

Pioneering for You

wilo

Le manuel des pompes

Principes fondamentaux de la technologie des pompes.



Principes fondamentaux de la technologie des pompes	5
Histoire de la technologie des pompes	7
Distribution d'eau	7
Évacuation des eaux usées	8
Technique de chauffage	9
Systèmes de pompage	12
Circuit ouvert	12
Circuit de chauffage fermé	13
L'eau, notre moyen de transport	15
Capacité calorifique	15
Augmentation et diminution de volume	16
Caractéristiques d'ébullition de l'eau	17
Expansion de l'eau de chauffage et protection contre la surpression	18
Pression	19
Cavitation	19
Conception des pompes centrifuges	21
Pompes auto-amorçantes et sans amorçage automatique	21
Fonctionnement des pompes centrifuges	22
Roues	22
Rendement de pompe	23
Consommation d'énergie des pompes centrifuges	24
Pompes à rotor noyé	25
Pompes à moteur ventilé	27
Pompes centrifuges haute pression	29
Courbes	31
Courbe de pompe	31
Courbe réseau	32
Point de fonctionnement	33
Adaptation de la pompe à la demande thermique	35
Fluctuations climatiques	35
Sélection de la vitesse de la pompe	36
Régulation de vitesse variable en contenu	37
Modes de régulation	38

Détermination de pompe pour installations de chauffage standard	41
Débit de la pompe	41
Hauteur de refoulement de la pompe	41
Exemple d'application	42
Influence sur la détermination des pompes	43
Logiciel de sélection de pompes	43
L'hydraulique de A à Z	45
Réglage des pompes de circulation	45
Connexion de plusieurs pompes	46
Conclusions	50
Le saviez-vous ?	51
Histoire de la technologie des pompes	51
L'eau, notre moyen transport	52
Caractéristiques de conception	53
Courbes	54
Adaptation de la pompe à la demande thermique	55
Sélection de pompe	56
Connexion de plusieurs pompes	57
Unités légales, extraits pour pompes centrifuges	58
Impressum	59



Principes fondamentaux de la technologie des pompes.

Les pompes sont des éléments essentiels dans la vie et le confort des êtres humains. Les pompes déplacent les fluides qu'ils soient chauds ou froids, propres ou sales. Elles effectuent cette opération de manière extrêmement efficace et préservent l'environnement.

Dans le bâtiment, les pompes jouent un rôle très important. Elles sont utilisées pour diverses fonctions. La plus connue de ces fonctions est le circulateur de chauffage. Par conséquent, elle occupera une place prépondérante dans les pages suivantes.

En outre, les pompes sont utilisées dans les domaines de la distribution d'eau et de l'évacuation des eaux usées :

- Surpresseurs installés lorsque la pression de l'eau de ville est insuffisante pour alimenter un bâtiment
- Pompes de circulation d'eau chaude sanitaire qui permettent que l'eau chaude soit disponible à chaque robinet
- Pompes de relevage des eaux usées qui sont nécessaires lorsque les eaux usées se trouvent à un niveau inférieur au niveau d'évacuation (égouts)
- Pompe de fontaines ou d'aquariums
- Pompes pour les applications de lutte contre les incendies
- Pompes pour eau froide et eau de refroidissement
- Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie pour les chasses d'eau, pour les lave-linges, le nettoyage et l'irrigation
- Et bien d'autres applications encore

Il est important de se rappeler à cet égard que des produits différents présentent des viscosités différentes (notamment les eaux usées brutes ou des mélanges eau-glycol). Certaines normes et directives spécifiques à chaque pays doivent être respectées, ce qui peut nécessiter le choix de pompes et de technologies spéciales (notamment, la protection contre les explosions, l'ordonnance relative à l'eau potable allemande).



L'objectif de cette brochure est de fournir une connaissance fondamentale de la technologie des pompes pour les personnes qui sont actuellement en formation professionnelle ou en reconversion. À l'aide de phrases, de dessins et d'exemples simples et explicatifs, ce document a pour objectif de fournir une base de connaissances suffisantes pour des utilisations concrètes. Le choix et l'utilisation correcte des pompes doivent ainsi devenir des évidences au quotidien.

Dans le chapitre intitulé « Le saviez-vous ? », vous pouvez tester votre compréhension des éléments de chaque section en répondant à une série de questions à choix multiples.



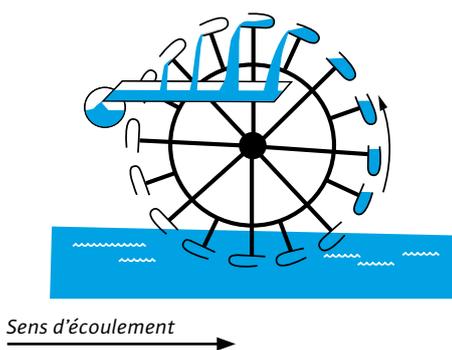
Histoire de la technologie des pompes.

Distribution d'eau.

Lorsque nous considérons les pompes et leur histoire, nous pouvons nous rappeler que, depuis les tous premiers temps, les hommes ont recherché des moyens techniques pour amener les fluides (notamment l'eau) à un niveau plus élevé. Cette opération était utilisée pour irriguer les champs et remplir les fossés qui entouraient les villes et les châteaux fortifiés. Le bol le plus simple est la main humaine. Avec deux mains, c'est encore mieux !

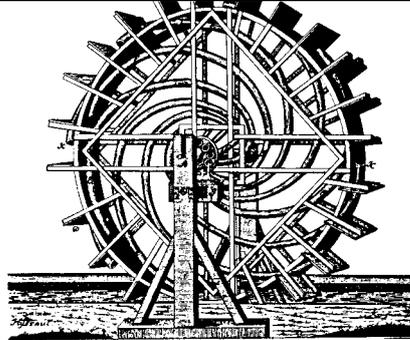
Cependant, nos ancêtres préhistoriques ont rapidement eu l'idée de transformer des cuves d'argile en bols. Il s'agit de la première étape vers l'invention de seau. Plusieurs seaux étaient ensuite suspendus sur une chaîne ou une roue. Les hommes ou les animaux utilisaient leur énergie pour mettre ces bols à eau en mouvement et soulever l'eau. Des fouilles archéologiques ont mis à découvert des transporteurs de seaux de ce type en Égypte et en Chine à partir d'environ 1000 avant JC. L'illustration suivante est une reconstitution d'une roue à godets chinoise. Il s'agit d'une roue reliée à des godets en argile qui versent l'eau lorsqu'ils atteignent le sommet.

Illustration d'une roue à godets chinoise



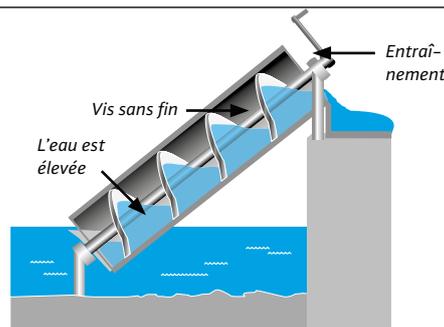
Une amélioration ingénieuse de ce concept a été élaborée en 1724 par Jakob Leupold (1674-1727), qui inséra des tuyaux courbés dans une roue. La rotation de la roue forçait l'eau à être soulevée au niveau de l'axe central de la roue. Le flux d'eau dans une rivière sert également d'entraînement pour cette installation de levage. Une caractéristique particulièrement remarquable de cette conception est la forme des tuyaux courbés. Elle est semblable à la forme des pompes centrifuges actuelles. Archimède (287-212 avant JC), le plus grand mathématicien et scientifique des

Illustration de la roue à eau de Jakob Leupold



temps anciens, a décrit la vis qui sera appelée ultérieurement par son nom en 250 avant JC. Elle soulevait de l'eau en faisant tourner une spirale/vis sans fin dans un tuyau. Cependant, une partie de l'eau retombait toujours, car on ne connaissait pas encore de joint d'étanchéité efficace. Par conséquent, une relation était observée entre l'inclinaison de la vis et le débit. Lors de l'utilisation, on peut choisir entre un débit plus important ou une hauteur de refoulement plus élevée. Plus l'inclinaison de la vis est raide, plus la hauteur de refoulement est élevée lorsque le débit diminue.

Illustration de la vis d'Archimède



Ici également, le fonctionnement est comparable à celui des pompes centrifuges actuelles. La courbe de pompe, qui était évidemment un concept inconnu à cette époque, indique la même relation entre la hauteur de refoulement et le débit. Les informations rassemblées à partir de diverses sources historiques ont révélé que ces pompes à vis étaient actionnées à une inclinaison comprise entre 37° et 45°. Elles produisaient des hauteurs de refoulement comprises entre 2 m et 6 m des débits maximum de l'ordre de 10 m³/h.

Consultez le chapitre sur les « Roues », page 22

Évacuation des eaux usées.

Bien que l'alimentation en eau ait toujours été le besoin humain le plus essentiel, ce n'est qu'ultérieurement, voire trop tard, que l'élimination efficace des eaux usées vit le jour.

Quel que soit l'endroit auquel les implantations, villages et villes se sont formés, les excréments, poussières et eaux usées ont pollué les rues, les chemins et les autres zones ouvertes.

En plus de l'odeur nauséabonde, ces déchets provoquaient également des maladies et des épidémies. Les nappes d'eau étaient polluées et les eaux souterraines n'étaient plus potables.

Les premiers égouts ont été construits entre 3000 et 2000 avant JC. Sous le Palais de Minos à Knossos (Crête). Des canaux en briques et des tuyaux en terra cotta qui servaient à la collecte et au drainage des eaux de pluie, de bain et usées, ont été découverts. Les Romains construisaient des égouts sur et sous les rues – le plus large et le plus célèbre étant le Cloaca Maxima de la ville de Rome, dont certaines parties sont actuellement remarquablement préservées. À partir de là, l'eau était envoyée dans le Tibre (la ville de Augst/BL sur le Rhin possède encore aujourd'hui quelques tunnels souterrains praticables, qui étaient les égouts de l'époque romaine).

Comme aucun autre progrès n'a été effectué dans les milliers d'années ayant suivi, les eaux

usées non traitées arrivaient toujours dans les fleuves, rivières, lacs et mers jusqu'au dix-neuvième siècle. L'industrialisation et la croissance des villes ont rendu essentiels l'élimination des eaux usées.

Le premier égout centralisé et système de traitement des eaux usées en Allemagne a été créé à Hambourg en 1856. Dans les années 90, de nombreux systèmes d'eaux usées domestiques en Allemagne sont toujours composés de fosses septiques et de puits de drainage. Ce n'est qu'ultérieurement que des décisions légales et des contraintes régionales ont exigé que ces systèmes soient raccordés au système d'égout public.

Aujourd'hui, les évacuations de presque tous les foyers sont raccordées directement au système d'égout public. Si cela est impossible, des installations de relevage ou des systèmes de drainage sous pression sont utilisés.

Les eaux usées industrielles et domestiques sont amenées jusqu'à des usines de traitement des eaux. Là, elles cheminent à travers des bassins de rétention, de clarification, et seront nettoyées biologiquement ou chimiquement au cours du processus. Après traitement, l'eau est renvoyée dans le circuit naturel.

Les pompes et les systèmes de pompe les plus variés sont utilisés dans le traitement des eaux usées. En voici quelques exemples :

- Installation de relevage
- Pompes submersibles
- Pompes de puisard (avec et sans dilacérateur)
- Pompes de drainage
- Agitateurs, etc.



Techniques de chauffage.

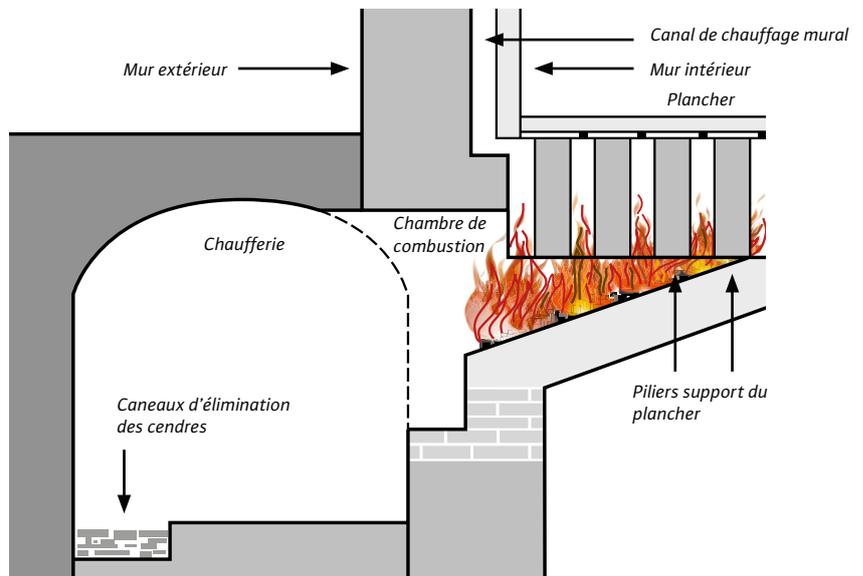
Systèmes de chauffage hypocaustes

Des reliques de ce que l'on appelle systèmes de chauffage hypocaustes de l'époque romaine ont été découvertes à Augst/BL. Celles-ci sont une forme précoce de chauffage par le sol. La fumée et l'air chaud d'un feu ouvert sont acheminés par des chambres spéciales sous les sols, les chauffant ainsi. Les gaz s'échappent ensuite vers l'extérieur par des conduits muraux. Au cours des siècles suivants, particulièrement dans les châteaux et les forteresses, les cheminées, qui couvraient également des feux ouverts, n'étaient pas construites dans une direction strictement verticale. Au lieu de cela, les fumées chaudes traversaient les pièces d'habitation (une des premières formes de chauffage central). Une autre invention était une séparation du système utilisant des chambres à murs en pierre dans la cave. Le feu chauffait l'air froid qui pouvait ensuite être acheminé directement dans les pièces communes.

Systèmes de chauffage à la vapeur

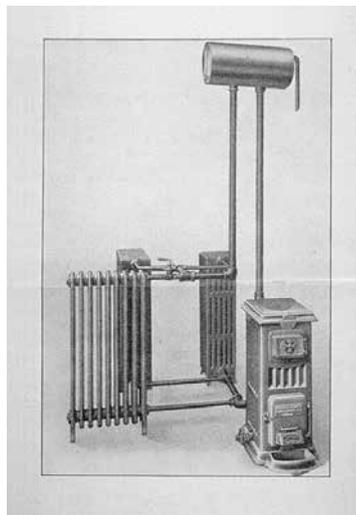
Les systèmes de chauffage à la vapeur sont un produit dérivé du moteur à vapeur qui a été largement utilisé dans la seconde moitié du 18ème siècle. La vapeur résiduelle qui ne se condensait pas, était acheminée dans les bureaux et les pièces d'habitation par des échangeurs thermiques. On pensait utiliser l'énergie résiduelle d'un système de chauffage à la vapeur pour entraîner une turbine.

Représentation d'un système de chauffage hypocauste de l'époque romaine



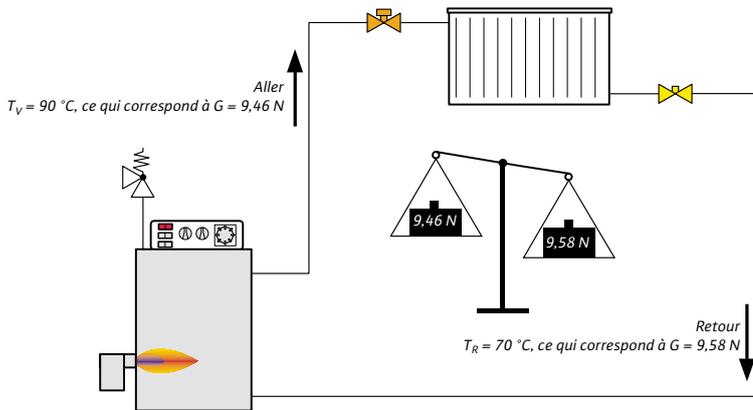
Systèmes de chauffage par thermosiphon

L'étape suivante du développement était le système de chauffage gravitationnel. Des expériences ont révélé que, pour fournir une température ambiante de 20 °C, l'eau devait uniquement être chauffée à environ 90 °C, ce qui est juste sous le point d'ébullition. L'eau chaude monte dans les tuyaux à diamètres très larges. Après avoir libéré une partie de sa chaleur (une fois refroidie), elle retourne à nouveau à la chaudière par différence de température.



Système de chauffage gravitationnel avec chaudière, réservoir d'expansion et radiateur

Schéma d'un système de chauffage par thermosiphon



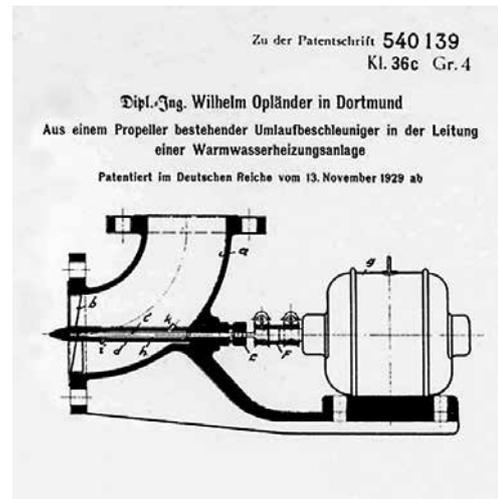
Les différentes forces gravitationnelles poussent l'eau vers le haut et le bas. Au début du 20^{ème} siècle, le démarrage lent de ce type de système de circulation par thermosiphon a mené à l'idée de construire ce que l'on appelle des « accélérateurs de circulation » dans les tuyaux du système de chauffage.

Les moteurs électriques de cette époque n'étaient pas adaptés, car ils fonctionnaient avec des rotors à bague fendue ouverte. Ceux-ci auraient pu provoquer des accidents importants dans un système de chauffage fonctionnant à l'eau.



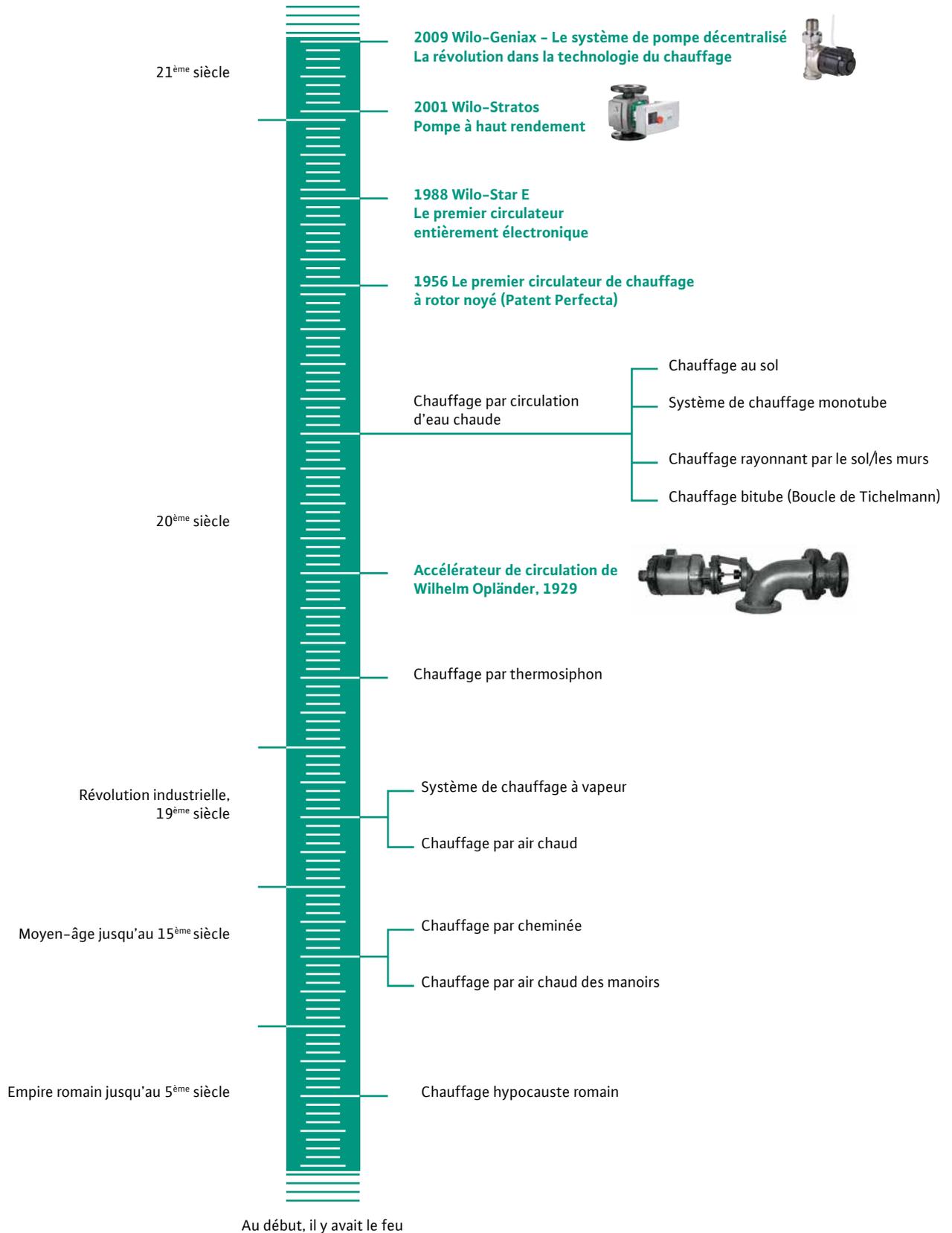
Premier circulateur de chauffage

Ce n'est que lorsque l'ingénieur Suisse Gottlob Bauknecht inventa le moteur électrique encapsulé qu'il fut possible de l'adapter à un accélérateur de circulation. Son ami, l'ingénieur Westphalien Wilhelm Opländer, mit au point une conception de ce type, pour laquelle un brevet lui fut accordé en 1929.



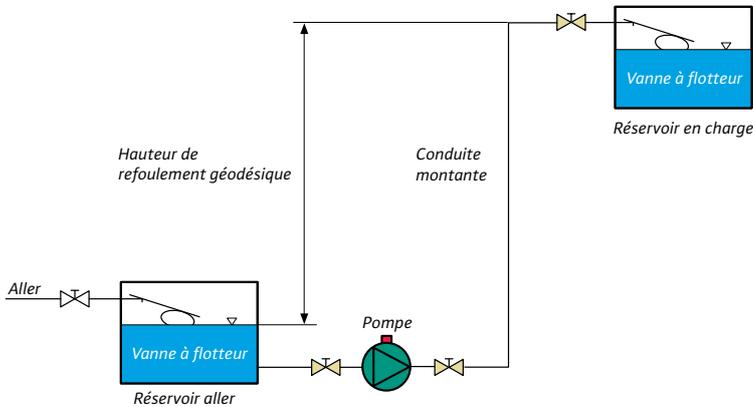
Une roue à pompe de la forme d'un propulseur fut installée dans un tube coudé. Entraînée par un axe étanche qui, à son tour, était entraîné par le moteur électrique. Cependant, personne ne pensait encore à utiliser le terme de pompe pour cet accélérateur. Ce n'est qu'ultérieurement que ce terme a été utilisé dans ce contexte. Pour la raison que, comme nous l'avons déjà évoqué, les pompes étaient associées au levage de l'eau. Ces accélérateurs de circulation ont été construits jusqu'en 1955 approximativement, et leur utilisation a permis de diminuer encore la température de l'eau de chauffage. Aujourd'hui, il existe de nombreux systèmes de chauffage, les plus modernes fonctionnant à des températures d'eau très faibles. Sans le cœur de l'installation de chauffage, c'est-à-dire sans le circulateur, il n'y aurait pas de chauffage.

Développement du système de chauffage.



Systèmes de pompage.

Circuit ouvert.



Système de pompe destiné à relver de l'eau à un niveau supérieur

Le schéma de gauche représente les composants d'un système de pompage qui relève le fluide d'un réservoir d'entrée à niveau inférieur vers un réservoir qui se trouve à un niveau supérieur. La pompe transporte de l'eau du réservoir inférieur à la hauteur requise.

Ici, il ne suffit pas de concevoir la capacité de la pompe pour une hauteur de refoulement géométrique. La raison est que la pression résiduelle doit rester suffisante au dernier robinet, par exemple la douche au dernier étage d'un hôtel. Les pertes de charges dues aux frictions contre le tuyau dans la canalisation montante doivent également être prises en compte.

Hauteur manométrique totale de la pompe = hauteur de refoulement géométrique + pression résiduelle + pertes de charge du tuyau

Il faut prévoir des vannes et robinets d'isolement sur les conduites pour pouvoir effectuer les travaux d'entretien nécessaires. Cela s'avère particulièrement vrai pour les pompes, sinon de grandes quantités d'eau devront être évacuées avant que la pompe ne soit réparée ou remplacée (vidange de l'installation).

En outre, des robinets à flotteur ou autres unités de commande doivent être installées dans le réservoir d'entrée inférieur et dans le réservoir supérieur pour éviter tout débordement. De plus, un contrôleur manométrique peut être installé dans un endroit approprié de la conduite montante pour arrêter la pompe lorsque tous les robinets sont fermés et qu'aucune eau n'est plus tirée.

Circuit de chauffage fermé.

À droite, un schéma représentant les différences fonctionnelles entre un circuit de chauffage et un système de distribution d'eau.

Alors qu'un système de pompage est un système ouvert avec une sortie ouverte (un point de prise, par exemple, un robinet), un circuit de chauffage est fermé.

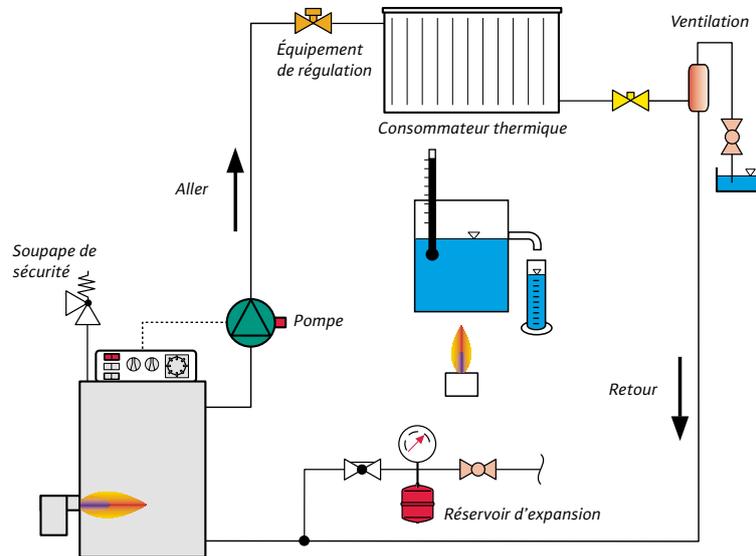
Pour comprendre le principe encore plus facilement, considérez que toute l'eau chaude est maintenue en mouvement ou en circulation dans les tuyaux.

Le système de chauffage est constitué des composants suivants :

- producteur de chaleur
- système de transport et de répartition de la chaleur
- vase d'expansion pour le maintien et la régulation de pression
- corps de chauffe
- organe de réglage
- soupape de sécurité

Les **producteurs de chaleur** désignent des chaudières qui utilisent du gaz, du pétrole ou des combustibles solides mais aussi des producteurs d'eau chaude. Ils comprennent également des systèmes de chauffage par accumulation électrique pour chauffage central à l'eau, les centrales de chauffage urbain et les pompes à chaleur.

Le **système de transport et de répartition de la chaleur** comprend tous les tuyaux, collecteurs et distributeurs et, évidemment, la pompe de circulation. La puissance de la pompe dans un système de chauffage est calculée uniquement dans le but de vaincre les pertes de charge dues au réseau. La hauteur géométrique du bâtiment n'est pas prise en compte, car l'eau véhiculée par la pompe retourne à la chaudière.



Le **vase d'expansion** permet de compenser la variation du volume d'eau dans l'installation de chauffage, en fonction des températures de fonctionnement, tout en stabilisant la pression.

Les corps de chauffe sont les surfaces chauffantes dans les pièces à chauffer (radiateurs, convecteurs, panneaux chauffants, etc.). L'énergie thermique se propage des points à haute température vers les points à température plus faible, et plus la différence de température est importante, plus le flux est rapide. Ce transfert a lieu au moyen de trois processus physiques différents :

- conduction thermique
- convection
- rayonnement

Aujourd'hui, on ne peut résoudre de problème technique sans une bonne régulation. Ainsi, il est tout naturel que les organes de régulation soient intégrés aux circuits de chauffage. Le plus connu de ces organes est le robinet de radiateur thermostatique destiné à maintenir une température ambiante constante. Actuellement, il existe également des régulateurs mécaniques, électroniques et électriques très perfectionnées dans les chaudières, les robinets de mélange et, évidemment, les pompes.

Illustration d'un système de l'environnement prenant comme exemple une installation de chauffage

A retenir : La hauteur géométrique du bâtiment n'est pas prise en compte, car l'eau véhiculée par la pompe retourne à la chaudière

Consultez le chapitre sur la « Détermination de pompe pour installations de chauffage standard », page 41



L'eau, notre moyen transport.

Dans les systèmes de chauffage central à eau chaude, l'eau transfère la chaleur du générateur au consommateur.

Les propriétés principales de l'eau sont les suivantes :

- capacité de stockage thermique
- variation de volume, lors de chauffage ou de refroidissement
- diminution de la densité en cas d'augmentation ou de diminution du volume
- caractéristiques d'ébullition par pression externe
- poussée d'Archimède

Ces propriétés physiques seront présentées ci-après.



Capacité calorifique.

Une propriété importante de tout fluide caloporteur est sa capacité de stockage thermique. Lorsqu'elle est exprimée en termes de masse et de différence de température du fluide, elle est considérée comme la capacité thermique spécifique.

Le symbole utilisé à cet effet est c , et l'unité de mesure est le $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

La capacité calorifique est la quantité de chaleur qu'il faut fournir pour élever de 1°C la température d'un kg de matière (par exemple de l'eau). A l'inverse, le matériau transfère la même quantité d'énergie lorsqu'il refroidit. La capacité calorifique moyenne pour de l'eau entre 0°C et 100°C est :

$$c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ ou } c = 1,16 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

La quantité de chaleur absorbée ou rejetée Q , mesurée en J ou kJ, est le produit de la masse m , mesurée en kg, de la capacité calorifique c , et de la différence de température $\Delta \vartheta$ mesurée en K.

Il s'agit de la différence entre la température d'entrée et de sortie d'un système de chauffage.

La formule est :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

$$m = V \cdot \rho$$

V = volume d'eau en m^3 / ρ = densité kg/m^3

La masse m est le volume d'eau V , mesuré en m^3 , multiplié par la densité ρ de l'eau, mesurée en kg/m^3 . Par conséquent, la formule peut également être rédigée de la façon suivante :

$$Q = V \cdot \rho \cdot c (\vartheta_v - \vartheta_r)$$

Il est vrai que la densité de l'eau change en même temps que sa température. Cependant, pour simplifier les considérations énergétiques, le calcul utilise $\rho = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3$ entre 4°C et 90°C . Les termes physiques « énergie », « travail » et « quantité de chaleur » sont des équivalents. La formule suivante est utilisée pour convertir des Joules en d'autres unités autorisées :

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} \text{ ou } 1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$$

A retenir :

La capacité thermique spécifique est la quantité de chaleur qui doit être transférée à 1 kg de matériau (par exemple de l'eau) afin de le chauffer de 1°C . A l'inverse, le matériau transfère la même quantité d'énergie lorsqu'il refroidit.

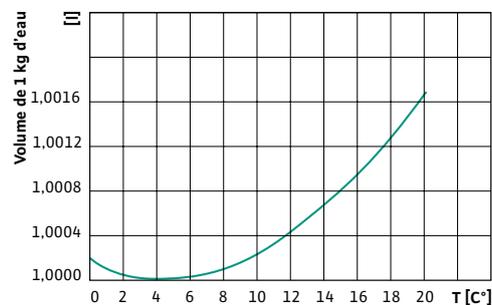
Δ = Delta
 ϑ = Théta
 ρ = Rhô

Augmentation et diminution de volume.

Tous les matériaux terrestres se dilatent lorsqu'ils sont chauffés ou se contractent lorsqu'ils sont refroidis. La seule exception à cette règle est l'eau. Cette propriété unique est appelée anomalie de l'eau.

La densité de l'eau la plus élevée se situe à $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce qui correspond à $1\text{ dm}^3 = 1\text{ l} = 1\text{ kg}$

Changement du volume d'eau



Si de l'eau est chauffée ou refroidie à ce point de température, son volume augmente, c'est-à-dire que sa densité diminue et qu'elle devient respectivement plus légère.

Cela est très visible dans un réservoir dont l'on mesure le débordement.

Dans le réservoir, 1.000 cm^3 d'eau exactement sont à une température de $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si l'eau est chauffée, une partie s'écoule par le dispositif de débordement dans le verre de mesure. Si l'eau est chauffée à $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, il y précipitément $35,95\text{ cm}^3$, ce qui correspond à $34,7\text{ g}$, dans le verre de mesure.

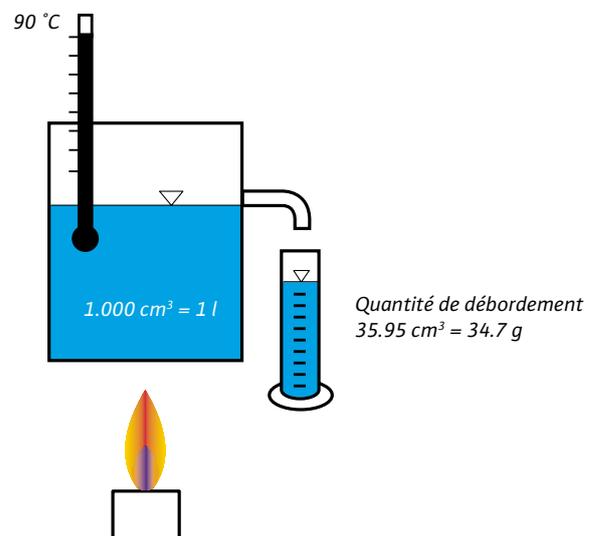
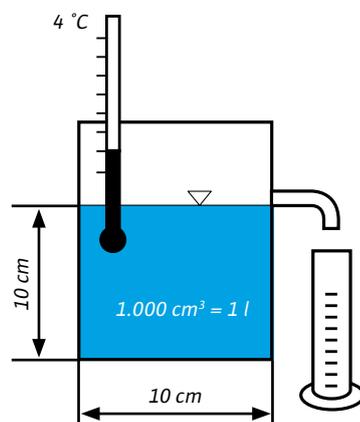
L'eau se dilate également lorsqu'elle est refroidie à une température inférieure à $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cette anomalie de l'eau est la raison pour laquelle les rivières et les lacs gèlent en hiver. C'est la raison pour laquelle la banquise flotte sur l'eau, lui permettant de fondre au soleil d'été. Cela serait impossible si la glace tombait au fond, car elle serait précisément plus lourde.

Cependant, ce phénomène de dilatation peut aussi comporter des risques. Par exemple, les moteurs automobiles et les conduites d'eau explosent s'il gèle. Pour empêcher cela, des composés antigels sont ajoutés à l'eau. Dans les systèmes de chauffage, on utilise souvent des glycols ; consultez les spécifications du fabricant pour connaître les proportions de glycol.

Des glaçons de 1.000 cm^3
 $4\text{ }^{\circ}\text{C} = 1.000\text{ g}$

Des glaçons de 1.000 cm^3
 $90\text{ }^{\circ}\text{C} = 965,3\text{ g}$

Lorsque de l'eau est chauffée ou refroidie, à partir de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa densité diminue, c'est-à-dire qu'elle devient respectivement plus légère et que son volume augmente.



Caractéristiques d'ébullition de l'eau.

Si de l'eau est chauffée à plus de 90 °C, elle bouillira à 100 °C dans un récipient ouvert. Si la température de l'eau est mesurée au cours du processus d'ébullition, elle reste constante à 100 °C jusqu'à ce que la dernière goutte se soit évaporée. Par conséquent, l'alimentation constante en chaleur est utilisée pour évaporer totalement l'eau et ainsi modifier son état. Cette énergie est également appelée chaleur latente. Si de la chaleur est encore appliquée, la température monte à nouveau.

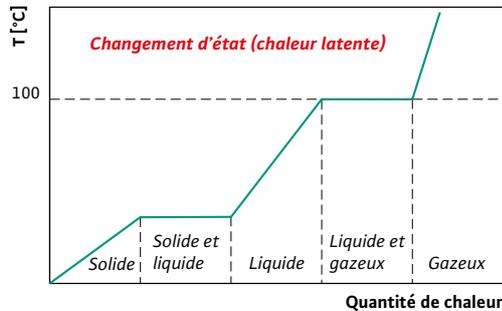
La condition nécessaire pour la réalisation de l'expérience ci-dessus, est la condition de pression normale (NN) de 1,013 hPa qui s'applique au niveau de l'eau. À toute autre pression atmosphérique, le point d'ébullition est différent de 100 °C.

Une répétition de l'essai, tel qu'il est décrit, à une altitude de 3000 m, montre que l'eau y bout déjà à 90 °C. La cause de ce comportement est le fait que la pression d'air diminue à des altitudes élevées.

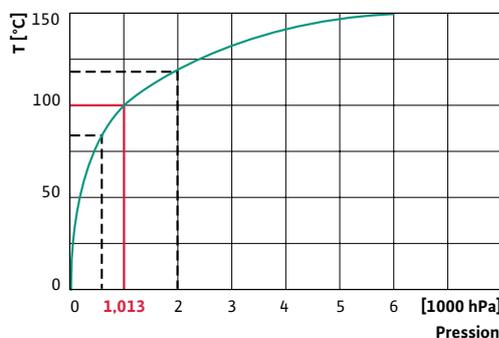
Plus la pression de l'air qui s'exerce sur la surface de l'eau est faible, plus le point d'ébullition est faible. Inversement, la température d'ébullition peut être augmentée en augmentant la pression à la surface de l'eau. Ce principe est utilisé dans les cocottes-minutes, par exemple.

Le graphique sur la droite représente la manière dont la température d'ébullition de l'eau varie en fonction de la pression. Les systèmes de chauffage fonctionnent par conséquent en surpression. Cette opération empêche la formation de bulles de gaz dans des états de fonctionnement critiques. Elle empêche également la pénétration d'air extérieur dans le système de l'eau.

Changement d'état lorsque la température augmente



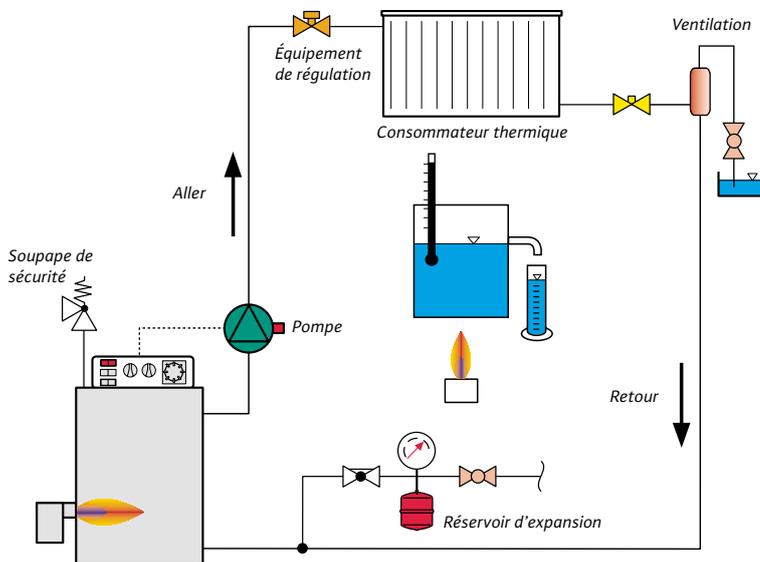
Point d'ébullition de l'eau en fonction de la pression



Expansion de l'eau de chauffage et protection contre la surpression.

Les systèmes de chauffage à eau utilisent de l'eau dont la température peut atteindre 90 °C. L'eau est généralement à une température de 15 °C lors du remplissage, puis se dilate lorsqu'elle est chauffée. Cette augmentation de volume ne doit pas engendrer de surpression ou de fuite.

Illustration d'un système de chauffage à soupape de sécurité intégrée



Lorsque le chauffage est arrêté en été, l'eau revient à son volume précédent. Par conséquent, un réservoir suffisamment grand doit être prévu pour l'eau d'expansion. Les anciens systèmes de chauffage étaient équipés de réservoirs d'expansion ouverts. Ceux-ci sont toujours situés au-dessus de la section de tuyauterie la plus élevée. Lorsque la température de chauffage augmente, provoquant l'expansion de l'eau, le niveau d'eau dans ce réservoir augmente également. Inversement, il diminue lorsque la température de l'eau diminue.

Des vases d'expansion sont utilisés dans les installations de chauffage modernes.

On doit s'assurer que, lorsque la pression du système augmente, les tuyaux et les autres parties du système ne soient pas soumis à une pression dépassant les tolérances. Par conséquent, il est obligatoire d'équiper chaque

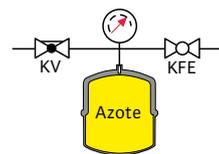
système de chauffage d'une soupape de sécurité. Lorsque la pression est excessive, la soupape de sécurité doit s'ouvrir et évacuer l'eau d'expansion qui ne peut être conservée dans le vase d'expansion à membrane. Les considérations précédentes ne tenaient pas compte du circulateur de chauffage qui accroît davantage la pression du système.

L'interaction de la température maximale de l'eau de chauffage, la pompe choisie, la dimension du vase d'expansion à membrane et le point de réponse de la soupape de sécurité doivent être pris en compte très soigneusement. Une sélection aléatoire des composants du système (ou même en fonction du prix d'achat) ne peut être admise.

Le réservoir est livré rempli d'azote. La pression d'entrée du vase d'expansion à membrane doit être adaptée au circuit de chauffage. L'eau d'expansion du système de chauffage entre dans le réservoir et comprime le coussin gazeux par l'intermédiaire de la membrane. Les gaz peuvent être comprimés mais les liquides sont incompressibles.

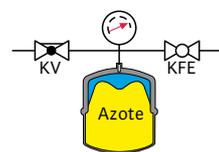
Compensation du changement de volume de l'eau dans le système de chauffage :

(1) État initial dilaté



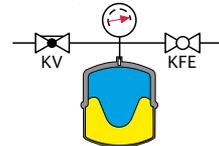
Pression aller dilatation

(2) Installation remplie/froide



Réserve d'eau : pression aller dilatation +0,5 bar

(3) Installation à la température aller maxi



Quantité d'eau = réserve d'eau + dilatation

À retenir:
Lorsque la pression est excessive, la soupape de sécurité doit s'ouvrir et évacuer l'eau d'expansion

Pression.

Définition de la pression

La pression est la pression statique mesurée de liquides et de gaz dans des récipients ou des tuyaux par rapport à l'atmosphère (Pa, mbar, bar).

Pression d'équilibre

La pression est statique lorsqu'aucun fluide ne s'écoule. Pression d'équilibre = hauteur de remplissage + pression de remplissage dans le vase d'expansion à membrane.

Pression hydrodynamique

La pression est dynamique lorsqu'un fluide s'écoule. Pression hydrodynamique = pression dynamique - pertes de charge.

Pression de pompe

Pression générée par le fonctionnement de la pompe centrifuge côté refoulement. Cette valeur peut être différente de la pression différentielle, suivant le circuit.

Pression différentielle

Pression générée par la pompe centrifuge pour surmonter la somme de toutes les résistances dans un système. Elle est mesurée entre l'aspiration et le refoulement de la pompe centrifuge. En raison des pertes de charges engendrées par les différents composants du circuit - tuyauterie, robinets, chaudière et corps de chauffage -, la pression différentielle varie en tous points du circuit.

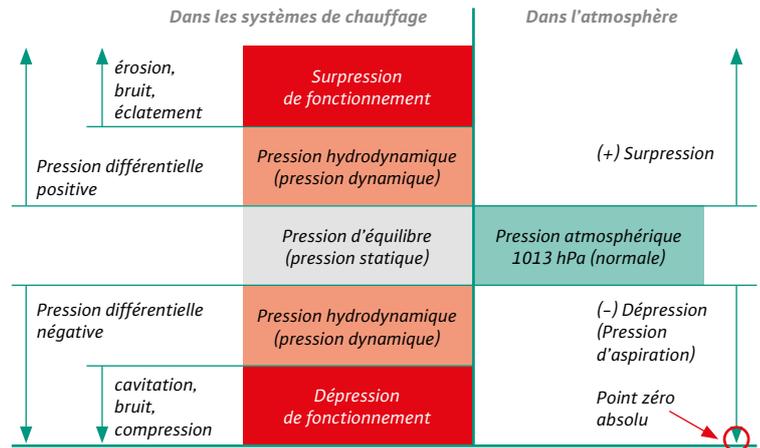
Cavitation.

La cavitation est provoquée par la formation et l'implosion de bulles de gaz provenant de la formation d'une pression négative locale sous l'effet de la pression de vaporisation du fluide pompé à l'entrée de la roue. Cela a pour conséquence un rendement (hauteur de refoulement) et une efficacité moindres et provoque un fonctionnement irrégulier, du bruit et des dommages à l'intérieur de la pompe.

Par l'expansion et l'éclatement (implosion) de petites bulles d'air dans des zones à haute pression (p. ex. à un état avancé, à la sortie de la roue), des explosions microscopiques provoquent des impacts qui endommagent ou détruisent l'hydraulique. Les premiers signes sont le bruit provenant de l'entrée de la roue et les dommages qui lui sont causés.

Le NPSH (Net Positive Suction Head) est une valeur importante de la pompe centrifuge. Il indique la pression minimale requise par ce type de pompe afin de fonctionner sans cavitation, c'est-à-dire la surpression nécessaire pour empêcher l'évaporation du fluide et le conserver à l'état de

Pression de système, création de pression



Pression de fonctionnement

Pression qui existe ou peut exister lors du fonctionnement d'un système ou de certaines parties de celui-ci.

Pression de fonctionnement admissible

Valeur maximale de la pression de fonctionnement déterminée pour des raisons de sécurité.

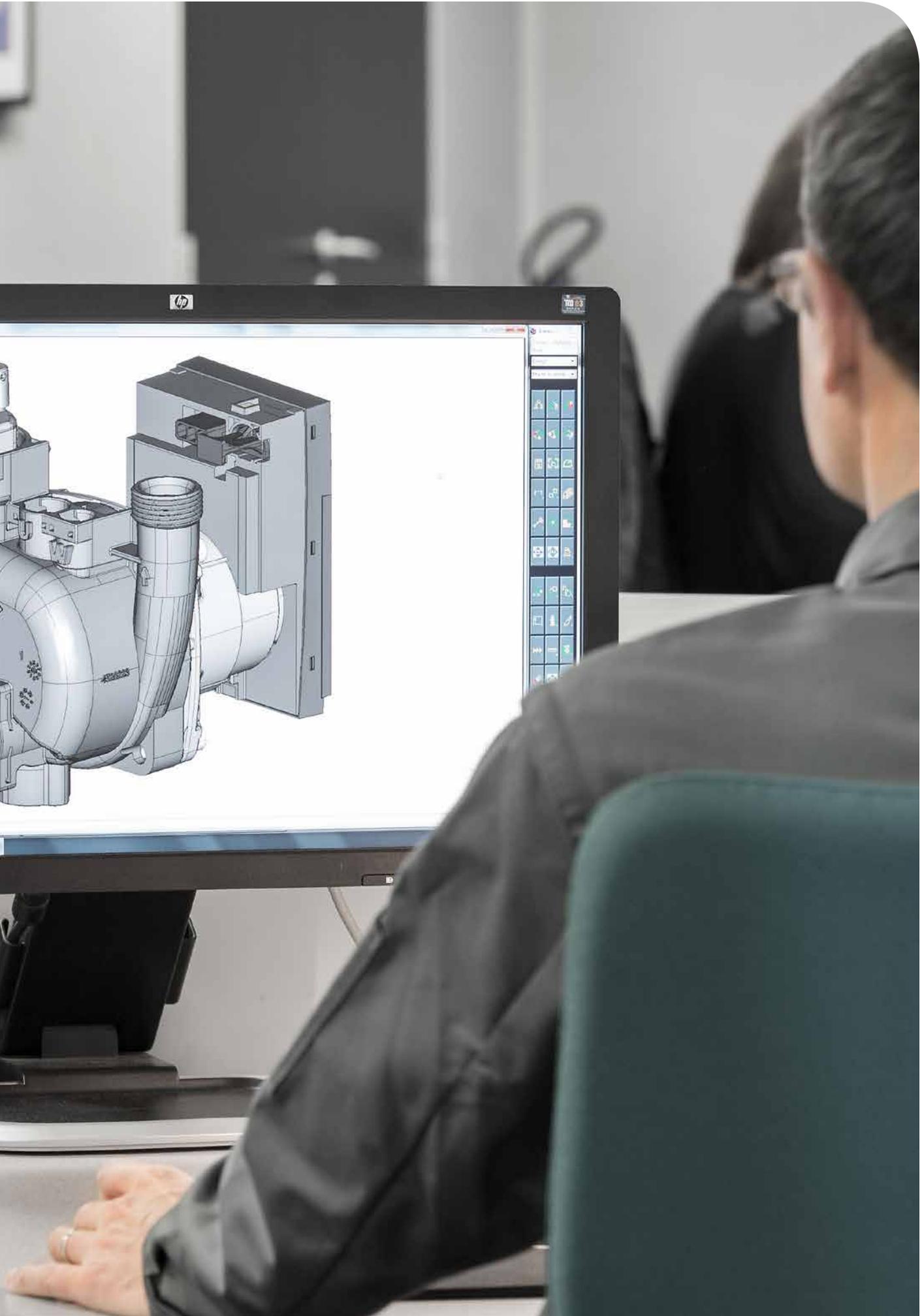
liquide. Le NPSH dépend, d'une part de la construction de la pompe : type de roue, vitesse de rotation ; d'autre part des conditions de fonctionnement : la température du fluide, la charge d'eau et la pression atmosphérique.

Éviter la cavitation

Pour éviter la cavitation, le fluide pompé doit être soumis à une pression statique minimale. Cette hauteur d'eau d'entrée minimale dépend de la température et de la pression du fluide pompé.

Quelques manières d'empêcher la cavitation :

- Augmentation de la pression statique
- Diminution de la température du fluide (réduction de la tension de vapeur PD)
- Choix d'une pompe avec une pression de maintien plus faible (hauteur de charge minimale, NPSH)



Conception des pompes centrifuges.

Dans le domaine de la plomberie et du génie climatique, les pompes centrifuges font l'objet des utilisations les plus variées. Elles se différencient par leur conception et suivant leur fonctionnement.

Une pompe auto-amorçante est capable de remplir le tuyau d'aspiration, c'est-à-dire évacuer de l'air. Dans le cas contraire, la pompe peut nécessiter plusieurs remplissages lors de la mise en service. La hauteur d'aspiration max. théorique est de 10,33 m et dépend de la pression atmosphérique (1013 hPa = normal) avec une température d'eau de 4 °C et 0 m niveau mer (NN).

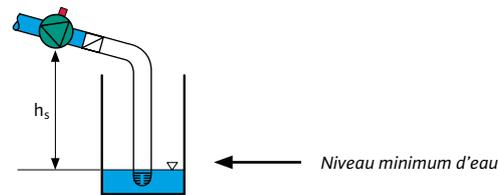
Pour des raisons techniques, seule une hauteur d'aspiration max. h_s de 7-8 m peut être obtenue. Cette valeur comprend non seulement la différence de hauteur entre la surface d'eau la plus basse par rapport à la bride d'aspiration de la pompe, mais également les pertes de charge dans les tuyaux de raccordement, la pompe et la robinetterie.

Lors de la sélection de la pompe, notez que la hauteur d'aspiration h_s doit être comprise dans la hauteur de refoulement prévue, précédée d'un signe moins. Le tuyau d'aspiration doit avoir au moins le même diamètre nominal que la bride de la pompe, ou un diamètre nominal supérieur si possible. Sa longueur doit être aussi courte que possible.

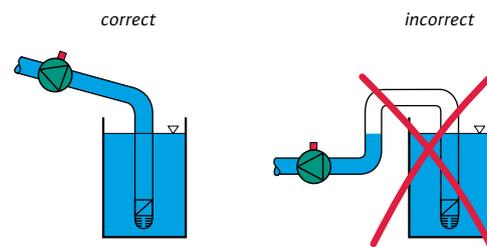
De longues conduites d'aspiration créent des résistances aux frictions accrues qui nuisent beaucoup à la hauteur d'aspiration. La conduite d'aspiration doit être positionnée en pente ascendante constante vers la pompe. Si un matériau flexible est utilisé pour le tuyau d'aspiration, les tuyaux d'aspiration en spirale sont préférables en raison de leur longueur et de leur résistance. Il est impératif d'éviter les fuites, car elles provoquent des dommages et un mauvais fonctionnement de la pompe.

Pour un fonctionnement en aspiration, il est recommandé d'utiliser un clapet de pied afin d'empêcher la vidange de la pompe et du tuyau d'aspiration. Un clapet de pied crépine protège également la pompe et les systèmes en aval des grosses impuretés telles que des feuilles, du bois, des cailloux et des insectes. S'il n'est pas possible d'utiliser un clapet de pied, en aspiration, un clapet/antiretour doit être installé en amont de la pompe (à l'aspiration de la pompe).

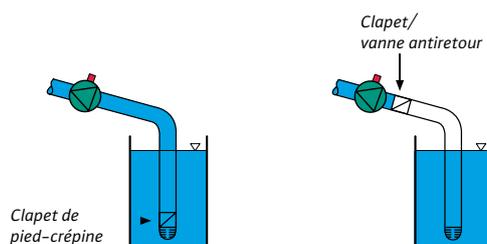
Hauteur d'aspiration de la pompe h_s



Positionnement du tuyau d'aspiration



Opération d'aspiration



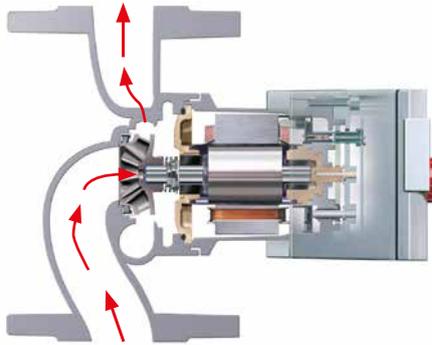
Installation avec clapet de pied ou clapet/antiretour

Une pompe sans amorçage automatique ne peut pas évacuer l'air de la conduite d'aspiration. Pour l'utilisation de pompes sans amorçage automatique, la conduite d'aspiration de la pompe d'aspiration doit être remplie totalement en permanence. Si de l'air pénètre dans la pompe par des points de fuite, notamment le presse-étoupe du clapet de retenue ou au travers d'un clapet de pied dans le tuyau d'aspiration qui ne se ferme pas, la pompe et le tuyau d'aspiration doivent être remplis de nouveau.

Fonctionnement des pompes centrifuges.

Coupe d'une pompe à rotor noyé

Le fluide pénètre dans la roue axialement et est dévié radialement



Les pompes sont nécessaires pour le transfert des fluides et pour contrer les résistances engendrées par le flux dans le circuit hydraulique. Dans les systèmes de pompage avec différents niveaux de fluide, cela implique également de surmonter la différence de hauteur géométrique.

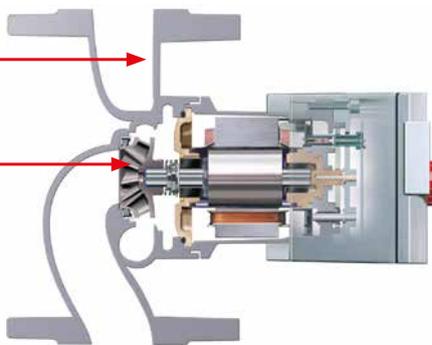
En raison de leur conception et de leur fonctionnement, les pompes centrifuges sont productrices de courant hydraulique. Bien qu'il y en ait de nombreux types, une caractéristique commune à toutes les pompes centrifuges est que le fluide entre dans une roue axialement.

Un moteur électrique entraîne l'axe de la pompe sur lequel est logé la roue. L'eau qui entre dans la roue axialement par la bride d'aspiration et le goulot d'aspiration est déviée par les aubes de la roue dans un mouvement radial. Les forces centrifuges qui affectent chaque particule du fluide provoquent une augmentation de la vitesse et de la pression lorsque l'eau s'écoule au travers de la zone des aubes.

Lorsque le fluide sort de la roue, il est collecté dans la volute. La vitesse du flux est ralentie quelque peu par la construction de la volute. La pression est en outre augmentée par la conversion d'énergie.

Corps de la pompe

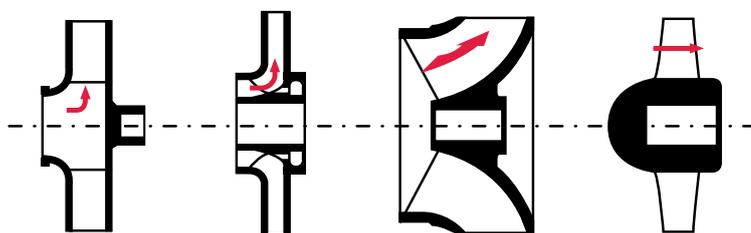
Roue 3D



Une pompe présente les composants suivants :

- Corps de pompe
- Moteur
- Roue

Types de roues



Roue radiale

Roue radiale 3D

Roue semi-axiale

Roue axiale

Roues.

Il existe de nombreux types de roues qui peuvent être ouvertes ou fermées.

Les roues dans la majorité des pompes actuelles ont une conception en 3D qui associe les avantages d'une roue axiale à ceux d'une roue radiale.

Rendement de pompe.

Le rendement d'une machine est le rapport de sa puissance restituée sur sa puissance fournie. Ce rapport est symbolisé par la lettre grecque η (êta).

Comme il n'existe pas de fonctionnement sans perte, η est toujours inférieur à 1 (100%). Pour une pompe de circulation de chauffage, le rendement total est composé du rendement du moteur η_M (électrique et mécanique) et du rendement hydraulique η_p . La multiplication de ces deux valeurs génère l'efficacité totale η_{tot} .

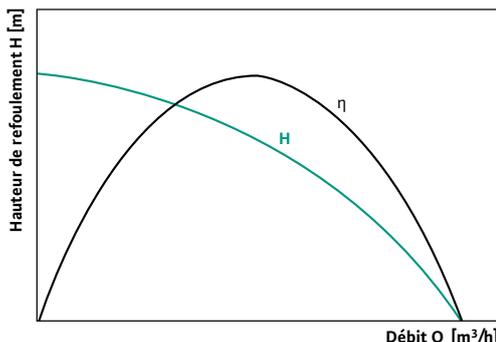
$$\eta_{tot} = \eta_M \cdot \eta_p$$

En fonction des types et des dimensions des pompes prises en compte, le rendement peut varier grandement. Pour les pompes à rotor noyé, les rendements η_{tot} sont compris entre 5 % et ~60 % (pompe à haut rendement), pour les pompes à moteur ventilé, le rendement η_{tot} est compris entre 30 % et 80 %.

Sur la courbe de pompe, le rendement instantané varie également entre zéro et une valeur maximale.

Lorsque la pompe fonctionne avec vanne fermée, on obtient une forte pression, mais le rendement de la pompe est nul car aucun débit d'eau ne circule. Le même phénomène s'applique dans un tube ouvert. Bien que le débit d'eau soit important, il n'y a pas de pression et le rendement est nul.

Courbe de pompe et rendement



Le meilleur rendement total de la pompe de circulation de chauffage se trouve au centre de la courbe de pompe. Dans les catalogues des fabricants de pompe, ces points de fonctionnement optimums sont précisément identifiés pour chaque pompe.

Une pompe ne fonctionne jamais en un seul point défini. Par conséquent, lors de la sélection, assurez-vous que le point de fonctionnement de la pompe se trouve au milieu du premier tiers de la courbe de la pompe pour la majeure partie de la saison de chauffage. Cela garantira qu'elle fonctionnera dans la meilleure plage de rendement. Le rendement de la pompe est déterminé par la formule suivante :

$$\eta_p = \frac{\dot{Q} \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot P_2}$$

- η_p = Rendement hydraulique
- \dot{Q} [m³/h] = Débit
- H [m] = Hauteur de refoulement
- P_2 [kW] = Puissance à l'arbre de pompe
- 367 = Constante
- ρ [kg/dm³] = Densité du fluide

Le rendement (ou performance) d'une pompe dépend de sa conception. Les tableaux suivants fournissent un aperçu des rendements en fonction de la puissance de moteur sélectionnée et de la conception de la pompe (avec/sans presse-étoupe).

Rendement des pompes à rotors noyés standards (valeurs de référence)

Pompe avec puissance moteur P_2	η_{tot}
jusqu'à 100 W	~ 5 % – ~ 30 %
100 jusqu'à 500 W	~ 20 % – ~ 50 %
500 jusqu'à 2500 W	~ 30 % – ~ 60 %

Rendement des pompes à moteur ventilé (valeurs de référence)

Pompe avec puissance moteur P_2	η_{tot}
jusqu'à 1,5 kW	~ 30 % – ~ 65 %
1,5 jusqu'à 7,5 kW	~ 35 % – ~ 75 %
7,5 jusqu'à 45,0 kW	~ 40 % – ~ 80 %

Consommation d'énergie des pompes centrifuges.

Comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent, un moteur électrique entraîne l'axe de la pompe sur lequel la roue est logée. L'augmentation de pression générée dans la pompe et le débit circulant à travers la pompe sont la résultante hydraulique de l'énergie électrique utilisée. L'énergie nécessaire au moteur est appelée la consommation énergétique P_1 de la pompe.

La courbe de puissance indique la relation suivante : la consommation d'énergie du moteur est inférieure lorsque le débit est également faible. Lorsque le débit augmente, la consommation d'énergie augmente également. Cependant, la consommation d'énergie évolue à une vitesse beaucoup plus rapide que le débit.

Influence de la vitesse de rotation du moteur

Si la vitesse de la pompe change mais que les autres conditions du système restent identiques, la consommation d'énergie P évolue au cube de la vitesse n .

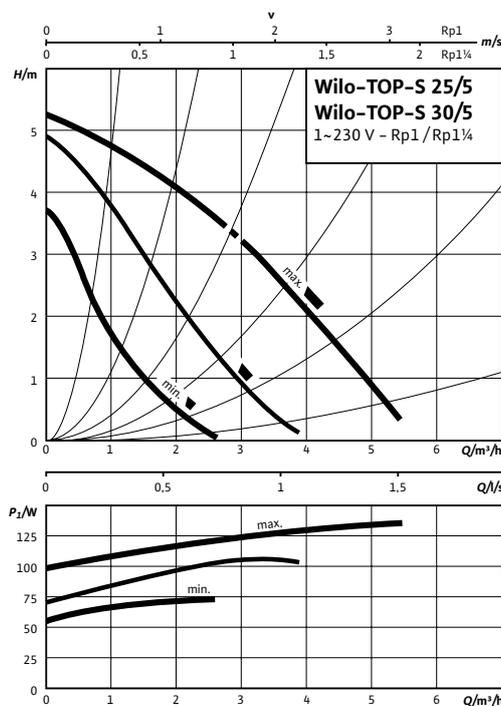
$$\frac{P_1}{P_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

En fonction de cet élément, la pompe peut être contrôlée de manière logique et adaptée à la demande en énergie de chauffage. Si la vitesse est doublée, le débit augmente dans la même proportion. La hauteur de refoulement est quadruplée. L'énergie d'entraînement nécessaire est alors multipliée par huit. Si la vitesse diminue, le débit, la hauteur de refoulement dans le système de tuyaux et la consommation d'énergie sont tous réduits dans la même proportion.

Courbes de performances des pompes

Les courbes de performances des pompes centrifuges sont représentées sur un diagramme : l'axe vertical, les ordonnées, indiquent la puissance énergétique P_1 de la pompe en watts [W]. L'axe horizontal – ou abscisse – indique le débit Q de la pompe en mètre cube par heure [m^3/h]. Les graduations sont indiquées suivant une même échelle. Dans les catalogues, ces deux courbes sont fréquemment superposées pour mettre en valeur les relations existantes entre les deux.

Courbe de pompe Wilo-TOP S



Vitesses fixes relatives à la conception

Une caractéristique distinctive de la pompe centrifuge est la hauteur de refoulement qui dépend du moteur utilisé et de la vitesse fixe définie. On parle de pompe rapide lorsque la pompe tourne à une vitesse d'environ $n > 1500 \text{ min}^{-1}$, et d'une pompe lente lorsqu'elle tourne à une vitesse d'environ $n < 1500 \text{ min}^{-1}$.

La conception du moteur des pompes à faible vitesse est un peu plus complexe et elles peuvent ainsi se révéler plus coûteuses. Cependant, dans les situations pour lesquelles l'utilisation d'une pompe à faible vitesse est possible ou même nécessaire en raison des conditions du réseau de chauffage, l'utilisation d'une pompe à vitesse élevée aurait pour résultat une consommation d'énergie inutilement élevée. Par conséquent, le prix d'achat plus élevé d'une pompe à faible vitesse est compensé par les économies importantes d'énergie consommée. Cela rembourse rapidement l'investissement de départ. Grâce à une variation de débit par régulation de vitesse de rotation adaptée aux besoins énergétiques du système, il est possible de réaliser des économies substantielles.



Relation entre la courbe de pompe et la courbe de puissance

Consultez le chapitre sur la « Régulation de vitesse variable en continu », page 36

Consultez le chapitre sur les « Courbes », page 31

Pompes à rotor noyé.

Par l'adjonction d'un circulateur à rotor noyé, que ce soit sur le départ ou le retour, celui-ci permet de déplacer l'eau plus rapidement et fortement. En conséquence, des conduites de section plus petite peuvent être utilisées. Elles diminuent les coûts de l'installation de chauffage, c'est-à-dire qu'il y a également bien moins d'eau dans le circuit de chauffage. Le système de chauffage peut répondre plus rapidement aux fluctuations de température et peut être mieux régulé.

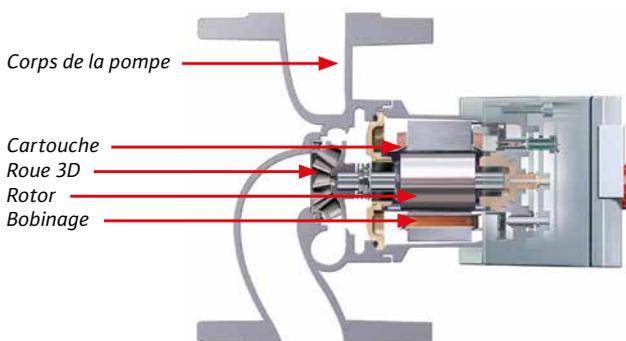
Caractéristiques

La caractéristique particulière d'une roue de pompe centrifuge est son accélération radiale de l'eau. L'axe qui entraîne la roue est en acier inoxydable ; les paliers de cet axe sont en carbone ou en céramique. Le rotor du moteur qui est logé sur l'axe, baigne dans le fluide. L'eau lubrifie les paliers et refroidit le moteur.

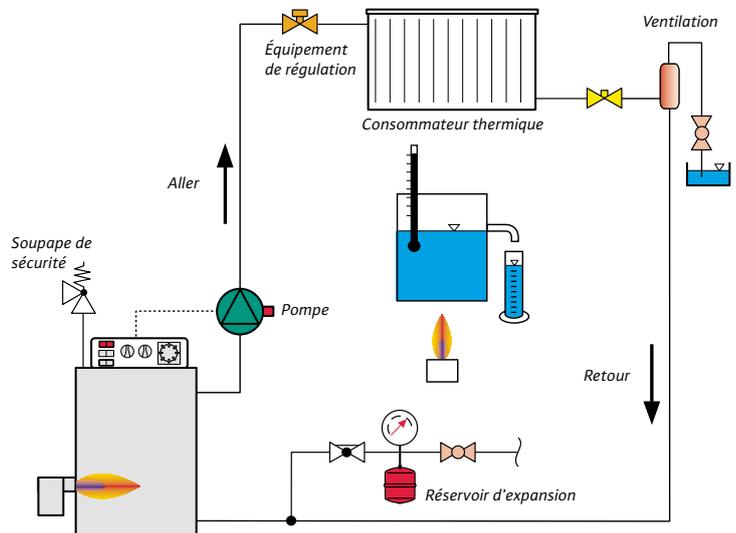
Une cartouche entoure les bobinages du moteur. Elle est constituée d'acier inoxydable non magnétisable ou de fibre de carbone et présente une épaisseur de 0,1 à 0,3 mm.

Pour des applications spécifiques telles que des systèmes de pompage d'eau, les moteurs des pompes sont utilisés à vitesse fixe.

Lorsque le circulateur à rotor noyé est utilisé dans un circuit de chauffage, par exemple, doit fournir de l'énergie thermique à des radiateurs, il doit s'adapter à la demande thermique variable de la maison. En fonction de la température extérieure et des fluctuations de charge, un débit d'eau de chauffage différent est nécessaire. Les robinets thermostatiques des radiateurs, installés sur les corps de chauffe, déterminent le débit.



Circuit de chauffage avec pompe



Ainsi, les moteurs des circulateurs à rotor noyé peuvent être commutés sur différentes vitesses. Le changement de vitesse peut être effectué manuellement ou à l'aide de commutateur. L'automatisation peut être obtenue en ajoutant des systèmes d'interrupteurs et de commande externes. Une automatisation en fonction du temps, de la pression ou de la température est réalisable à l'aide de coffrets de commande et régulation externes.

Depuis 1988, des modèles avec dispositifs électroniques intégrés ont été conçus, permettant une variation de vitesse continue. Le raccordement électrique des circulateurs à rotor noyé, varie suivant la dimension et le débit souhaité de la pompe, soit en monophasé 1 ~ 230 V CA soit en triphasé 3 ~ 400 V.

Les circulateurs à rotor noyé se distinguent par un fonctionnement fiable et silencieux, sans risque de fuite grâce à leur conception. Une propriété importante de ce type de circulateurs tient à son dégazage automatique à la mise en service.

Avantages : diamètres de tubes inférieurs, contenance en eau réduite, réaction plus rapide aux fluctuations de température, coûts d'installation plus faibles



1988: première pompe à rotor noyé entièrement électronique avec régulation de vitesse variable en continu intégré.



2001: pompe à haut rendement Wilo-Stratos – 1ère pompe à rotor noyé du monde, aussi pour les applications de climatisation et de refroidissement.



2009: pompe à haut rendement Wilo-Stratos PICO – jusqu'à 90 % d'économie de courant par rapport à des pompes de chauffage non régulées.

Positions d'installation.

Les circulateurs à rotor noyé ayant une bride maxi R1 1/4 sont équipés de raccords à visser. Les pompes de taille plus importante sont fournies avec des raccords à brides. Ces pompes peuvent être installées sur la tuyauterie, horizontalement ou verticalement, sans socle.

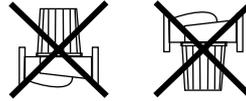
Comme indiqué précédemment, les paliers de la pompe de circulation sont lubrifiés par le fluide. Ce dernier sert également à refroidir le moteur. La circulation doit donc toujours se faire dans la cartouche.

De plus, l'axe de la pompe doit toujours être installé horizontalement (circulateur à rotor noyé, chauffage). L'installation avec un axe vertical ou suspendu verticalement provoque un fonctionnement instable et une détérioration rapide de la pompe. Consultez la notice de mise en service et entretien pour obtenir des instructions détaillées sur les positions d'installation.

Les circulateurs à rotor noyé que nous avons décrit présentent de bonnes caractéristiques de fonctionnement.

Positions de montage des circulateurs à rotor noyé (extrait)

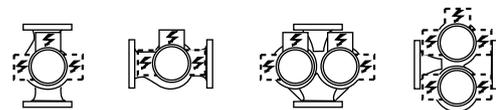
Positions d'installation interdites



Autorisées sans restriction pour les circulateurs à variation de vitesse



Autorisées sans restriction pour les pompes à 1, 3 ou 4 vitesses



Pompe à moteur ventilé.

Caractéristiques

Les pompes à moteur ventilé sont utilisées pour le pompage de forts débits. Elles sont également mieux adaptées au pompage de l'eau de refroidissement et de fluides agressifs. À l'inverse des circulateurs à rotor noyé, le fluide n'entre pas en contact avec le moteur, d'où la dénomination moteur ventilé.

Une autre différence par rapport aux circulateurs à rotor noyé se situe dans le principe d'étanchéité du circuit hydraulique du corps de pompe par rapport à l'atmosphère (arbre de la pompe). Cette étanchéité est réalisée par un presse-étoupe ou par une garniture mécanique. Les moteurs des pompes à garniture mécanique standard sont des moteurs triphasés normaux à vitesse fixe. Leur régulation s'effectue par variateur électronique extérieur. Aujourd'hui, les pompes à moteur ventilé peuvent être équipées de variateurs électroniques intégrés qui grâce aux développements technologiques, sont disponibles pour des puissances de moteur de plus en plus élevées.

Les pompes à moteur ventilé sont divisées en quatre conceptions de base principales:

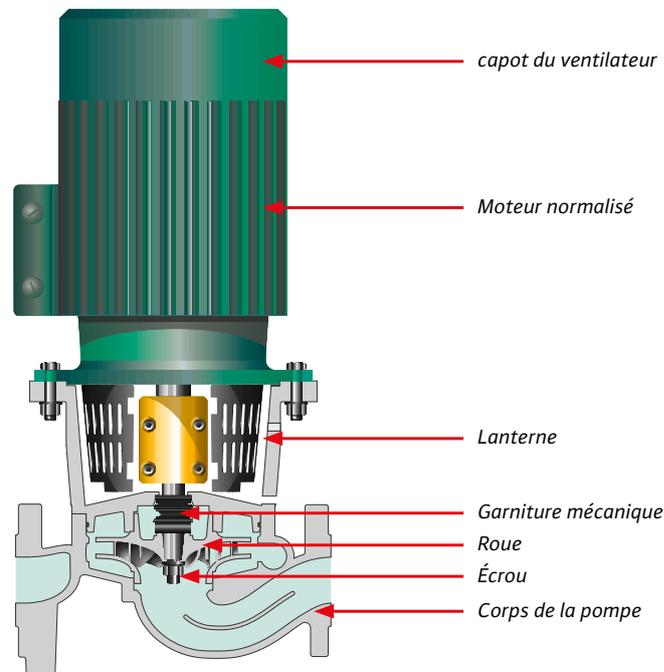
Pompes en ligne

Les pompes dans lesquelles la bride d'aspiration et de refoulement sont dans un même axe et présentent le même diamètre nominal sont appelées des pompes « Inline », en ligne. Ces pompes sont équipées de moteur normalisé refroidi par air et monté sur bride. Dans le domaine du génie climatique, ce type de construction est utilisé pour de fortes puissances. Ces pompes peuvent être installées directement sur la tuyauterie. Sinon, la tuyauterie est maintenue par des supports mais la pompe peut être installée sur socle ou ses propres consoles.

Pompes monobloc

Les pompes monobloc sont des pompes centrifuges basse pression à vitesse fixe, de conception bloc avec un moteur normalisé refroidi par air. Le corps Spiral possède un orifice d'aspiration axial et un orifice de refoulement disposé radialement. Les pompes sont équipées de série, de pattes moteur ou d'équerres permettant la fixation sur socle.

Structure d'une pompe à garniture mécanique



Pompe de socle à corps divisé

Ces pompes centrifuges sont disponibles en version à un ou deux étages. La pompe et le moteur sont raccordés par un accouplement souple et montés sur une plaque de base commune pour un montage sur socle. L'étanchéité est réalisée par le biais d'une garniture à tresse ou une garniture mécanique. Dans le cas des pièces de refoulement montées horizontalement, la bride d'aspiration est normalement un diamètre nominal plus grand.

Pompes normalisées

Pour les pompes centrifuges à entrée d'air axiale, la pompe, l'accouplement et le moteur sont montés sur un même socle-support et sont ainsi prévus pour une installation sur massif bétonné.

En fonction du fluide et des conditions d'utilisation, elles sont prévues d'une garniture mécanique ou d'un presse-étoupe. La bride de refoulement verticale détermine le diamètre nominal de ces pompes. La bride d'aspiration horizontale est généralement d'un diamètre nominal plus grand.

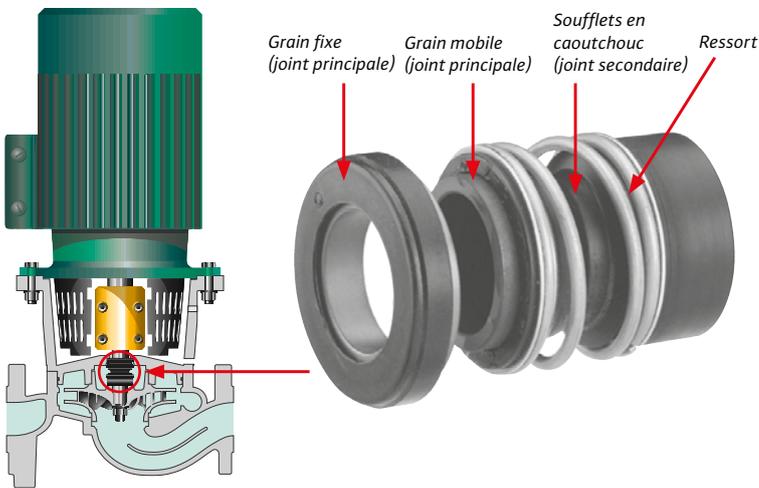
Consultez le chapitre sur l'« Étanchéité de l'arbre », page 28

À retenir :

Les garnitures mécaniques sont des pièces d'usure. Le fonctionnement à sec n'est pas autorisé et aura pour conséquence la destruction des surfaces de joint

Étanchéité de l'arbre

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, l'étanchéité de l'arbre par rapport à l'atmosphère peut être réalisée par une garniture mécanique ou un presse-étoupe. Les descriptions de ces deux options d'étanchéité sont présentées ci-après.

Garniture mécanique d'une pompe à moteur refroidie à air**Garnitures mécanique**

La conception de base des garnitures mécaniques présente deux anneaux avec des surfaces d'étanchéité finement polies. Elles sont assemblées par un ressort et se trouvent l'une contre l'autre en fonctionnement. Les garnitures mécaniques sont des joints dynamiques utilisés pour étanchéifier les arbres tournants à des pressions de fonctionnement moyen voire importantes.

La zone d'étanchéité de la garniture mécanique comprend deux surfaces, résistantes à l'usure (p. ex. anneaux de silicone ou de carbone), qui sont maintenues ensemble par des forces axiales. Le grain mobile (dynamique) tourne avec l'arbre tandis que le grain fixe (statique) reste stationnaire dans le boîtier.

Un fin film d'eau se forme entre les surfaces de glissement et sert au refroidissement et à la lubrification.

Cette opération peut provoquer divers types de friction en surface : friction mixte, friction de limite ou friction à sec, cette dernière (qui se produit en l'absence de film lubrifiant) provoque une destruction immédiate. La durée de vie dépend des conditions d'utilisation, notamment de la composition et de la température du liquide pompé.

Presse-étoupes

Les matériaux des presse-étoupes comprennent des fils synthétiques haute qualité tels que le Kevlar® ou le Twaron®, le PTFE, des fils constitués de graphite expansé, des fils de fibre minérale synthétique ainsi que des fibres naturelles telles que du chanvre, du coton ou de la ramie. Le matériau du presse-étoupe est disponible au mètre ou sous forme d'anneaux moulés comprimés, à sec ou avec une imprégnation spéciale en fonction de l'application. Lorsque le matériau est acheté au mètre, on découpe et on forme d'abord un anneau. L'anneau du presse-étoupe est ensuite installé autour de l'axe de la pompe et comprimé à l'aide du chapeau du presse-étoupe.



Positions d'installation.

Positions d'installation admises

- Les pompes en ligne sont conçues pour une installation directe à l'horizontale et à la verticale sur la tuyauterie.
- Un espace suffisant doit être prévu pour le démontage du moteur, de la lanterne et de la roue.
- Lorsque la pompe est montée, le tuyau ne doit subir aucune tension et la pompe doit être maintenue par consoles (si existantes).

Position d'installation non autorisées

- Une installation avec le moteur et le boîtier de raccordement vers le bas n'est pas autorisée.
- à partir de certaines puissances de moteur, l'accord du fabricant doit être requis pour montage de l'arbre en position horizontale.

Spécificités des pompes monobloc

- Les pompes monobloc doivent être installées sur des socles ou des supports adaptés.
- L'installation des pompes monobloc avec moteur et boîtier de raccordement vers le bas n'est pas autorisée. Toutes les autres positions d'installation sont possibles. Consultez la notice de mise en service et entretien pour obtenir des instructions détaillées.

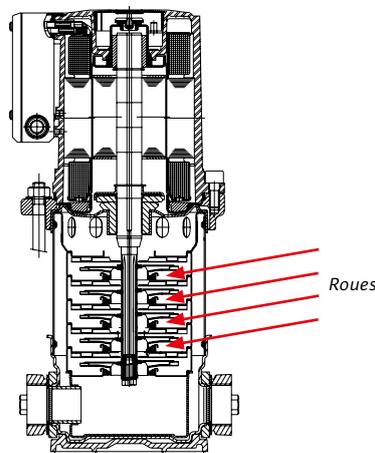
Pompes centrifuges haute pression.

La caractéristique principale de ces pompes consiste en un assemblage de plusieurs composants avec des roues et des chambres étagées.

Le débit de ces pompes dépend de la dimension de la roue. La hauteur de refoulement des pompes centrifuges haute pression est générée par plusieurs roues disposées en série. L'énergie cinétique est convertie en pression, tantôt dans la roue et tantôt dans l'étage.

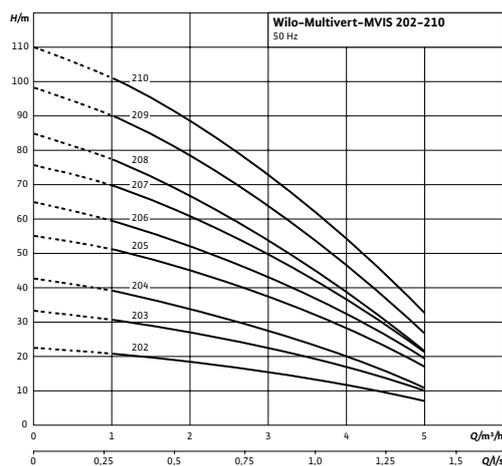
Les étages multiples permettent aux pompes centrifuges haute pression d'atteindre des pressions supérieures à celles obtenues avec des pompes centrifuges basse pression à vitesse fixe. Les tailles les plus importantes comportent 20 étages. Ainsi, elles atteignent des hauteurs de refoulement allant jusqu'à 250 m. Presque toutes les pompes centrifuges haute pression que nous avons décrites appartiennent à la famille des pompes à garniture mécanique. Aujourd'hui de plus en plus de pompes à rotor noyé sont utilisées, car elles sont très fiables.

Coupe d'une pompe centrifuge haute pression



Wilo-Multivert MVIS
Exemple d'une pompe centrifuge haute pression à rotor noyé

Courbe d'une pompe centrifuge haute pression





Courbes.

Courbe de pompe.

L'augmentation de pression dans la pompe est appelée la hauteur de refoulement.

Définition de la hauteur de refoulement

La hauteur de refoulement H d'une pompe est le travail mécanique utilisable transféré par la pompe au fluide véhiculé, rapporté au poids du fluide sous l'accélération locale due à la pesanteur.

$$H = \frac{E}{G} [\text{m}]$$

E = énergie mécanique utilisable [$\text{N} \cdot \text{m}$]

G = force gravitationnelle [N]

Ici, l'augmentation de pression générée dans la pompe et le débit au travers de la pompe dépendent l'un de l'autre. Cette relation est représentée dans un diagramme et représente la courbe de la pompe.

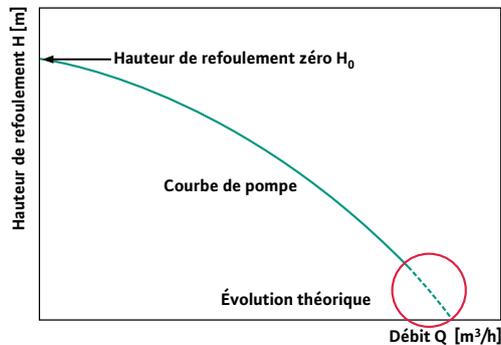
L'axe vertical, les ordonnées, indique la hauteur de refoulement H de la pompe en [m]. D'autres échelles d'axe peuvent être utilisées. Les valeurs de conversion sont les suivantes :

$$10 \text{ m} = 1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

L'axe horizontal, les abscises, représente l'échelle du débit Q de la pompe en mètres cube par heure [m^3/h]. Une autre échelle d'axe, notamment des litres par seconde (l/s), peut également être utilisée.

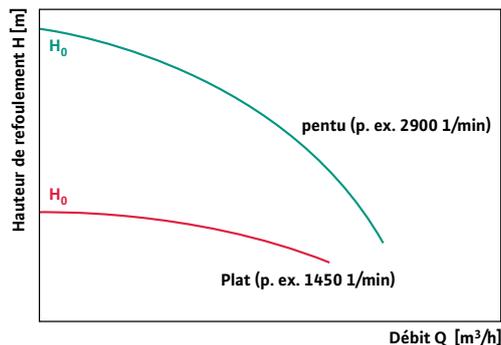
La courbe indique la relation suivante : l'énergie d'entraînement électrique (prenant en compte l'efficacité totale) est convertie dans la pompe en énergie hydraulique qui forme l'augmentation de pression et le mouvement. Si la pompe fonctionne avec un robinet fermé, on obtient la pression maximale de la pompe. On l'appelle hauteur de refoulement lorsque $Q = 0$, ou H_0 de la pompe. Si le robinet est ouvert lentement, le fluide commence à s'écouler. Cette opération convertit une partie de l'énergie d'entraînement en énergie cinétique. La pression d'origine ne peut plus être maintenue. La courbe de pompe commence à descendre. En théorie, la courbe de pompe croiserait l'axe de débit au point auquel seule de l'énergie cinétique est transmise à l'eau et auquel la pression n'augmente plus. Cependant, comme un réseau de distribution présente toujours une résistance interne, les courbes de pompe réelles se terminent avant d'atteindre l'axe de débit.

Courbe de pompe



Forme de la courbe de pompe

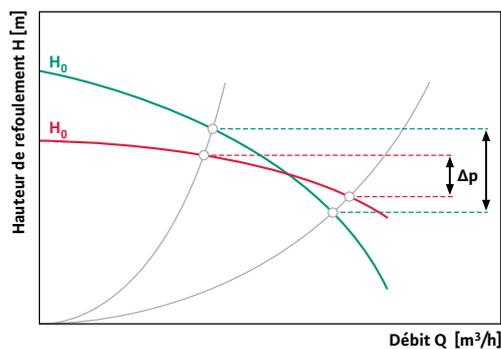
L'illustration suivante représente les différentes pentes des courbes de pompe qui peuvent survenir en fonction de la vitesse du moteur, par exemple.



Pentes différentes, p. ex. en fonction de la vitesse du moteur avec le même corps et la même roue de pompe.

Des pressions et des débits différents modifient les résultats en fonction de la pente et des points de fonctionnement :

- Courbe plate : forte variation de débit, mais faible variation de pression
- Courbe pentue : faible variation de débit et forte variation de pression

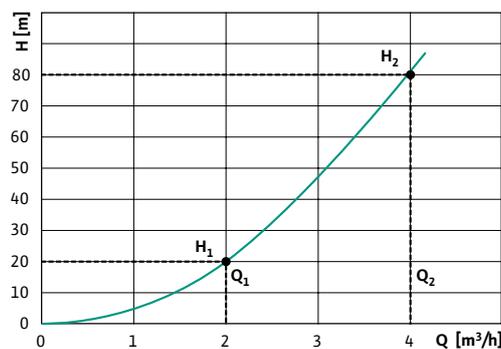


Différentes modifications du débit et de la pression.

Courbe réseau.

La résistance intérieure des conduites aux frottements provoque une chute de pression dans le fluide pompé qui correspond à la longueur totale. La chute de pression dépend également de la température du fluide s'écoulant, de sa viscosité de la vitesse du flux, des robinets, des unités et de la résistance aux frottements constituée par le diamètre, la rugosité et de la longueur du tuyau. Elle est représentée sous la forme d'une courbe réseau. On utilise le même diagramme que celui de la courbe de pompe.

Courbe réseau



En doublant la hauteur de refoulement le débit quadruple

Loi de la proportionnalité : modification de la vitesse de rotation. Une vitesse de rotation multipliée par deux fournit :

Débit Q = valeur multipliée par deux
 Hauteur de refoulement H = valeur multipliée par quatre
 Besoin en puissance P = valeur multipliée par huit

- Le débit est proportionnel à la vitesse de rotation
- La pression est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation
- Le besoin en puissance est proportionnel au cube de la vitesse de rotation

La courbe représente la relation suivante :

La résistance aux frottements du tuyau est provoquée par la friction de l'eau sur les parois du tuyau, la friction des gouttelettes d'eau les unes contre les autres et les changements de direction dans les pièces moulées. Lorsqu'il y a un changement de débit, provoqué notamment par l'ouverture ou la fermeture d'un robinet thermostatique de radiateur, la vitesse de l'eau change également et ainsi la résistance aux frottements du tuyau. Comme le diamètre inchangé du tuyau doit être considéré comme une seule zone d'écoulement, la résistance change quadratiquement. Par conséquent, le diagramme aura la forme d'une parabole. Il en résulte la relation mathématique suivante :

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

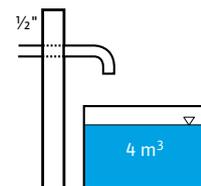
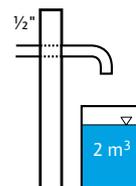
Conclusion

Si le débit dans le système de tuyau est réduit de moitié, la hauteur de refoulement diminue d'un quart par rapport à son niveau précédent. Si le débit double, la hauteur de refoulement est multipliée par quatre. Prenons par exemple l'écoulement d'eau d'un robinet. À une pression d'entrée de 2 bars, ce qui correspond à une hauteur de refoulement de pompe d'environ 20 m, de l'eau s'écoule d'un robinet DN $\frac{1}{2}$ à un débit de 2 m^3/h . Pour doubler le débit, la pression d'entrée doit passer de 2 à 8 bars

Écoulement d'un robinet à différentes pressions d'entrée

Pression d'entrée 2 bar
Écoulement 2 m^3/h

Pression d'entrée 8 bar
Écoulement 4 m^3/h



Point de fonctionnement.

Le point auquel la courbe de pompe et la courbe réseau se croisent est le point de fonctionnement actuel du réseau de chauffage ou d'alimentation en eau.

Cela signifie qu'à ce point, il y a équilibre entre la génération de puissance de la pompe et la consommation d'énergie requise pour surmonter la résistance dans le système de tuyaux. Cela génère le débit que la pompe peut produire.

Il faut faire attention à ne pas dépasser une valeur de débit minimale. Sinon la pompe pourrait surchauffer et être endommagée. Les spécifications du fabricant doivent être respectées. Un point de fonctionnement situé en dehors de la courbe de pompe endommagera le moteur.

Le point de fonctionnement varie en permanence en raison des fluctuations de débit au cours du fonctionnement. Le Bureau d'études doit trouver un point de fonctionnement qui correspond aux contraintes maximales. Pour les pompes de circulation de chauffage, il s'agit de la charge de chauffage du bâtiment ; pour les systèmes de distribution ou surpression, il s'agit du débit maximum de tous les robinets.

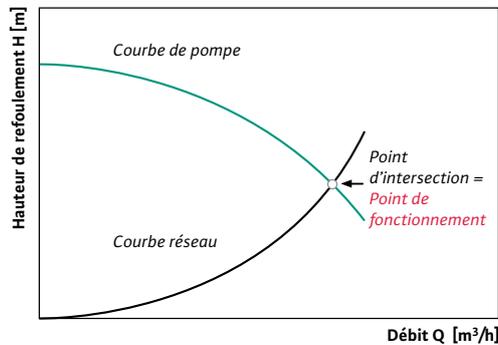
Tous les autres points de fonctionnement apparaissant en fonctionnement réel sont situés à gauche de ce point de fonctionnement prévu sur la courbe.

Les deux illustrations à droite indiquent que le changement de point de fonctionnement provient du changement de résistance du réseau.

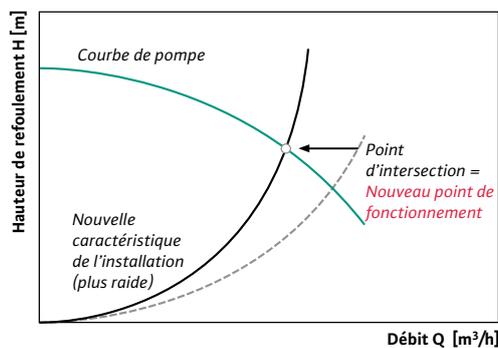
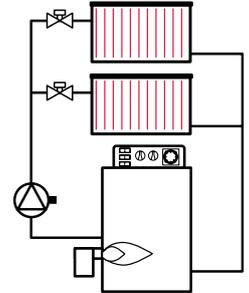
Si le point de fonctionnement se décale vers la gauche du point de sélection, la hauteur de refoulement de la pompe augmentera nécessairement. Cela provoque un bruit d'écoulement dans les robinets.

L'installation de pompes à débit variable adapte la hauteur de refoulement et le débit à la charge requise. Elle réduit également les coûts de fonctionnement de manière importante.

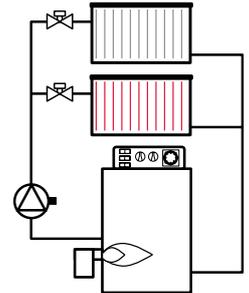
Point de fonctionnement variable



Les deux vannes thermostatiques sont ouvertes



Une seule vanne thermostatique est ouverte





Adaptation de la pompe à la demande thermique.

Comme notre climat présente quatre saisons distinctes, il y a des fluctuations substantielles de la température extérieure. Des températures élevées d'été de 20 °C à 30 °C, les températures peuvent chuter à -15 °C ou -20 °C, voir moins en hiver. Évidemment, de telles fluctuations ne sont pas acceptables pour les températures intérieures des habitations. Dans les temps anciens, le feu était utilisé pour chauffer les cavernes. Ultérieurement, des systèmes de chauffage ont été mis au point, comme décrit dans la première partie des « Principes des pompes ».

Fluctuations climatiques.

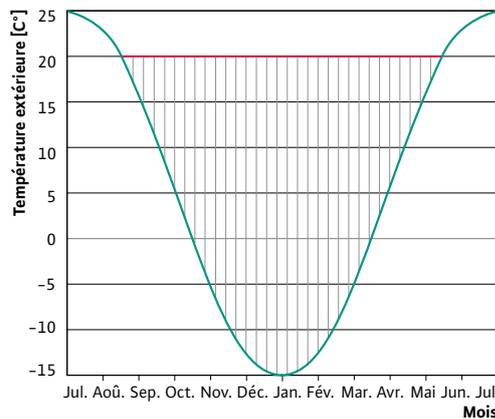
Dans l'illustration de droite, la zone ombrée avec des lignes verticales explique clairement que les fluctuations saisonnières de la température extérieure nécessitent des quantités d'énergie très différentes.

Lorsque les types d'énergie utilisées pour le chauffage (bois, charbon et premiers systèmes de chauffage au pétrole) n'étaient pas très coûteuses, peu importait la consommation en carburant. Au pire, il suffisait d'ouvrir une fenêtre ou deux. C'est ce que l'on appelait sur le ton de la plaisanterie la « régulation 2 points » : la fenêtre est ouverte ou fermée.

La première crise pétrolière de 1973 est à l'origine de la prise de conscience pour l'économie d'énergie.

Une bonne isolation thermique des bâtiments est devenue depuis une évidence. Les contraintes légales ont évolué en permanence pour suivre les développements dans la technique de construction. Évidemment, les techniques de chauffage ont évolué à un rythme identique. Les robinets thermostatiques de radiateur qui ajustent la température de la pièce à un niveau confortable ont été les premiers à être largement utilisés.

Température extérieure au cours de l'année



La zone grisée doit être remplie par de l'énergie thermique.

La restriction de la quantité d'eau chaude provoquée par ces robinets a augmenté la pression des pompes à vitesse fixe (et la courbe de pompe), provoquant ainsi des bruits d'écoulement dans les robinets. Pour résoudre ce problème, le clapet de décharge a été inventé et installé comme moyen d'évacuer la pression en excès.

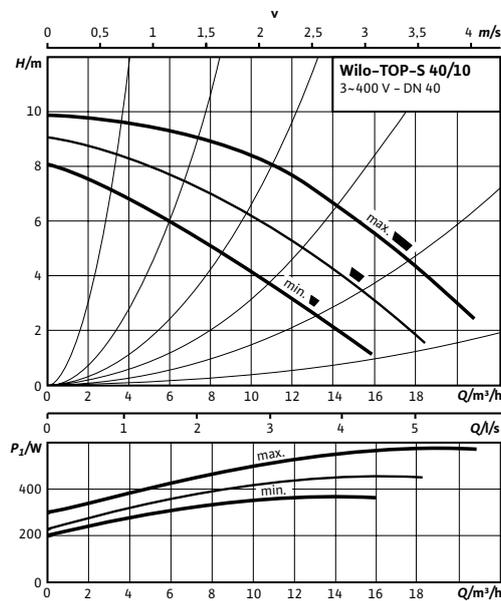
Consultez le chapitre sur le « Point de fonctionnement », page 33

Sélection de la vitesse de la pompe.

Les fabricants de pompes proposent des circulateurs à rotor noyé avec une sélection de vitesse manuelle. Comme décrit dans les sections précédentes, le débit diminue avec la vitesse afin d'adapter la quantité de fluide aux organes de commande (thermostat et vannes). Cela permet à la pompe de circulation de réagir directement à la régulation de température de la pièce.

Afin que la vitesse des moteurs puisse être modifiée, ils sont construits à l'aide de différents enroulements internes. Si une quantité moindre d'eau circule dans les tubes de chauffage, il y a par conséquent moins de pertes de charge, ce qui permet à la pompe de fonctionner avec une hauteur de refoulement moindre. En même temps, la consommation en énergie du moteur est sensiblement réduite.

Courbe de pompe Wilo-TOP S



Jusqu'à présent, un grand nombre de types de régulation a été mis au point pour modifier la vitesse des pompes de circulation. Cela permet à la pompe de circulation de réagir directement à la régulation de température de la pièce. La vanne de décharge devient alors inutile. Les organes de régulation modifient la vitesse automatiquement en fonction des variables suivantes :

- heure
- température de l'eau
- pression différentielle
- autres variables spécifiques au système



Circulateur à rotor noyé
Wilo-TOP S à 3 vitesses
aux choix

Régulation de vitesse variable en continu.

La régulation de vitesse en continu des pompes à moteur ventilé pour des moteurs de forte puissance pour les applications de chauffage a été possible dès le début des années 80. Des convertisseurs de fréquence électronique étaient utilisés pour ces pompes.

Pour comprendre cette technologie, rappelons que la fréquence de courant habituelle est de 50 Hz (Hertz). Cela signifie que le courant alterne entre un pôle positif et négatif 50 fois par seconde. Le rotor du moteur de pompe est mû à la vitesse correspondante.

Des composants électroniques peuvent être utilisés pour accélérer ou ralentir le courant et ainsi régler en permanence la fréquence.

Cependant, pour des raisons relatives au moteur, la fréquence dans les systèmes de chauffage avec des valeurs minimales ou valeurs maximales est limitée. Comme le rendement thermique maximal est conçu uniquement pour les jours les plus froids, il sera rarement nécessaire de faire fonctionner le moteur à la fréquence maximale.

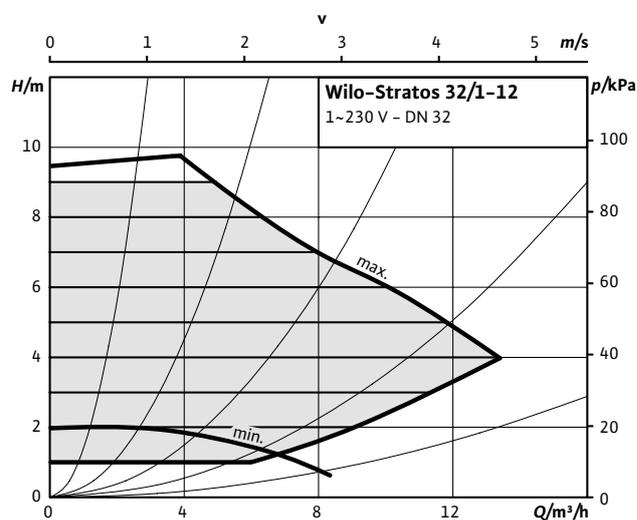
Alors que des unités de transformateur importantes étaient encore nécessaires il y a vingt ans, la solution a été trouvée depuis pour rendre les convertisseurs de fréquence suffisamment petits pour fonctionner dans des boîtiers de raccordement fixés directement sur la pompe, comme dans le cas de la Wilo-Stratos.

Une régulation de vitesse intégrée qui varie en continu permet de maintenir constante la hauteur de refoulement choisie, quel que soit le débit requis en fonction des conditions extérieures ou d'autres facteurs.

La commande de vitesse variable à l'infini a été introduite sur les petits circulateurs à partir de 1988, mais utilisait une technologie électronique différente. La technologie utilisée à l'époque, contrôle de l'angle de phase, est comparable aux commandes à rhéostat utilisées pour l'éclairage.

Depuis 2001, une nouvelle avancée technologique a eu lieu dans la technologie des circulateurs à rotor noyé. La toute dernière génération, également appelée pompe ECM-Synchron (Electronic-Commutated-Motor, ou moteur à aimant permanent), présente l'avantage d'associer d'énormes économies d'énergie à un excellent rendement grâce à la technologie ECM la plus récente. Comparé à des pompes non réglée conventionnelle une économie jusqu'à 90 % est possible.

Courbe de pompe d'une Wilo-Stratos



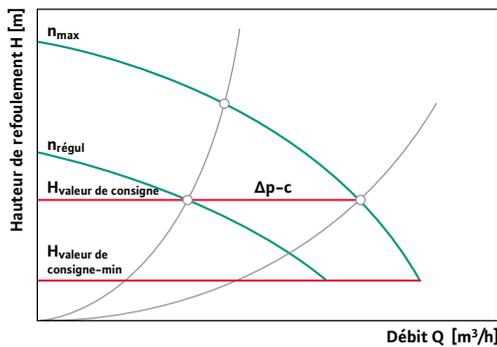
Régulation de vitesse en continu sur la pompe de haut rendement Wilo-Stratos

Consultez le chapitre sur les « Pompes à rotor noyé », page 25

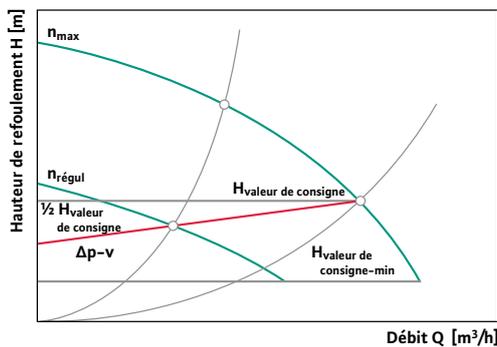
Modes de régulation.

Les pompes commandées électroniquement sur le marché actuellement peuvent être équipées de systèmes électroniques qui permettent divers modes de fonctionnement et de commande.

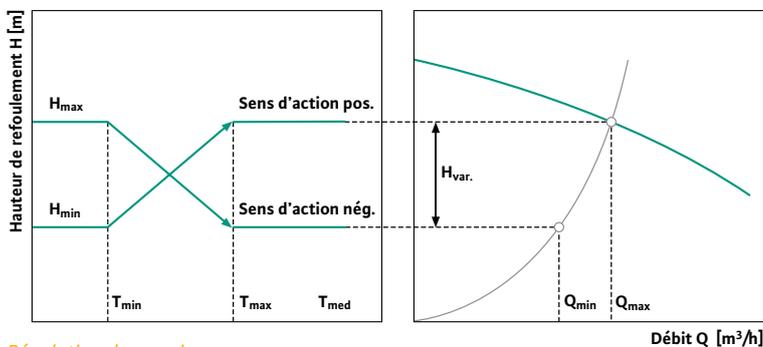
Courbes de pompe pour différents modes de fonctionnement



Pression différentielle constante : $\Delta p-c$



Pression différentielle variable : $\Delta p-v$



Régulation de pression différentielle en fonction de la température : $\Delta p-T$, en fonction des changements résultants de débit.

Il existe ainsi des modes de commande que la pompe peut effectuer seule et des modes de fonctionnement dans lesquels la pompe, au lieu de se réguler, est réglée à des points de fonctionnement précis à l'aide de commandes. Vous trouverez ci-après un aperçu des modes de commande et de fonctionnement les plus courants. D'autres unités et systèmes de régulation peuvent être utilisés pour traiter et transmettre un large éventail de données.

Les modes de régulation possibles sont les suivants :

$\Delta p-c$ – Pression différentielle constante

Le système électronique maintient constante la pression différentielle générée par la pompe sur la plage de débit autorisée à la valeur de consigne de pression différentielle H_s jusqu'au maximum de la courbe de pompe.

$\Delta p-v$ – Pression différentielle variable

Le système électronique modifie la valeur de consigne de la pression différentielle à maintenir par la pompe, par exemple de manière linéaire entre H_s et $1/2 H_s$. La valeur de consigne de la pression différentielle H augmente ou diminue avec le débit Q .

$\Delta p-T$ – Commande de pression différentielle en fonction de la température

Dans ce mode de régulation, le système électronique modifie la pression différentielle à maintenir par la pompe en fonction de la température mesurée du fluide. Deux réglages sont possibles pour cette fonction de régulation :

- Régulation avec sens d'action positif (pente ascendante)
Lorsque la température du fluide augmente, la valeur de consigne de la pression différentielle est augmentée de manière linéaire entre H_{min} et H_{max} . Cette opération est utilisée, p. ex., dans les chaudières classiques avec température de départ constante.
- Régulation avec sens d'action négatif (pente descendante)

Lorsque la température du fluide diminue, la valeur de consigne de la pression différentielle est diminuée de manière linéaire entre H_{max} et H_{min} . Cette opération est utilisée, p. ex., pour la condensation des chaudières dans lesquelles une température de retour minimale précise doit être maintenue afin d'atteindre le degré le plus haut possible d'utilisation du fluide de chauffage. Pour ce faire, il est obligatoire d'installer la pompe sur le retour du circuit.

Les modes de fonctionnement à choisir.

Réduit automatique (pilote automatique)

Les circulateurs à rotor noyé commandés électroniquement présentent une fonction de réduit automatique. Lorsque la température de départ est réduite, la pompe fonctionne à une vitesse constante réduite avec système Fuzzy (fonctionnement à faible charge). Ce réglage garantit que la consommation d'énergie de la pompe est réduite à un minimum et est le meilleur réglage dans la plupart des cas.

Le mode réduit automatique peut uniquement être activé si le système a été équilibré hydrauliquement. Le non-respect de ces instructions peut provoquer le gel des parties sous-alimentées du système en cas de gel.

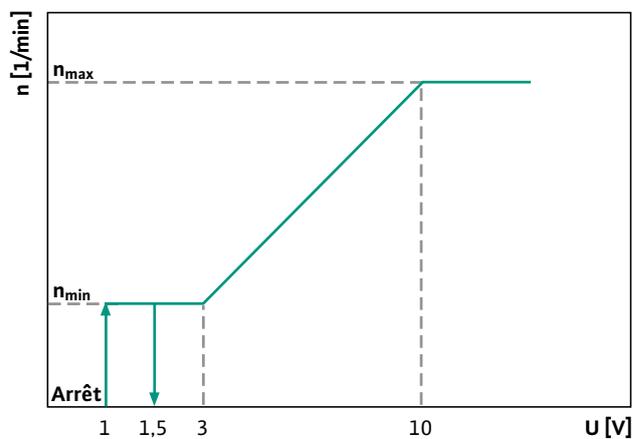
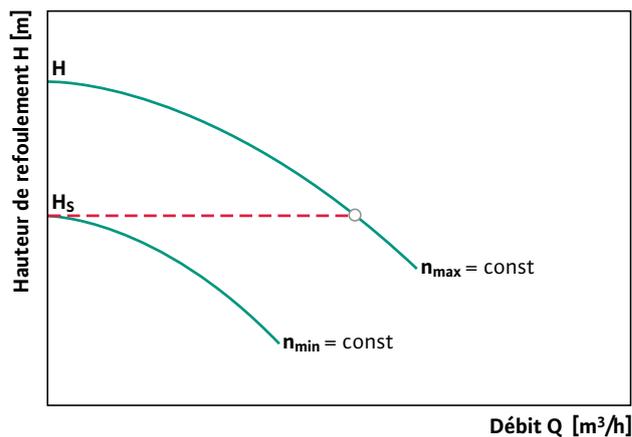
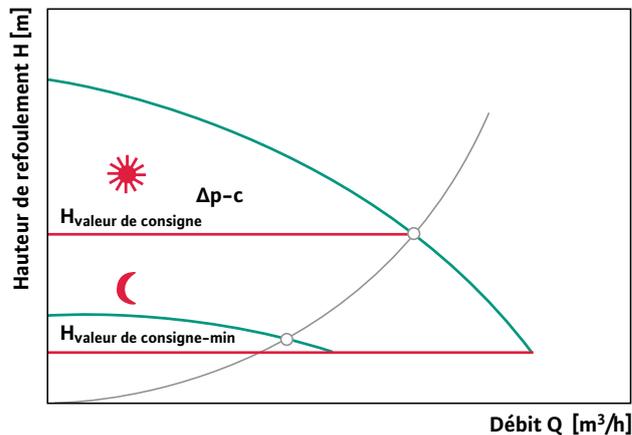
Mode manuel

Ce mode de fonctionnement est disponible pour les pompes commandées électroniquement qui respectent ou dépassent une certaine puissance moteur. La vitesse de la pompe est définie à une valeur constante entre n_{\min} et n_{\max} sur le module électronique de la pompe. Le mode de fonctionnement manuel désactive la commande de pression différentielle sur le module.

DDC (Direct Digital Controls) et connexion BA (connexion au système d'automatisation du bâtiment)

Dans ces modes de fonctionnement, la valeur de consigne est transmise au système électronique de la pompe par l'intermédiaire du système de gestion du bâtiment correspondant. La valeur de consigne provient du système d'automatisation du bâtiment (BA) à l'aide d'une comparaison de la valeur de consigne/actuelle et peut être transférée sous la forme d'un signal analogique 0-10 V/0-20 mA ou 2-10 V/4-20 mA ou d'un signal numérique (Interface PLR, CAN, LON, Modbus ou BACnet sur la pompe).

Courbes de pompe pour différents modes de fonctionnement





Détermination de pompe pour installations de chauffage standard.

Le débit à fournir par une pompe de chauffage dépend des déperditions thermiques du bâtiment à chauffer. La hauteur de refoulement, d'autre part, est déterminée par la résistance aux frottements de la tuyauterie. Lorsqu'un système de chauffage est installé, ces variables peuvent être facilement calculées à l'aide de programmes informatiques de qualité disponibles de nos jours. Cependant, ce calcul est plus complexe lorsque des systèmes de chauffage existants sont rénovés. Diverses approximations peuvent être utilisées pour calculer la capacité des pompes nécessaires.

Débit de la pompe.

Lors de l'installation d'une nouvelle pompe dans un système de chauffage, sa taille est déterminée en fonction du volume à l'aide de la formule suivante :

$$\dot{Q}_{pu} = \frac{\dot{Q}_N}{1.163 \cdot \Delta \vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

\dot{Q}_{pu} = Débit de la pompe au point de sélection en $[\text{m}^3/\text{h}]$

\dot{Q}_N = Consommation énergétique de la zone à chauffer en $[\text{kW}]$

1.163 = Capacité thermique spécifique en $[\text{Wh}/\text{kgK}]$

$\Delta \vartheta$ = Différence de température entre le départ et le retour du système de chauffage en $[\text{K}]$; ici, 10–20 K peuvent être estimés pour les systèmes standards.

Hauteur de refoulement de la pompe.

Pour véhiculer des fluides dans tous les points du circuit de chauffage, la pompe doit vaincre la somme de toutes les résistances. Comme il est très difficile de déterminer le chemin de tuyauterie et les diamètres nominaux des tuyaux utilisés, la formule suivante peut être utilisée pour calculer de manière approximative la hauteur de refoulement :

$$H_{pu} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10.000} \quad [\text{m}]$$

R = Perte de charge des tuyauteries en ligne $[\text{Pa}/\text{m}]$
Ici, 50 Pa/m à 150 Pa/m peuvent être estimés pour les systèmes standards (en fonction de l'année de construction du bâtiment ; des bâtiments plus anciens présentent une perte de charge plus faible de 50 Pa/m en raison de l'utilisation de tuyaux avec des diamètres nominaux plus importants).

L = Longueur de la section de chauffage la plus favorisée (la plus longue) $[\text{m}]$ pour l'alimentation et le retour ou : (longueur de la maison + largeur de la maison + hauteur de la maison) x 2

ZF = Facteur de majoration pour
Coudes/robinets $\approx 1,3$
Vanne thermostatique $\approx 1,7$
Si ces pièces sont installées, un facteur ZF de **2,2** peut être utilisé.

Coudes/robinets $\approx 1,3$
Vanne thermostatique $\approx 1,7$
Vanne de mélange $\approx 1,2$

Si ces pièces sont installées, un facteur ZF de **2,6** peut être utilisé.

10.000 = Facteur de conversion m en Pa

Exemple d'application.

La chaudière d'un immeuble de construction ancienne a une puissance de 50 kW selon un calcul ou un document.

Pour une différence de température Δ de 20 K ($\vartheta_{\text{départ}} = 70\text{ °C} / \vartheta_{\text{retour}} = 50\text{ °C}$), on obtient :

$$\dot{Q}_{\text{PU}} = \frac{\dot{Q}_N}{1.163 \cdot \Delta \vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Si le même bâtiment doit être chauffé avec un différentiel de température inférieur, par exemple 10 K, la pompe de circulation doit fournir le double du débit, c'est-à-dire 4,3 m³/h, pour transporter l'énergie thermique nécessaire du générateur de chaleur aux corps de chauffe. Dans notre exemple, supposons une perte de charge due aux frottements de 50 Pa/m, une longueur de tuyau d'alimentation et de retour de 150 m et un facteur de majoration de 2,2, car aucun robinet de mélange n'a été installé dans ce cas. Cela a pour résultat la hauteur de refoulement H suivante :

$$H_{\text{PU}} = \frac{50 \cdot 150 \cdot 2.2}{10.000} = 1.65 \text{ m}$$

Point de fonctionnement dans la courbe de pompe à débit variable

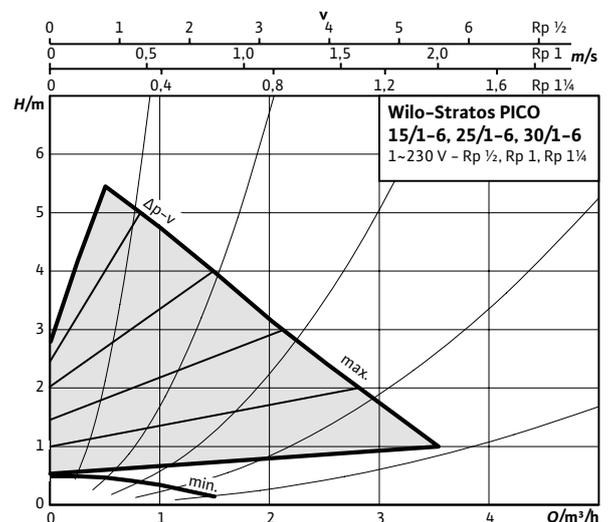


Dans le chapitre relatif aux « Caractéristiques de construction », nous avons vu comment la courbe de rendement dépend de la courbe de pompe. Si cette courbe de rendement est prise en compte lors du choix de la pompe, il est évident qu'en termes d'énergie, le tiers du milieu de la courbe est la plage de sélection la plus favorable. Par conséquent, pour les systèmes à débit variable, le point de sélection doit se trouver dans le premier tiers de droite, car le point de fonctionnement de la pompe de circulation de chauffage se décale au tiers central et reste à cet endroit pendant 98 % de son temps de fonctionnement.

La courbe réseau devient plus forte, car la résistance augmente, p. ex., lorsque les robinets thermostatiques des radiateurs sont fermés.

On obtient les résultats suivants à partir des données calculées pour une hauteur de refoulement H et un débit Q selon le catalogue pour une détermination de pompes :

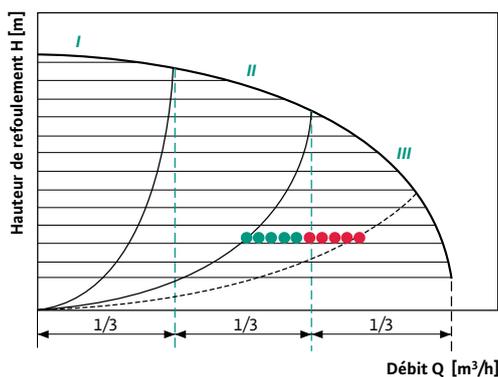
Courbes Wilo-Stratos PICO



• **Zone I (tiers de gauche)**
Choisissez une pompe plus petite si le point de fonctionnement se trouve dans cette zone

• **Zone II (tiers du milieu)**
La pompe fonctionnera dans sa plage optimale pour 98 % de son temps de fonctionnement

• **Zone III (tiers de droite)**
La pompe commandée sera actionnée dans la dernière plage favorable uniquement lorsqu'elle se trouve sur son point de sélection (jour le plus chaud/froid de l'année), p. ex., 2 % de son temps de fonctionnement



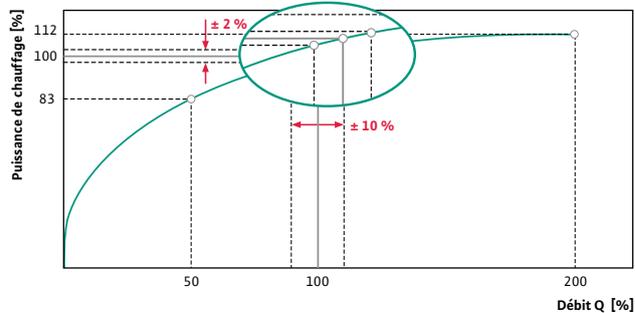
Influence sur la détermination des pompes.

Lorsque la déperdition thermique d'un bâtiment avec un réseau de chauffage inconnu doit faire l'objet d'une approximation, on peut se demander l'impact que cela aura. L'illustration représente la courbe de rendement classique d'un radiateur d'habitation.

On peut constater la relation suivante : si le débit Q diminue de 10 %, la puissance de chauffe des radiateurs diminue uniquement de 2 %. Il en va de même si le débit Q augmente d'environ 10 %. Dans ce cas, les radiateurs seront en mesure de générer uniquement 2 % d'énergie thermique supplémentaire. Même le doublement du débit n'augmentera la puissance de chauffage que de 12 % !

La vitesse de l'eau dans les radiateurs dépend directement du débit. Une vitesse de circulation plus rapide signifie un temps de pause plus court de l'eau dans les radiateurs. À débit plus lent, le fluide dispose de plus de temps pour transmettre la chaleur à la pièce.

Diagramme de fonctionnement d'un radiateur



Exemple de schéma de fonctionnement d'un radiateur à 90/70 °C, température ambiante de 20 °C

Par conséquent, la pratique qui consiste à dimensionner les pompes plus grandes que nécessaire afin de permettre ce que l'on appelle une « marge de sécurité » est totalement fautive.

Un sous-dimensionnement des pompes en chauffage a des conséquences mineures : à un débit de 50 %, les radiateurs seront en mesure d'assurer environ 83 % d'énergie thermique à la pièce.

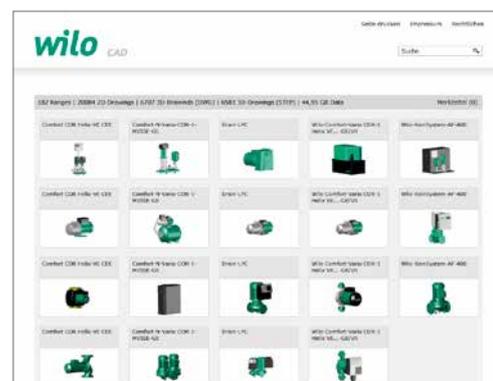
Logiciel d'étude de pompes.

Le logiciel d'étude de pompe tel que le Wilo-Select fournit un service de sélection complet et efficace. Pour les tâches allant du calcul à la sélection de la pompe et de la documentation associée, il fournit toutes les données dont vous avez besoin. Wilo-Select est un logiciel d'étude pour les pompes, systèmes et composants. Il peut être utilisé comme une aide au travail professionnel, divisée selon les menus suivants :

- Calcul
- Conception
- Recherche dans le catalogue et recherche d'articles
- Remplacement de pompe
- Documentation
- Coût en électricité et calculs d'amortissement
- Coûts d'entretien
- Exportation de données vers Acrobat PDF, GAEB, Datanorm, VDMA, VDI, CEF
- Mise à jour automatique des données par Internet

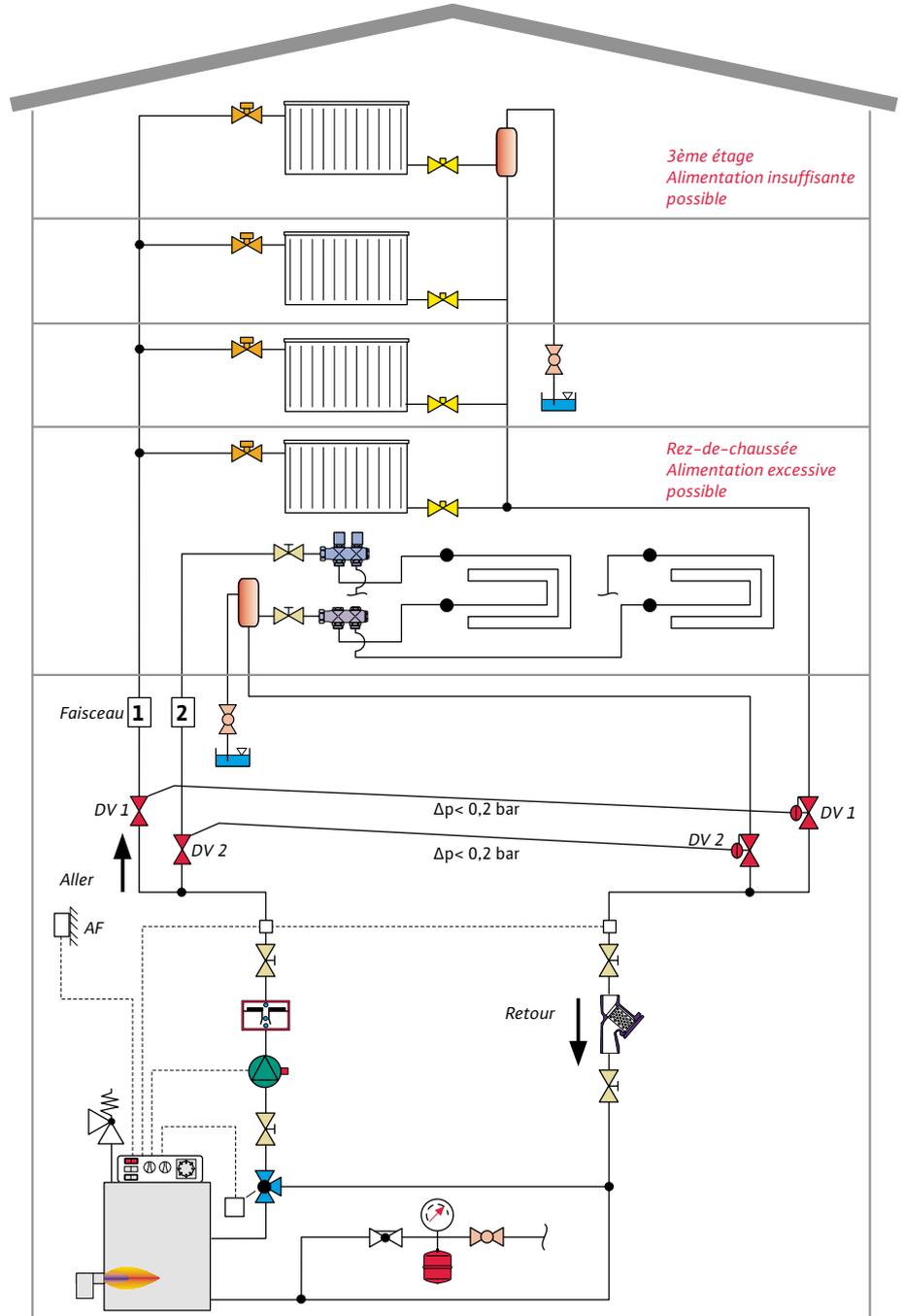
Planification CAO.

Vous pouvez télécharger, rapidement et en toute simplicité, des schémas précis en 2D et en 3D sur cad.wilo.com.



Représentation schématique d'une installation de chauffage équilibrable hydrauliquement.

-  Collecteur d'air au point le plus haut des faisceaux
-  Vanne KFE
-  Vanne thermostatique (TV)
-  Arrêt sur retour
-  Vanne d'isolement
-  Actionneur électrique
-  Arrêt sur retour
-  Regulateur de pression différentielle (DV)
-  Circulateur avec commande de pompe
-  Vanne de mélange (SB)
-  Mélangeur 3 voies
-  Collecteur de poussières
-  Réservoir d'expansion avec robinet KV et vanne KFE
-  Soupape de sécurité
-  Évacuation des eaux



Pour qu'une pompe fonctionne efficacement un équilibrage hydraulique est nécessaire.

L'hydraulique de A à Z.

Pour obtenir une circulation optimale de la chaleur et le moins de bruit possible, un équilibrage hydraulique est nécessaire. L'équilibrage hydraulique sert également à empêcher que l'alimentation des corps de chauffe ne devienne trop élevée ou trop faible.

Le débit nominal des sections est fourni par la pompe dans le circuit hydraulique. Les corps de chauffe (comme les radiateurs) utilisent uniquement une partie de ce débit, laquelle dépend de la taille et de la puissance du radiateur ainsi que du réglage du thermostat et de la vanne de régulation.

Afin que chaque corps de chauffage soit alimenté à la pression et au débit correct, des régulateurs de pression différentielle, vannes

de réglage, thermostat pré-réglé et vannes de régulation peuvent être installés.

Les paramètres du corps de chauffe peuvent être réglés sur les vannes et les contrôleurs en fonction des spécifications du fabricant (p. ex. pression différentielle de sélection comprise entre 50 et 150 mbar). Les corps de chauffe doivent toujours être protégés contre un excès de pression. La pression maximale de la pompe, p. ex. en amont des robinets thermostatiques de radiateur, ne doit pas dépasser 2 m. Si le circuit nécessite une pression supérieure, des contrôleurs de pression différentielle doivent être installés dans les sections montantes afin que cette valeur limite soit maintenue.

Consultez le chapitre sur l'« Exemple d'application », page 42

Réglage des pompes de circulation commandées électroniquement.

Les pompes de circulation actuelles à variation de vitesse électronique sont une manière simple d'ajuster la hauteur de refoulement nécessaire à un circuit méconnu :

- La condition préalable est que le circuit ait été soigneusement équilibré et que le système ait été purgé. Toutes les vannes de réglage doivent être ouvertes.
- Le système électronique de la pompe comporte des boutons ou des cadrans pour régler la hauteur de refoulement. En fonction du fabricant, elles peuvent présenter ou non des graduations. Commencez au niveau le plus bas de hauteur de refoulement. Envoyez un collègue, équipé d'un smartphone, au radiateur le plus distant de tout le système de chauffage.
- Lorsqu'il aura signalé que l'eau de chauffage ne parvient pas jusqu'à ce point éloigné, augmentez lentement la hauteur de refoulement à l'aide du cadran de réglage. En effectuant cette opération, tenez compte de l'inertie du système de chauffage.
- Au moment où même le radiateur le plus éloigné est alimenté en énergie thermique, la procédure de réglage est terminée.

Connexion de plusieurs pompes.

Chacune des exécutions précédentes était basée sur une pompe centrifuge. En pratique, cependant, il existe des conditions d'utilisation dans lesquelles une pompe simple ne peut répondre à la demande.

Dans ce cas, deux pompes ou plus sont installées. En fonction de l'application, les pompes sont raccordées en série ou en parallèle.

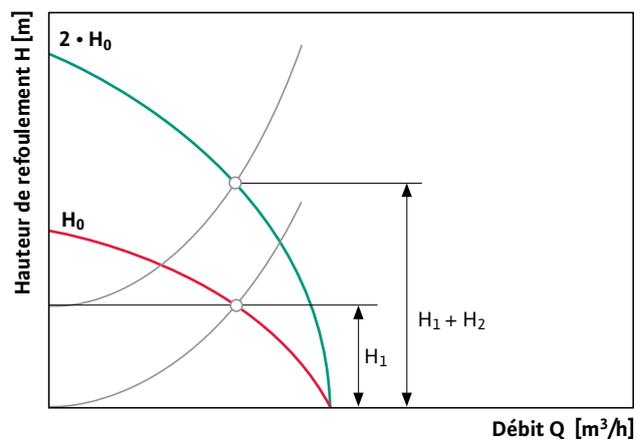
Avant d'aborder les fonctions d'utilisation spécifiques, signalons une erreur fondamentale (bien que connue). Il n'est généralement pas vrai que deux pompes identiques connectées en série pompent à un rythme de deux fois la hauteur de refoulement et que deux pompes identiques connectées en parallèle pompent à un rythme de deux fois le débit. Bien que cela soit possible en théorie, il est impossible de le réaliser en pratique pour des raisons concernant la conception et le circuit.

Pompes raccordées en série

Si deux pompes sont connectées l'une derrière l'autre, les courbes de pompe s'ajoutent, c'est-à-dire que, si elles fonctionnent à vanne fermée, la pression générée est cumulative. Ainsi, la hauteur de refoulement si $Q = 0$ est doublée pour deux pompes de même dimension.

À l'inverse, deux pompes ne peuvent pas transporter une quantité plus importante de fluide qu'une seule pompe.

Courbe de pompe pour fonctionnement en série



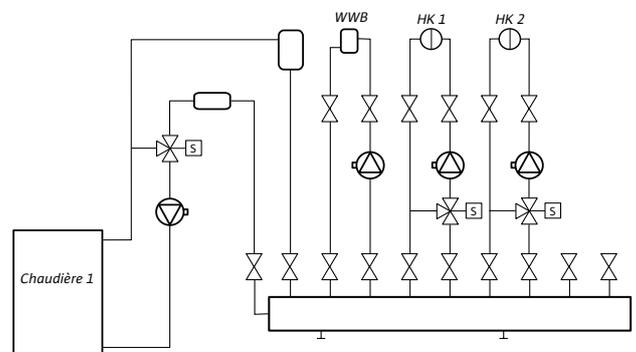
En pratique, cela signifie que des augmentations proportionnelles se produisent pour les deux parties du travail hydraulique :

- Pour l'axe vertical de la courbe, c'est-à-dire la hauteur de refoulement H , cette augmentation sera d'autant plus importante que la courbe système est à gauche.

- Pour l'axe horizontal, c'est-à-dire le débit \dot{Q} , l'augmentation est extrêmement faible.

Exemple d'application : circuits à plusieurs pompes (pompes connectées en série). Pour des raisons de technologie de régulation, les systèmes de chauffage de forte importance sont composés de plusieurs circuits de chauffage. Parfois, plusieurs chaudières sont également installées.

Exemple d'un système avec plusieurs circuits de chauffage



Les pompes de génération d'eau chaude (WWB) et celles des circuits de chauffage HK 1 et HK 2 fonctionnent indépendamment les unes des autres. Les pompes de circulation sont conçues pour vaincre les résistances correspondantes du système. Chacune de ces trois pompes est installée en série avec la pompe de circulation de la chaudière PCC. La tâche de cette pompe est de vaincre la perte de charge du circuit de chaudière.

Les considérations théoriques de la section précédente supposent des pompes de même taille. Cependant, les données de puissance peuvent différer pour chacune des pompes, comme dans le schéma représenté ici.

Par conséquent, ce type d'installation présente un grand danger si les débits ne sont pas soigneusement adaptés les uns aux autres. Si la pression générée par la pompe du circuit de la chaudière est trop élevée, une ou la totalité des pompes de distribution peut recevoir une pression d'entrée résiduelle excessive à la bride d'aspiration. C'est-à-dire qu'elles ne fonctionnent plus comme des pompes, mais comme des turbines (fonction de générateur). Elles sont poussées. Cela aboutit rapidement à des dysfonctionnements et à des pannes des pompes. La solution de découplage hydraulique ne fait pas l'objet de ce document.

Pompes raccordées en parallèle.

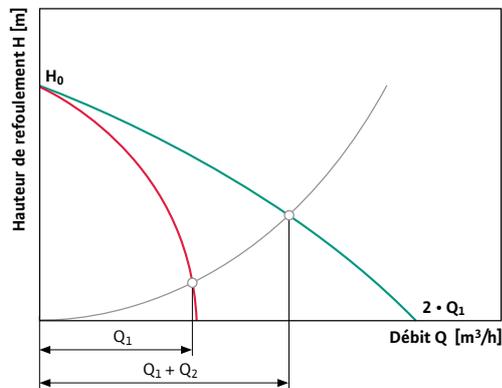
Si deux pompes sont installées en parallèle, les courbes de pompe sont ajoutées l'une à l'autre, ce qui signifie que, lorsqu'elles fonctionnent sans pression, c'est-à-dire vers un tuyau ouvert, le débit est cumulatif. Ainsi, le débit maximum de deux pompes de même taille double.

Nous avons déjà signalé que le point de courbe de cette pompe est uniquement une valeur limite théorique.

à l'inverse, c'est-à-dire la hauteur de refoulement si $Q = 0$, deux pompes connectées en parallèle ne peuvent pas fournir une hauteur de refoulement supérieure à celle d'une seule pompe :

- Pour l'axe horizontal de la courbe, donc pour le débit \dot{Q} , cette augmentation sera d'autant plus grande que la courbe système se trouve à droite.
- Pour l'axe vertical, donc la hauteur de refoulement H , l'augmentation est la plus élevée au centre des courbes de pompe.

Courbe de connexion en parallèle

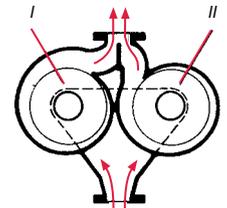
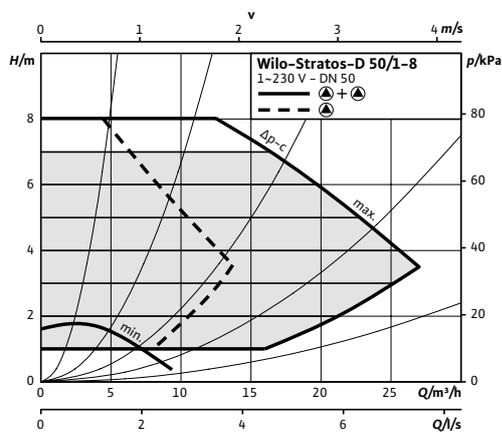


Lorsque la demande thermique atteint son point le plus élevé, les pompes I et II fonctionnent ensemble en parallèle. Dans les pompes modernes, les unités de commande nécessaires sont contenues dans des modules insérables ou dans un module électronique pourvu des accessoires correspondants.

Comme chacune des deux pompes simples intégrées dans le corps de pompe double peut, à son tour, être réglé graduellement, il existe de nombreuses possibilités d'adaptation de la pompe à la demande thermique.

Cela est représenté dans la courbe suivante. La ligne en pointillés est la courbe de pompe pour le fonctionnement individuel d'une ou des deux pompes. La ligne noire épaisse est la courbe de pompe partagée en opération de fonctionnement/appoint.

Courbe de pompe Wilo-Stratos D



Deux pompes en fonctionnement

Fonctionnement en parallèle de deux pompes à débit identique

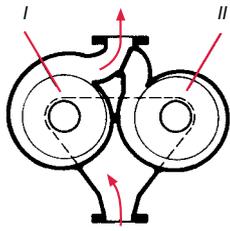


Fonctionnement en parallèle de deux pompes avec le même débit : augmentation réelle du débit

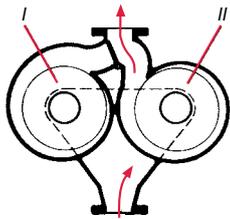
Consultez le chapitre sur l' « Influence sur la détermination des pompes », page 43

Exemple d'application : Pompe principale et pompe de secours.

L'objectif du système de chauffage est de chauffer des habitations durant la saison froide. Par conséquent, l'installation d'une pompe secondaire dans chaque circuit de chauffage est recommandée au cas où l'autre pompe serait en panne. Cela s'applique, p. ex. pour les immeubles, les hôpitaux et les collectivités.



Par contre, l'installation d'une seconde pompe et des organes de commande et régulation nécessaires a pour conséquence des coûts d'installation bien plus importants. L'industrie propose un bon compromis en la forme de pompes jumelées. Deux blocs-moteurs sont montés dans un même corps de pompe.



En fonctionnement marche/secours, les pompes I et II fonctionnent en alternance selon un horaire (par exemple, 24 heures chacune). Lorsqu'une pompe fonctionne, l'autre est arrêtée. Le clapet anti-retour, intégré en standard, empêche le fluide de retourner dans la pompe lorsqu'elle est à l'arrêt.

*Pompe I ou pompe II
en fonctionnement*

Comme décrit au début de cette section, la panne de l'une des pompes déclenche un passage automatique sur la pompe prête à fonctionner.

Fonctionnement à charge maximale avec plusieurs pompes

Plusieurs pompes individuelles à charge partielle sont installées dans des systèmes qui nécessitent un débit important. Par exemple, un hôpital avec 20 bâtiments et un local chaudière situé de manière centrale.

Dans l'exemple suivant, des grosses pompes à garniture mécanique pourvues de variateurs électroniques intégrés sont installées en parallèle les unes avec les autres. En fonction des besoins, de tels systèmes sont composés de deux pompes ou plus, de dimensions identiques.

Relié au capteur de signal, le système de régulation maintient constante la pression totale des pompes ($\Delta p - c$). À cet égard, les débits admis dans les robinets thermostatiques sur tous les radiateurs et le nombre de pompes en fonctionnement sur les quatre sont sans importance.

Si un système de ce type est équilibré hydrauliquement, ces circuits sont également utilisés pour effectuer une évaluation du point le plus éloigné qui garantit une alimentation correcte. Pour cette évaluation, le capteur de signal est installé sur le point du système le plus difficile à alimenter (le plus défavorisé). Le signal de commande émanant du capteur est ensuite envoyé à l'unité de commande où il est ajusté en fonction de l'inertie et d'autres caractéristiques du système. Les pompes raccordées sont, à leur tour, activées par l'unité de régulation, p. ex. par l'intermédiaire de leur variateur électronique intégré.

Exemple d'application.

Le système présenté dans cet exemple fonctionne de la manière suivante :

La pompe de base ou la pompe principale P_H est régulée en continu par un FU intégré au régulateur entre sa vitesse maximale $n = 100\%$ et une vitesse minimale $n = 40\%$, cette régulation étant déclenchée par le capteur de pression différentielle DDG. Ceci couvre la charge partielle nécessaire jusqu'à $Q_{T1} < = 25\%$. Lorsqu'un débit $Q_T > 25\%$ est nécessaire, la première pompe d'appoint P_{S1} s'enclenche à la vitesse maximale. La pompe de base

P_H continue à réguler, de façon à pouvoir couvrir le complément de charge requis entre 25 % et 50 % des besoins.

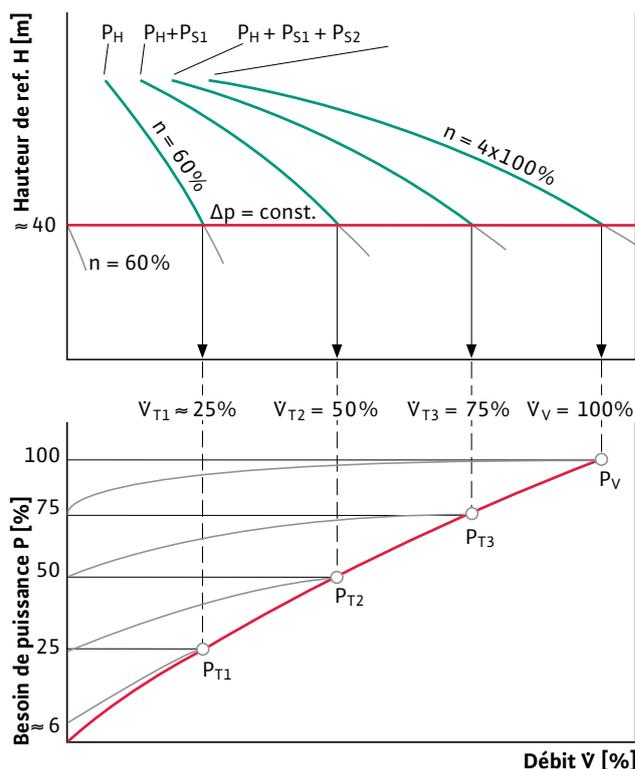
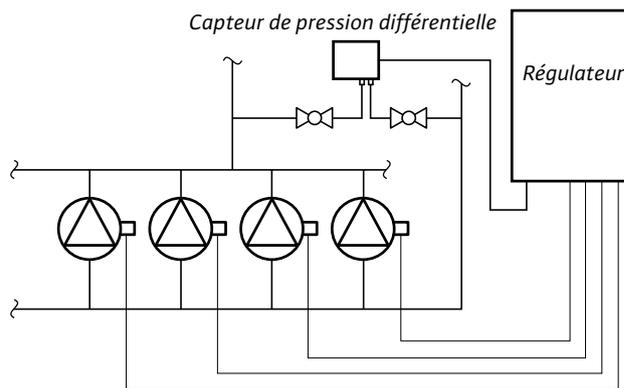
Cette procédure se répète par l'enclenchement des pompes à charge partielle P_{S2} et P_{S3} , chacune à leur vitesse maximale. Le besoin thermique maximal de tout l'hôpital est couvert lorsque toutes les quatre pompes fonctionnent à leur puissance maximale – elles fournissent alors le débit à pleine charge \dot{V}_V . De la même façon, les pompes d'appoint P_{S3} à P_{S1} sont à nouveau coupées lorsque le besoin thermique diminue.

Système de plusieurs pompes avec régulation en continu

Pour maintenir les durées de fonctionnement des pompes aussi uniformes que possible, le rôle de la pompe principale est transféré à une pompe différente à tour de rôle.

Le schéma du bas indique les économies importantes, notamment celles en consommation d'énergie, qui sont réalisables en fonction du type de pompe.

Dans les systèmes de forte puissance, l'avantage de coûts de fonctionnement réduits sur de nombreuses années prime sur celui des coûts d'investissement initiaux faibles. En effet, quatre pompes plus petites couplées à une unité de commande peuvent coûter plus qu'une seule pompe importante sans commande. Cependant, si nous prenons par exemple une durée de fonctionnement de dix ans, les coûts d'investissement pour le système de régulation et les pompes pourvues d'un variateur électronique intégré peuvent être rentabilisés plusieurs fois par les économies réalisées. Un autre avantage à prendre en compte, la meilleure répartition et couverture des besoins avec un système plus silencieux et permettant une meilleure alimentation des réseaux et des terminaux. Cela conduit également à de fortes économies des ressources énergétiques primaires.



Légende :

- P_H = pompe principale
- P_S = pompe d'appoint 1-3
- \dot{V}_V = débit pleine charge
- \dot{V}_T = débit charge partielle
- P_V = consommation d'énergie à pleine charge
- P_T = consommation d'énergie à charge partielle

Conclusion.

En commençant par les premiers développements et les concepts de base et en poursuivant avec des exemples très complexes, les « Principes fondamentaux de la technologie des pompes » sont destinés à fournir une présentation sur les méthodes d'utilisation des pompes et sur les endroits dans lesquels les utiliser.

Il illustre les relations et interconnexions complexes du fonctionnement des pompes, ainsi que les améliorations de fonctionnement rendues possibles par les systèmes de régulation électroniques actuels.

Comparée au réseau de chauffage du bâtiment, la pompe de circulation est l'un des composants les plus petits en termes de taille et de prix d'achat. Cependant, c'est la pompe qui permet à tous les composants de fonctionner correctement. Si nous comparons le système au corps humain, il n'y a aucun doute : la pompe est le cœur du système !

Le saviez-vous ?

Testez vos connaissances des « Principes fondamentaux de la technologie des pompes » en répondant à ce questionnaire rapide.

Histoire de la technologie des pompes.

Questions sur les sujets suivants :

- distribution d'eau
- élimination des eaux usées
- technique de chauffage



Question 1 :

- Les pompes existaient au début des temps anciens (1)
- Les pompes ont été inventées pour le chauffage (2)
- Les pompes peuvent être utilisées pour pomper de l'eau uniquement (3)

Question 2 :

- Archimède a inventé la roue à bols (1)
- Les chinois ont inventé la pompe centrifuge (2)
- L'inclinaison de la vis d'Archimède détermine la hauteur de refoulement (3)

Question 3 :

- Les premiers égouts ont été construits en 1856 (1)
- La Cloaca Maxima a été construit à Rome (2)
- Les installations de relevage doivent être installées sur toutes les évacuations (3)

Question 4 :

- Les Anciens allemands disposaient déjà du chauffage central (1)
- Les romains construisaient déjà des systèmes de chauffage par le sol (2)
- Le moteur à vapeur était utilisé pour chauffer les habitations au 17^{ème} siècle (3)

Question 5 :

- Sur les installations en thermosiphon, doivent être installées des pompes de forte puissance (1)
- Les systèmes de chauffage à la vapeur fonctionnent à des températures comprises entre 90 °C et 100 °C (2)
- Les systèmes de chauffage basse température ne sont possibles que grâce aux pompes de circulation (3)

Question 6 :

- Pour quelles applications les pompes ont-elles été utilisées depuis des siècles :
- distribution d'eau (1)
 - systèmes de chauffage à la vapeur (2)
 - systèmes de chauffage en thermosiphon (3)

Question 7 :

- L'accélérateur de circulation, breveté en 1929 a été une amélioration d'une pompe de chauffage utilisée fréquemment (1)
- A été la première pompe installée en tuyauterie pour le chauffage (2)

Question 8 :

- À quelle partie du corps humain peut-on comparer les pompes de circulation de chauffage ?
- Les bras (1)
 - Le cœur (2)
 - La tête (3)

Question 9 :

- Les avantages présentés par les circulateurs de chauffage sont :
- coûts d'installation plus faibles (1)
 - coûts de fonctionnement adaptés (2)
 - régulation (3)
 - les déclarations 1-3 s'appliquent toutes (4)

Question 1 : N° 1
 Question 2 : N° 2
 Question 3 : N° 2
 Question 4 : N° 2
 Question 5 : N° 3
 Question 6 : N° 1
 Question 7 : N° 2
 Question 8 : N° 2
 Question 9 : N° 4

Réponses :

L'eau, notre moyen transport.



Questions sur les sujets suivants :

- capacité de stockage thermique
- augmentation et diminution de volume
- pression

Question 1 :

L'eau se dilate :

- lorsqu'elle est chauffée à plus de 0 °C (1)
- lorsqu'elle est refroidie à moins de 0 °C (2)
- lorsqu'elle est chauffée ou refroidie à partir d'une température de +4 °C (3)

Question 2 :

Parmi ces propositions, laquelle présente trois termes équivalents ?

- Travail, rendement et puissance (1)
- Travail, énergie et quantité de chaleur (2)
- Travail, envie et bonne humeur (3)

Question 3 :

Parmi ces proposition, laquelle s'applique à l'eau lorsqu'elle est chauffée ?

- Elle devient sensiblement plus légère (1)
- Elle devient sensiblement plus lourde (2)
- Sa densité reste identique (3)

Question 4 :

Que fait la température de l'eau lorsqu'elle atteint le pont d'ébullition ?

- Elle continue à augmenter (1)
- Elle reste au point d'ébullition (2)
- Elle commence à diminuer (3)

Question 5 :

Comment empêcher la cavitation ?

- En choisissant une pompe avec faible pression mini à maintenir à l'aspiration (1)
- En diminuant la pression statique (2)
- En augmentant la tension de vapeur PD (3)

Question 6 :

De quel facteur dépend la quantité d'énergie thermique disponible dans l'eau ?

- La capacité thermique de l'eau (1)
- La masse d'eau en mouvement (2)
- La différence de température entre l'alimentation et le retour (3)
- Elle dépend de ces trois variables (4)

Question 7 :

Quel élément améliore le fonctionnement des systèmes de chauffage en thermosiphon ?

- Résistance réduite du réseau (1)
- Résistance accrue de réseau (2)

Question 8 :

Quel est le rôle de la soupape de sécurité ?

- Elle est utilisée pour ventiler et purger le système (1)
- Elle protège le système d'une charge de pression excessive (2)
- Aucun ; elle est inutile lorsque des pompes électroniques sont installées (3)

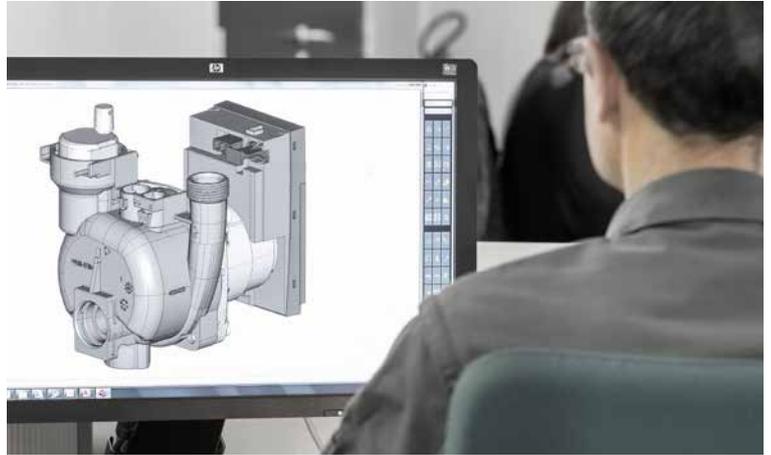
Question 8 : N° 2
Question 7 : N° 1
Question 6 : N° 4
Question 5 : N° 1

Question 4 : N° 2
Question 3 : N° 1
Question 2 : N° 2
Question 1 : N° 3
Réponses :

Caractéristiques de conception.

Questions sur les sujets suivants :

- pompes auto-amorçantes et sans amorçage automatique
- circulateurs à rotor noyé
- pompes à moteur ventilé



Question 1 :

La hauteur d'aspiration :

- dépend de la pression de l'air (1)
- en théorie, est égale à 10.33 m (2)
- a un effet sur la hauteur de refoulement (3)
- les déclarations 1-3 s'appliquent toutes (4)

Question 2 :

Laquelle de ces déclarations s'applique aux pompes auto-amorçantes ?

- Elles sont capables de purger la ligne d'aspiration (1)
- La conduite d'aspiration doit être aussi courte que possible (2)
- Elles doivent être remplies avant la mise en service (3)
- Elle n'a aucune fonction (4)

Question 3 :

Quelle fonction a l'eau de chauffage pour la cartouche des circulateurs à rotor noyé ?

- Elle refroidit et lubrifie (1)
- Elle maintient la hauteur de refoulement (2)
- Elle n'a aucune fonction (3)

Question 4 :

Quels sont les avantages d'un circulateur à rotor noyé :

- Bon rendement (1)
- Températures élevées du circuit de chauffage (2)
- Fonctionnement fiable et sans entretien (3)

Question 5 :

Quelles sont les positions d'installation recommandées pour une pompe à garniture mécanique en ligne ?

- Installée avec l'axe disposé verticalement (1)
- Installée avec l'axe disposé horizontalement (2)
- Toutes les positions sauf le moteur orienté vers le bas (3)

Question 6 :

Pour quelles applications les pompes à moteur ventilé sont-elles utilisées ?

- Débits faibles (1)
- Débits élevés (2)
- Par manque de lubrification du moteur (3)

Question 7 :

Le rendement d'une pompe est le rapport :

- de la bride de refoulement sur la bride d'aspiration (1)
- de la puissance d'entraînement sur la puissance fournie (2)
- de la puissance restituée sur la puissance absorbée (3)

Question 8 :

Le meilleur rendement d'une pompe centrifuge se situe dans :

- le tiers gauche de la courbe de pompe (1)
- le tiers central de la courbe de pompe (2)
- le tiers droit de la courbe de pompe (3)

Question 9 :

Les garnitures mécaniques :

- sont constituées de chanvre ou de fibres synthétiques (1)
- sont les paliers (2)
- sont utilisées pour les pompes à moteur ventilé (3)
- les déclarations 1-3 s'appliquent toutes (4)

Réponses :
 Question 1 : N° 4
 Question 2 : N° 3
 Question 3 : N° 1
 Question 4 : N° 2
 Question 5 : N° 3
 Question 6 : N° 2
 Question 7 : N° 3
 Question 8 : N° 2
 Question 9 : N° 3

Courbes.



Questions sur les sujets suivants :

- courbe de pompe
- courbe réseau du circuit
- point de fonctionnement

Question 1 :

L'énergie d'entraînement électrique :

- est transformée en haute pression (1)
- est transformée en augmentation de pression et en mouvement (2)
- est obtenue de l'énergie hydraulique (3)

Question 2 :

Sur les axes de la courbe sont représentés :

- la hauteur de refoulement sur l'axe vertical et le débit sur l'axe horizontal (1)
- le débit sur l'axe vertical (2)
- l'énergie sur l'axe vertical et le fluide sur l'axe horizontal (3)

Question 3 :

Que représente la courbe réseau ?

- L'augmentation de résistance en fonction du débit (1)
- L'augmentation du débit en fonction de la pression (2)
- Le changement de débit en fonction de la vitesse de l'eau (3)

Question 4 :

Comment évolue la résistance du circuit ?

- De manière linéaire avec le débit (1)
- Avec le carré du débit (2)
- Avec le cube du débit (3)

Question 5 :

De quel paramètre dépend la hauteur de refoulement d'un circulateur de chauffage ?

- La hauteur du bâtiment (1)
- La résistance du circuit hydraulique (2)
- Ces deux variables (3)

Question 6 :

De quel paramètre dépend le débit d'un circulateur de chauffage ?

- La température extérieure moyenne (1)
- La température intérieure souhaitée (2)
- La puissance thermique calculée (3)

Adaptation de la pompe à la demande thermique.

Questions sur les sujets suivants :

- fluctuations climatiques
- régulation de la vitesse de la pompe
- régulation de vitesse en continu
- modes de régulation



Question 1 :

La demande thermique d'un bâtiment :

- est toujours identique (1)
- varie avec les saisons (2)
- augmente tous les ans (3)

Question 2 :

Que se passe-t-il lorsque la demande thermique change ?

- Les robinets thermostatiques des radiateurs régulent (1)
- Les fenêtres font la régulation (= ouvertes/fermées) (2)
- La pression du circuit régule (3)

Question 3 :

Pourquoi modifie-t-on la vitesse de la pompe ?

- Pour régler le débit souhaité (1)
- Pour soulager le clapet de décharge (2)
- Pour compenser les erreurs de conception de la pompe (3)

Question 4 :

Comment modifie-t-on la vitesse de la pompe ?

- Toujours manuellement (1)
- Toujours automatiquement (2)
- Soit manuellement, soit automatiquement en fonction de l'équipement (3)

Question 5 :

La régulation de vitesse en continu :

- est mieux que la commande graduelle (1)
- est pire que la commande graduelle (2)
- donne les mêmes résultats que la commande graduelle (3)

Question 6 :

Sur les circulateurs à régulation électronique

- on peut régler la demande thermique (1)
- on peut régler la durée de vie (2)
- on peut régler la hauteur de refoulement (3)

Question 7 :

Mode de régulation $\Delta p-c$ = pression différentielle constante :

- le débit augmente avec une vitesse constante (1)
- la vitesse ajuste le débit nécessaire (2)
- la pression d'entrée du réservoir sous pression d'expansion à diaphragme reste constante en permanence (3)

Question 8 :

Le mode réduit automatique (pilote automatique) :

- est contrôlé par un programmeur (1)
- dépend de la température ambiante (2)
- ne doit être utilisé que sur les circuits équilibrés hydrauliquement (3)

Question 9 :

Nouvelle technologie de pompes ECM (haute performance)

- Le rotor comprend un aimant permanent (1)
- Elle fournit une économie allant jusqu'à 80 % des coûts de fonctionnement par rapport aux pompes conventionnelles (2)
- La rotation du rotor est générée par une commutation électronique (convertisseur de fréquence) (3)
- Les points 1-3 signifient qu'il s'agit du circulateur à rotor noyé le plus performant (et économique) du marché à l'heure actuelle (4)

Question 9 : N° 4
Question 8 : N° 3
Question 7 : N° 2
Question 6 : N° 3

Question 5 : N° 1
Question 4 : N° 3
Question 3 : N° 1
Question 2 : N° 1
Question 1 : N° 2
Réponses :

Sélection de pompe.



Questions sur les sujets suivants :

- débit de la pompe
- hauteur de refoulement de la pompe
- conception de la pompe
- équilibrage hydraulique

Question 1 :

Comment choisir une pompe de circulation de chauffage ?

- En fonction du diamètre nominal indiqué (1)
- En fonction des coûts (2)
- En fonction des performances (3)

Question 2 :

Que se passe-t-il si le débit augmente de 100 % ?

- La puissance thermique diminue d'env. 2 % (1)
- La puissance thermique augmente d'env. 12 % (2)
- La puissance thermique reste identique (3)

Question 3 :

Que doit-on faire en cas de doute lors de la sélection de la pompe de chauffage ?

- Sélectionner la pompe la plus petite (1)
- Sélectionner la pompe la plus grande (2)
- Sélectionner la pompe la plus moins chère (3)

Question 4 :

Dans un circuit ouvert de distribution d'eau, la hauteur de refoulement doit être sélectionnée suivant :

- la hauteur géodésique (1)
- la pression d'écoulement résiduelle (2)
- les résistances de friction dans les tuyaux (3)
- la somme des variables 1 à 3 (4)

Question 5 :

Dans les systèmes de chauffage, pour lesquelles des variables suivantes la hauteur de refoulement doit-elle être conçue ?

- La hauteur géodésique (1)
- La pression d'écoulement résiduelle (2)
- Les résistances de friction dans les tuyaux (3)
- La somme des variables 1 à 3 (4)

Question 6 :

Pourquoi équilibre-t-on les réseaux de chauffage ?

- Pour obtenir une distribution de chaleur optimale (1)
- Afin que le système fonctionne aussi silencieusement que possible (2)
- Pour protéger les consommateurs de la sous- ou suralimentation (3)
- Les trois points mentionnés ci-dessus sont corrects et importants (4)

Question 7 :

Lorsque la hauteur de refoulement requise est inconnue, quelle est la procédure correcte de réglage d'une pompe électronique ?

- Au mieux avec l'aide d'un(e) collègue (1)
- Après purge soigneuse et équilibrage hydraulique du réseau (2)
- Le processus de réglage commence au réglage le plus faible de la pompe (3)
- Il se poursuit jusqu'à une alimentation correcte en énergie thermique du radiateur le plus éloigné (4)
- Le réglage est terminé lorsque les quatre étapes précédentes sont achevées (5)

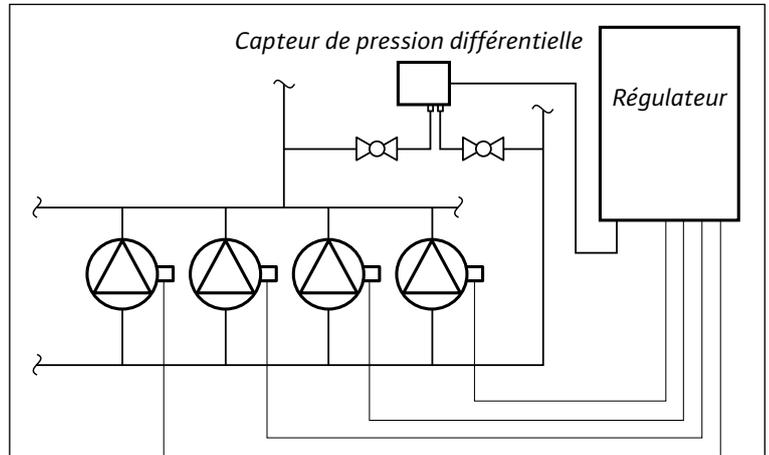
Question 7 : N° 5
Question 6 : N° 4
Question 5 : N° 3

Question 4 : N° 4
Question 3 : N° 1
Question 2 : N° 2
Question 1 : N° 3
Réponses :

Connexion de plusieurs pompes.

Questions sur les sujets suivants :

- pompes raccordées en série
- pompes raccordées en parallèle
- fonctionnement à charge de pointe avec plusieurs pompes



Question 1 :

Que se passe-t-il lorsque deux pompes sont raccordées en série ?

- La hauteur de refoulement double (1)
- Le débit double (2)
- Le changement dépend de la position sur les courbes réseau (3)

Question 2 :

Quel danger y a-t-il lorsque les pompes sont raccordées en série ?

- La pompe primaire peut pousser la seconde (1)
- Les puissances des pompes s'annulent (2)
- Il peut survenir une sous-alimentation du système (3)

Question 3 :

Que se passe-t-il lorsque deux pompes sont connectées en parallèle ?

- La hauteur de refoulement double (1)
- Le débit double (2)
- Le changement dépend de la position sur les courbes réseau (3)

Question 4 :

Dans quel mode une pompe jumelée peut-elle fonctionner ?

- Principalement en fonctionnement marche/secours (1)
- Principalement en fonctionnement marche/appoint (2)
- Elle peut fonctionner suivant ces deux modes (3)

Question 5 :

Dans les systèmes de forte puissance, quel avantage apporte le partage de la puissance d'une pompe en plusieurs pompes ?

- Coûts de fonctionnement inférieurs (1)
- Durée de vie prolongée des pompes (2)
- Les déclarations 1 et 2 sont valables (3)

Question 6 :

Comment appelle-t-on le mode de régulation dans lequel le transmetteur de signaux est installé dans le système à une grande distance de l'appareil de commande ?

- Régulation en thermosiphon (1)
- Régulation compliquée (2)
- Régulation suivant le point le plus éloigné (3)

Question 7 :

Lequel des éléments suivants doit être pris en compte lors de la connexion de pompes en parallèle à une unité de commande ?

- Les pompes doivent être de taille identique (1)
- Elles doivent toutes être des pompes à faible vitesse (2)
- Elles doivent toutes être des pompes à haute vitesse (3)

Unités légales, extrait pour les pompes centrifuges.

Dimension physique	Symbole	Unités légales de mesure		Unités de mesure obsolètes	Unités recommandées	Remarques	
		Unités SI	Autre unité légale de mesure (liste incomplète)				
Longueur	l	m	Mètre	km, dm, cm, mm, μm		m	Unité de base
Volume	V	m^3		dm^3 , cm^3 , mm^3 , litre (1 l = 1 dm^3)	cbm, cdm, ...	m^3	
Débit, Débit volumique	\dot{Q} \dot{V}	m^3/s		m^3/h , l/s		l/s et m^3/s	
Durée	t	s	Seconde	s, ms, μs , ns, ... min, h, d		s	Unité de base
Vitesse de rotation	n	1/s		1/min (min^{-1})		1/min (min^{-1})	
Mesures	m	kg	Kilogramme	g, mg, μg , Tonne (1 t = 1.000 kg)	Livre, Quintal	kg	Unité de base La masse d'une marchandise est appelée son poids
Densité	ρ	kg/m^3		kg/dm^3		kg/dm^3 und kg/m^3	La désignation « masse spécifique » ne doit plus être utilisée, car elle est ambiguë (voir DIN 1305)
Force	F	N	Newton (= $\text{kg m}/\text{s}^2$)	kN, mN, μN , ...	kl, Mp, ...	N	1 kp = 9,81 N. Le poids est le produit de la masse m et de l'accélération locale due à la pesanteur.
Pression	P	Pa	Pascal (= N/m^2)	Bar (1 bar = 10^5 Pa)	kp/cm ² , at, m WS, Torr, ...	bar	1 at = 0,981 bar = $9,81 \cdot 10^4$ Pa 1 mm Hg = 1,333 mbar 1 mm WS = 0,098 mbar
Énergie, Travail, Quantité de chaleur	W, Q	J	Joule (= Nm = Ws)	kJ, Ws, kW h, ... 1 kW h = 3.600 kJ	kp m, kcal, cal WE	J und kJ	1 kp m = 9,81 J 1 kcal = 4,1868 kJ
Hauteur de refoulement	H	m	Mètres		M Fl. S.	m	La hauteur de refoulement est le travail en J = Nm, fourni à l'unité de masse du fluide, rapporté au poids de cette unité de masse en N
Puissance	P	W	Watt (= J/s = N m/s)	MW, kW	kp m/s, PS	kW	1 kp m/s = 9,81 W 1 PS = 736 W
Différence de température	T	K	Kelvin	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$, gr	K	Unité de base

La société WILO SE a rédigé tous les textes de ce document avec le plus grand soin. Toutefois, il peut contenir des erreurs. L'éditeur ne peut en aucun cas en être tenu responsable.

Equipe rédactionnelle : André Babusch, Thomas Ebert, Karl-Heinz König, Thomas Makoschey, Andreas Millies, Manfred Oraschewski, Bernd Rudolph

Copyright 2005 by WILO SE, Dortmund

Le document et tous ses éléments sont protégés par les droits d'auteur. Toute utilisation autre que celle définie précisément par la loi sur les droits d'auteur sans accord de WILO SE n'est pas autorisée et peut entraîner des poursuites judiciaires. Ceci s'applique en particulier pour la reproduction, la traduction, le microfilmage, toute modification quelle qu'elle soit, ainsi pour que le stockage et le traitement dans des systèmes électroniques. Ceci s'applique également pour l'extraction de figures et l'utilisation d'extraits du texte.

6^{ème} version révisée et mise à jour, 2016



800/1701/FR

Wilo Suisse SA
Gerstenweg 7
CH-4310 Rheinfelden
T +41 61 836 80 20

Bureau Crissier :
Chemin de Mongevon 23
CH-1023 Crissier
T +41 21 791 66 76

info@wilo.ch
www.wilo.ch