



Mesure standardisée PU-01

Systèmes de pompes à eau jusqu'à 75 kW

Documentation

Identifiant de la mesure

PU-01

Version

2.0 (11.2025)

Version	Modifications par rapport à la version précédente
1.0	Première version
2.0	Calcul des économies comptabilisables en kWh Diverses adaptations textuelles



1 Avant-propos

Lors de la session d'automne 2023, le Parlement a fixé aux fournisseurs d'électricité, dans la loi fédérale relative à un approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables, une nouvelle obligation à mettre en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité électrique. L'article 46b de la loi sur l'énergie (RS 730.0; LEne) dispose que les fournisseurs d'électricité doivent mettre en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité énergétique des appareils, installations ou véhicules électriques existants chez les consommateurs finaux suisses, ou acquérir des preuves des mesures prises si elles sont mises en œuvre par des tiers. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) fournit chaque année une liste des mesures standardisées et des économies d'électricité comptabilisables à l'aide de ces mesures. Les mesures non comprises dans la liste susmentionnée sont soumises à l'OFEN pour approbation en tant que mesures non standardisées.

Pour chaque mesure standardisée, l'OFEN met à disposition un protocole d'économie à l'aide duquel les fournisseurs d'électricité peuvent annoncer les mesures mises en œuvre. La documentation fournie présente en détail la méthode servant à déterminer les économies d'électricité comptabilisables. La méthode décrite ci-après vise à estimer les économies d'électricité cumulées (énergie finale) pouvant être atteintes sur la durée d'impact par la mise en œuvre de la présente mesure d'efficacité électrique. Elle se fonde sur un calcul *ex ante* et fait usage d'hypothèses et de facteurs définis sur la base de normes en vigueur, d'études de marché, de la littérature scientifique et d'expertises.

La documentation s'adresse aux fournisseurs d'électricité, aux responsables de la mise en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité énergétique et à toutes les personnes s'intéressant aux économies d'électricité dans le cadre des gains d'efficacité visés à l'article 46b LEne.

2 Objectif

L'objectif du présent document est d'estimer de manière forfaitaire les économies d'électricité associées au remplacement d'un système de pompe à eau à régime constant dans les cas standards suivants :

- i. Remplacement sans analyse du besoin
 - a. Mesure PU-01a : Remplacement simple de systèmes de pompes à eau à vitesse constante jusqu'à 75 kW
- ii. Remplacement avec analyse du besoin et de la situation
 - b. Mesure PU-01b : Ajout d'un variateur de fréquence pour des systèmes de pompes à eau à vitesse constante jusqu'à 75 kW
 - c. Mesure PU-01c : Redimensionnement de systèmes de pompes à eau à vitesse constante jusqu'à 75 kW

3 Symboles, termes et unités

Lettres latines

Symbole	Terme	Unité
E	Consommation électrique annuelle	kWh/a
ΔE_{eco}	Économies d'électricité cumulées	kWh
f	Facteur	-
H	Hauteur	m
N_s	Durée d'impact standard	a
Δp	Différentiel de pression aux bornes de la pompe	kPa
P_h	Puissance hydraulique	kW
P_m	Puissance mécanique	kW
t	Heures de fonctionnement annuelles	h/a
Q	Débit	m ³ /h



x, y, C	Paramètres	-
<i>Lettres grecques</i>		
Symbole	Terme	Unité
τ	Taux de charge	%
η	Rendement	-
ρ	Densité	kg/m ³
<i>Indices</i>		
x	État (actuel, nouveau)	
P	Pompe	
M	Moteur	
CF	Variateur de vitesse	

4 Description du calcul ex-ante

4.1 Économies d'électricité comptabilisables

Les économies d'électricité comptabilisables de la mesure ΔE_{eco} correspondent à la différence entre l'actuelle (état actuel) E_{alt} et la nouvelle consommation électrique annuelle (état après assainissement) E_{neu} cumulée sur la durée d'impact standard N_s .

Afin de tenir compte du taux naturel de renouvellement et d'optimisation des appareils et des installations, qui entraîne une baisse de la consommation indépendamment des obligations légales un coefficient de réduction f_{eco} de 0.75 est appliqué aux économies d'énergie comptabilisables.

$$\Delta E_{eco} = (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

ΔE_{eco}	Économies d'électricité cumulées, en kWh
E_{alt}	Consommation électrique annuelle de l'état actuel, en kWh/a
E_{neu}	Consommation électrique annuelle de l'état assaini, en kWh/a
f_{eco}	Facteur de réduction
N_s	Durée d'impact standard, en années

4.2 Consommation électrique annuelle

4.2.1 Remplacement d'un système sans analyse de besoin

Dans ce cas, le changement est réalisé sans analyse et la pompe est simplement remplacée par une nouvelle pompe dimensionnée pour le même point de fonctionnement nominal. Selon les cas, le moteur est également remplacé par un substitut de même taille mais de classe d'efficacité maximale. Les informations disponibles et considérées sont : la puissance du moteur (plaquette), le point de dimensionnement (le différentiel de pression Δp et débit Q) de la pompe (plaquette) et les heures de fonctionnement annuelles t . Le gain d'efficacité provient du changement de génération de la pompe (meilleur MEI) et, le cas échéant, d'un nouveau moteur.

Lors du remplacement, la grandeur qui demeure constante est la puissance hydraulique $P_{h,nom}$ puisque le point de dimensionnement n'est pas remis en question. Par la suite, l'indice x désigne l'état actuel (*alt*) ou l'état après assainissement (*neu*).

$$P_{h,nom} = \frac{\Delta p_x \cdot Q_x}{3600} = \frac{9.81 \cdot H_x \cdot \rho \cdot Q_x}{3600 \cdot 1000}$$

Δp_x	Différentiel de pression aux bornes de la pompe, en kPa
$P_{h,nom}$	Puissance hydraulique nominale, en kW
H_x	Hauteur, en m



ρ	Densité de l'eau, en kg/m ³
Q_x	Débit, en m ³ /h

Dans cette situation, sans analyse des besoins ni mesurage, le rendement réel de la pompe existante m'est pas considéré mais celui du standard minimum légal actuel, soit un MEI égal à 0.4 [2]. Les paramètres x et y représentent respectivement le logarithme népérien de la vitesse spécifique et du débit nominal de la pompe. La valeur du facteur C_{type} dépend du type de pompe, de sa vitesse spécifique et de la valeur du MEI [2].

$$\eta_{P,x} = 88.59 \cdot x + 13.46 \cdot y - 11.48 \cdot x^2 - 0.85 \cdot y^2 - 0.38 \cdot x \cdot y - C_{type}$$

x	Logarithme népérien de la vitesse spécifique = $\ln(n_s)$
y	Logarithme népérien du débit nominal = $\ln(Q)$
C_{type}	Facteur selon [2]
$\eta_{P,x}$	Rendement nominal de la pompe

Le taux de charge moyen du moteur est exprimé en fonction de la puissance hydraulique nominale de la pompe et la puissance nominale (à l'arbre) du moteur.

$$\tau_x = \frac{P_{h,nom}}{\eta_{P,x}} \cdot \frac{1}{P_{m,nom}}$$

$P_{m,nom}$	Puissance nominale du moteur, en kW
$P_{h,nom}$	Puissance hydraulique nominale de la pompe, en kW
$\eta_{P,x}$	Rendement nominal de la pompe
τ_x	Taux de charge annuel moyen

La consommation électrique annuelle est finalement exprimée en fonction de la puissance hydraulique nominale $P_{h,nom}$, les heures de fonctionnement annuelles t et du rendement nominal de la pompe $\eta_{P,x}$ ainsi que du moteur $\eta_{M,x}$.

$$E_x = \frac{P_{h,nom} \cdot t}{\eta_{P,x} \cdot \eta_{M,x}}$$

t	Heures de fonctionnement annuelles, en h/a
$P_{h,nom}$	Puissance hydraulique nominale, en kW
$\eta_{P,x}$	Rendement nominal de la pompe
$\eta_{M,x}$	Rendement nominal du moteur
E_x	Consommation électrique annuelle, en kWh/a

4.2.2 Remplacement d'un système avec analyse de besoin

On considèrera les optimisations suivantes issues des relevés et analyses :

- A. Le besoin réel nécessaire est plus faible que le débit actuel : correction du débit par :
 - i. L'ajout d'un variateur de vitesse ;
 - ii. Le redimensionnement de la pompe.
- B. La pression réelle nécessaire est plus faible que la pression actuelle : correction de la pression.

A. Optimisation avec correction du débit

Lorsque les analyses ont confirmé que le besoin en débit était constant mais que la valeur actuelle était trop élevée, plusieurs options sont possibles pour corriger cette situation. Dans la figure 1 ci-dessous (diagrammes $\Delta p - Q$ et $\eta - Q$), le point de fonctionnement actuel est en 1 et le débit actuel est Q_{alt} . Le



débit nécessaire dans le réseau (consommateur) est cependant plus faible Q_{min} . Les deux options standardisées pour réduire le débit sont :

- i. *Ajout d'un variateur de vitesse* : Le débit souhaité est atteint avec une pression réduite. Le rendement de la pompe est le même qu'au point 1. Si la baisse de régime est importante, les rendements du convertisseur et du moteur peuvent être diminués. L'économie est associée à la baisse de débit et de pression. C'est la première variante de mesure standard.
- ii. *Redimensionnement de la pompe* : Dans le cas où le rendement actuel de la pompe est intrinsèquement modeste ou que le rendement optimum ne correspond pas du tout au débit actuel (comme dans le cas 2' de la figure), le changement de vitesse ne va pas corriger ce problème. Une nouvelle pompe redimensionnée au nouveau point de fonctionnement (3) peut être intéressante. Le débit et la pression sont minimums alors que le rendement est maximisé. C'est la seconde variante de mesure standard.

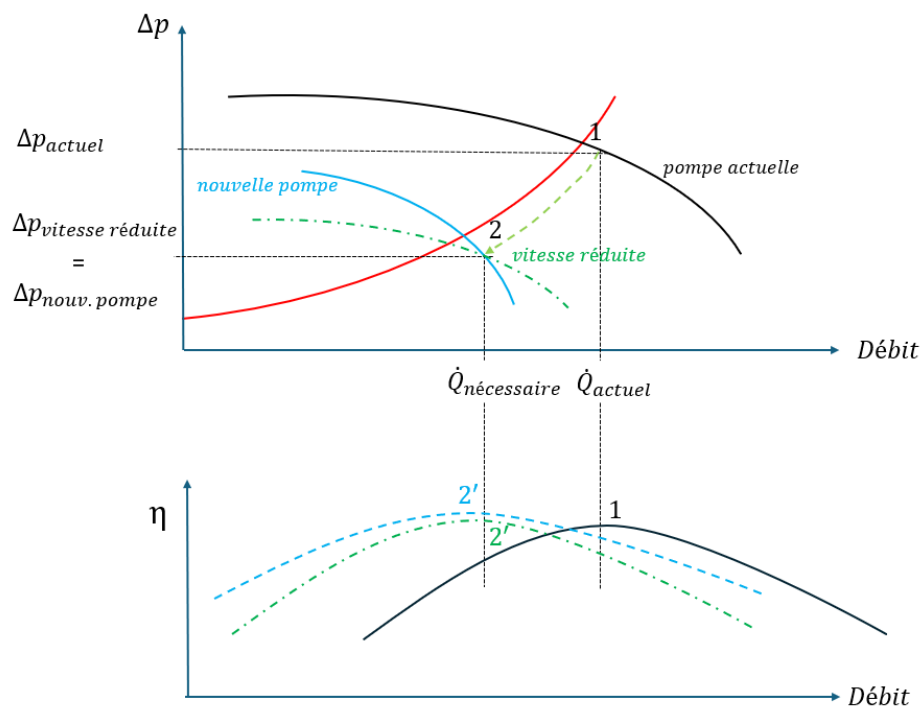


Figure 1 Exemple d'optimisation du débit dans un diagramme $\Delta p - Q$ (en haut) et $\eta - Q$ (en bas)

La consommation électrique de la pompe actuelle est calculée sur base de la mesure de la puissance électrique absorbée $\dot{E}_{alt}$ par le système :

$$E_{alt} = \dot{E}_{alt} \cdot t$$

t	Heures de fonctionnement annuelles, en h/a
E_x	Consommation électrique annuelle, en kWh/a
$\dot{E}_x$	Puissance électrique absorbée moyenne annuelle, en kW

La consommation électrique après assainissement est calculée sur base du débit réellement nécessaire Q_{neu} et des pertes supplémentaires en fonction de l'option d'assainissement choisie :

$$E_{neu} = \frac{\Delta p_{neu} \cdot Q_{neu} \cdot t}{\eta_{P,neu} \cdot \eta_{M,neu} \cdot \eta_{CF,neu}}$$

t	Heures de fonctionnement annuelles, en h/a
-----	--



Q_{neu}	Nouveau débit nécessaire, en m ³ /h
Δp_{neu}	Nouveau différentiel de pression aux bornes de la pompe, en kPa
$\eta_{P,x}$	Rendement nominal de la pompe
$\eta_{M,x}$	Rendement nominal du moteur
$\eta_{CF,x}$	Rendement du variateur de vitesse
E_x	Consommation électrique annuelle, en kWh/a

Le taux de charge moyen du moteur est exprimé en fonction de sa puissance nominale (à l'arbre) et de la puissance hydraulique nécessaire.

$$\tau_{neu} = \frac{\Delta p_{neu} \cdot Q_{neu}}{\eta_{P,neu}} \cdot \frac{1}{P_{m,nom,neu}}$$

$P_{m,nom}$	Puissance nominale du moteur, en kW
Q_{neu}	Nouveau débit nécessaire, en m ³ /h
Δp_{neu}	Nouveau différentiel de pression aux bornes de la pompe, en kPa
$\eta_{P,neu}$	Rendement nominal de la pompe
τ_{neu}	Nouveau taux de charge annuel moyen

Les pertes supplémentaires engendrées par un variateur de vitesse $\eta_{CF,x}$ peuvent être exprimées en fonction de la puissance nominale du moteur (à l'arbre) comme suit [4] :

$$\eta_{CF,x} = 0.79 + 0.22 \cdot \left(1 - \frac{1}{\log_{10}(40 \cdot P_{m,nom,x})} \right)$$

$\eta_{CF,x}$	Rendement du variateur de vitesse
τ_x	Taux de charge annuel moyen
$P_{m,nom,x}$	Puissance mécanique (à l'arbre) nominale, en kW

B. Optimisation avec correction de la pression

Lorsque l'on conduit des analyses sur un système de pompage, on observe parfois des éléments singuliers sur le circuit hydraulique qui servent à casser la pression (typiquement un diaphragme). Il s'avère que la pression fournie par la pompe sans cet élément est plus élevée que nécessaire. Cela se traduit par des débits trop élevés, par des pressions trop importantes sur des utilisateurs, etc. Le « casse-pression » sur le circuit permet donc de réduire le débit et la pression sur certains utilisateurs. Ces éléments singuliers ne sont pas à confondre avec des vannes d'équilibrage qui sont souvent nécessaires sur des circuits avec différentes branches en parallèle. Ces « casse-pression » constituent un moyen simple mais peu efficace de répondre au problème.

Le cas standard présenté dans la figure 2 ci-dessous consiste à choisir une meilleure solution selon un certain nombre de paramètres. La question consiste d'abord à déterminer si le rendement de la pompe est meilleur sans ou avec le casse pression (voir figure ci-dessous). Si le rendement est mauvais au point de fonctionnement sans casse pression, la solution consistant à retirer cet élément et à baisser la vitesse¹ sera peu efficace (le rendement de la pompe demeurant mauvais et la vitesse réduite prélevant le rendement du moteur et du convertisseur). Dans ce cas, le redimensionnement de la pompe pour le point de fonctionnement souhaité sera une bien meilleure solution.

Si le point de fonctionnement sans le casse-pression est proche du rendement optimal de la pompe, l'alternative consistant à intégrer un convertisseur de fréquence peut avoir du sens. Il s'agira alors de déterminer le rendement réel du moteur et du convertisseur compte tenu de la vitesse réduite.

¹ En ajoutant un convertisseur de fréquence

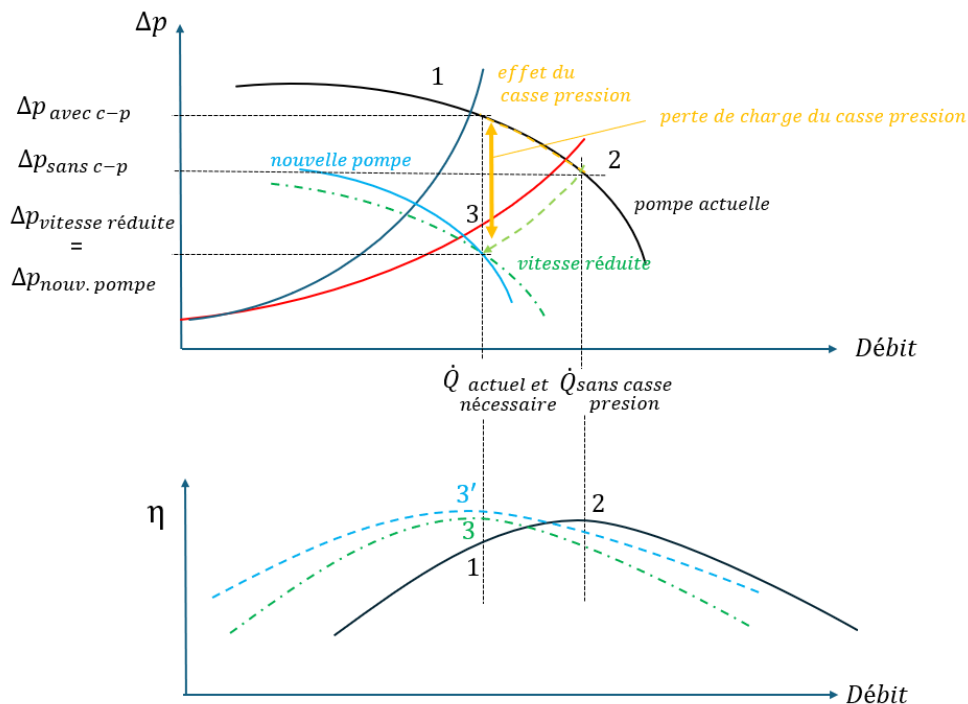


Figure 2 Exemple d'optimisation de la pression dans un diagramme $\Delta p - Q$ (en haut) et $\eta - Q$ (en bas)

Pour sélectionner la meilleure variante d'optimisation, il est nécessaire de connaître le point de fonctionnement sans le « casse pression ». Une difficulté particulière réside dans le fait que l'on ne peut pas simplement retirer l'élément pour connaître ce point de fonctionnement. On connaît cependant le débit avec le casse-pression et, des caractéristiques de l'élément, on peut connaître la perte de charge qui lui est associée. On peut ensuite graphiquement connaître le point 3 puis le point 2 recherché. Les économies cumulées sont calculées similairement à l'optimisation du débit au point A.

5 Variables d'entrée

En général

- Année de construction du moteur (*choix multiple*)
- Puissance mécanique (à l'arbre) nominale du moteur en kW (*nombre*)
- Nombre de pôles du moteur (*sélection multiple*)
- Heures de fonctionnement annuelles en h/a (*nombre entier*)
- Type de pompe (*sélection multiple*)
- Débit nominal en m^3/h (*nombre entier*)
- Différentiel de pression nominal en kPa (*nombre entier*)

Avec analyse du besoin

- Puissance électrique moyenne absorbée (*nombre*)
- Débit nécessaire dans le réseau hydraulique en m^3/h (*nombre*)
- Différentiel de pression statique du réseau hydraulique en kPa (*nombre entier*)
- Différentiel de pression au nouveau point de fonctionnement en kPa (*nombre entier*)
- Rendements de la nouvelle pompe et du nouveau moteur (*nombre décimal*)
- Débit nominal de la nouvelle pompe (*nombre entier*)
- Différentiel de pression statique et nominal de la nouvelle pompe (*nombre entier*)

6 Hypothèses et données

En général



- i. Pour les pompes entraînées par un moteur d'une puissance nominale (à l'arbre) de moins de 20 kW, la durée d'impact standard N_s est de 15 ans. Pour les moteurs d'une puissance nominale supérieur ou égal à 20 kW, la durée d'impact standard est de 25 ans.
- ii. Le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe reste inchangé $t_{neu} = t_{alt}$.
- iii. Les pompes sont directement couplées aux moteurs, sans systèmes d'entraînement intermédiaires.
- iv. Le rendement de la pompe actuelle correspond aux exigences minimales selon le règlement européen 547/2012 avec une valeur MEI de 0.4 [2].
- v. Le rendement des moteurs correspond aux exigences minimales selon la classe d'efficacité IE du règlement européen 2019/1781 [1]. La classe d'efficacité de l'ancien moteur est déterminée en fonction de l'année de construction de l'appareil selon le tableau 1.

Tableau 1 Classe d'efficacité selon l'année de construction [4]

Année de construction	Classe
< 1999	IE1
1999 – 2007	IE2
2008 – 2016	IE3
> 2016	IE4

Sans analyse du besoin

- vi. La puissance hydraulique requise reste inchangée après le remplacement de la pompe et du moteur $P_{h,neu} = P_{h,alt}$.

Avec analyse du besoin

- vii. Les paramètres du nouveau régime de la pompe (débit, différentiel de pression ou hauteur et rendement) sont obtenus graphiquement sur les caractéristiques de l'ancienne/la nouvelle pompe et la courbe de perte de charge du réseau (voir figure 1). Alternativement, un logiciel de dimensionnement du fournisseur peut être utilisé. Dans le cas d'une optimisation de la pression nécessaire, le débit après l'assainissement est égal au débit actuel $Q_{neu} = Q_{alt}$ (voir figure 2).

7 Résultats

Compte tenu des hypothèses et des données ci-dessus, les économies d'électricité comptabilisables sont déterminées en fonction des variables d'entrée précitées à l'aide de la liste de monitoring PU-01a.

8 Exemple

Scénario A : Remplacement de deux systèmes de pompes (ESOB, 1 étage) à débit constant de 400 m³/h pour une hauteur de 15 m fonctionnant 18 heures par jour. Les moteurs d'entraînement à 4 pôles possèdent une puissance nominale de 22.5 kW et datent de 2002. Aucune mesure du profil de charge ou de consommation électrique n'est disponible. Les nouvelles pompes et moteurs ont un rendement de 88.1% et 98.9% respectivement.

Modèle	Durée de fonctionnement	Économies d'électricité comptabilisables	
	[h/a]	[kWh/unité]	[kWh]
Sans profil de consommation	6'570	360'400	720'800
Total			720'800



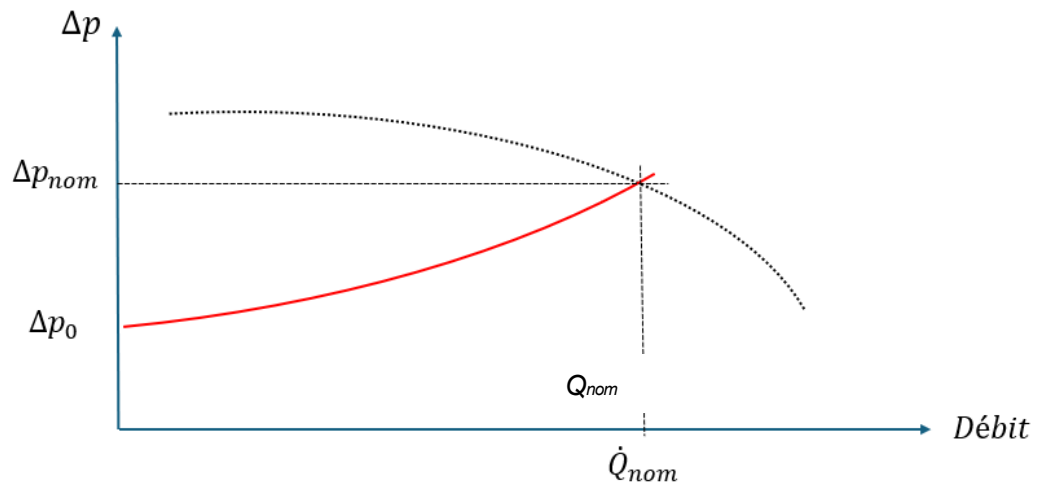
9 Sources

- [1] Commission européenne, *Règlement (CE) N° 2019/1718 de la Commission du 1^{er} octobre 2019 fixant des exigences en matière d'écoconception applicables aux moteurs électriques et aux variateurs de vitesse conformément à la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil, et modifiant le règlement (CE) no 641/2009 concernant les exigences d'écoconception applicables aux circulateurs sans presse-étoupe indépendants et aux circulateurs sans presse-étoupe intégrés dans des produits et abrogeant le règlement (CE) no 640/2009 de la Commission*, Bruxelles, 2019.
- [2] Commission européenne, *Règlement (UE) N° 547/2012 de la Commission du 25 juin 2012 portant application de la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences d'écoconception applicables aux pompes à eau*, Bruxelles, 2012.
- [3] C. Burt, X. Piao, F. Gaudi, B. Busch, and N. Taufik, *Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 134 (2), Pages 129-136, April 2008.
- [4] *Remplacement d'un entraînement électrique*, Programme PEIK, Berne, 2019.
- [5] *Remplacement d'une pompe à moteur ventilé*, Programme PEIK, Berne, 2019.



Annexe I Caractéristique de la courbe de perte de charge du réseau

L'équation de la perte de charge dans un circuit hydraulique en fonction du débit suit une loi quadratique [5].



Pour tracer la caractéristique du réseau hydraulique avec une hauteur statique, les trois paramètres sont le débit nominal Q_{nom} , le différentiel de pression correspondant à la hauteur statique Δp_0 (donc point initiale de la caractéristique du réseau à débit nul) et le différentiel de pression au débit nominal Δp_{nom} (cette grandeur figure par exemple sur la pompe). L'équation de la courbe de perte de charge du réseau est alors la suivante :

$$\Delta p = a_k \cdot Q^2 + c_k$$

avec les coefficients a_k et c_k :

$$a_k = \frac{\Delta p_{nom} - \Delta p_0}{Q_{nom}^2}$$

$$c_k = \Delta p_0$$



Annexe II Caractéristique de la pompe à vitesse nominale

Dans le présent modèle de calcul, la caractéristique de la pompe (évolution de la différence de pression dans la pompe en fonction du débit) a été approximée par une parabole inversée dont le maximum a lieu à un débit nul [5]. Ci-dessous, on trouvera la caractéristique à vitesse nominale et à titre d'exemple à 75% de la vitesse (adaptation selon les lois de similitude).

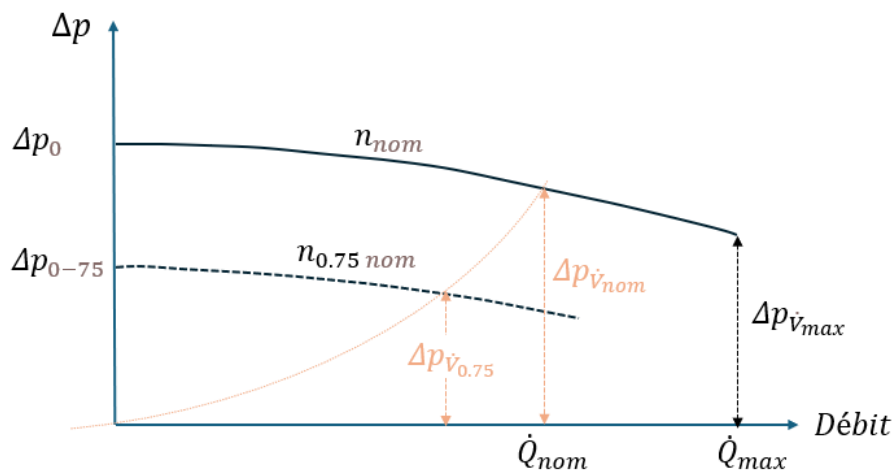
Pour tracer la caractéristique de la pompe à vitesse nominale, on a besoin de deux points de cette courbe. Selon que l'on dispose de la caractéristique présentant le différentiel de pression à débit nul et le différentiel de pression au débit max (le point le plus à droite de la caractéristique), on pourra utiliser ces deux points. Si l'on dispose du débit nominal, on pourra utiliser les coordonnées de ce point en plus du point à débit nul. Les équations ci-dessous correspondent à cette situation. Les trois paramètres utilisés sont alors le débit nominal Q_{nom} , le différentiel de pression à débit nul Δp_0 et le différentiel de pression au débit nominal Δp_{nom} (cette grandeur figure par exemple sur la pompe). L'équation de la caractéristique de la pompe est alors la suivante :

$$\Delta p = a_p \cdot Q^2 + c_p$$

avec les coefficients a_p et c_p :

$$a_p = \frac{\Delta p_{nom} - \Delta p_0}{Q_{nom}^2}$$

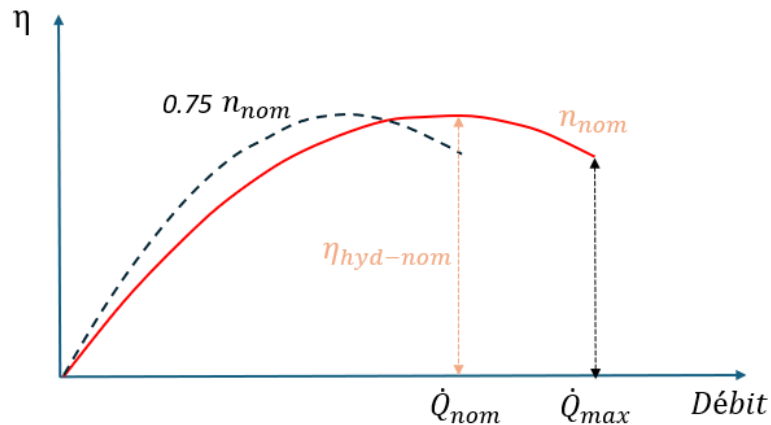
$$c_p = \Delta p_0$$





Annexe III Caractéristique rendement – débit de la pompe

Dans le présent modèle de calcul, l'évolution du rendement hydraulique de la pompe en fonction du débit a été approximée par une parabole inversée dont le maximum de débit correspond au débit max admissible pour la pompe. Le point de fonctionnement nominal (rendement maximum) est souvent proche de 75% de ce débit maximum. La parabole passe par 0 pour le débit nul. On a représenté ci-dessous le rendement pour la vitesse nominale et pour une vitesse de 75% de la vitesse nominale.



Les 3 paramètres Q_{max} le débit max de la pompe, $\eta_{P,nom}$ le rendement hydraulique nominal de la pompe et f_{nom} la fraction du débit max de la pompe correspondant au rendement hydraulique maximum permettent de définir l'équation de la caractéristique de rendement à vitesse nominale :

$$\eta_{P,nom} = a_{\eta} \cdot Q^2 + b_{\eta} \cdot Q$$

avec les coefficients a_{η} et b_{η}

$$a_{\eta} = - \frac{\eta_{P,nom}}{\left(\frac{f_{nom}}{100} \cdot Q_{max} \right)^2}$$

$$b_{\eta} = - \frac{2 \cdot \eta_{P,nom}}{\frac{f_{nom}}{100} \cdot Q_{max}}$$