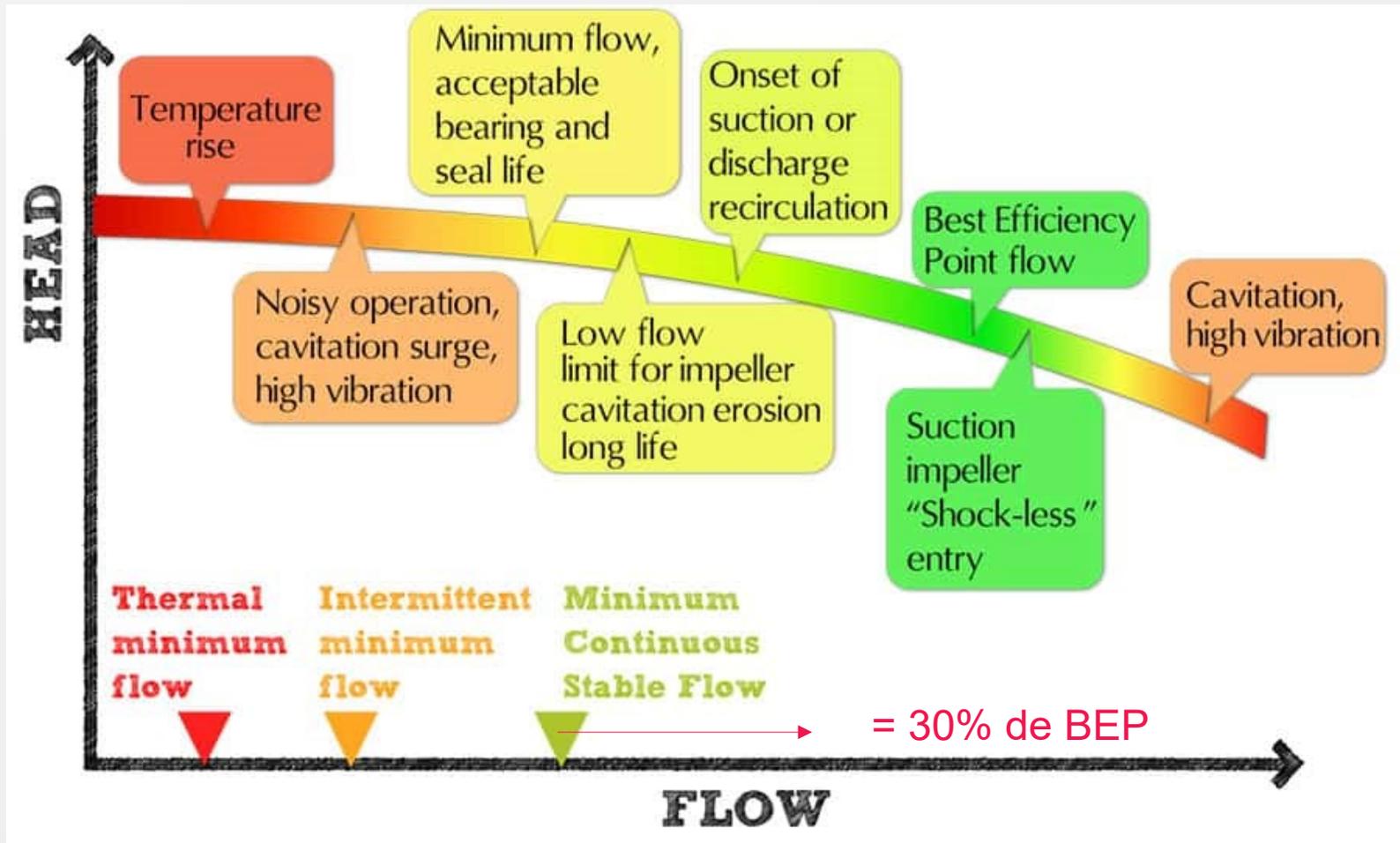
- Offre une tranquillité d’esprit grâce à un maximum de temps de fonctionnement des équipements et une opération optimale, afin qu’ils puissent se concentrer sur leurs activités quotidiennes
- Avec des économies allant jusqu’à 50 % sur les coûts d’exploitation et jusqu’à 30 % sur l’énergie de la pompe
- Contrairement aux solutions de maintenance programmée, où les ressources sont utilisées lorsqu’elles ne sont pas nécessaires et sont souvent trop réactives
- Nous procédons en identifiant, en prédisant et en reliant les problèmes à des experts ayant les bonnes compétences et les bonnes pièces pour garantir une disponibilité maximale des actifs

## Nouvelle option de moteur



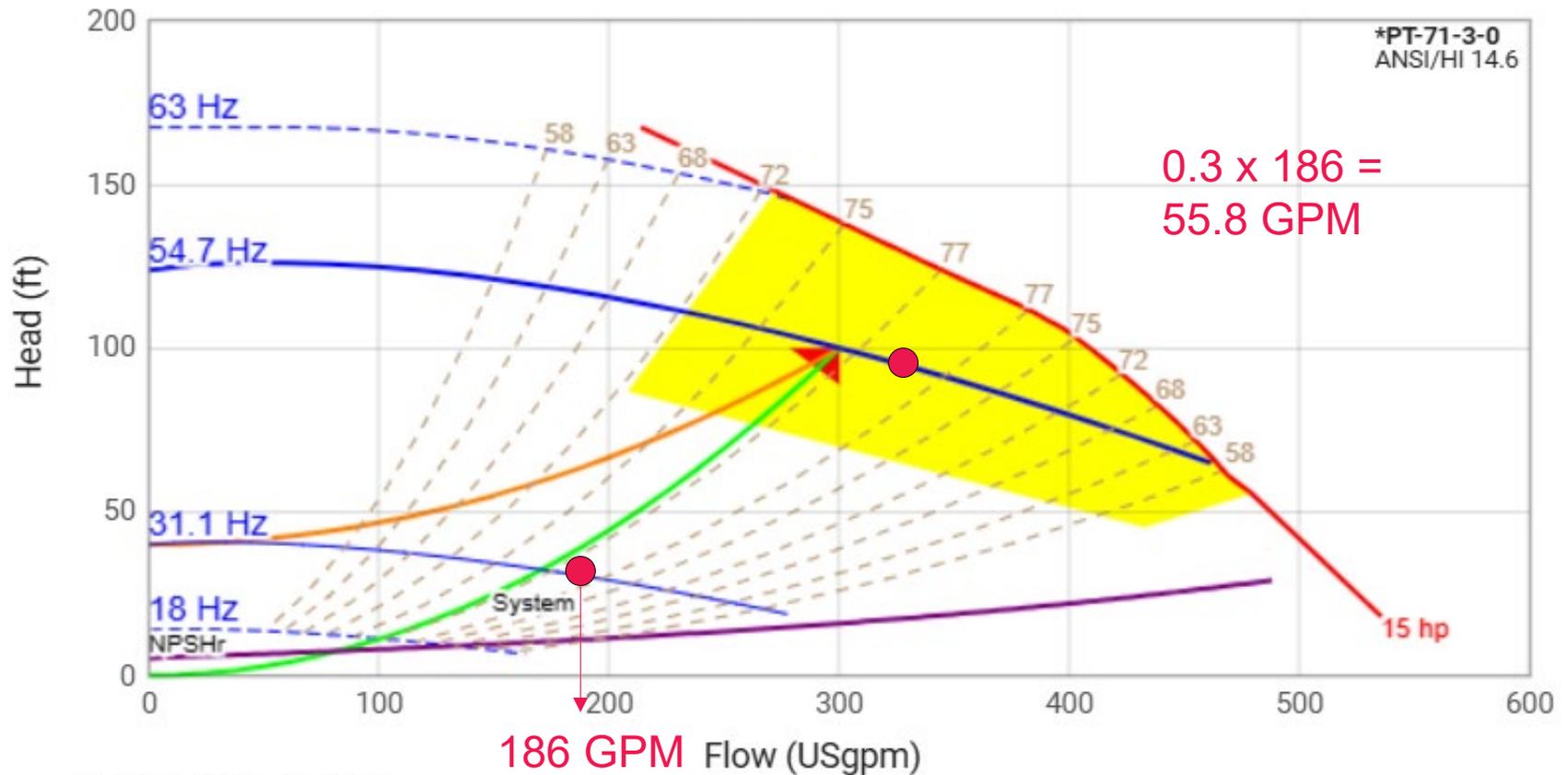
# Calcul du debit mimimum

# Débit minimum



# Débit minimum d'une pompe à vitesse variable: calcul

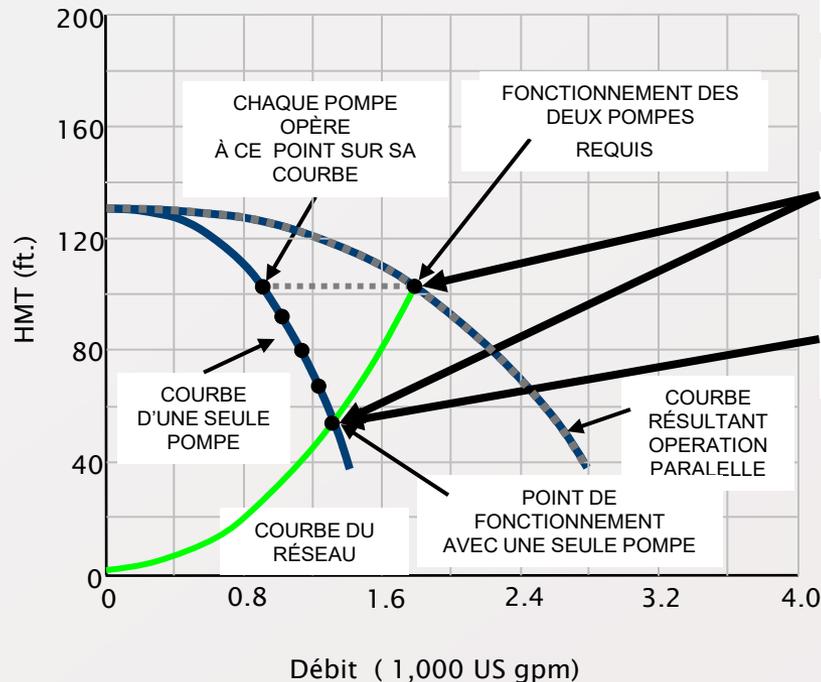
4300 DE IVS Sensorless 0306-015.0



3.3.275-d5863ea7 / 55773

# Redondance

# Les bases pour une bonne opération de plusieurs pompes en parallèle



## RÈGLES DE FONCTIONNEMENT DE PLUSIEURS POMPES EN PARALLÈLE:

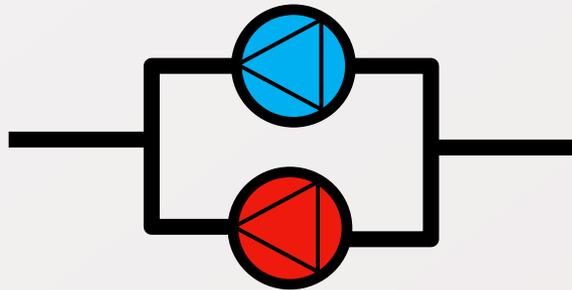
- Toutes les pompes doivent être identiques
- La courbe du réseau doit croiser la courbe résultant du fonctionnement des deux pompes
- Les moteurs de chaque pompe doivent être dimensionnés sur la base de fonctionnement d'une seule pompe



## Contexte sur les systèmes CVAC

Les systèmes de pompage CVC ont traditionnellement été conçus pour un fonctionnement **DUTY-STANDBY**:

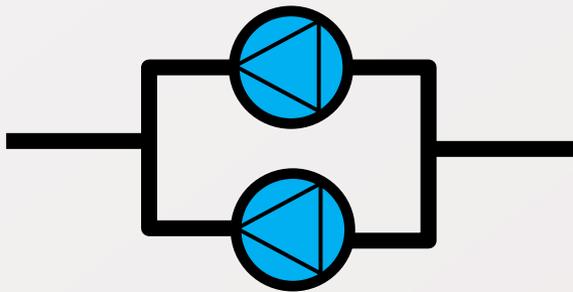
- Une seule pompe fonctionne à la fois
- L'autre pompe est en attente pour fournir une redondance à 100% en cas de panne ou de maintenance



# Pourquoi utiliser des systèmes de pompage parallèles ?

Parce que les systèmes de pompage CVAC fonctionnent généralement à charge partielle, nous pouvons sélectionner plusieurs petites pompes pour gérer économiquement la charge

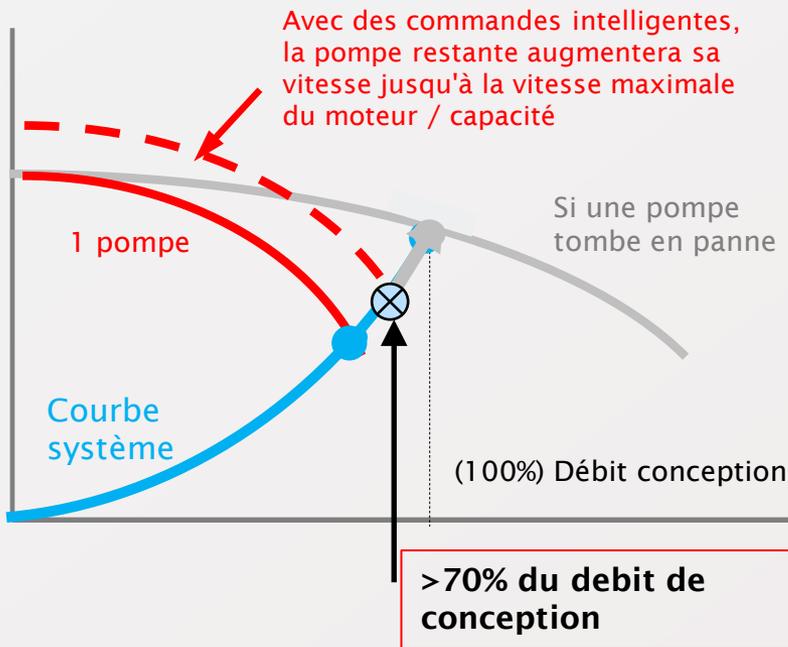
Et si une pompe tombe en panne, nous avons toujours une redondance suffisante pour que la ou les pompes restantes puissent gérer la charge



Quand deux pompes valent mieux qu'une

Contrairement à d'autres équipements, la redondance d'un système de pompage n'est pas directement déterminée par le nombre de pompes installées

# Effet de la répartition de la capacité sur la redondance



$$\text{Redondance (\%)} = \frac{\text{Débit à X}}{\text{Débit conception}}$$

Une répartition de capacité de 50% entraîne **plus de 70%** de redondance de débit\*

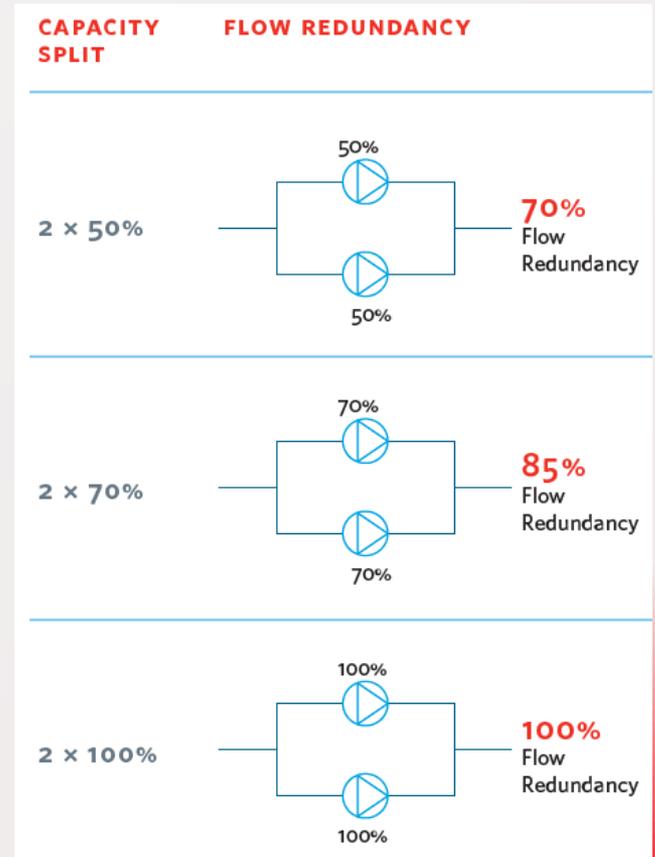
\*cela dépend de la courbe de la pompe

**Réel > 70% redondance**

# Fractionnement de la capacité vs Redondance de débit

Pour un système de 2 pompes :

Fractionnement de la capacité au design	Redondance de débit disponible
2x 50%	70%
2x 70%	85%
2x 100%	100%



# Niveau de redondance par type de bâtiment

## Bâtiment générique

70% Redondance de débit

**(2 x 50%)**

Écoles, Appartements, Condos et institutions religieuses

Usines et entrepôts



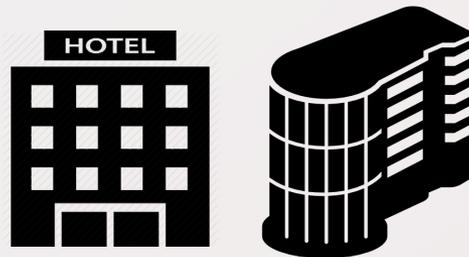
## Confort à sensibilité élevée

85% Redondance de débit

**(2 x 70%)**

Hôtels, Bureaux (à usage commercial ou mixte)

Cliniques ambulatoires, Campus d'universités et de CEGEP



## Applications critiques

100% Redondance de débit

**(2 x 100%)**

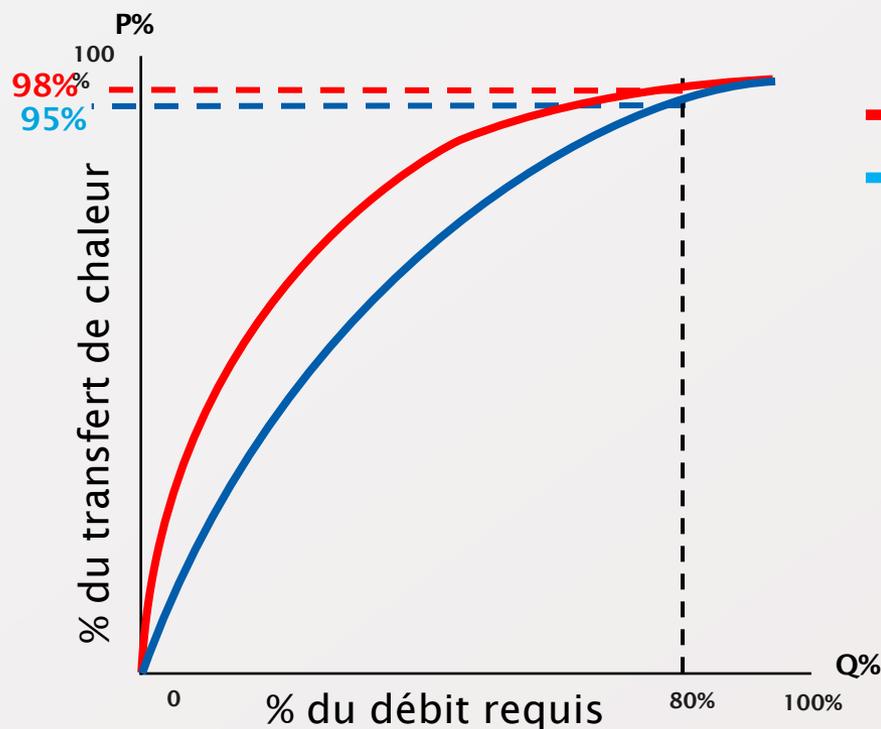
Centres de soins intensifs, Banques de sang et labos R&D et Hôpitaux

Data Centers

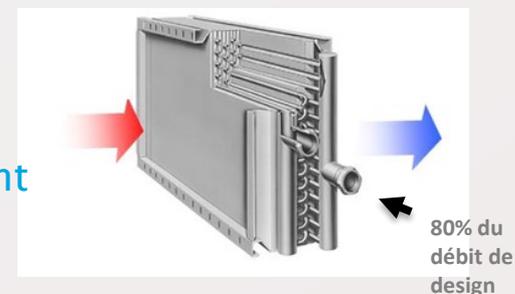


# Répercussion de la redondance

## Impact sur la puissance de refroidissement et de chauffage



— = Chauffage  
— = Refroidissement



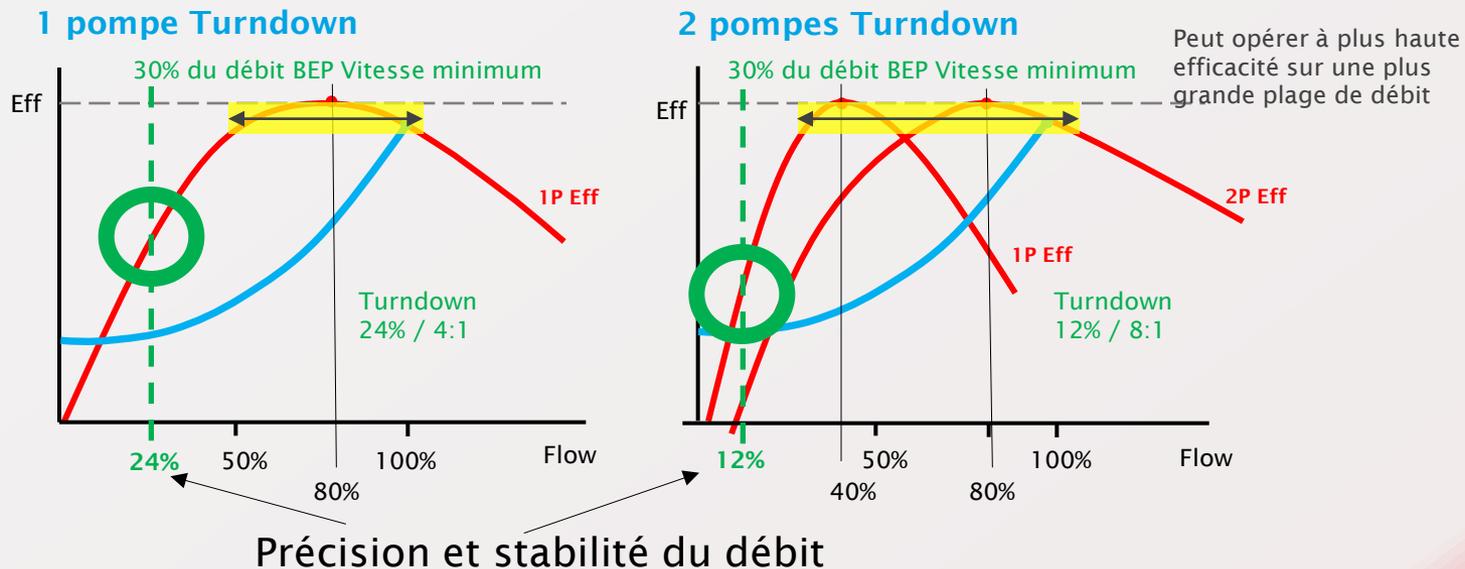
**80%** du débit de design permet toujours d'obtenir approx. **95%** ou plus de transfert de chaleur

**Incidence minimale sur le confort des occupants!**

# Redondance en parallèle- Précision et stabilité du turndown

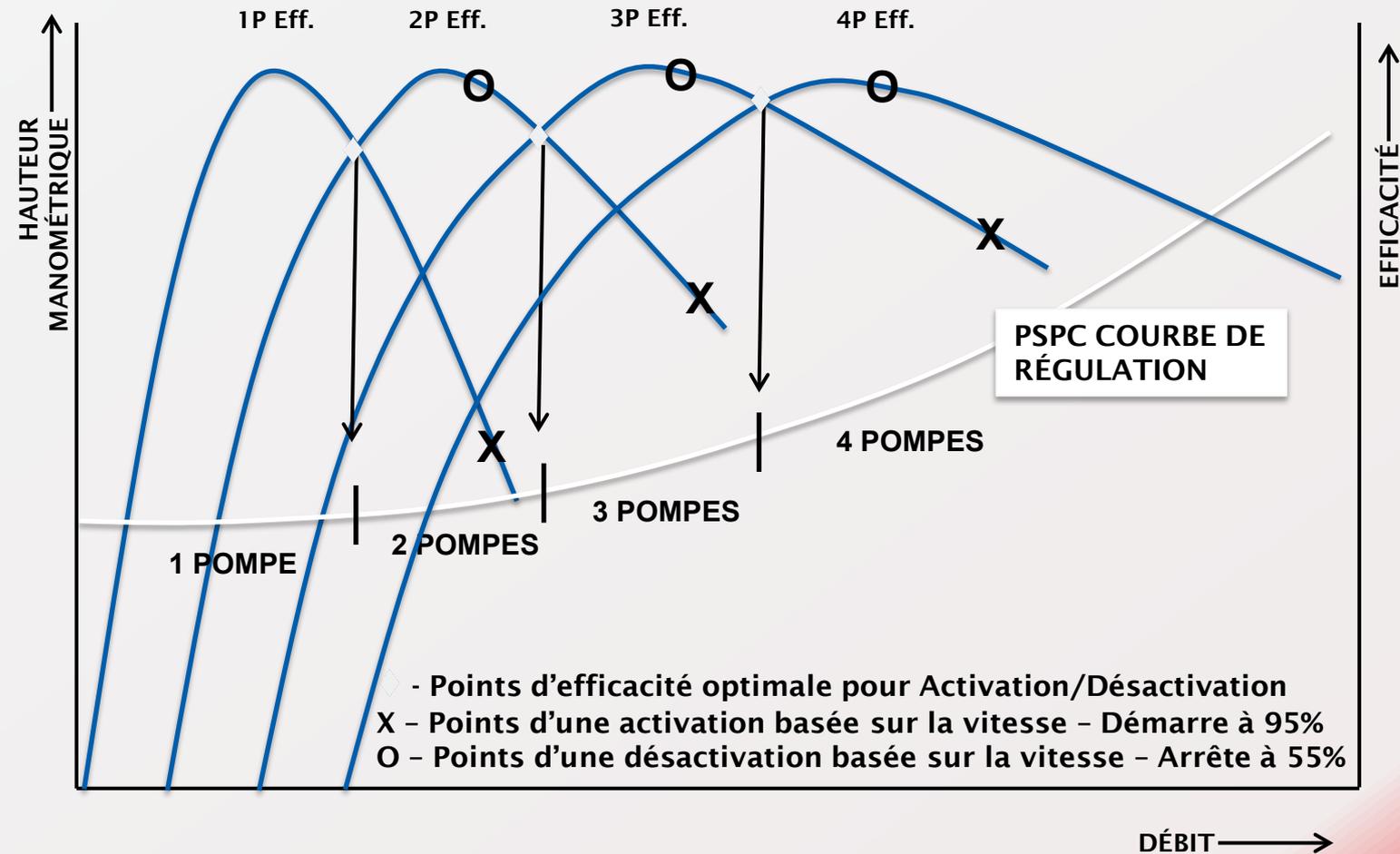
## Taux de variation (Turndown)

Pourcentage du débit de design sur le débit minimum (stable)



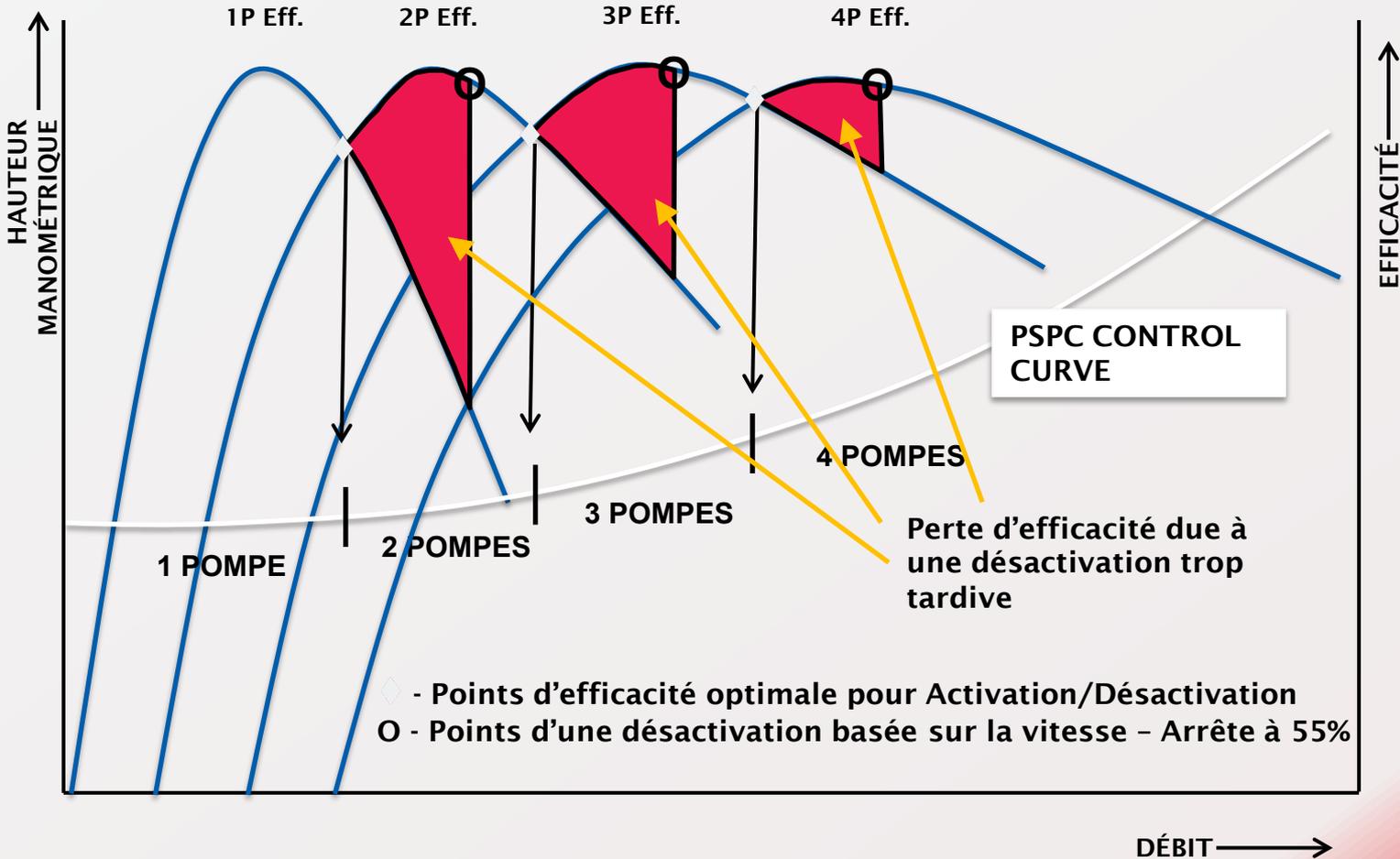
# Pompes en Parallèle - Sensorless

Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



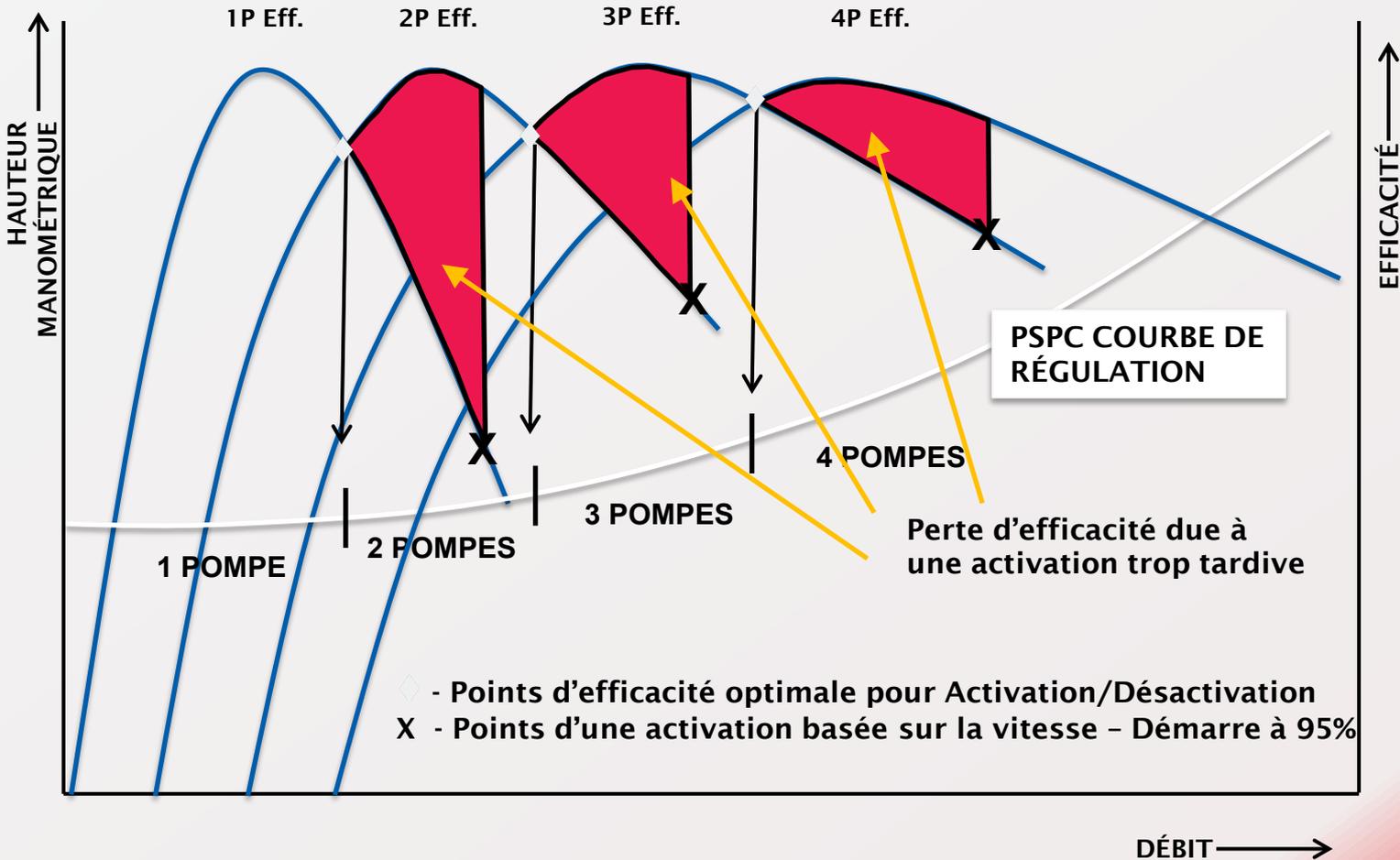
# Pompes en Parallèle - Sensorless

Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



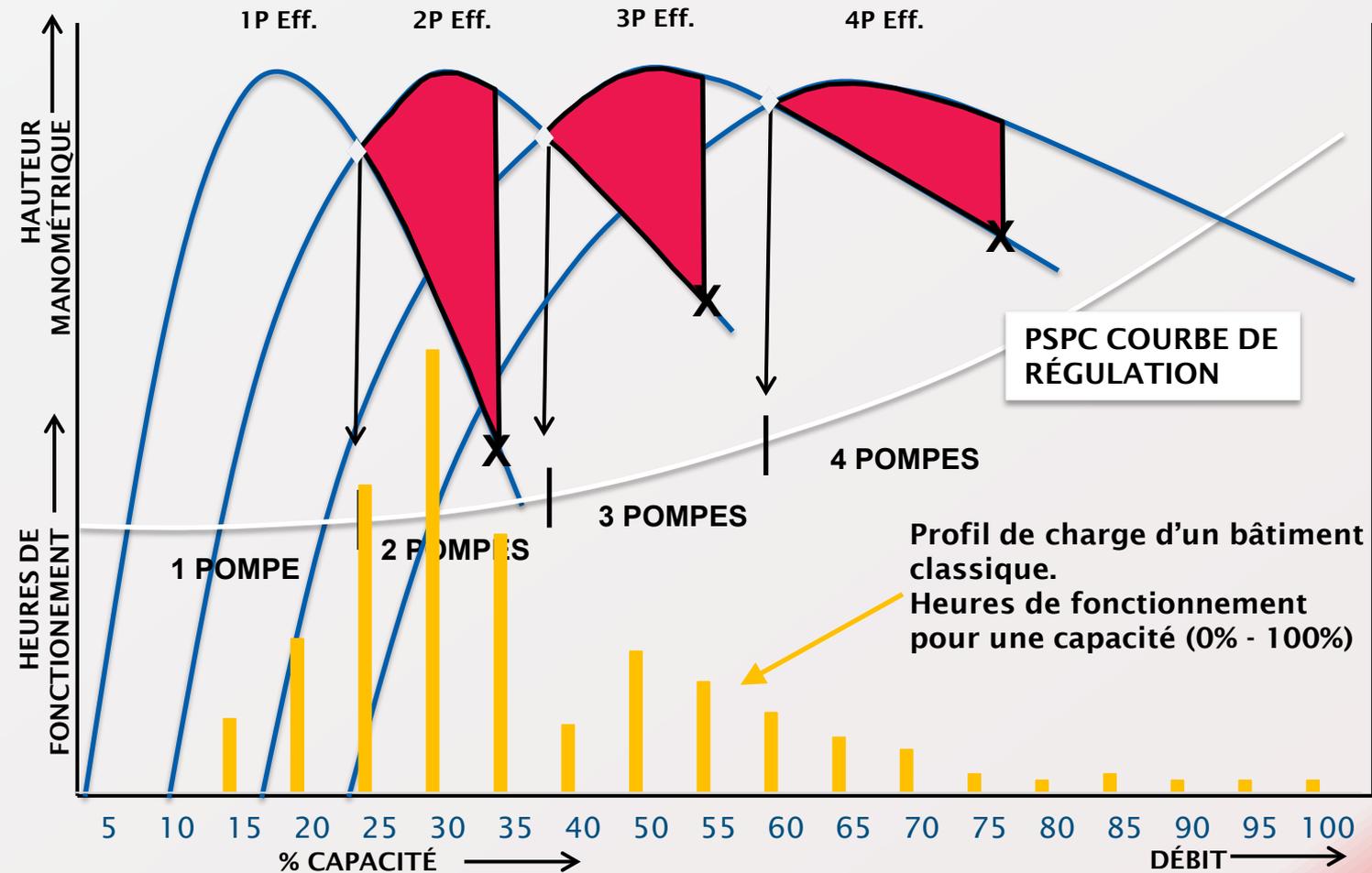
# Pompes en Parallèle - Sensorless

Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



# Pompes en Parallèle – Sensorless (PSPC)

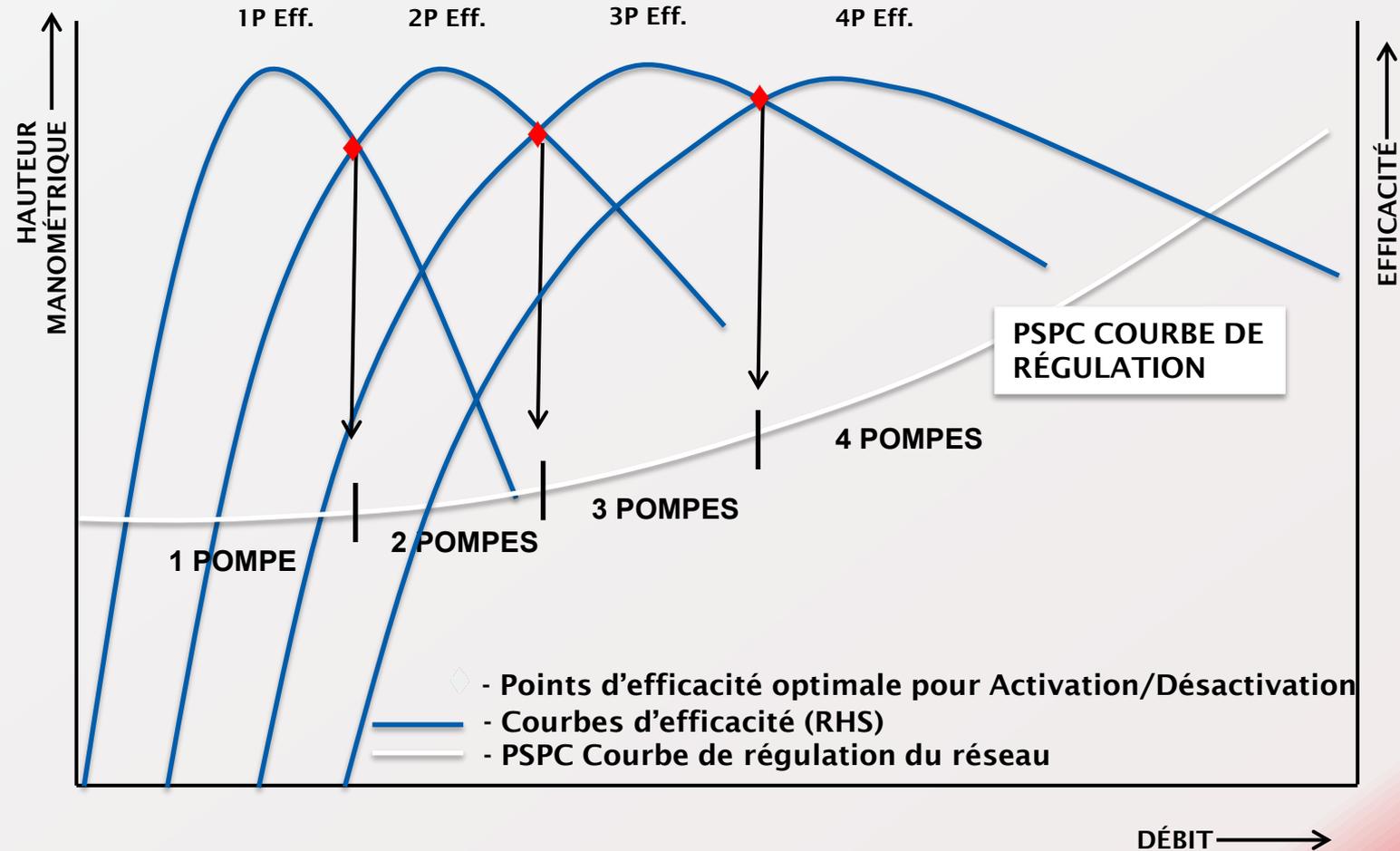
Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



**34%**  
Économie  
d'énergie  
Vs  
Activation  
basée sur la  
vitesse

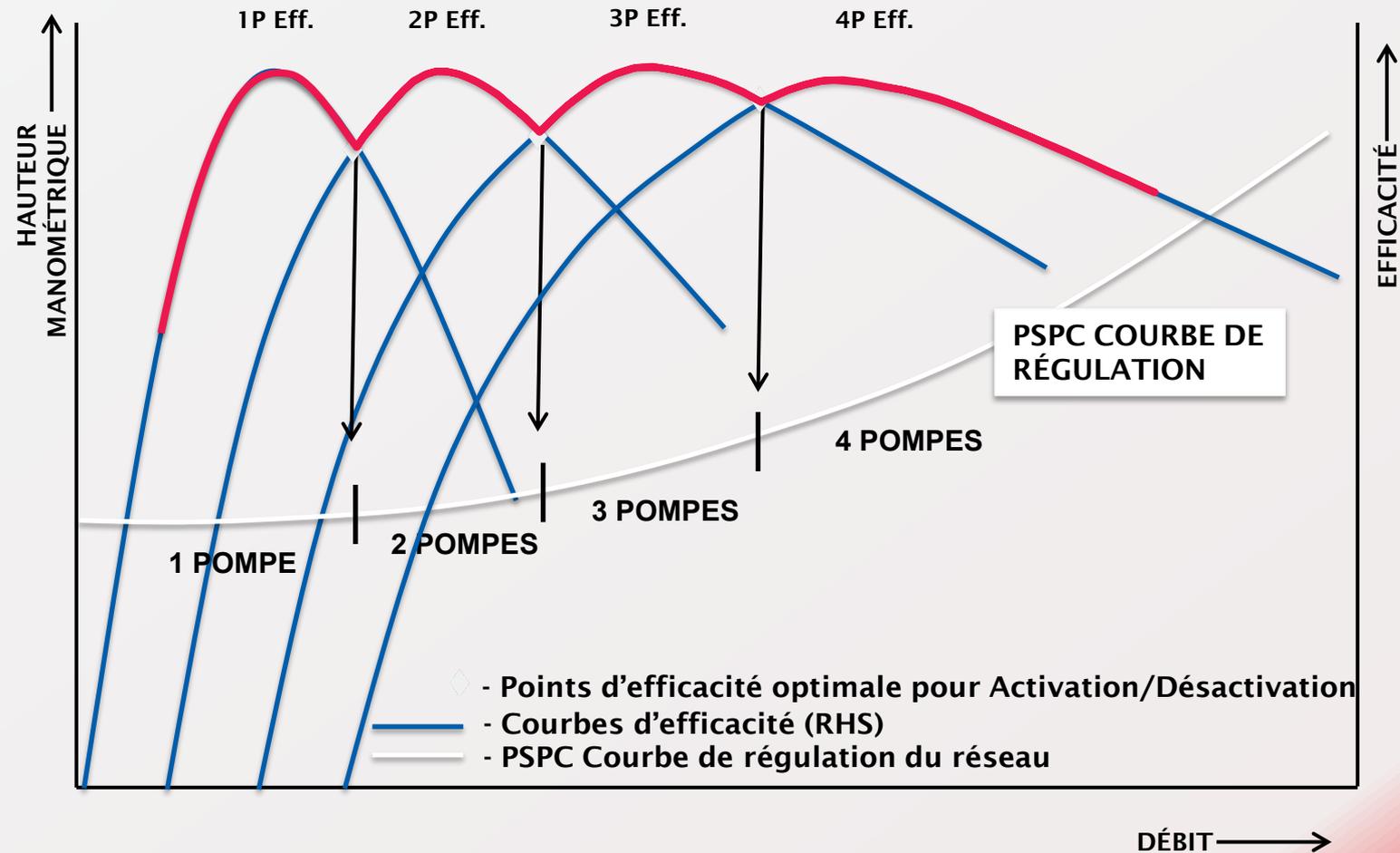
# Pompes en Parallèle - Sensorless

Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



# Pompes en Parallel Sensorless

Régulation à haut rendement – Activation au point d'efficacité optimale



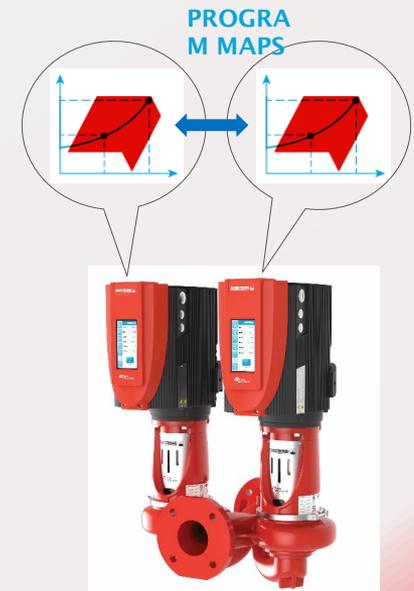
# Contrôle de pompe parallèle sans capteur (PSPC) – DE

## Caractéristiques et avantages du PSPC:

Algorithme de contrôle : Algorithme de contrôle qui met en séquence plusieurs pompes (2 à 4) pour un fonctionnement à la meilleure efficacité

Logique intégrée dans le contrôleur de la pompe (DEPC) –

- Aucun PLC/contrôleur externe nécessaire
- Aucun capteur de pression différentielle externe requis
- Préprogrammé, cartographie et testé en usine
- Aucune programmation personnalisée requise par l'entrepreneur en régulation



# Types de moteurs utilisés pour les pompes

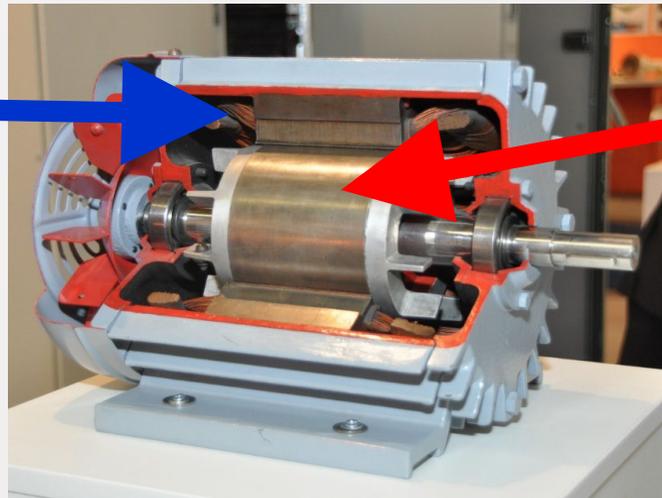
# Moteurs à induction: Champs du stator et du rotor du moteur à courant alternatif

Les moteurs à **induction** utilisent l'énergie électrique de l'alimentation secteur en courant alternatif pour générer le champ du stator en rotation et pour « **induire** » le champ magnétique du rotor

## Stator :

Enroulements en cuivre, Laminations en acier

## Électro-Aimant



## Rotor

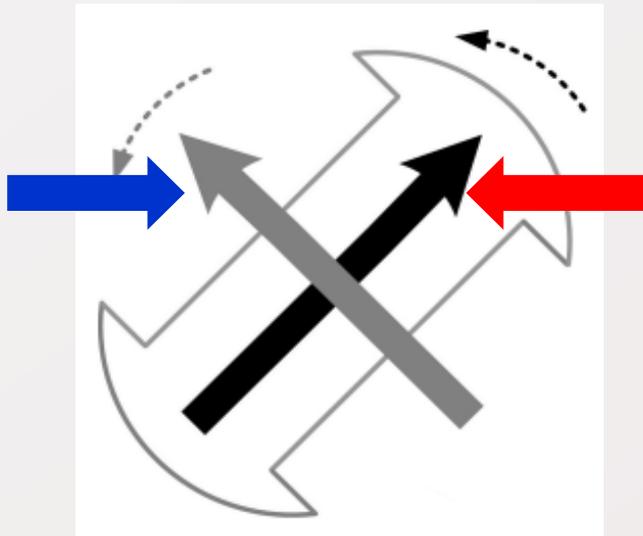
Conducteurs en alu,  
Laminations en acier  
**Électro-Aimant Induit**

# Principe de fonctionnement du moteur électrique : Champs du stator et du rotor

Le **couple** du moteur électrique se développe par l'interaction de deux champs magnétiques en rotation – le **champ du stator** et le **champ du rotor**

## Champ du stator

Le champ magnétique tourne en raison du flux de courant dans les enroulements du stator du moteur

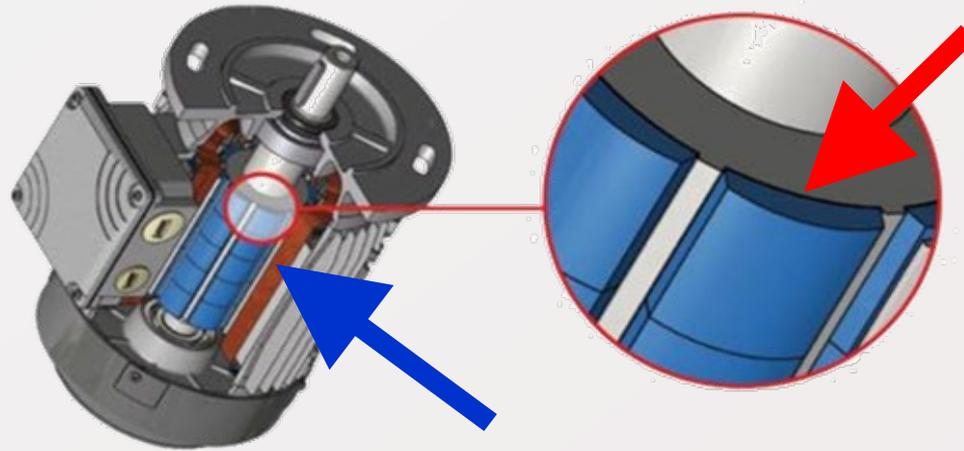


## Champ du rotor

Rotation physique du champ magnétique, qui est soit **induite**, soit **intrinsèque**

## Moteurs à aimant permanent (DEPM)

L'énergie électrique provenant du variateur de fréquence (VFD) génère le champ PM du stator. Le champ magnétique du rotor PM est **intrinsèque** aux **aimants permanents en terres rares** appliqués au rotor.



### Stator

Enroulements en cuivre, laminations en acier  
**Électroaimant**

### Rotor PM

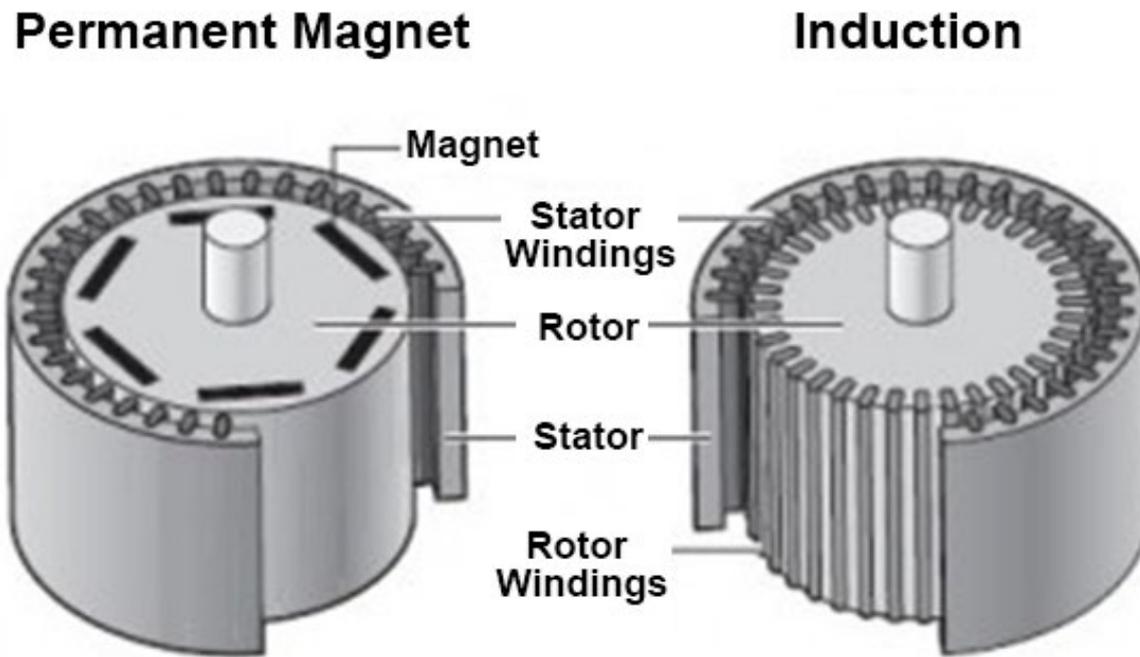
Aimants permanents à haut flux

Aimant **intrinsèque**

Le champ du rotor est "toujours actif"

**Aucune énergie** n'est requise pour le créer ou le maintenir

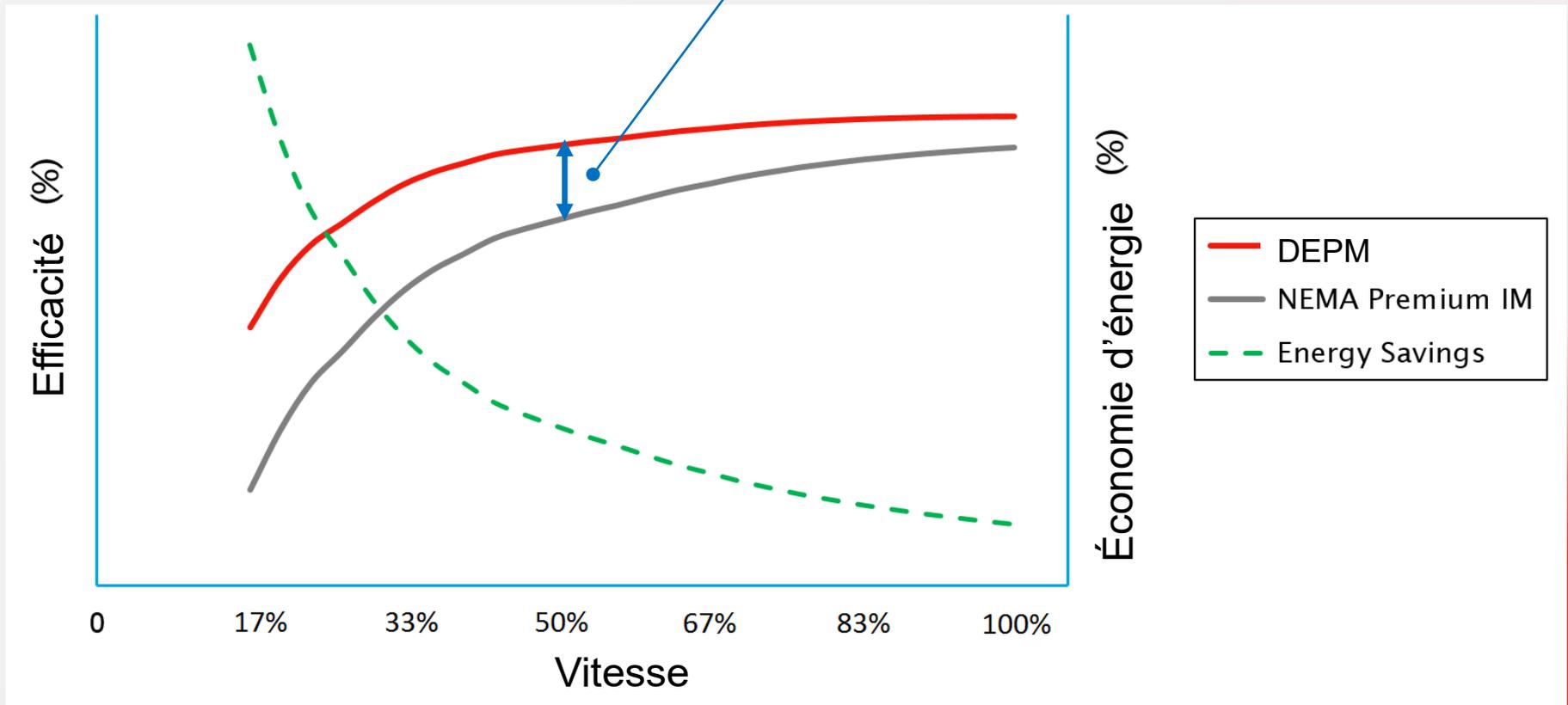
# Moteur de type induction vs moteur a aimant permanent



# Moteurs à aimant permanent

DEPM: Meilleures efficacités à faible vitesse

Moins de pertes d'efficacité à plus faible vitesse  
Idéal pour les pompes CVAC!



# Niveaux de bruit des moteurs DEPM vs moteurs à induction

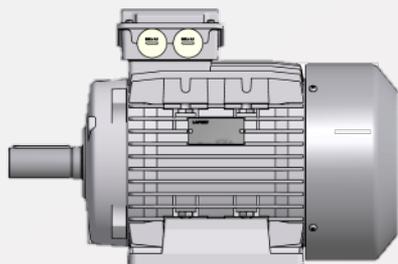
Niveau de pression acoustique NEMA 2010 à 1m



HP	Induction Motor TEFC		DEPM TEFC 3600rpm [dBA]
	2 pole 3600 rpm [dBA]	4 pole 1800 rpm [dBA]	
0.33hp			63
0.5hp			63
0.75hp			67
1hp	79	64	63
2hp	79	64	63
3hp	82	68	63
5hp	82	68	69
7.5hp	85	73	69
10hp	85	73	77

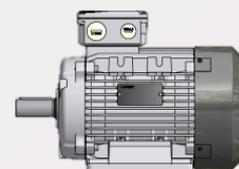
Le DEPM à 3600 rpm est équivalent aux niveaux de bruit de 1800 rpm!

## Effacité en espace et en poids du DEPM



**NEMA Premium IM**  
**7.5 HP / NEMA Frame 213**

Réduit de 3  
tailles de  
"Frame"



**DEPM**  
**7.5 HP / IEC Frame 90**

Rating	DEPM Motor	NEMA Brand X
7.5 HP	Frame 90 <b>16 kg / 35 lbs</b>	Frame 213T <b>75 kg / 165 lbs</b>
10 HP	Frame 112 <b>26 kg / 57 lbs</b>	Frame 215T <b>83kg / 183 lbs</b>

# Résumé

# RÉSUMÉ

- Lois de similitudes (la puissance varie au cube!)
- Le profil d'un bâtiment typique
- L'avantage d'avoir des pompes avec des variateurs de vitesse intégrés (plus de possibilités)
- La redondance
- L'efficacité des moteurs à aimant permanent

**QUESTIONS?**

**MERCI !**