



**SP**

# MANUEL D'INGÉNIERIE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>		<b>7</b>	<b>INSTALLATION ET FONCTIONNEMENT</b>	<b>58</b>
<b>2</b>	<b>ADDUCTION D'EAU</b>	<b>8</b>	7.1	Puits et conditions	59
2.1	Ressources	9	7.2	Réglage de pompe	60
2.2	Eaux souterraines	9	7.3	Sélection de la pompe et du moteur	60
2.2.1	Puits d'eau souterraine	9	7.3.1	Point de consigne	60
2.2.2	Filtration sur berge	9	7.3.2	Diamètre du puits	61
2.2.3	Exigences relatives aux eaux souterraines	10	7.3.3	Rendement du puits	61
2.2.4	Eau brute/de puits et capacité de traitement requises	11	7.3.4	Rendement de la pompe	61
2.2.5	Rendement du puits et efficacité opérationnelle	12	7.3.5	Température de l'eau	64
2.3	Eau de surface	14	7.3.6	Déclassement des moteurs immergés	65
2.3.1	Sources d'eau douce	14	7.3.7	Protection contre l'ébullition	65
2.3.2	Sources d'eau de mer et d'eau salée	14	7.3.8	Chemise de refroidissement	65
<b>3</b>	<b>APPLICATIONS</b>	<b>16</b>	7.4	Sélection de la colonne montante	66
3.1	Adduction d'eau douce	17	7.5	Sélection et dimensionnement du câble	67
3.2	Assèchement	19	7.6	Assemblage et branchements	69
3.2.1	Exploitation minière	19	7.6.1	Assemblage pompe/moteur	69
3.3	Installation horizontale	20	7.6.2	Jonction/raccord du câble moteur et du câble de descente	69
3.4	Présence d'air/de gaz dans l'eau	20	7.6.3	Raccordements à la colonne montante	69
3.5	Cavitation	21	7.7	Fonctionnement des pompes en parallèle	70
3.5.1	Profondeur d'installation	22	7.8	Fonctionnement des pompes en série	70
3.6	Coups de bélier	24	7.9	Nombre de démarrages/arrêts	71
3.7	Eau corrosive (eau de mer)	25	7.10	Démarrage de la pompe	71
3.8	Eau chaude et eau géothermique	26	7.11	Fonctionnement avec un EFV	71
3.9	Modules de surpression	27	7.12	Fonctionnement avec un générateur	71
<b>4</b>	<b>POMPES</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>COMMUNICATION</b>	<b>74</b>
4.1	Principes de la pompe	29	8.1	Objectif de la communication et de la mise en réseau	75
4.2	Pièces d'usure	30	8.2	Systèmes SCADA	75
4.3	Sélection de la pompe	30	8.2.1	Éléments principaux du système SCADA	75
4.4	Courbes de la pompe et tolérances	31	8.2.2	Fonctions d'un système SCADA	75
4.5	Consommation d'énergie	32	8.2.3	SCADA hébergé sur le web	76
<b>5</b>	<b>MOTEURS ET COMMANDES</b>	<b>36</b>	8.3	Bases de la mise en réseau	77
5.1	Types de moteurs, description générale	37	8.3.1	Architecture physique du réseau	77
5.2	Câbles et joints moteur, référence aux câbles de descente	39	8.3.2	Protocoles de communication	78
5.3	Dispositifs de protection moteur	40	8.3.3	Profil fonctionnel	78
5.4	Réduction du courant à rotor bloqué	40	8.3.4	Bus de terrain	78
5.4.1	Direct – DOL	40	8.4	GENIbus	78
5.4.2	Étoile-triangle – SD	42	8.4.1	Historique	78
5.4.3	Autotransformateur – AT	43	8.4.2	Directives de câblage	79
5.4.4	Démarreur à résistance, RR	43	8.5	Produits Grundfos GENIbus pour applications SP	80
5.4.5	Démarreur progressif – SS	43	<b>9</b>	<b>DÉPANNAGE</b>	<b>82</b>
5.4.6	Convertisseurs de fréquence (entraînement à vitesse variable)	44	<b>10</b>	<b>ACCESSOIRES</b>	<b>84</b>
5.5	Fonctionnement avec un convertisseur de fréquence	46	10.1	Chemises de refroidissement	85
5.6	Coffret de commande CUE pour pompes SP	47	10.2	Protection anticorrosion dans l'eau de mer	85
<b>6</b>	<b>ALIMENTATION ÉLECTRIQUE</b>	<b>50</b>	10.2.1	Protection cathodique	85
6.1	Production d'énergie	51	10.2.2	Systèmes de protection cathodique galvanique	86
6.2	Tension	51	10.2.3	Systèmes de protection cathodique par courant imposé	86
6.2.1	Déséquilibre de tension	51	10.3	Câbles de descente	87
6.2.2	Surtension et sous-tension	51	10.4	Extrémités de câble	87
6.3	Fréquence	52	10.5	Colonnes montantes	88
6.4	Entraînements à fréquence variable	52	10.6	Tuyaux de raccordement	88
6.5	Connexion au réseau	53	10.7	Protection moteur	88
6.6	Asymétrie de courant	54	10.8	Convertisseur de fréquence CUE	88
			<b>11</b>	<b>INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES</b>	<b>90</b>
				INDEX	92





# 1 INTRODUCTION

## Au service de nos intérêts communs

Ce manuel d'ingénierie est dédié aux pompes Grundfos les plus populaires : la gamme SP. À l'époque de sa création dans les années 60, ce produit révolutionnaire a défini de nouvelles normes en termes de durabilité, de rendement et de conception en plaques minces d'acier inoxydable. Les différents types et tailles de produit ainsi que les possibilités de configuration disponibles témoignent de la nature innovante des pompes SP d'origine.


L'utilisation au quotidien de pompes SP soulève fréquemment de nombreuses questions. Nous avons créé ce manuel d'ingénierie pour vous aider à trouver rapidement et facilement des réponses à un certain nombre d'entre elles. Nous servons ainsi nos intérêts communs en fournissant les meilleures solutions SP possibles à tous nos clients.

Cette troisième édition du manuel d'ingénierie inclut un certain nombre de modifications et d'ajouts, entre autres au chapitre 8 relatif à la communication, et en ce qui concerne notre gamme de moteurs.

Nous vous signalons que ce manuel d'ingénierie est un outil supplémentaire et qu'il ne se substitue pas aux brochures produits ni aux manuels d'installation. Les éditions les plus récentes de ces publications s'appliquent et doivent être respectées.

Nous avons accordé beaucoup de temps et le plus grand soin à la préparation de ce manuel afin de le rendre aussi facile d'utilisation que possible. Nous savons toutefois que la perfection n'existe pas et qu'il est toujours possible d'améliorer les choses. Nous vous invitons à nous faire part de vos commentaires et suggestions. Si vous souhaitez que nous abordions certains sujets en particulier dans nos futures éditions, informez-en votre commercial Grundfos.

Nous espérons sincèrement que ce manuel vous sera utile dans le cadre de votre travail avec les pompes SP.



Kenth H. Nielsen  
Responsable ligne de produit monde,  
Grundfos Holding A/S



2.1 RESSOURCES

La quantité d'eau disponible dans le monde est constante. En dépit de ses déplacements et des variations qu'elle subit en termes de qualité, phase, etc., elle ne varie pas. L'eau de mer représente environ 97,5 % de la quantité d'eau totale. L'eau douce représente les 2,5 % restants. Les glaciers, la glace polaire et la couverture neigeuse représentent les deux-tiers de l'eau douce. Le reste d'eau disponible, c'est-à-dire moins de 1 %, provient de différentes sources exploitables par l'homme.

Ces sources sont les suivantes :

- eaux souterraines, nappes phréatiques ou nappes profondes
- eau de surface, provenant de rivières ou lacs.

En l'absence d'eau douce, on recourt au traitement de l'eau de mer ou d'une eau contaminée afin de la rendre douce.

2.2 EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines ont entre 25 et 10 000 ans. Avant d'atteindre l'aquifère, elles ont été filtrées et exposées à un traitement biologique au fil de leur passage dans les différentes couches du sol. Les eaux souterraines sont de ce fait généralement de très bonne qualité et requièrent peu voire aucun traitement avant de pouvoir être consommées.

2.2.1 Puits d'eau souterraine

Pour les systèmes d'irrigation et d'adduction d'eau permettant de fournir jusqu'à 500 000 consommateurs ainsi que les industries adjacentes, les eaux souterraines représentent une source idéale. Les nappes souterraines non polluées de plus de 600 km² sont fréquentes. Entre 75 et 150 puits de captage, répartis sur différents aquifères, fourniront des sources d'eau écologiques, sûres et fiables. Les compagnies des eaux fournissant plus d'un million de consommateurs devront envisager une source supplémentaire, telle qu'une filtration sur berge, des barrages fluviaux ou une unité de désalinisation.

S'il s'agit de procéder à l'extraction d'eau potable, la profondeur des puits doit être augmentée jusqu'à atteindre les eaux souterraines plus anciennes non polluées. Les puits d'irrigation peuvent quant à eux être alimentés par l'aquifère supérieur ou l'aquifère secondaire, même si l'eau est légèrement polluée. Le niveau de la nappe souterraine varie en fonction des saisons mais reste stable sur une base annuelle, car la quantité d'extraction maximale est plus ou moins équivalente à la quantité injectée.

Cependant, si la baisse du niveau d'eau engendrée se révèle définitive, on peut s'attendre à un grave problème d'alimentation en raison d'une augmentation de la salinité et d'autres substances indésirables.

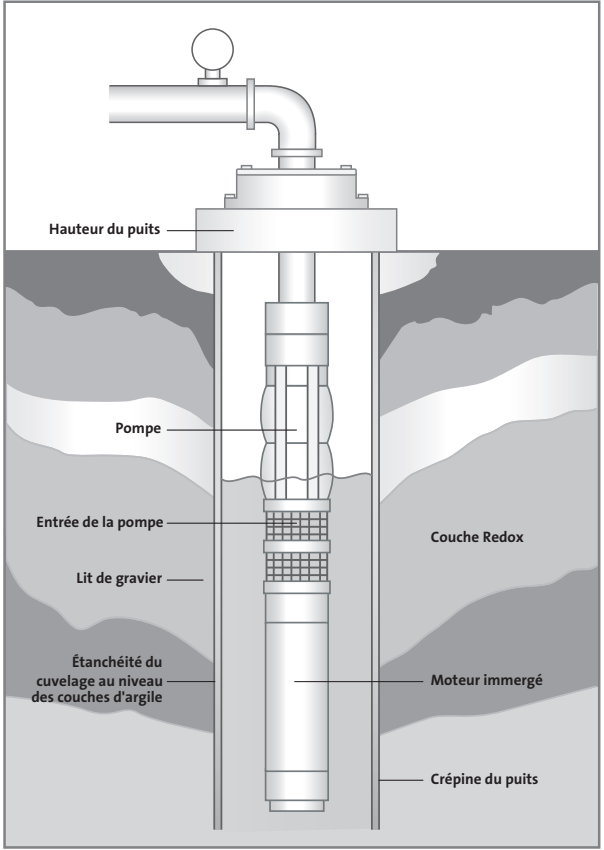


Figure 1 Puits d'eau souterraine équipé d'une pompe immergée

2.2.2 Filtration sur berge

Dans les puits de filtration sur berge, le puits est placé à proximité d'une rivière. Cette méthode permet de filtrer l'eau de rivière à travers le sol. Ce processus permet d'élargir la capacité d'une usine à extraction directe de manière naturelle. L'eau préfiltrée, facile à nettoyer, requiert un traitement final moindre. Lorsque le niveau d'eau de la rivière devient trop faible, l'eau est extraite de la nappe souterraine. Après chaque épisode de fortes pluies ayant provoqué une hausse importante du niveau de l'eau de la rivière, la boue/la vase/les sédiments du lit de la rivière sont emportés en aval et partiellement remplacés par de nouveaux sédiments. Ce processus naturel génère des conditions idéales pour réduire de 90 % les enzymes, virus, bactéries, pathogènes humains. Ces périodes de pluies caractérisés par la hausse du niveau d'eau de la rivière permettent également de remplir les nappes phréatiques situées à proximité. L'eau de la rivière alors stockée dans la nappe est ensuite utilisée pour remplir les puits de

filtration sur berge lorsque le niveau d'eau de la rivière baisse pendant la période sèche. Le stockage de l'eau de rivière dans les nappes souterraines permet de réduire la pression de l'eau exercée sur la rivière pendant les périodes sèches.

Les puits de filtration sur berge peuvent être construits de la même façon que les puits d'eau souterraine ou se présenter sous la forme de cuvelages verticaux de 7 à 8 m creusés sous le lit de la rivière. Ils peuvent être complétés par 8 à 12 crépines ou filtres en acier injecté horizontaux permettant d'extraire l'eau sans ses sédiments.

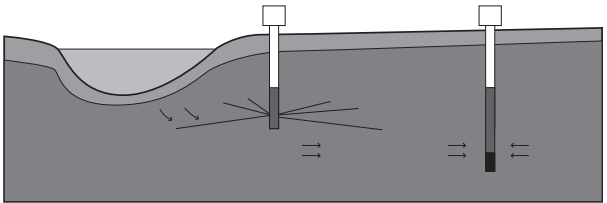


Figure 2 Puits de filtration sur berge

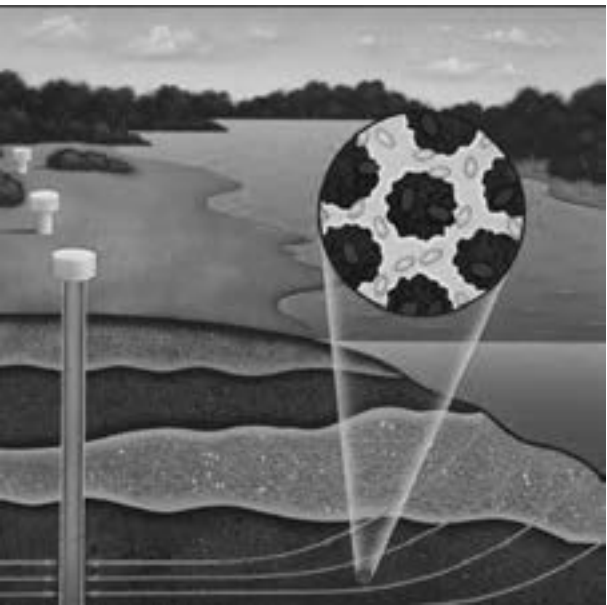


Figure 3 Filtration sur berge  
Les bactéries, pathogènes, etc. sont bloqués par les sédiments.

2.2.3 Exigences relatives aux eaux souterraines

Pour déterminer les exigences relatives aux eaux souterraines des champs d'extraction, il faut évaluer le rapport entre le volume de stockage de l'eau et la capacité de production d'eau traitée par rapport aux consommations de pointe et journalière.

Pour connaître la consommation horaire de pointe, référez-vous à la page « Groupe de surpression MPC » de l'outil en ligne Grundfos Product Center ou aux figures 4 et 5.

Exigences relatives au pompage

L'eau est utilisée par différents types de consommateurs aux schémas de consommation spécifiques. Il existe de nombreuses méthodes pour calculer les besoins maximums en eau, qu'elles soient manuelles ou informatisées.

Le tableau ci-dessous permet un calcul approximatif des exigences en eau pour :

- les bâtiments administratifs
- les bâtiments résidentiels, y compris les immeubles
- les centres commerciaux
- les hôpitaux
- les hôtels

Catégories	Unités	Moyenne m³/h
Puits	2 000 unités	70
Bâtiments administratifs	2 000 employés	30
Centres commerciaux	2 000 employés	55
Hôtels	1 000 lits	110
Hôpitaux	1 000 lits	80
Charge de pointe max. (saison chaude)		345

- Facteurs de calcul de la consommation journalière :
- Au moins 100 consommateurs connectés : Facteur 8
  - Au moins 30 consommateurs connectés : Facteur 4
  - Au moins 10 consommateurs connectés : Facteur 2,5

La consommation journalière maximale dans l'exemple ci-dessous équivaudra au facteur 8 x 345 m³/h = 2 760 m³/jour.

Figure 4 Consommation d'eau aux heures de pointe

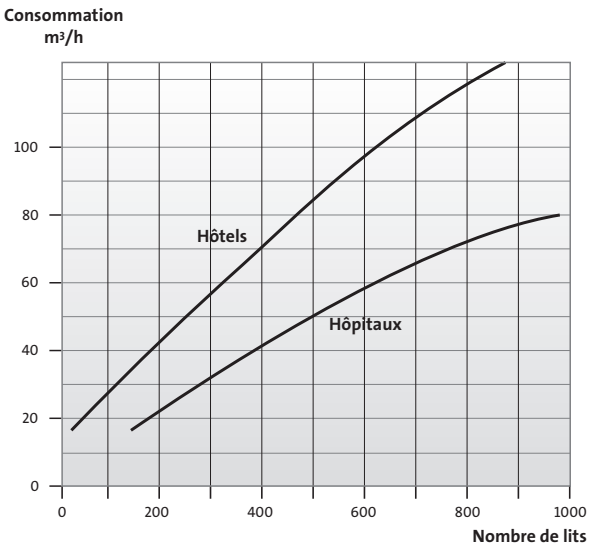
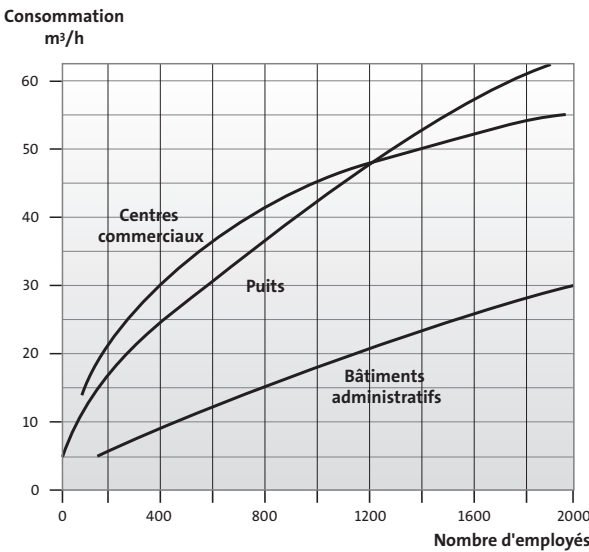


Figure 5 Consommation d'eau aux heures de pointe



La consommation horaire de pointe est donnée. Elle peut être convertie en consommation journalière estimée en utilisant les facteurs 8/4/2,5.

2.2.4 Eau brute/de puits et capacité de traitement requises

Le rapport entre le stockage de l'eau et la consommation journalière peut être illustré par le pourcentage de la consommation quotidienne disponible dans la réserve. Repérez ce pourcentage à la figure 6 et tracez une ligne horizontale virtuelle afin de connaître le pourcentage d'eau brute requis. La consommation journalière multipliée par le pourcentage d'eau brute requis correspond à la capacité requise des champs d'extraction.

Si une usine de traitement ne dispose d'aucun réservoir d'eau pure ni de château d'eau, la capacité de traitement et d'eau brute doit être équivalente à la consommation ho-

raire maximale, c'est-à-dire  $Q_{eau-brute} = 345 \text{ m}^3/\text{h}$  dans notre exemple. (Charge de pointe max. - saison chaude).

Si l'usine de traitement est équipée d'un réservoir d'eau pure ou d'un château d'eau d'une capacité de  $2\,760 \text{ m}^3$ , les charges de pointe peuvent être couvertes par le réservoir. Cela signifie que les pompes à eau brute peuvent fonctionner 24h/24 à une capacité de  $2\,760/24 \text{ m}^3/\text{h} = 115 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Le volume effectif du réservoir d'eau pure et/ou du château d'eau et la capacité maximale de l'usine de traitement sont des éléments cruciaux en termes d'investissement lié aux puits d'eau souterraine.

Dans notre exemple, on dispose d'un réservoir d'eau pure d'une capacité de  $1\,600 \text{ m}^3$ . Cela signifie que le réservoir d'eau contient  $1\,600/2\,760 \times 100 = 58 \%$  de la consommation journalière.

Si la consommation de pointe maximale est de  $345 \text{ m}^3/\text{h}$ , la consommation maximale de  $2\,760 \text{ m}^3/\text{h}$  par jour et s'il y a présence d'un réservoir d'eau pure d'un volume de  $1\,600 \text{ m}^3$ , la capacité d'eau brute doit atteindre au moins  $2\,760 \times 7,6/100 = 210 \text{ m}^3/\text{h}$ . Le 7,6 provient de la figure 2. Tout cela donne un temps de fonctionnement maximal des pompes à eau brute de  $2\,760/210 = 13 \text{ heures/jour}$ .

Les  $210 \text{ m}^3/\text{h}$  sont répartis sur au moins trois à quatre puits. Si le nombre de puits est inférieur à ce chiffre, une installation tampon doit être prévue.



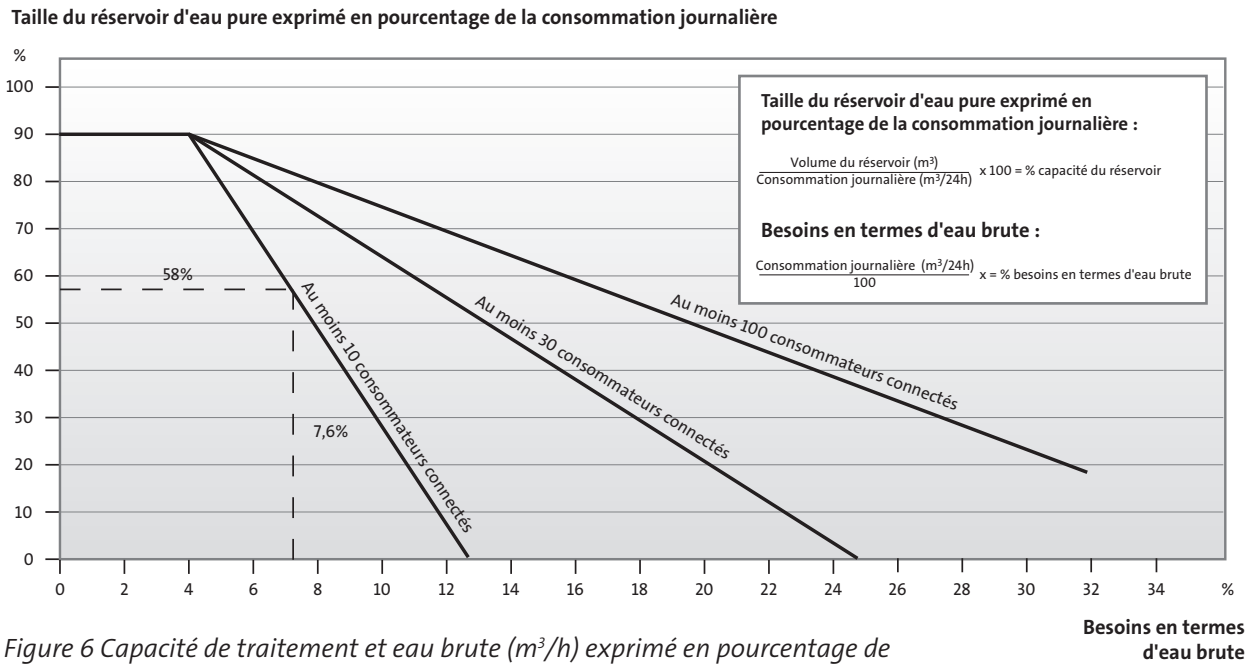


Figure 6 Capacité de traitement et eau brute (m³/h) exprimé en pourcentage de la consommation journalière (m³/jour)

### 2.2.5 Rendement du puits et efficacité opérationnelle

Chaque puits possède une capacité spécifique exprimée en m³/h pour chaque mètre de baisse du niveau d'eau. En connaissant vos exigences en termes d'eau brute, vous pouvez charger le puits de manière à obtenir une baisse moyenne du niveau d'eau la plus faible possible. Plus la baisse de niveau d'eau est faible, plus la hauteur manométrique totale est faible. Moins il y a de pertes de tension dans les câbles d'alimentation, plus l'efficacité opérationnelle est bonne.

- Un surpompage entraînerait une baisse importante du niveau d'eau, ce qui laisserait libre cours au processus d'oxydation et résulterait en la formation d'ocre, qui viendrait obstruer la crépine du puits et la pompe. Les coûts de maintenance liés à la réhabilitation du puits s'en verraient augmentés et la durée de vie du puits éventuellement réduite.
- Un surpompage entraîne également une forte baisse du niveau d'eau de la nappe souterraine, ce qui peut provoquer des modifications chimiques et précipitations des métaux lourds. Les nitrates et les pesticides peuvent alors s'infiltrer dans l'eau, augmentant les dépenses liées au traitement de l'eau.

La cause la plus fréquente de surpompage d'un puits ou

d'une nappe souterraine est une consommation d'eau accrue. On fait face à ce problème en augmentant la capacité de la pompe ou la durée de fonctionnement des pompes pour eaux souterraines, sans augmenter la zone de captage ou le nombre de puits.

#### Charge aquifère

Lors d'un pompage à capacité constante pendant plusieurs heures, le niveau dynamique de l'eau du puits doit rester relativement constant. Si le niveau baisse fortement, cela signifie que la quantité d'eau pompée est supérieure au flux entrant. Si le niveau baisse d'année en année, il faut réduire la quantité d'eau pompée et utiliser de l'eau provenant d'autres aquifères.

#### Charge du puits

Pendant le pompage d'essai, la quantité d'eau pompée est augmentée à intervalles fixes, ce qui entraîne un abaissement du niveau dynamique de l'eau. Si la baisse du niveau d'eau est évaluée par rapport à l'augmentation du pompage à l'aide d'un graphique, il en résulte une parabole approximative.

#### Baisse linéaire du niveau d'eau à débits modérés

À débits modérés, cela signifie qu'une augmentation de la quantité d'eau de 1 m³/h conduit à une augmentation pratiquement linéaire de la baisse du niveau d'eau de 10 cm/m³. Une augmentation de 10 à 20 m³/h suscite donc une baisse du niveau d'eau d'environ 1 m.

Une augmentation de 10 à 30 m³/h provoque une baisse du niveau d'eau d'environ 2 m.

À débits modérés, la courbe de baisse du niveau d'eau est pratiquement linéaire car l'augmentation de la baisse du niveau d'eau est due à la résistance hydraulique au niveau de la crépine.

#### Baisse parabolique du niveau d'eau à débits élevés

À débits de plus en plus élevés, l'augmentation progressive de la résistance à la friction au niveau de la crépine et de la nappe souterraine entraînera une courbe de baisse du niveau d'eau parabolique représentant une fonction du second degré. Cela indique une baisse progressive du niveau d'eau dans le puits où le pompage a été augmenté.

Une augmentation de 80 à 90 m³/h conduira à une baisse du niveau d'eau supplémentaire d'environ 5 m ; de 80 à 100 m³/h d'environ 11 m, c'est-à-dire bien plus qu'à débits modérés. La charge de puits la plus économique est représentée par une courbe de baisse du niveau d'eau allant de linéaire à progressive.

Si le rendement du puits est insuffisant pour faire face aux besoins en eau, même dans le cas d'un fonctionnement prolongé, il sera nécessaire de :

- Demander à un spécialiste d'examiner le problème.
- Forer un puits supplémentaire.

Attention, les règles et réglementations peuvent différer d'un pays à l'autre.

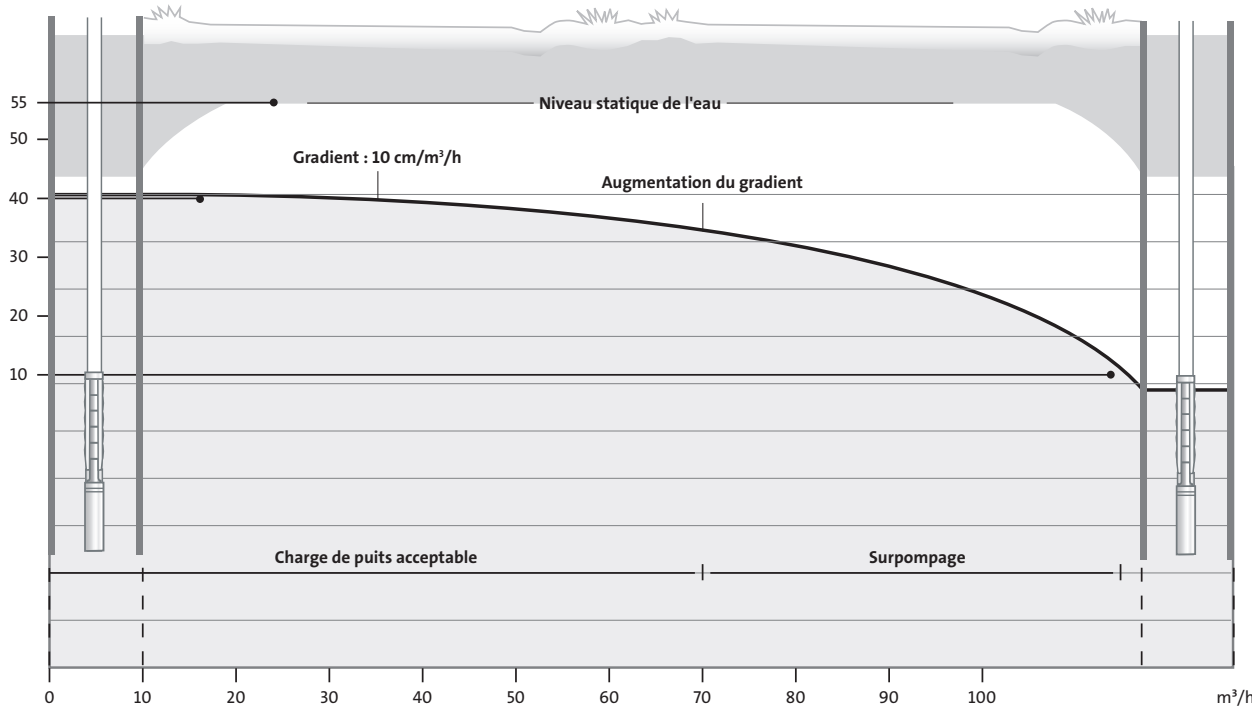


Figure 7 Variations du niveau dynamique de l'eau par pompage d'essai

2.3 EAU DE SURFACE

2.3.1 Sources d'eau douce

L'eau de surface provient généralement de lacs ou de rivières. Contrairement aux eaux souterraines, elle n'est pas protégée contre les activités naturelles ou humaines et nécessite donc toujours un traitement. Le niveau et la qualité de l'eau de surface varient en fonction des saisons. Par exemple, après de fortes chutes de pluie ou lors de la fonte des neiges, des quantités importantes de solides et de sable sont emportées en aval.

Ces minéraux abrasifs ainsi que les substances biodégradables doivent être décantés ou éliminés par dégrillage avant d'entrer dans la pompe afin de prévenir toute répercussion négative sur le processus de traitement de l'eau final. Les pompes immergées sont idéales pour ce type d'installations caractérisé par des niveaux d'eau périodiquement très élevés et incontrôlables. Les câbles d'alimentation et l'équipement électrique doivent être installés toujours au sec.

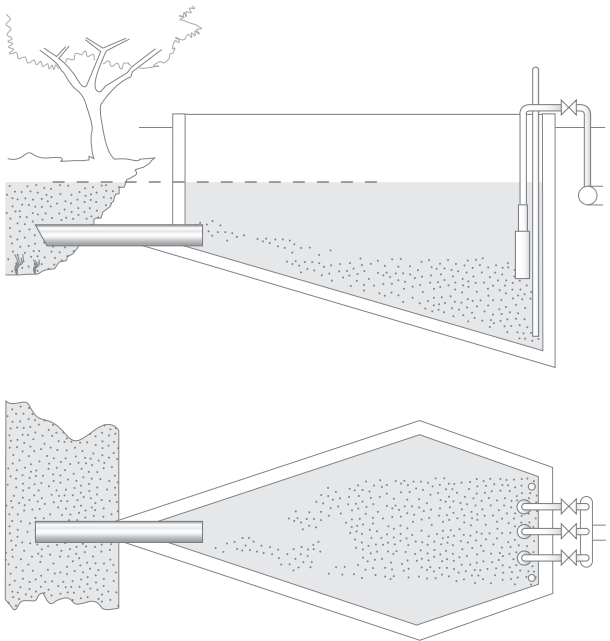


Figure 8 Principe d'un bassin de décantation

Pour les installations permanentes, une infiltration indirecte par la rive via des bancs de sable ou de gravier au niveau de l'entrée des cuvelages ou des puits de filtration sur berge est recommandée. Ce filtrage naturel améliore la qualité de l'eau et permet d'économiser jusqu'à 20 % d'énergie électrique, de produits chimiques et de contrôles lors du traitement final.

Une extraction d'eau directe associée à un traitement conventionnel standard permettra uniquement de réduire la présence d'une faune microscopique à équilibre biodynamique dans les conduites et le réservoir. Cette faune va d'organismes monocellulaires à des prédateurs de quelques millimètres. Pour l'éliminer, il faut utiliser des dosages élevés en chlore. L'extraction d'eau directe sous climat tempéré requerra un surdosage chimique pendant les périodes les plus froides de l'année, lorsque les réactions chimiques sont ralenties voire pratiquement inactives.

2.3.2 Sources d'eau de mer et d'eau salée

L'extraction des eaux côtières devrait se faire là où l'on prévoit la teneur en sel la moins élevée. Dans les zones côtières soumises aux élaboussements, l'eau s'évapore, ce qui entraîne une augmentation de la teneur en sel de l'eau résiduelle par rapport aux endroits se situant hors de la zone d'élaboussement. La teneur peut ainsi être doublée.

Il faut donc s'éloigner jusqu'à cent mètres de la zone d'élaboussement pour procéder au captage de l'eau de mer afin de bénéficier d'une eau présentant la plus faible teneur en sel possible. Ce type de structure de captage s'avère généralement avantageux quand la capacité de captage est supérieure à 1 000 m³/h.

Si cette capacité est inférieure à 1 000 m³/h, il est recommandé de procéder à l'installation de puits de plage anti-corrosion et de puits de filtration côtiers. Ces installations peuvent permettre à l'usine de désalinisation d'économiser jusqu'à 20 % par an sur les coûts liés à la maintenance, aux travaux de réparation, à la consommation électrique et aux produits chimiques.

Les puits de filtration côtiers sont construits de manière semblable aux puits de filtration sur berge, mais présentent un niveau de résistance plus élevé à la corrosion et au sel.

### 3.1 ADDUCTION D'EAU DOUCE

Les pompes immergées sont principalement utilisées pour pomper de l'eau douce servant soit à assurer l'alimentation en eau potable, soit à couvrir les besoins des secteurs de l'irrigation et de l'industrie. Ces pompes sont très diverses par leur conception et les matériaux utilisés, mais elles présentent toutes de bons résultats.

Les pompes Grundfos SP en acier inoxydable EN 1.4301/AISI 304 semblent cependant incontestablement être le meilleur choix pour ce type d'installations. Si le puits a été creusé de manière correcte et permet d'extraire une eau pure et sans sable, la pompe fonctionnera pendant de nombreuses années.

Malgré tout, dans certaines installations d'adduction d'eau et d'irrigation, la qualité de l'eau est tellement mauvaise que les pompes en acier inoxydable standard ne résistent pas très longtemps. Dans ces cas précis, nous recommandons l'utilisation de pompes en acier inoxydable EN 1.4401/AISI 316 ou EN 1.4539/AISI 904L.

Les diagrammes à la page suivante donnent des estimations quant aux délais d'exécution de certaines activités. Ces informations renseignent entre autres sur :

- les intervalles de maintenance recommandés suite à l'usure de la pompe
- les coûts de réparation estimés
- la perte de rendement pendant les périodes de maintenance

Attention : les diagrammes ne reflètent pas la perte de rendement imputable aux obstructions provoquées par les sédiments ou le calcaire.

#### Intervalles de maintenance pour les pompes immergées

Tout comme les autres types de pompes, les pompes immergées subissent une certaine usure. Malheureusement, le fait qu'elles soient immergées permet difficilement de visualiser cette usure. Le diagramme à la page suivante vous permet de répondre à ces questions :

- Quand dois-je procéder à la maintenance de ma pompe immergée ?
- Quel rendement ai-je perdu depuis la dernière maintenance ?
- À combien s'élèveront (approximativement) les frais de remise en état ?

Quelques éléments doivent être déterminés à l'avance. Parmi ceux-ci :

- Vitesse de l'eau au niveau du composant à tester
- Conditions applicables au matériau de la pompe et à l'environnement de pompage
- Présence ou absence de solides et de dioxyde de carbone agressif



Le graphique ci-dessous est très utile pour déterminer les intervalles de maintenance des pompes immergées. Pour ce faire, suivez les étapes ci-après :

- 1. Notez le point 1 sur la courbe A. Le matériel de la pompe et les conditions relatives aux fluides sont indiqués dans la légende.
- 2. Tracez une ligne parallèle vers la droite. La perte de matériau de la roue est d'environ 0,18 mm par 1 000 heures de fonctionnement (point 2).
- 3. Suivez la ligne parallèle jusqu'à atteindre la ligne de différenciation qui correspond au CO<sub>2</sub> agressif et au matériau du composant. Regardez les conditions de l'exemple (point 3).

- 4. Descendez à la verticale (90°). La teneur en CO<sub>2</sub> a entraîné une augmentation de la perte de matériau à 0,25 mm. Notez le niveau de salinité de l'eau (point 4).
- Tracez une ligne horizontale passant par ce point ; suivez-la vers la gauche et lisez les résultats.
- 5. Intervalles de maintenance recommandés pour votre pompe : toutes les 6 000 heures de fonctionnement (point 5).
- 6. Perte de rendement : environ 18 % (point 6).
- 7. Coûts de rénovation estimés de la pompe : 75 % du prix d'une nouvelle pompe (point 7).

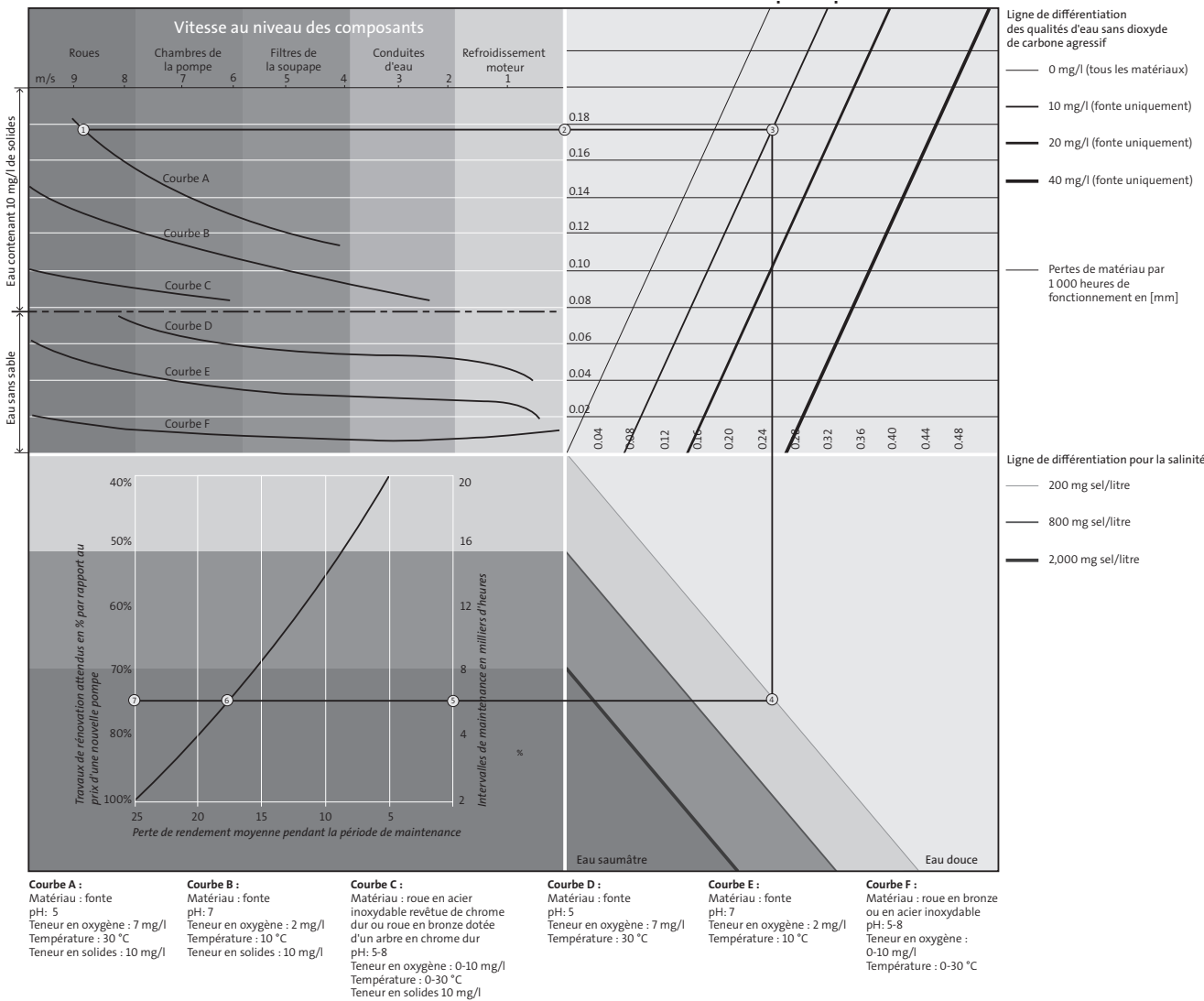


Figure 9 Intervalles de maintenance recommandés pour les pompes immergées

3.2 ASSÈCHEMENT

Dans les applications minières et de construction, l'assèchement est souvent assuré par des pompes immergées. La qualité de l'eau détermine si une pompe en acier inoxydable standard EN 1.4301 (AISI 304) est suffisante, ou s'il faut opter pour de l'acier inoxydable de qualité supérieure.

Lorsque les niveaux des eaux souterraines baissent, l'aquifère est exposé à l'oxygène, ce qui entraîne la formation de rouille et de matières solides adhésives. Celles-ci sont emportées et pénètrent dans la crépine du puits pour arriver ensuite jusqu'à l'entrée de la pompe.

Afin de maintenir le niveau de performance de la pompe, le point de consigne doit être sélectionné à droite du meilleur point de rendement.

Plus le débit de la pompe est élevé, plus les intervalles de maintenance pourront être grands. Une vitesse élevée permet de prévenir la formation d'obstructions et les pertes de performance au niveau de la pompe. Dans les mélanges très collants, il peut s'avérer utile de retirer le clapet anti-retour de la pompe afin d'améliorer le rinçage à contre-courant de la pompe et des conduites après l'arrêt de la pompe.

3.2.1 Exploitation minière

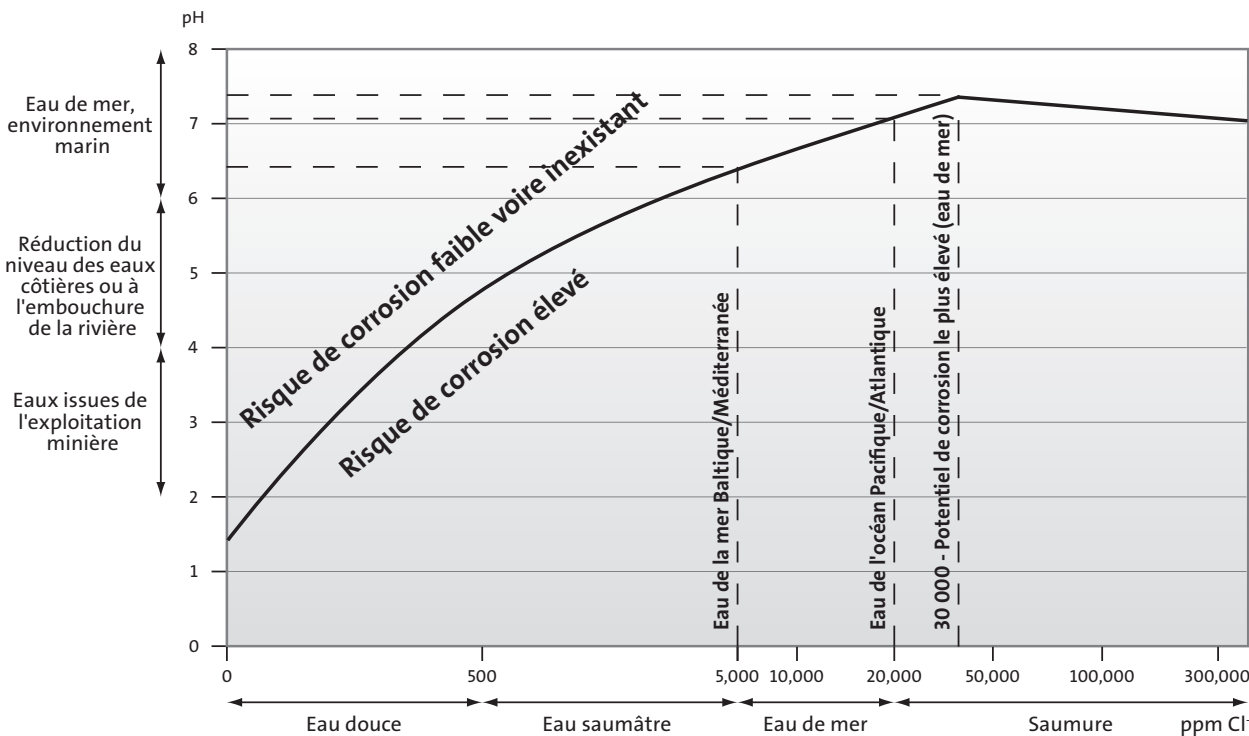
L'exploitation minière est une application d'assèchement type. Cependant, l'eau issue de l'exploitation minière est souvent très agressive pour les pompes immergées et il est recommandé d'utiliser de l'acier inoxydable de qualité supérieure.

L'extraction par lixiviation est une application minière spéciale faisant appel à un liquide agressif pour dissoudre les minéraux à extraire. Ceux-ci sont alors pompés jusqu'à la surface avec le liquide pour être ensuite récupérés.

Pour ce faire, procédez comme suit :

- 1. Déterminez le potentiel de corrosion provoqué par le chlorure (équivalent chlorure = ppm chlorure - (0,5 x ppm acide)).
- 2. Une fois l'équivalent chlorure déterminé, utilisez la figure 10 pour connaître la valeur pH minimale acceptable pour l'acier inoxydable EN 1.4539 (AISI 904L). Si la figure indique que le risque de corrosion est élevé, il faudra opter pour un moteur au revêtement époxy.
- 3. La plupart des câbles électriques et kits de raccordement sont instables dans les eaux acides. Si possible, utilisez le câble moteur bleu Grundfos TML sur toute la longueur allant jusqu'à la boîte de raccordement installée en surface.
- 4. Installez le dispositif de centrage de la pompe sur votre pompe ou sur le moteur afin de garantir un refroidissement optimal sur toute la surface.
- 5. S'il y a formation de corrosion, installez des échangeurs d'ions afin de réduire la teneur en chlorure ou installez des anodes en zinc qui serviront de protection cathodique.

Figure 10 Corrosion due aux chlorures



### 3.3 INSTALLATION HORIZONTALE

Le pompage de l'eau contenue dans un réservoir ou une cuve se fait souvent à l'aide d'une pompe immergée standard. Une pompe immergée présente de nombreux avantages par rapport à une pompe non-immersée :

- **Faible niveau de bruit** : la pompe immergée est très silencieuse et ne gênera pas les voisins.
- **Anti-vol** : la pompe est installée au fond du réservoir/de la cuve.
- **Absence de garniture mécanique** : élimine le risque de fuite au-dessus du sol.

Dans les installations horizontales, Grundfos recommande toujours d'installer un manchon d'écoulement et un déflecteur en présence d'un faible niveau d'eau.

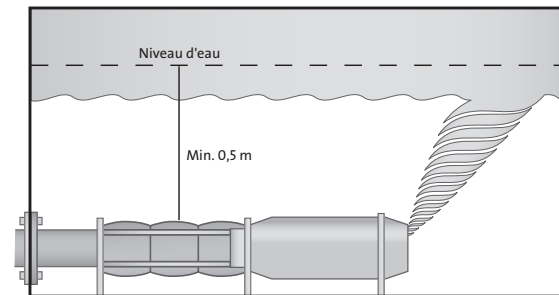


Figure 11 Manchon d'écoulement sur une pompe installée à l'horizontale

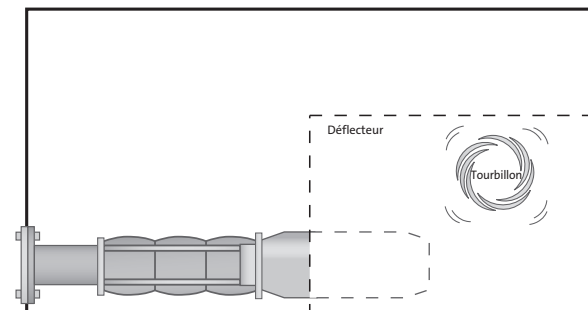


Figure 12 Déflecteur pour tourbillon sur une pompe installée à l'horizontale (vue du dessus)

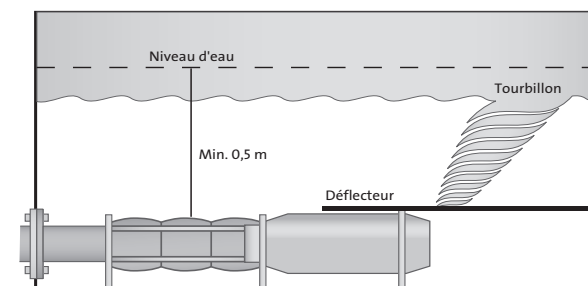


Figure 13 Déflecteur pour tourbillon sur une pompe installée à l'horizontale (vue transversale)

Si le réservoir ou la cuve comptent plus d'une pompe immergée, la distance entre les pompes doit être équivalente au diamètre global de la pompe et du moteur, chemise de refroidissement comprise.

Les pompes immergées utilisées dans les fontaines sont fréquemment installées à l'horizontale. En raison de la faible inertie, une pompe immergée démarre et s'arrête très facilement. Cette caractéristique la rend idéale pour les fontaines. Vu le nombre élevé de cycles démarrage/arrêt, l'utilisation d'un moteur à rotor noyé est recommandée. Il est déconseillé d'opter pour des moteurs immergés lorsque le nombre de démarrages et arrêts est extrêmement important.

De nombreux démarrages/arrêts impactent également fortement les contacteurs, qui ont une durée de vie limitée. Afin de protéger le moteur contre les pannes des contacteurs, Grundfos recommande l'installation d'un relais de rupture de phase entre le relais de surcharge et le moteur.

Pour terminer, il est important de dimensionner la pompe et la buse ensemble, afin que la pompe ne fonctionne jamais au débit maximal, mais toujours au niveau le plus proche possible du meilleur point de rendement.

### 3.4 PRÉSENCE D'AIR/DE GAZ DANS L'EAU

Si l'eau pompée contient de l'air/du gaz, la performance de la pompe sera réduite. Dans certains cas, la pompe s'arrêtera même de pomper. L'air/le gaz perturbe fortement les fonctions hydrauliques des pompes centrifuges. Afin d'améliorer leurs performances, il est nécessaire d'immerger la pompe plus profondément dans le puits, ce qui a pour effet d'augmenter la pression.

Si cette solution n'est pas envisageable, le problème peut être résolu en installant un manchon autour de la pompe, sous l'entrée de la pompe. Le manchon doit s'étendre le plus loin possible vers le haut, sans toutefois dépasser le niveau dynamique de l'eau.

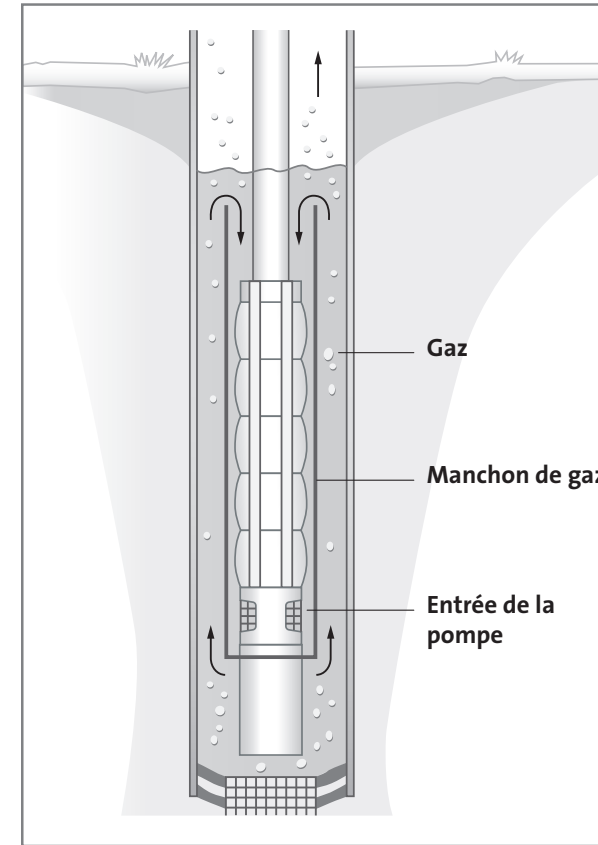


Figure 14 Évacuation du gaz

#### Puits dépressionnaires

Si l'eau du puits contient une quantité de gaz en suspension telle qu'un manchon s'avère insuffisant pour satisfaire aux exigences en termes de qualité de l'eau, il faudra créer un vide dans le cuvelage du puits. Pour ce faire, on peut connecter une pompe à vide

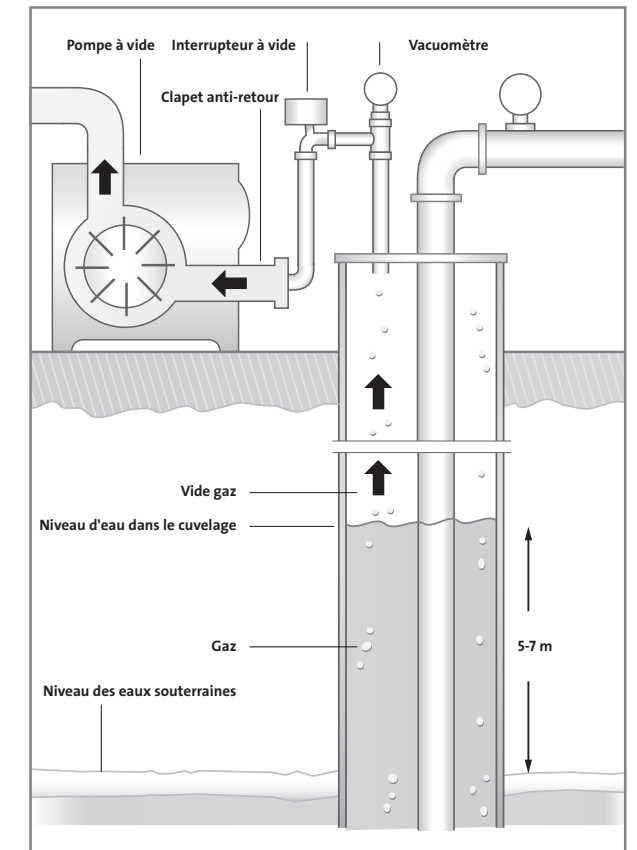


Figure 15 Puits dépressionnaire

au tuyau d'aération lorsque le cuvelage est hermétiquement fermé. Il faut cependant que le cuvelage du puits soit suffisamment solide pour résister au vide et satisfaire aux exigences NPSH.

### 3.5 CAVITATION

Normalement, aucune cavitation ne se produit dans les pompes immergées. Cependant, si les deux facteurs ci-après sont présents simultanément, des dommages à la pompe et au moteur dus à la cavitation peuvent se produire à faibles profondeurs d'installation :

1. Bulles d'air agressives
2. Réduction de la contre-pression provoquée par exemple par une rupture des conduites, une corrosion importante de la colonne montante et une consommation extrêmement élevée.

Pour calculer la profondeur d'installation requise afin de prévenir la cavitation, il faut appliquer la formule suivante :

$$H = H_b - NPSH - H_{perte} - H_v - H_s$$

- $H_b$  = pression barométrique  
 $NPSH$  = Net Positive Suction Head (hauteur d'aspiration positive nette)  
 $H_{perte}$  = perte pression dans le tuyau d'aspiration  
 $H_v$  = pression de vapeur  
 $H_s$  = facteur de sécurité

Lorsque l'application de la formule donne une valeur  $H$  positive, cela signifie que la pompe est à même de fonctionner à la hauteur d'aspiration. Dans ce cas, l'indication standard de la profondeur d'installation minimale s'applique.



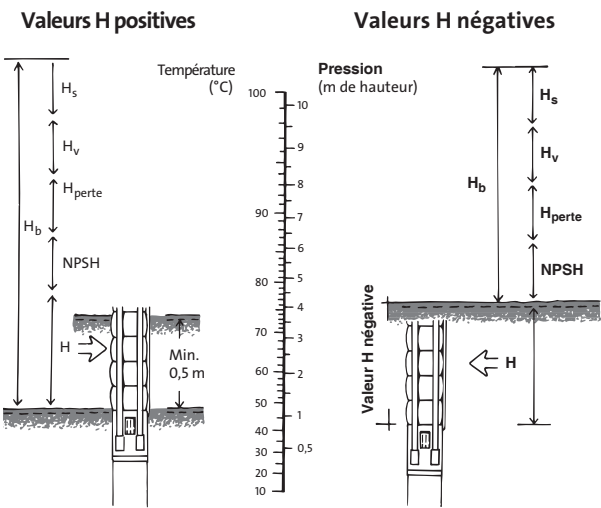


Figure 16 Profondeur d'installation

Exemple :  
Une SP 60 à un débit de 78 m³/h.

$H_b$	10,0 m
NPSH mentionnée sur la fiche technique	4,2 m
$H_{perte}$	0,0 m
$H_v$ à 32 °C	0,5 m
$H_s$	1,0 m
$H = 10 - 4,2 - 0 - 0,5 - 1,0 =$	4,3 m

Si H est positive, cela signifie que la pompe pourra générer un vide de 0,43 bar sans subir de dommages. Aucune précaution spéciale ne doit donc être prise. Si la corrosion au niveau de la colonne montante entraîne la formation d'un trou de 20 mm, il n'y aura plus de contre-pression et le débit de la pompe augmentera à plus de 90 m³/h.

$H_b$ reste inchangée	10,0 m
NPSH augmente à	8,0 m
$H_{perte}$	0,0 m
$H_v$ augmente en raison de la recirculation dans le puits	4,6 m
$H_s$ reste inchangée	1,0 m

Cela donnera  
 $H = 10 - 8 - 0 - 4,6 - 1,0 = -3,6$  m

Cette valeur H signifie que l'entrée de la pompe doit se trouver à au moins 3,6 m sous le niveau dynamique de l'eau. Dans le cas contraire, il y aura apparition du phénomène de cavitation.

La pompe ne fournira alors pas sa pleine performance, voir la figure ci-dessous.

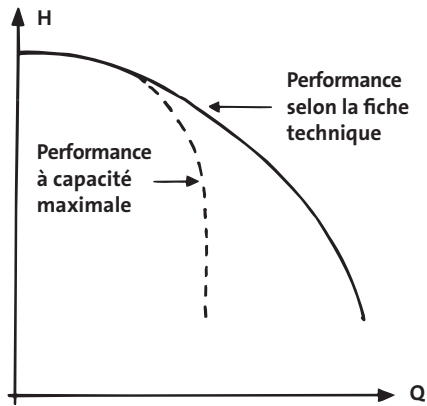


Figure 17 Réduction de performance due à la cavitation

3.5.1 Profondeur d'installation

Détermination simple de la bonne profondeur d'installation.

La NPSH réelle est donnée sur la fiche technique.  $H_{perte}$  + facteur de sécurité au point de départ de la ligne oblique.

Exemple  
Le facteur de sécurité +  $H_{perte} = 4,5$  m se trouve sur la ligne « perte ». Descendez à la verticale jusqu'à la courbe NPSH 8 m. De là, déplacez-vous à l'horizontale vers la droite jusqu'à la température de l'eau, soit 10 °C. Descendez ensuite à la verticale jusqu'à la ligne X et de là à l'horizontale vers la gauche. C'est là que vous trouverez la profondeur d'installation sous le niveau dynamique de l'eau requise, dans le présent cas 4 m.

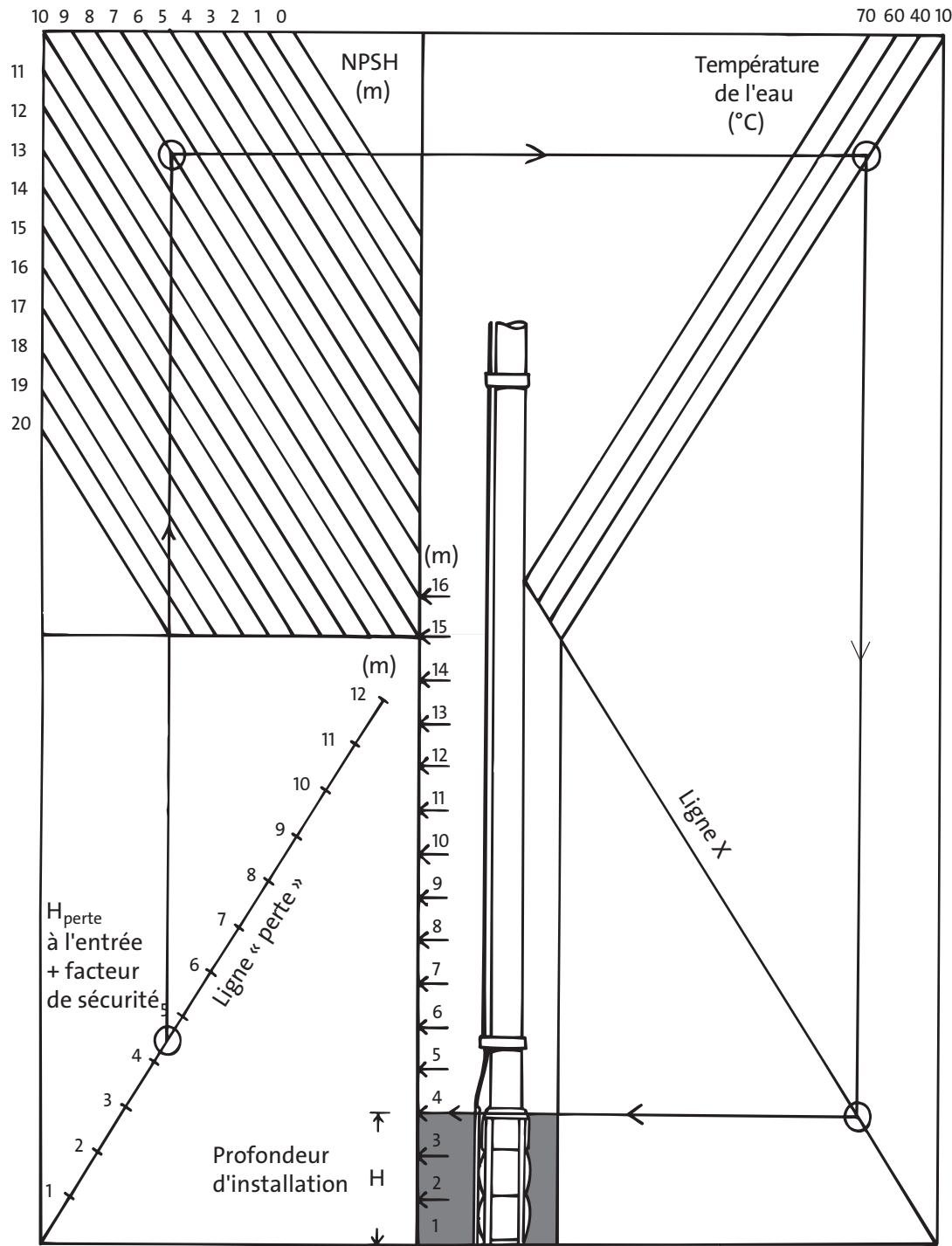


Figure 18 Schéma de calcul rapide de la profondeur d'installation minimale

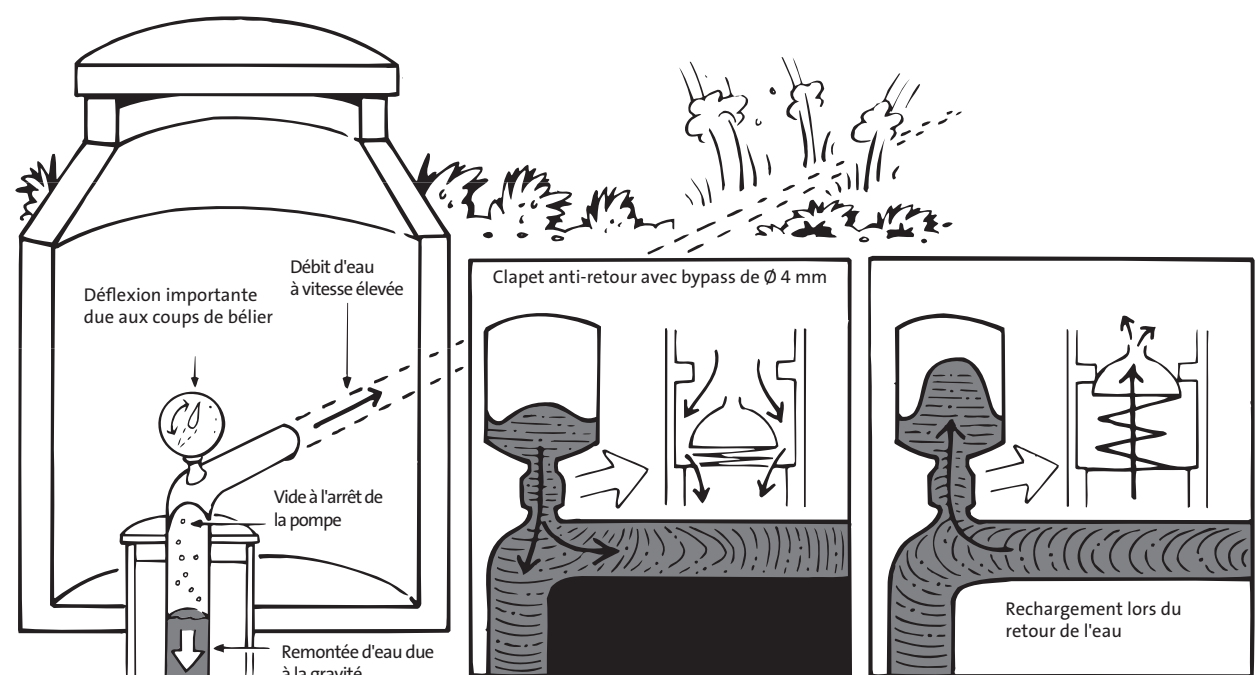


Figure 19 Élimination des coups de bélier

### 3.6 COUPS DE BÉLIER

Les systèmes d'eau brute et les conduites de distribution contiennent fréquemment de nombreuses tonnes d'eau mises en mouvement ou arrêtées brutalement lors du démarrage et de l'arrêt de la pompe. Les variations de pression en résultant se situeront généralement dans la plage de pression nominale (PN) acceptable.

Pour les pompes intégrées dans des conduites longues avec une colonne montante, il sera habituellement possible de réduire suffisamment les variations de pression en procédant à l'une des installations suivantes :

1. Un réservoir à membrane de 50 l avec une pression de précharge équivalente à la pression de service réelle x 0,7 pour des capacités de pompe allant jusqu'à 50 m³/h. Pour des capacités supérieures à 50 m³/h, on installera un réservoir à membrane de 100 l ou deux réservoirs à membrane de 50 l avec une pression de précharge équivalente à la pression de service réelle x 0,7.
2. Un variateur de fréquence contrôlant le démarrage de la pompe et permettant de passer de 25 Hz à 50 Hz en minimum 30 secondes.
3. Un démarreur progressif présentant une durée d'accélération de 3 secondes associé à un réservoir à membrane de

50 l avec une pression de précharge équivalente à la pression de service réelle x 0,7. Le démarreur progressif n'est pas suffisant à lui seul pour prévenir les coups de bélier.

4. Une vanne papillon motorisée avec une durée d'ouverture d'environ 60 secondes. La vanne papillon commence à s'ouvrir lentement lors du démarrage de la pompe. Sa fermeture est activée 60 secondes avant l'arrêt de la pompe. - Il ne s'agit cependant pas d'une bonne solution en termes de consommation d'énergie.

Les capacités des réservoirs à membrane données servent uniquement à absorber les chocs de pression et ne servent pas à réguler la pompe. Dans les puits où la profondeur de l'eau est supérieure à 8 ou 9 m, les variations de pression au moment de l'arrêt de la pompe peuvent provoquer un vide au niveau des joints du puits et des 10 premiers mètres de la conduite horizontale. Ce phénomène peut entraîner l'aspiration d'eau polluée contenue dans la strate environnante. Ce problème est résolu par l'utilisation de réservoirs à membrane.

#### Coups de bélier entraînant la formation d'une dépression

Si le tuyau d'évacuation horizontal d'un d'une dépreslong, des coups de bélier peuvent se produire lors de l'arrêt de la pompe.

Lorsque la pompe s'arrête, le débit d'eau de la colonne montante s'arrête rapidement en raison de la gravité.

Le débit d'eau dans le tuyau d'évacuation horizontal quant à lui s'arrête graduellement en raison de la perte par friction dans le tuyau. Cela provoque la formation d'un vide dans la colonne montante, ce qui entraîne la rupture de la colonne d'eau et la transformation de l'eau en vapeur. Lorsque le débit d'eau du tuyau horizontal a perdu de sa vitesse, l'eau est renvoyée dans le puits par le vide créé dans la colonne montante.

Quand l'eau renvoyée entre en collision avec l'eau de la colonne montante, des coups de bélier peuvent se produire. Ils sont parfois suffisamment forts pour endommager l'installation. De plus, ils peuvent s'avérer très bruyants.

### 3.7 EAU CORROSIVE (EAU DE MER)

On retrouve les pompes immergées dans de nombreuses installations utilisant l'eau de mer, telles que la pisciculture, l'industrie offshore et l'adduction d'eau des processus de traitement de l'eau par osmose inverse.

Les pompes SP se déclinent en différents matériaux et classes de corrosion en fonction de leur utilisation. La com-

binaison entre salinité et température est défavorable pour l'acier inoxydable. Il faut toujours en tenir compte.

Une bonne manière d'évaluer la résistance à la corrosion de l'acier inoxydable est de comparer sa résistance aux piqûres de corrosion. La formule utilisée pour la comparaison est appelée : « Pitting Resistance Equivalent » (PRE - équivalent de résistance à la corrosion par piqûres).

La figure 20 présente les types d'acier inoxydable communément utilisés par Grundfos.

$$PRE = (\% Cr) + (3,3 \times \% Mo)$$

Pour les autres types d'acier inoxydable, qui contiennent de l'azote (N), la formule est la suivante :

$$PREN = (\% Cr) + (3,3 \times \% Mo) + (16 \times \% N)$$

Outre la température et la salinité, la température de corrosion est également influencée par la présence d'autres métaux, acides et une activité biologique. Ceci est également visible à la figure 20.

Le graphique ci-dessous peut être utilisé à des fins de sélection du degré de qualité d'acier requis.

### Résistance à la corrosion des pompes immergées en eau de mer

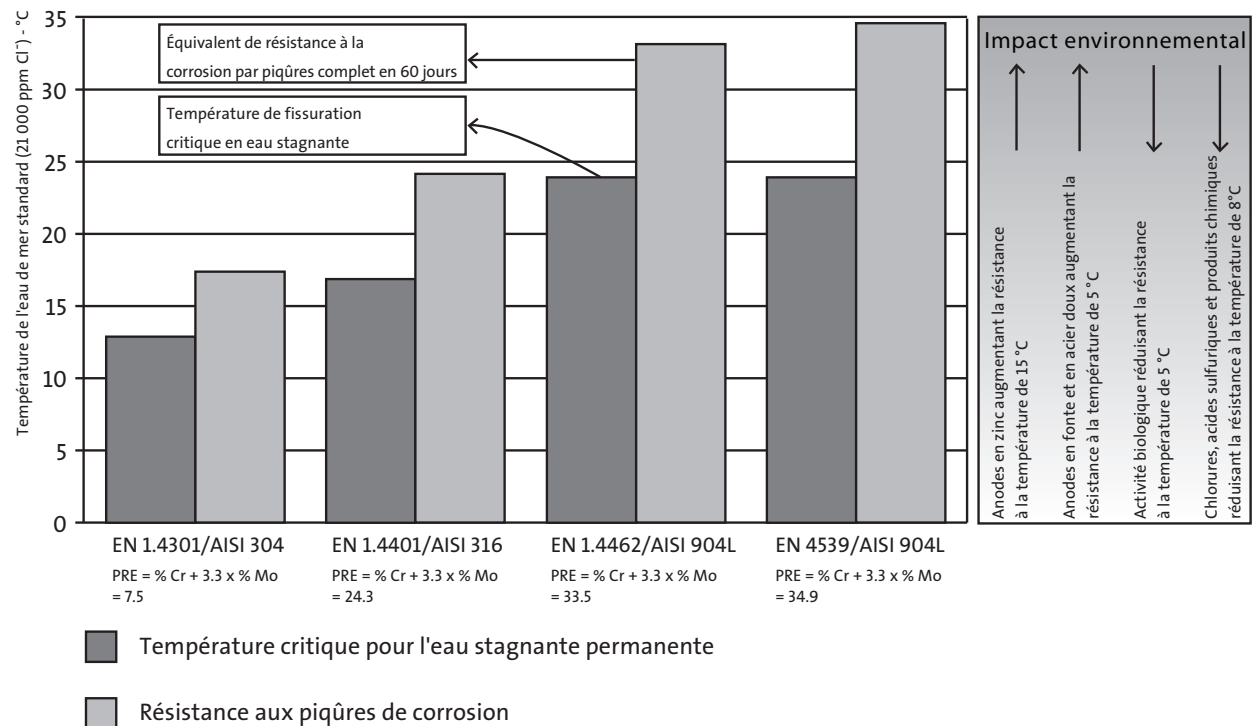


Figure 20 Résistance à la corrosion



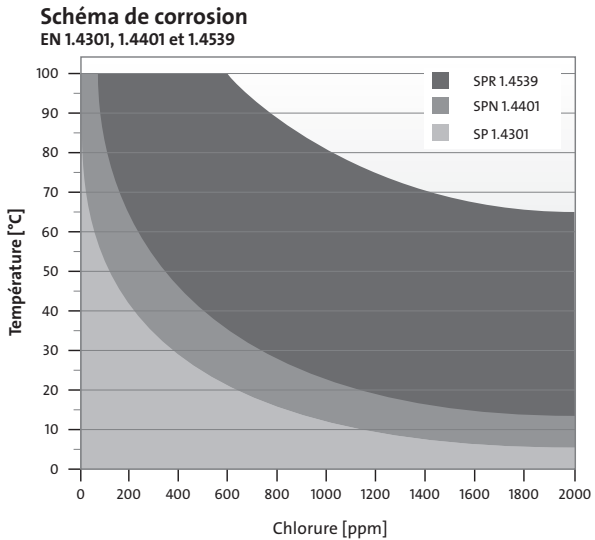


Figure 21 Schéma de corrosion

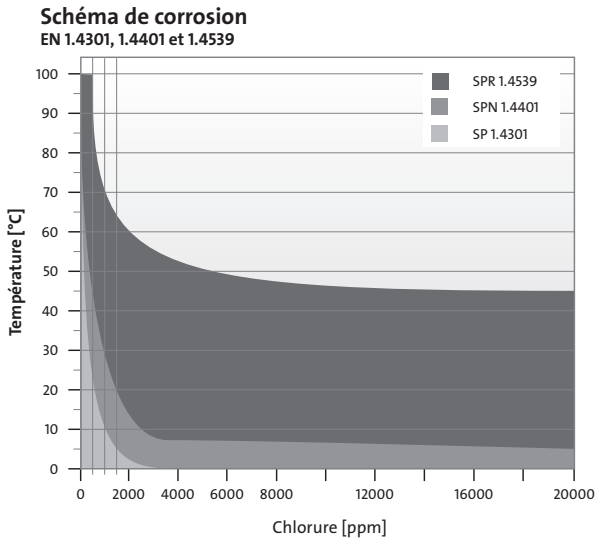


Figure 22 Schéma de corrosion

Les composants élastomères de la pompe peuvent également subir des dommages dus à la piètre qualité de l'eau, par exemple lorsque l'eau présente une forte teneur en hydrocarbures ou en produits chimiques. Dans ce genre de cas, l'élastomère standard peut être remplacé par un élastomère FKM. Les pompes Grundfos SPE ont été conçues spécialement pour satisfaire à ces exigences. Pour tous les autres modèles, les pompes peuvent être spécifiées et fournies sur demande.

3.8 EAU CHAUDE ET EAU GÉO-THERMIQUE

Les eaux souterraines proches de la surface présenteront une température pratiquement identique à la température moyenne annuelle ambiante de la région. En l'absence de facteurs d'influence géothermique, la température augmentera de 2 à 3 °C tous les 100 m de profondeur.

Dans les zones géothermiques, cette augmentation peut atteindre entre 5 et 15 °C par 100 m de profondeur de puits. S'il faut creuser très profond pour atteindre l'eau, il sera alors nécessaire de recourir à des élastomères, câbles électriques, raccords et moteurs résistants à la température.

Les eaux souterraines chaudes, en particulier celles des zones à activité volcanique, sont utilisées dans des installations de chauffage et de loisirs.

Le liquide moteur contenu dans un moteur immergé présente un point d'ébullition plus élevé que l'eau du puits, ce qui permet de prévenir la réduction de la lubrification du palier du moteur en raison de la viscosité plus faible du liquide. Le moteur doit être immergé à une profondeur plus importante afin d'augmenter la température d'ébullition (voir tableau ci-dessous).

Température	Pression vapeur	Viscosité cinématique
°C	mWC	mm²/s
0	0,00611	1,792
4	0,00813	1,568
10	0,01227	1,307
20	0,02337	1,004
30	0,04241	0,801
40	0,07375	0,658
50	0,12335	0,554
60	0,19920	0,475
70	0,31162	0,413
80	0,47360	0,365
90	0,70109	0,326
100	1,01325	0,294
110	1,43266	0,268
120	1,98543	0,246
130	2,70132	0,228
140	3,61379	0,212
150	4,75997	0,199
160	6,18065	0,188

En présence d'une activité géothermique, l'eau contiendra probablement du gaz. Afin de prévenir toute réduction du rendement de la pompe dans une installation à eau géothermique contenant de l'air, Grundfos recommande d'installer la pompe au moins 50 m sous le niveau dynamique de l'eau.

3.9 MODULES DE SURPRESSION

Les pompes Grundfos BM et BME sont des pompes SP intégrées dans une chemise. En connectant chaque unité en série, il est possible d'obtenir une pression très élevée.

Ces pompes sont principalement utilisées pour les installations d'osmose inverse, c'est-à-dire la production d'eau pure à partir d'eau polluée ou d'eau de mer.

Les modules de surpression Grundfos sont également utilisés pour assurer l'adduction d'eau dans les réseaux de distribution afin d'augmenter la pression sur les longues lignes de distribution. Leurs principaux avantages comparés aux surpresseurs traditionnels sont leur fonctionnement silencieux et l'absence de garniture mécanique au niveau de laquelle pourraient se produire des fuites.



Figure 23 Grundfos BM

#### 4.1 PRINCIPES DE LA POMPE

La pompe SP est une pompe centrifuge. Le principe de la pompe est de transformer l'énergie mécanique du moteur en énergie cinétique dans le fluide pompé, créant ainsi une différence de pression dans le fluide entre l'entrée et la sortie de la pompe.

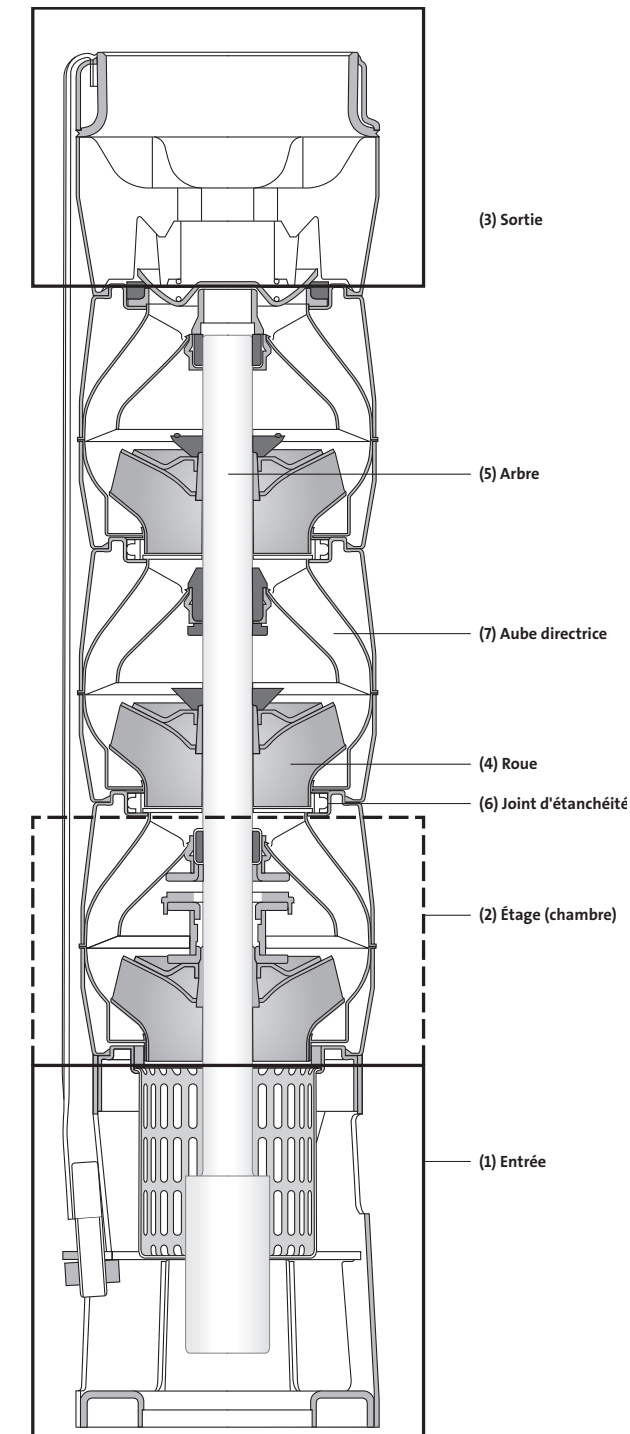


Figure 24 Principe d'une pompe immergée

La pompe est composée d'une entrée (1), d'un certain nombre de cellules (2) et d'une sortie (3). Chaque cellule de la pompe permet de générer une différence de pression. Plus la pression requise est importante, plus le nombre de cellule doit être grand.

Chaque cellule de la pompe comprend une roue (4), les pales de ladite roue transférant à l'eau une énergie permettant d'augmenter le débit et la pression. Chaque roue est fixée à l'arbre de la pompe (5) au moyen d'un raccord cannelé ou d'un raccord conique.

Il existe principalement deux conceptions pour les pompes immergées :

- Radiale
- Semi-axiale

La conception radiale est caractérisée par une grande différence entre l'entrée de la roue et le diamètre de sortie de la roue. Elle s'emploie lorsque la hauteur manométrique requise est importante.

La conception semi-axiale est quant à elle mieux adaptée aux pompes à grand débit.

Un joint d'étanchéité (6) installé entre l'entrée de la roue et la chambre veille à limiter le refoulement. La chambre inclut une aube directrice (7), servant à amener l'eau vers l'étage suivant. Elle convertit également la pression dynamique en pression statique.

En plus d'amener l'eau vers les premières roues, l'entrée de la pompe sert d'interconnexion pour le moteur. Les dimensions de la plupart des pompes sont conformes à la norme NEMA 4", 6" et 8". Pour les pompes et les moteurs plus grands, il existe différentes normes en fonction du fournisseur. L'entrée des pompes doit être conçue afin d'acheminer l'eau vers la première roue de la manière la mieux adaptée tout en réduisant autant que possible les pertes.

Pour certaines roues de pompes radiales, l'entrée inclut également une vis d'amorçage (fixée sur l'arbre de la pompe) afin de garantir la prise d'eau et de prévenir toute marche à sec.



La sortie de pompe inclut normalement un clapet anti-retour, qui prévient tout reflux dans la colonne montante lors de l'arrêt de la pompe. Voici un exemple des avantages offerts par le système :

- Aucune perte d'énergie due au contre-courant.
- Présence à tout moment d'une contre-pression lors du redémarrage de la pompe. Celle-ci est essentielle : elle permet de garantir que la performance de la pompe se situe toujours sur la courbe de la pompe.
- Limitation des dommages à la pompe dus à des coups de bélier.
- Limitation de la contamination des eaux souterraines due au contre-courant.

4.2 PIÈCES D'USURE

En fonction du fluide pompé et du nombre d'années pendant lesquelles la pompe est utilisée, il est recommandé de procéder à une inspection de maintenance de la pompe. Cette intervention inclut le remplacement de toutes les pièces d'usure :

- paliers radiaux
- siège de vanne
- bagues de fond
- joints d'étanchéité
- bague de protection contre la poussée

Si la pompe a été fortement endommagée par du sable, il pourrait s'avérer nécessaire de procéder également au remplacement de l'arbre de la pompe et des roues.

Lors de la maintenance, il est impératif de procéder au remplacement des pièces d'usure si l'on veut maintenir un haut rendement et des coûts de fonctionnement faibles.

Pour de plus amples informations, consultez les consignes de maintenance Grundfos.

4.3 SÉLECTION DE LA POMPE

La sélection d'une pompe débute par l'estimation du débit et de la pression. La hauteur manométrique totale équivaut à la somme des éléments suivants :

- surface dynamique de la nappe phréatique (1)
- aspiration au-dessus du sol (2)
- pression de refoulement (3)
- pertes dans les conduites, vannes et coudes (4)

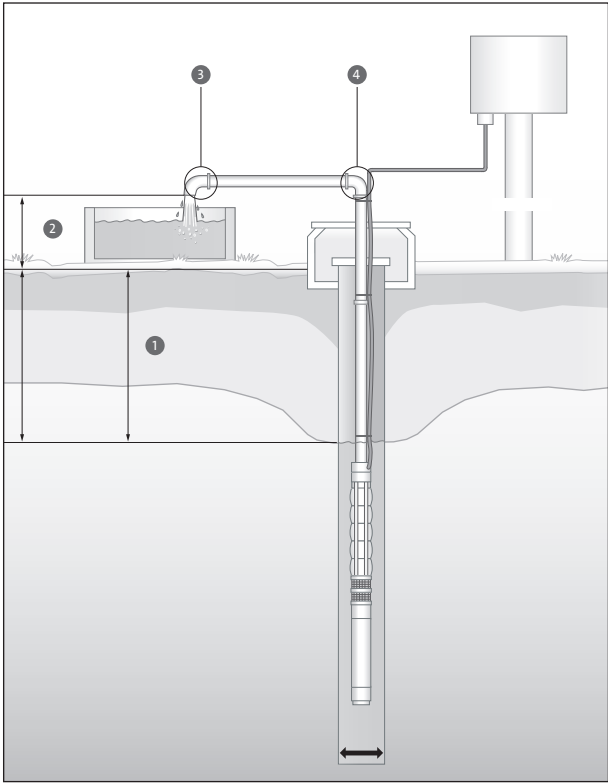


Figure 25 Calcul de la hauteur manométrique totale

Lors de l'estimation du débit requis, il faut également tenir compte du rendement du puits. Vous trouverez les informations relatives au rendement du puits dans les rapports d'essai des foreurs de puits, qui sont réalisés lors de la création du puits. Si possible, le débit doit être réduit au minimum. Cela permet de minimiser la baisse du niveau de la surface de la nappe phréatique ainsi que la consommation électrique totale en kWh/m³.

4.4 COURBES DE LA POMPE ET TOLÉRANCES

Une fois le débit et la hauteur requis estimés, la pompe peut être sélectionnée à l'aide de l'outil en ligne Grundfos Product Center ou de la brochure de la pompe correspondante. Les deux sources contiennent des courbes de performance.

Outre la hauteur, la consommation électrique requise est également mentionnée dans la brochure. Le fournisseur de la pompe fait ici la distinction entre la puissance de sortie de l'arbre moteur P2 (indiquée sur la plaque signalétique du moteur) et la puissance absorbée P1. P1 est utilisé pour dimensionner les installations électriques.

P4 correspond à l'effet hydraulique produit par la pompe.

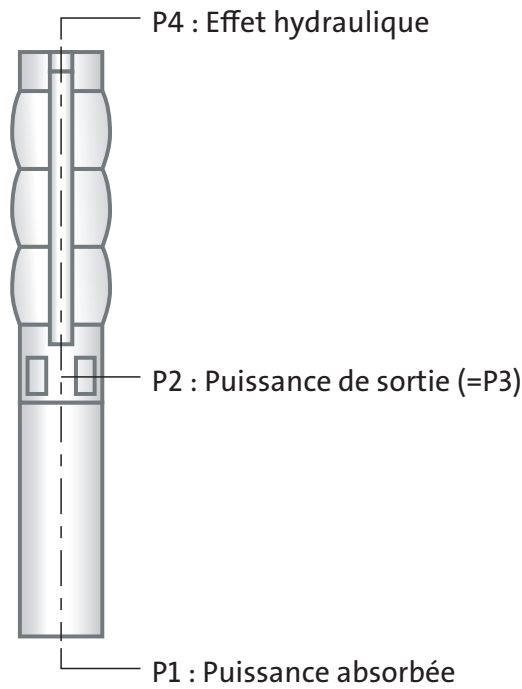


Figure 26 Définitions des différentes notions de puissance

Normalement, la consommation électrique est également indiquée en fonction du débit.

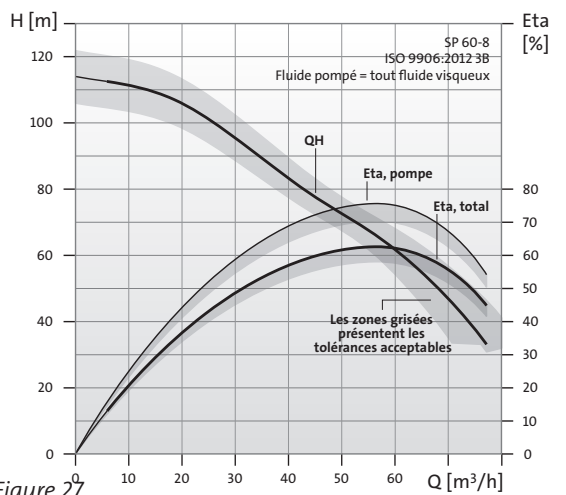


Figure 27

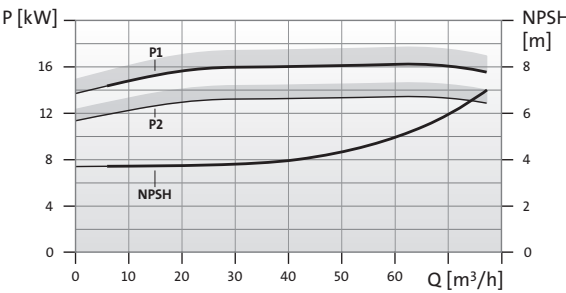


Figure 28

Figures 27 et 28 Paramètres de performance de la pompe, tolérances incluses

La brochure contient aussi des informations relatives au rendement de la pompe, données soit sous forme d'un rendement final (basé sur P2) ou du rendement global incluant le moteur (basé sur P1). Dans certains cas, les pertes au niveau des clapets anti-retour ne sont pas incluses dans le rendement annoncé. Les courbes de rendement sont utilisées pour procéder à la sélection de la taille de la pompe. La meilleure zone de rendement correspond ainsi au débit requis. Si le rendement global de la pompe n'est pas indiqué, il est possible de le calculer à partir du débit (Q), de la hauteur (H) et de la puissance absorbée P1 :

$$\eta_{total} = (Q \times H \times 9,81) / (P1 \times 3\,600)$$

La valeur NPSH est l'acronyme de « Net Positive Suction Head » (hauteur d'aspiration positive nette). Il s'agit d'une mesure de la pression d'entrée requise = niveau d'eau minimal au-dessus de l'entrée de la pompe.

En général, la valeur NPSH augmente pour les débits plus importants ; si la pression d'entrée requise n'est pas atteinte, cela entraîne une évaporation de l'eau et un risque de dommage par cavitation dans la pompe.

De manière générale, de nombreuses normes locales différentes s'appliquent aux tolérances des courbes de performance. La performance des pompes Grundfos SP est indiquée selon la norme ISO 9906:2012 3B. Les courbes Q-H reprises dans la documentation présentent la courbe nominale. Selon la norme ISO 9906 3B, les courbes de puissance possèdent uniquement une tolérance supérieure. Pour les courbes de rendement, seules les tolérances inférieures sont indiquées. Voyez les exemples présentés aux figures 23 et 24. Les conditions générales applicables aux courbes de performance de cette illustration selon la norme ISO 9906 sont :

- Les mesures sont effectuées avec une eau à une température de 20 °C et ne contenant pas d'air.
- Les courbes s'appliquent à une viscosité cinématique de 1 mm²/s. Le pompage de liquides présentant une densité plus élevée requiert une plus grande puissance moteur.

Outre les courbes Q-H, Q-P et Q-eta, une courbe de charge axiale est normalement également disponible sur demande. La poussée axiale vers le bas est générée par les composants hydrauliques et est transférée vers le palier axial du moteur. La poussée axiale totale est calculée en multipliant les valeurs des différentes cellules par le nombre de cellules. Elle peut être utilisée pour vérifier que la capacité du palier axial du moteur est suffisante.

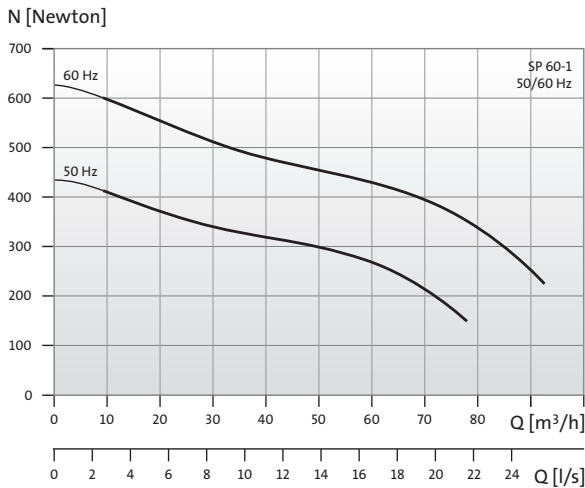


Figure 25 Courbe de poussée axiale pour une cellule, SP 60

4.5 CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Consommation d'énergie des pompes immergées

La répartition exprimée en pourcentage des coûts d'une pompe immergée servant à l'alimentation en eau est la suivante :

- 5 % coûts initiaux (pompe)
- 85 % coûts de fonctionnement / consommation d'énergie
- 10 % coûts de maintenance

Il est clair que la consommation d'énergie est le facteur offrant le potentiel d'économies le plus élevé.

La consommation d'énergie annuelle E d'une pompe immergée peut être calculée comme suit :

$$E = c \times h \times P1 \text{ (EUR)}$$

$c$  = prix spécifique de l'énergie (EUR/kWh)  
 $h$  = heures de fonctionnement/année (heures)  
 $P1$  = puissance absorbée de la pompe immergée (kW)

Exemple de calcul de la consommation d'énergie :

Calcul de la consommation d'énergie annuelle de la pompe immergée, type SP 125-3.  
SP 125-3 avec MS 6000, 30 kW, 3 x 400 V, 50 Hz.

Point de consigne :

Débit :	Q = 120 m³/h
Hauteur manométrique totale :	H = 63 m
Prix spécifique de l'énergie :	c = 0,1 EUR/kWh (moyenne des tarifs jour et nuit)
Nombre d'heures de fonctionnement/année :	h = 3 200

$$P1 = \frac{Q \times H \times \rho}{367 \times \eta_{pompe} \times \eta_{moteur}} \text{ en kW}$$

- Q = m³/h  
H = m  
Densité  $\rho$  = kg/dm³ (estimée à 1)  
367 = facteur de conversion  
 $\eta_{pompe}$  = (à ne pas confondre avec la courbe de rendement de la cellule)  
 $\eta_{moteur}$  = (exemple 84,5 %, dans la formule 0,845).

La courbe P2/Q a pour but de vous faciliter le calcul de la consommation d'énergie.

$$P1 = \frac{P2}{\eta_{moteur}}$$

P2 = 26 kW (alimentation requise par une pompe SP 125-3 à un débit de 120 m³/h, voir la courbe P2/Q à la page 34).

Calcul du rendement moteur au point de consigne

Par défaut, la pompe SP 125-3 est équipée d'un moteur MS 6000 d'une puissance de 30 kW. Au point de consigne

(Q = 120 m³/h), la pompe requiert une puissance de 26 kW, ce qui correspond à une charge moteur de 87 % (26 kW / 30 kW) et une puissance de réserve de 13 %.

Le tableau de la page 35 donne un rendement moteur de :  
84 % à une charge de 75 % ( $\eta_{75\%}$ )  
83 % à une charge de 100 % ( $\eta_{100\%}$ )

La valeur d'interpolation du présent exemple équivaut à  $\eta_{moteur} = 84,5\%$ ,  $\eta_{moteur} = 0,845$ .  
 $E = 0,1 \text{ EUR/kWh} \times 3\,200 \text{ h} \times 30,77 \text{ kW}$

$$P1 = \frac{26}{0.845} = 30.77 \text{ kW}$$

Les coûts énergétiques annuels s'élèvent donc à 9 846 EUR. Si nous comparons les coûts énergétiques de cette pompe immergée Grundfos à haut rendement avec ceux d'une pompe immergée de type SP 120-4 de 1995,

(Q = 110 à 120 m³/h ; H = 63 à 58 m ;  $\eta_{moteur} = 82\%$ ), nous remarquons que pour un débit annuel total équivalent de

384 000 m³ et à un prix actuel identique de 0,1 EUR/kWh, les coûts de consommation d'énergie annuels de l'ancienne pompe s'élèvent à 12 777 EUR.

L'usure et la présence de dépôts au niveau du moteur et de la pompe n'ont pas été prises en compte.

Le temps de retour sur investissement, A (mois) est calculé comme suit :

$$A = \frac{\text{Prix d'achat de la pompe à haut rendement}}{\text{Économies d'énergie/an}} \times 12$$

Le prix d'achat de la pompe à haut rendement est de 4 090 EUR.

$$A = \frac{4090}{(12\,777 \text{ EUR} - 9\,846 \text{ EUR})} \times 12 = 16.7 \text{ mois}$$

Le retour sur investissement se fait en 16,7 mois.

**Remarque :** l'intégralité du système devrait être dimensionnée de façon à obtenir le meilleur rendement énergétique possible (câble/tuyaux de refoulement).

Dimensionnement du câble

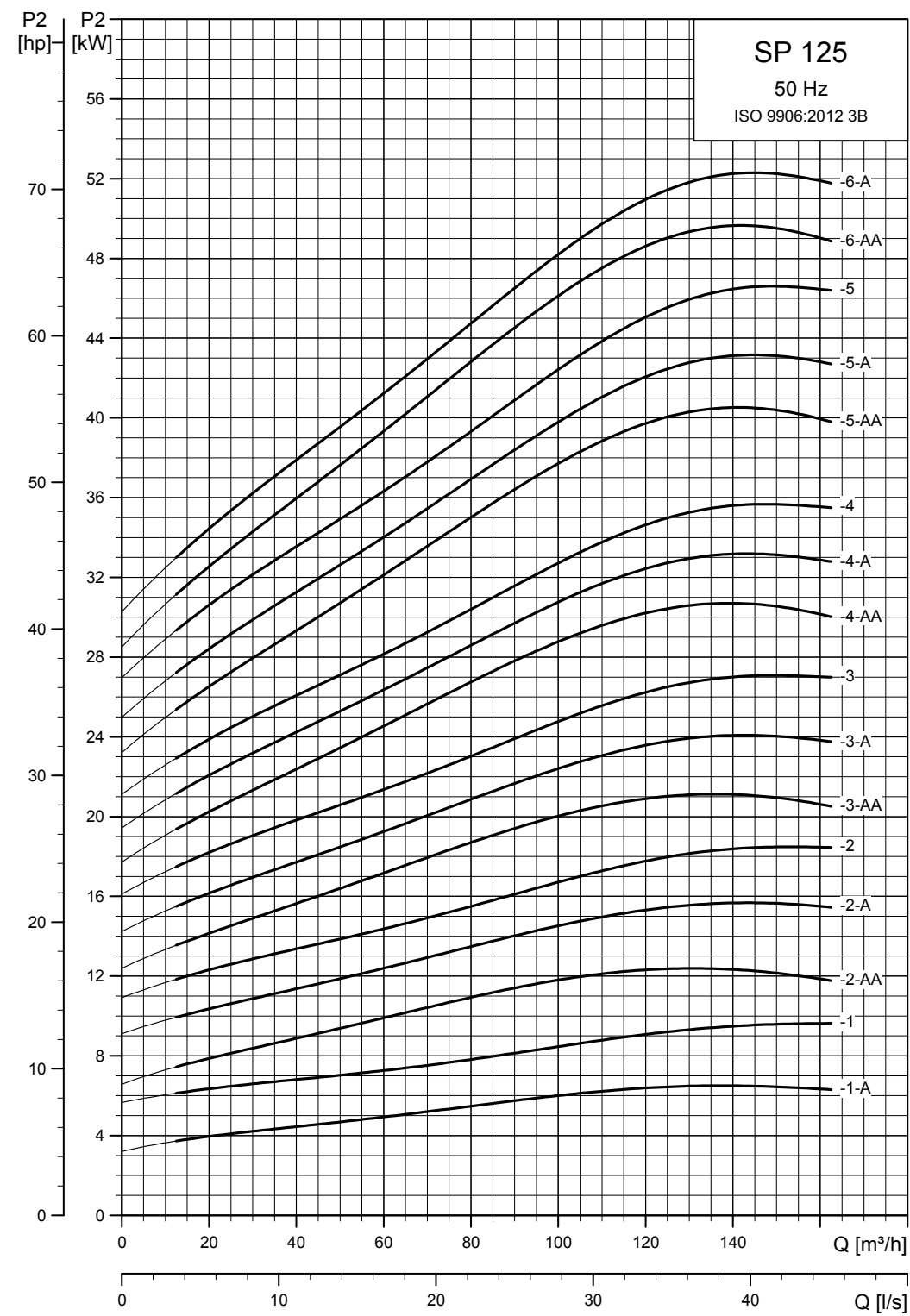
Afin de garantir un fonctionnement économique de la pompe, la chute de tension doit être faible.

De nos jours, les grandes compagnies des eaux dimensionnent déjà leurs câbles pour que la chute de tension max. soit de 1 %.

La résistance hydraulique du tuyau de refoulement doit être aussi faible que possible.



Courbes de puissance



1 x 230 V, moteurs immergés

Caractéristiques électriques												Dimensions		
Moteur		Intensité à pleine charge I <sub>n</sub> [A]	Rendement moteur [%]			Facteur de puissance			I <sub>st</sub> I <sub>n</sub>	Coffret de commande pour moteurs à trois fils	Condensateur pour moteurs PSC	Longueur [mm]	Poids [kg]	
Type	Taille		Puissance [kW]	η 50 %	η 75 %	η 100 %	cos φ 50 %	cos φ 75 %						cos φ 100 %
MS 402	4"	0.37	3.95	48.0	54.0	57.0	0.58	0.68	0.77	3.4*	SA-SPM 2	16 µF, 400 V, 50 Hz	256	6.8
MS 402	4"	0.55	5.80	49.5	56.5	59.5	0.52	0.65	0.74	3.5*	SA-SPM 2	20 µF, 400 V, 50 Hz	291	8.2
MS 402	4"	0.75	7.45	52.0	58.0	60.0	0.57	0.69	0.79	3.6*	SA-SPM 2	30 µF, 400 V, 50 Hz	306	8.9
MS 402	4"	1.1	7.30	62.0	69.5	72.5	0.99	0.99	0.99	4.3*	SA-SPM 3	40 µF, 400 V, 50 Hz	346	10.5
MS 402	4"	1.5	10.2	56.5	66.5	71.0	0.91	0.96	0.98	3.9	SA-SPM 3	-	346	11.0
MS 4000 (R)	4"	2.2	14.0	67.0	73.0	75.0	0.91	0.94	0.96	4.4	SA-SPM 3	-	576	21.0

\* S'applique aux moteurs à trois fils.  
Les moteurs MS 402 à deux fils sont dotés d'une protection moteur, ce qui permet de les raccorder directement au réseau électrique.

3 x 230 V, moteurs immergés

Caractéristiques électriques												Dimensions		
Moteur		Puissance [kW]	Intensité à pleine charge I <sub>n</sub> [A]	Rendement moteur [%]				Facteur de puissance				I <sub>st</sub> I <sub>n</sub>	Longueur [mm]	Poids [kg]
Type	Taille			η 50 %	η 75 %	η 100 %	Cos	φ 50 %	Cos	φ 75 %	Cos			
MS 402	4"	0.37	2.55	51.0	59.5	64.0	0.44	0.55	0.64	3.7	226	5.5		
MS 402	4"	0.55	4.00	48.5	57.0	64.0	0.42	0.52	0.64	3.5	241	6.3		
MS 402	4"	0.75	4.20	64.0	69.5	73.0	0.50	0.62	0.72	4.6	276	7.7		
MS 4000R	4"	0.75	3.35	66.8	71.1	72.9	0.66	0.76	0.82	5.1	401	13.0		
MS 402	4"	1.1	6.20	62.5	69.0	73.0	0.47	0.59	0.72	4.6	306	8.9		
MS 4000R	4"	1.1	5.00	69.1	73.2	75.0	0.57	0.70	0.78	5.2	416	14.0		
MS 402	4"	1.5	7.65	68.0	73.0	75.0	0.50	0.64	0.75	5.0	346	10.5		
MS 4000R	4"	1.5	7.40	66.6	71.4	72.9	0.53	0.66	0.74	4.5	416	14.0		
MS 402	4"	2.2	10.0	72.5	75.5	76.0	0.56	0.71	0.82	4.7	346	11.9		
MS 4000 (R)	4"	2.2	11.6	64.5	70.8	73.3	0.44	0.58	0.69	4.2	456	16.0		
MS 4000 (R)	4"	3.0	14.6	67.5	72.8	74.6	0.48	0.62	0.73	4.4	496	17.0		
MS 4000 (R)	4"	4.0	17.6	73.9	77.4	77.9	0.52	0.67	0.77	4.9	576	21.0		
MS 4000 (R)	4"	5.5	24.2	76.0	78.8	79.6	0.51	0.66	0.76	4.9	676	26.0		
MS 6000 (R)	6"	5.5	24.8	77.0	79.0	80.0	0.51	0.64	0.73	4.5	544	35.5		
MS 6000 (R)	6"	7.5	32.0	79.0	82.0	82.0	0.55	0.68	0.77	4.6	574	37.0		
MS 6000 (R)	6"	9.2	39.5	77.0	80.0	80.0	0.56	0.70	0.78	4.8	604	42.5		
MS 6000 (R)	6"	11	45.0	81.0	82.5	82.5	0.60	0.72	0.79	4.8	634	45.5		
MS 6000 (R)	6"	13	54.5	81.0	82.5	82.5	0.58	0.71	0.78	4.8	664	48.5		
MS 6000 (R)	6"	15	62.0	82.0	83.5	83.5	0.59	0.71	0.78	5.2	699	52.5		
MS 6000 (R)	6"	18.5	76.5	82.5	84.5	84.0	0.56	0.69	0.77	5.3	754	58.0		
MS 6000 (R)	6"	22	87.5	84.5	85.0	84.0	0.61	0.74	0.81	5.2	814	64.0		
MS 6000 (R)	6"	26	104	83.5	84.0	83.5	0.61	0.73	0.81	5.0	874	69.5		
MS 6000 (R)	6"	30	120	83.0	84.0	83.0	0.59	0.72	0.80	5.0	944	77.5		

MS 402 : caractéristiques valables pour le 3 x 220 V

## 5.1 TYPES DE MOTEURS, DESCRIPTION GÉNÉRALE

Ce chapitre est entièrement dédié aux moteurs immergés et aux commandes pour moteurs immergés. Les moteurs immergés sont spéciaux car ils ont été conçus pour fonctionner sous l'eau. Sinon, le principe de fonctionnement est identique à celui des moteurs électriques asynchrones.

Tous les moteurs Grundfos 4", 6" et 8" sont conformes aux normes NEMA.

Un moteur immergé MS est constitué d'un corps de moteur et d'un câble moteur. Le câble, doté d'une prise, est amovible. Il a été dimensionné en vue d'une utilisation immergée afin de minimiser l'espace requis le long de la pompe. Le câble moteur est connecté au câble de descente situé au-dessus de la pompe au moyen d'un kit pour extrémités de câbles.

### Moteur à rotor noyé

Dans un moteur à rotor noyé, les enroulements se présentent sous la forme de fils émaillés (comme sur les moteurs Grundfos de type MS) hermétiquement scellés et remplis de matériau d'enrobage permettant de retenir les enroulements et simultanément d'augmenter le transfert de chaleur. Ces moteurs sont dotés de paliers lisses, constitués de paliers radiaux supérieurs et inférieurs ainsi que de paliers antagonistes et axiaux. Les paliers de butée et les paliers lisses adoptent un comportement hydrodynamique dans le liquide moteur à base d'eau.

### Moteur immergé (rebobinable)

Les moteurs immergés sont équipés d'un câble spécial résistant à l'eau ainsi que d'un joint étanche entre les enroulements et le câble moteur. Le joint se trouve toujours dans le moteur et aucune prise n'est disponible.

### Moteur rempli d'huile

Un moteur rempli d'huile est équipé d'un enroulement moteur de surface standard imprégné. L'huile de transformateur est versée dans le moteur et sert à la fois de lubrifiant et de réfrigérant. Il peut s'agir d'une huile minérale ou végétale présentant une résistance d'isolement élevée. La jonction du câble moteur se fait généralement à l'intérieur du moteur car, à l'instar des moteurs immergés, peu de moteurs de ce type sont dotés de prises. Les moteurs remplis d'huile sont équipés de paliers sphériques.

### Moteurs monophasés

Il existe différentes versions de moteurs monophasés. Ces dernières présentent toutes des avantages et inconvénients distinctifs. Pour la plupart des modèles, il sera obligatoire de procéder au montage d'un condensateur et d'autres accessoires dans un boîtier de démarrage. Le boîtier de démarrage sert à démarrer un moteur donné à une tension et une fréquence spécifiques.

### Moteurs PSC (à condensateur permanent)

Simple et fiables, les moteurs PSC sont dotés d'un condensateur de fonctionnement intégré au circuit. La taille du condensateur est choisie pour garantir à la fois une augmentation du couple de démarrage et un rendement élevé lors du fonctionnement.

**Avantages :** Simple, économique, fiable et silencieux.

**Inconvénients :** Couple à rotor bloqué faible et rendement faible.

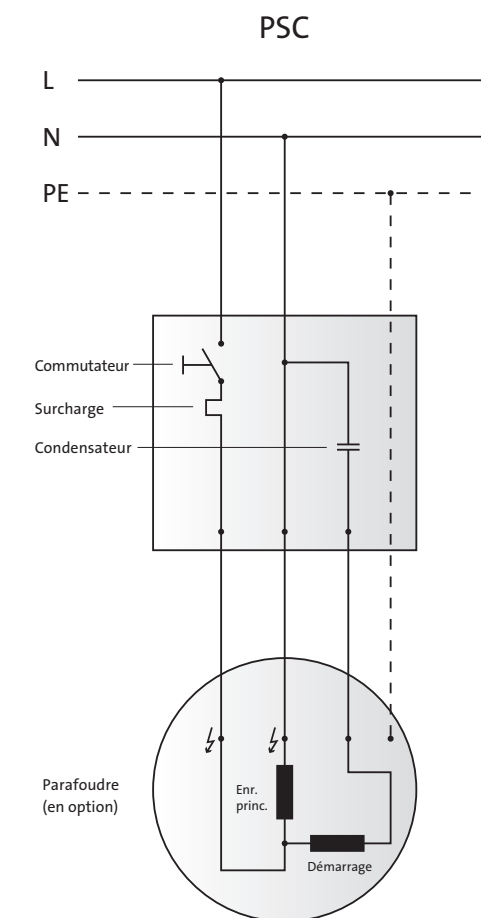


Figure 26 PSC



Moteur CSIR (démarrage par relais d'intensité)

Le condensateur de démarrage augmente le couple lors du démarrage. Il est ensuite déconnecté à l'aide d'un interrupteur. Le moteur de type CSIR est généralement utilisé pour des puissances nominales inférieures à 1,1 kW.

**Avantages :** Couple à rotor bloqué.

**Inconvénients :** Fonctionnement bruyant (véritable monophasé), relai requis pour couper le condensateur de démarrage.

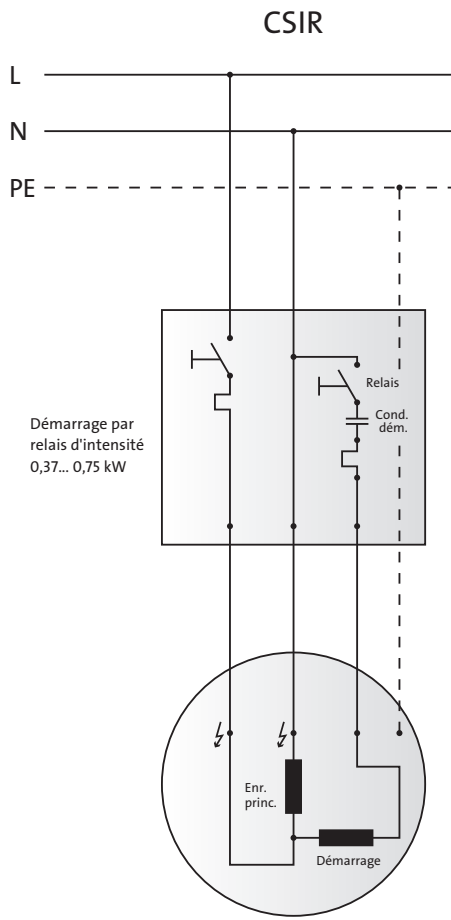


Figure 27 Schéma d'un moteur CSIR

Moteur CSCR (démarrage par relais de tension)

Ce moteur est équipé à la fois d'un condensateur de démarrage servant à augmenter le couple de démarrage et d'un condensateur de fonctionnement (PSC). Cela permet de garantir un fonctionnement sans problème et un bon rendement. Ce type de moteur combine les avantages des deux types de moteurs précités.

**Avantages :** Bon couple de démarrage, rendement élevé.

**Inconvénients :** Prix du coffret de commande.

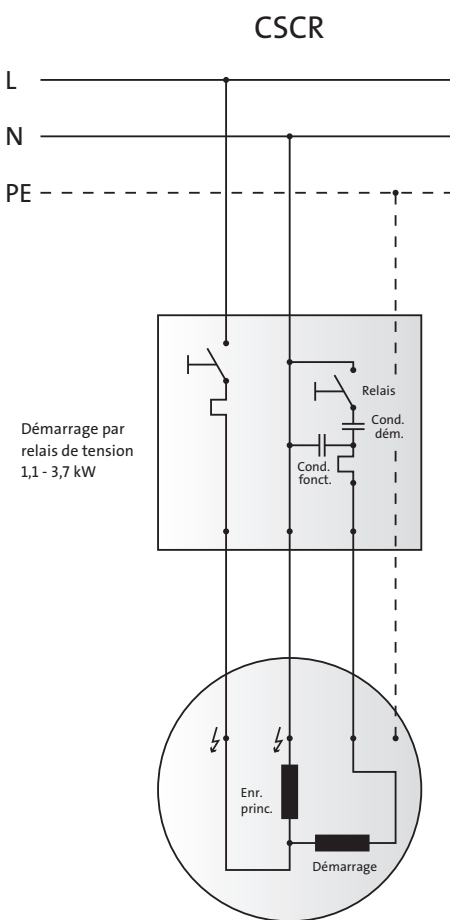


Figure 28 Schéma d'un moteur CSCR

Moteur RSIR (démarrage par résistance)

Ce moteur est doté d'un relai intégré directement à l'enroulement moteur. Le relai déconnecte la phase de démarrage lorsque le moteur tourne.

**Avantages :** Aucun condensateur requis (pas de coffret de commande), facile à installer.

**Inconvénients :** Couple de démarrage limité, puissances nominales kW limitées (uniquement jusqu'à 1,1 kW).

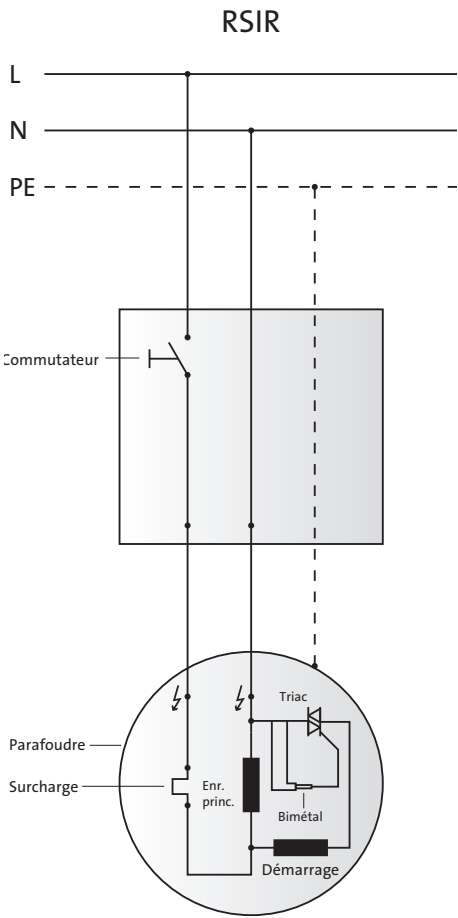


Figure 29 Moteur RSIR

Terminologie : moteurs à 2 et 3 fils

Ces termes s'appliquent au nombre de fils nécessaires pour procéder à l'installation, à l'exclusion du fil de terre. Les moteurs à 2 fils doivent être alimentés par trois conducteurs : phase, neutre et terre. Les moteurs à 3 fils doivent être alimentés par quatre conducteurs : phase, neutre, point entre le démarreur et l'enroulement moteur et fil de terre.

Moteurs à 2 fils :

- Moteurs PSC avec condensateur intégré au moteur
- RSIR

Moteurs à 3 fils :

- Moteurs PSC en présence d'un condensateur monté dans le boîtier de démarrage au sol
- Moteurs CSIR
- Moteurs CSCR

Réduction de puissance du moteur

Il y a réduction de la puissance du moteur lorsque le moteur est soumis à des exigences spéciales, telles qu'une eau à forte température, des tolérances de tension situées en dehors de l'intervalle acceptable ou un déséquilibre de tension. Toutes ces situations exercent sur l'enroulement moteur une contrainte supérieure à celle pour laquelle il a été dimensionné.

La solution la plus simple consiste à utiliser un moteur surdimensionné, généralement d'une puissance qui ne sera pas supérieure à deux tailles de sortie de plus que le moteur requis. Il en résulte une durée de vie accrue, mais le rendement ne sera pas idéal vu que le moteur ne fonctionnera jamais à son point de consigne optimal. Le facteur de puissance est généralement bas vu la charge partielle exercée sur la construction.

Une meilleure solution consistera en un moteur spécialement enroulé avec une longueur de fer du stator accrue. En raison de l'augmentation de la surface, les caractéristiques électriques et les performances de refroidissement sont améliorées. Ces moteurs sont conçus pour les températures plus élevées, les tolérances de tension plus larges, etc. Ils égalent voire surpassent les moteurs standard en termes de rendement.

5.2 CÂBLES ET JOINTS MOTEUR, RÉFÉRENCE AUX CÂBLES DE DESCENTE

Les pompes immergées sont conçues pour être utilisées avec un moteur immergé. Le câble moteur ainsi que le joint entre le câble moteur et le câble de descente se trouvent également sous l'eau. Si pour quelque motif que ce soit, le câble moteur n'est pas entièrement immergé, il faut contrôler l'intensité admissible du courant. Voir également chapitre 7.5.

Le câble moteur, le joint et la partie immergée du câble de descente possèdent donc une surface de contact relativement importante avec le fluide pompé. Il est important de sélectionner le matériel adapté à chaque installation. Vous devez également tenir compte des réglementations locales applicables en matière d'eau potable.

5.3 DISPOSITIFS DE PROTECTION MOTEUR

Il est possible d'utiliser des dispositifs de protection moteur identiques à ceux utilisés pour les moteurs de surface pour les moteurs immergés. Il est très important de sécuriser et de limiter les courants de court-circuit et de protéger le moteur contre les ruptures de phase et la surcharge.

La plupart des moteurs monophasés sont dotés d'une protection thermique intégrée. Si la protection n'est pas intégrée à l'enroulement, elle doit être montée dans le boîtier de démarrage. Les protections sont réinitialisées soit automatiquement soit manuellement. Les protections thermiques sont conçues pour satisfaire aux caractéristiques de l'enroulement moteur.

Les sondes PT100 et PT1000 sont des résistances linéaires. Combinées à une sonde standard, elles permettent d'indiquer l'évolution de la température au fil du temps. Sur les moteurs à rotor noyé, la sonde est installée dans le trou du boulon d'ancrage traversant ; sur les versions immergées, la sonde est placée dans le liquide moteur.

Les résistances PTC et NTC sont rarement utilisées dans les installations immergées car elles ne sont pas suffisamment rapides et fiables pour protéger le moteur immergé.

Grundfos propose un capteur de température spécial appelé Tempcon. Il s'agit d'une résistance NTC intégrée située à proximité de l'enroulement et servant à détecter la température. La température est convertie en un signal haute fréquence qui est ensuite transmis au panneau de commande par l'intermédiaire d'une communication par courants porteurs en ligne. Une fois arrivé jusqu'au panneau de commande du MP 204, ce signal est interprété par un convertisseur de signal et la température s'affiche ensuite sur l'écran du panneau de commande du MP 204. Le MP 204 est un dispositif électronique de protection moteur avancé servant à protéger le moteur immergé contre les perturbations du réseau.

5.4 RÉDUCTION DU COURANT À ROTOR BLOQUÉ

L'objectif de la réduction du courant à rotor bloqué est de protéger l'équipement contre les surtensions liées aux fortes charges de courant. Ce système a également pour effet de protéger les conduites contre les pics de pression.

Il existe différentes manières de réduire l'impact sur le réseau. Toutes cependant ne sont pas pertinentes pour les pompes. Ci-après, vous trouverez des informations à la fois sur les différentes manières de procéder à la réduction du courant à rotor bloqué et sur le fonctionnement des pompes immergées associées à des convertisseurs de fréquence.

Ces informations s'appliquent aux pompes radiales et semi-radiales, y compris les pompes Grundfos SP. Les pompes axiales ne sont pas abordées ici.

Vu que le courant à rotor bloqué d'un moteur de pompe est souvent 4 à 7 fois plus élevé que le courant nominal, une charge de pointe importante sera exercée sur le réseau et le moteur pendant une brève période. Afin de protéger le réseau, de nombreux pays imposent des réglementations quant à la réduction du courant à rotor bloqué. Généralement, la valeur est donnée sous forme de charge maximale en kW ou en ampères autorisés pour le démarrage direct (DOL). La charge maximale permise varie de manière importante aux quatre coins du monde. Il est donc important de se conformer aux réglementations locales en vigueur. Dans certains cas, seules des méthodes spécifiques de réduction du courant à rotor bloqué sont autorisées.

Les différents types de démarrages sont décrits ci-après :

- DOL - direct
- SD- étoile-triangle
- AF - autotransformateur
- RR – démarreur à résistance
- SS - démarreur progressif
- FC - convertisseur de fréquence

Pour faire votre choix, il faut prendre en compte l'installation, les exigences et les normes locales.

5.4.1 Direct – DOL

Lors du démarrage direct, le moteur est couplé directement au réseau par l'intermédiaire d'un contacteur ou similaire. En partant du principe que tous les autres aspects sont identiques, le démarrage direct entraînera toujours la plus faible génération de chaleur possible au niveau du moteur, garantissant ainsi la plus longue durée de vie aux moteurs jusqu'à 45 kW. Au-dessus de cette taille, l'impact mécanique sur le moteur sera tellement important que Grundfos recommande de procéder à une réduction du courant.

Type	Courant à rotor bloqué réduit	Coût	Fonctions par rapport au coût	Espace nécessaire	Utilisation conviviale	Fiable	Réduction des pics de pression		Économies d'énergie pendant le fonctionnement
							Mécaniques	Hydrauliques	
DOL	Non	Bas	OK	Faible	Oui	Oui	Non	Non	Non
SD moins de 45 kW plus de 45 kW	Non Oui	Bas Bas	Bas OK	Faible Faible	Oui Oui	Oui Oui	Non	Non Non	Non Non
AF	Oui	Moyen	OK	Moyen	Oui/Non	Oui	Oui/Non	Non	Non
RR									
SS	Oui	Moyen	OK	Moyen	Oui/Non	Oui/Non	Oui	Non	Oui/Non
FC	Oui	Élevé	OK	Moyen/important	Oui/Non	Oui/Non	Oui	Oui/Non	Oui/Non

En outre, bien que le démarrage direct du moteur présente le courant à rotor bloqué le plus fort, il provoquera des perturbations du réseau minimales.

De nombreuses pompes immergées sont dotées de longs câbles. De par leurs propriétés physiques, ces longs câbles entraînent automatiquement une réduction du courant à rotor bloqué. La capacité électrique du câble réduit en effet le courant. Si, par exemple, le câble est long et dimensionné pour une chute de tension de 5 % à charge pleine (ampères), le courant à rotor bloqué sera automatiquement réduit. L'exemple ci-contre illustre ce point.

Exemple :

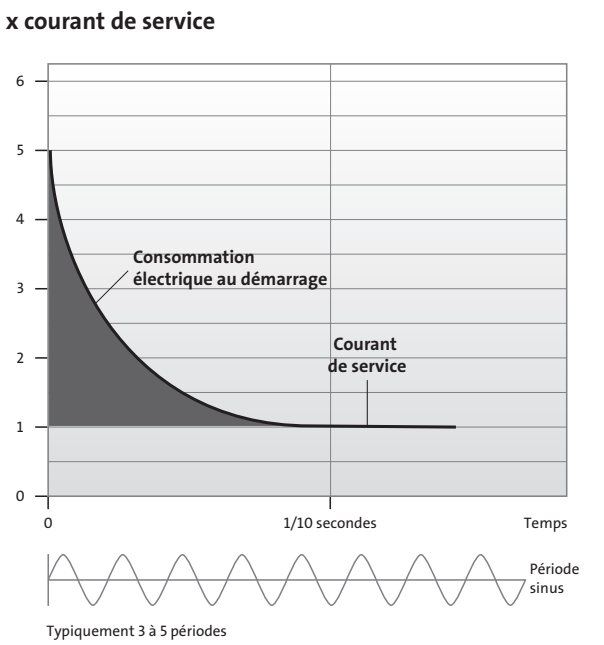


Figure 30 Variation du courant lors du démarrage direct



### 5.4.2 Étoile-triangle – SD

La méthode la plus courante permettant de réduire le courant à rotor bloqué des moteurs est le démarrage étoile-triangle. Lors du démarrage, le moteur est connecté pour le mode étoile. Une fois que le moteur tourne, il passe en mode triangle. Cette opération se fait automatiquement au bout d'une période de temps fixe. Pendant le démarrage en position étoile, la tension appliquée aux bornes du moteur est réduite à 58 % de la tension de démarrage nominale. Cette méthode de démarrage est bien connue sur le marché et est relativement économique, simple et fiable, ce qui la rend très populaire.

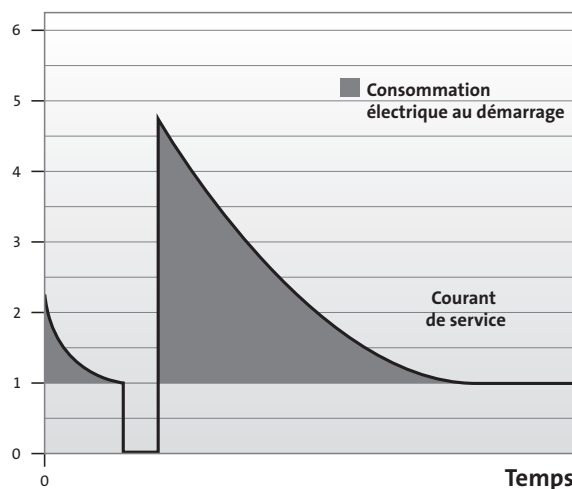


Figure 31 Variation du courant lors du démarrage étoile-triangle

En raison de la perte de vitesse lors de la commutation entre Y et D, le démarrage étoile-triangle n'est pas recommandé pour les pompes SP, ni pour les pompes présentant un couple d'inertie faible en général. Une pompe immergée va de 0 à 2 900 tr/min en trois cycles (0,06 s). Cela signifie également que la pompe s'arrête brusquement lorsque l'alimentation principale est débranchée.

Comparé au démarrage direct, le démarrage étoile-triangle permet de réduire le courant dès le début. Lors du passage du mode étoile au mode triangle, la pompe ralentit fortement et s'arrête presque entièrement. Ensuite, elle démarre directement en mode triangle (direct). Le schéma montre qu'il n'existe pas de réduction réelle du courant à rotor bloqué.

Les choses sont légèrement différentes pour les pompes centrifuges présentant un diamètre et un poids plus importants vu que leur couple d'inertie est plus élevé. N'oubliez pas que le fonctionnement prolongé en mode étoile peut entraîner une chauffe considérable du moteur, ce qui réduit la durée de vie du produit.

Les installations immergées dotées de démarreurs étoile-triangle seront souvent plus chères que d'autres installations similaires. Deux câbles d'alimentation (6 conducteurs) sont requis pour le moteur au lieu d'un (3 conducteurs) en cas normal. Le moteur doit également être doté de deux prises, ce qui entraîne une augmentation de prix de 5 % par rapport à un moteur traditionnel.

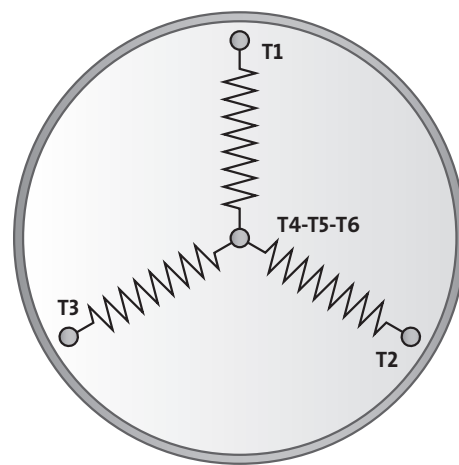


Figure 32. Configuration de la commutation étoile-triangle au démarrage

Après un temps défini, le démarreur commute les enroulements en mode triangle, voir figure 33.

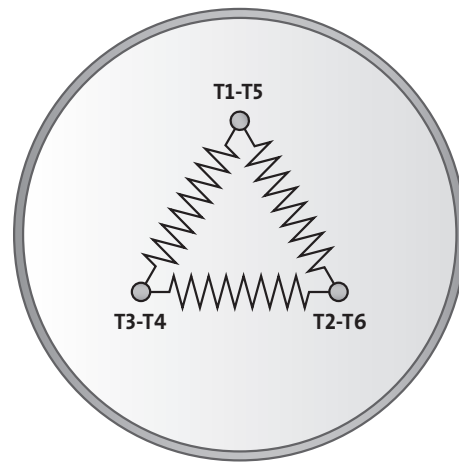


Figure 33. Moteur en mode triangle

### 5.4.3 Autotransformateur – AT

Avec cette méthode de démarrage, la tension est réduite par l'intermédiaire d'autotransformateurs. Ce principe est également appelé méthode Korndorf.

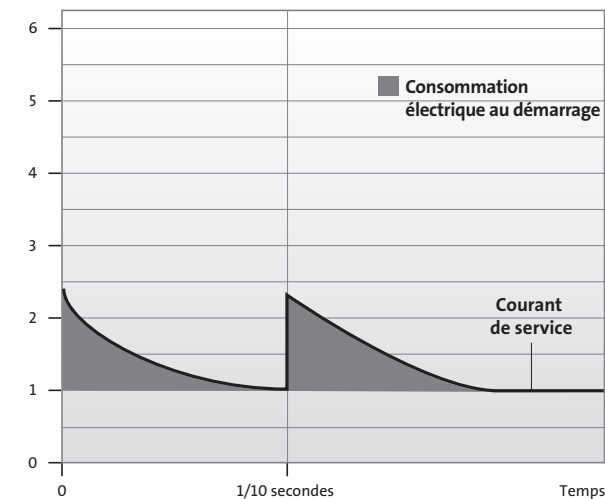


Figure 34 Variation du courant lors du démarrage par autotransformateur

Au moment du démarrage, le moteur est d'abord connecté à une tension réduite et ensuite à une tension pleine. Pendant la commutation, une partie du transformateur fait office de bobine à induction. Cela signifie que le moteur sera connecté au réseau tout le temps. Le moteur ne ralentira pas. La consommation électrique au démarrage est indiquée à la figure 34.

Les autotransformateurs sont relativement coûteux mais très fiables. Le courant à rotor bloqué dépend naturellement des caractéristiques du moteur ainsi que de la pompe et varie considérablement en fonction du modèle.

L'autotransformateur ne doit jamais être activé pendant plus de 3 secondes.

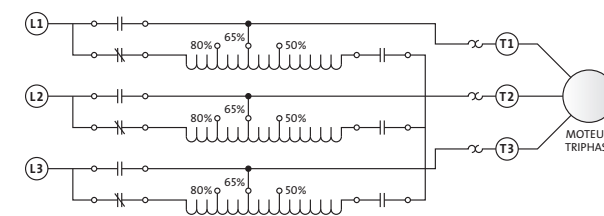


Figure 35 Schéma électrique d'un démarreur autotransformateur à tension réduite

### 5.4.4 Démarreur à résistance, RR

Avec cette méthode, le courant est réduit au moyen de résistances installées en série sur chaque phase du moteur. Leur fonction est d'augmenter la résistance lors du démarrage et donc de limiter le flux de courant à rotor bloqué. Un démarreur bien dimensionné permettra de réduire la tension de démarrage (sur les bornes du moteur) à environ 70 % de la tension de la ligne.

Le démarreur est arrêté à l'aide d'un contacteur commandé par une minuterie, ce qui signifie que la tension réduite est appliquée uniquement pendant le temps prédéfini et que le moteur est quant à lui alimenté en permanence.

Ne jamais laisser les résistances connectées pendant plus de 3 secondes car cela réduirait le couple de démarrage et augmenterait la température de l'enroulement.

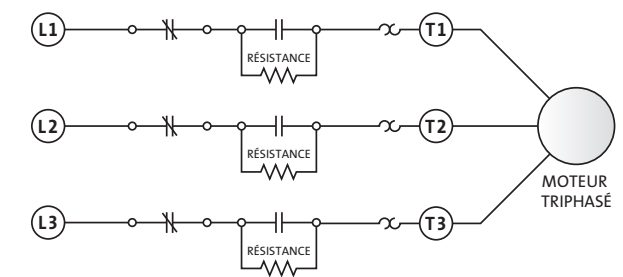


Figure 36. Schéma électrique d'un démarreur à résistance à tension réduite

### 5.4.5 Démarreur progressif – SS

Un démarreur progressif est une unité électronique servant à réduire la tension, et de ce fait également le courant à rotor bloqué, par l'intermédiaire de la commande d'angle de phase. L'unité électrique est constituée d'une section de commande où sont définis les différents paramètres de fonctionnement et de protection ainsi que d'une alimentation triode.

Le courant à rotor bloqué est généralement 2 à 3 fois inférieur au courant de service.

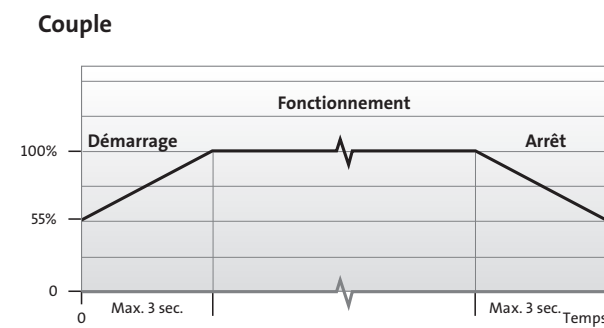


Figure 37 Temps de démarrage et d'arrêt recommandés, max. 3 sec.

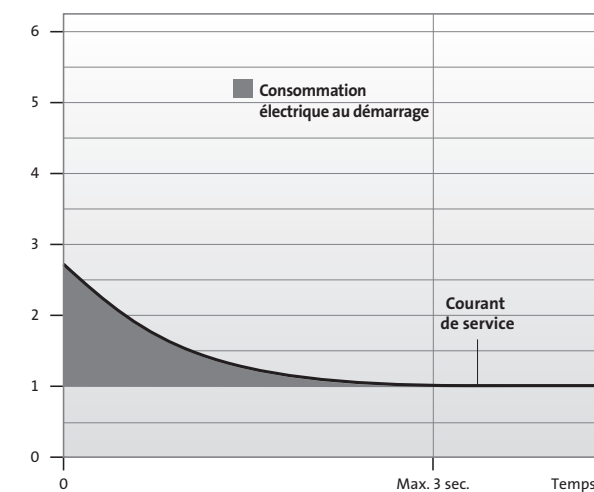


Figure 38 Variation du courant lors du démarrage progressif

Les autres éléments restant identiques, il en résulte également une réduction du couple de démarrage. Le démarrage progressif peut générer une augmentation de la chaleur au niveau du moteur et en réduire la durée de vie. Si les temps d'accélération/de décélération sont brefs (env. 3 secondes), cela ne revêt pas d'importance en pratique. Ce principe vaut également pour le démarrage étoile-triangle et le démarrage par autotransformateur.

Grundfos vous recommande donc de respecter les temps d'accélération/de décélération mentionnés dans la figure lorsque vous utilisez un démarreur progressif. Pour les pompes Grundfos, il ne s'avère généralement pas nécessaire d'utiliser une tension de démarrage supérieure à 55 %. Cependant, si un couple de démarrage particulièrement élevé est requis, la tension de démarrage peut être augmentée afin d'obtenir le couple souhaité.

Un démarreur progressif absorbera le courant non-sinusoïdal et générera un bruit de grille. Si les temps d'accélération/de décélération sont très courts, ceci n'aura pas d'importance en pratique et ne s'opposera pas aux réglementations concernant le bruit de grille.

Une nouvelle série/génération de démarreurs progressifs a été lancée sur le marché. Ceux-ci sont dotés d'une fonction rampe de démarrage progressive permettant de réduire encore plus le courant à rotor bloqué ou d'accroître les charges à inertie élevée. Si de tels démarreurs progressifs sont utilisés, les temps de rampe doivent être limités à trois secondes. En règle générale, Grundfos recommande toujours que le démarreur progressif soit associé à un contacteur de dérivation permettant d'alimenter le moteur en mode direct pendant le fonctionnement. Cette façon de faire permet de minimiser l'usure et la perte de puissance du démarreur progressif lors du fonctionnement.

Si d'autres temps de rampe sont requis, nous vous recommandons d'utiliser des convertisseurs de fréquence.

La lecture des températures des moteurs Grundfos équipés de capteurs de température est possible si le démarreur progressif est équipé d'un contacteur de dérivation.

Les démarreurs progressifs doivent uniquement être utilisés avec les moteurs immergés triphasés.

Le temps maximal de réduction de la tension doit être limité à 3 secondes.

#### 5.4.6 Convertisseurs de fréquence (entraînement à vitesse variable)

Les convertisseurs de fréquence sont les dispositifs idéaux pour commander la performance de la pompe. Ils permettent en effet de régler la vitesse du moteur en fonction du point de consigne requis, ce qui entraîne un meilleur rendement et un fonctionnement plus économique de la pompe. Il s'agit également d'un type de démarreur idéal, à la fois pour réduire le courant à rotor bloqué et les pics de pression.

**Remarque :** une fréquence faible entraîne un ralentissement de la vitesse de la roue et donc une réduction de la performance de la pompe.

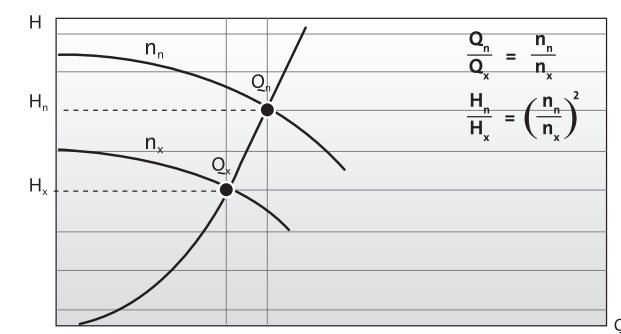


Figure 39 Performance de la pompe à différentes fréquences

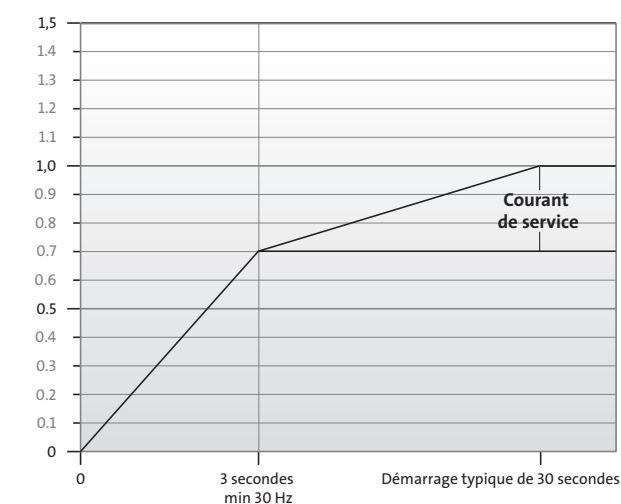


Figure 40 Variation du courant lors du démarrage à l'aide d'un convertisseur de fréquence

Les convertisseurs de fréquence sont les dispositifs les plus coûteux parmi les démarreurs susmentionnés. Ils seront principalement utilisés dans la cadre d'un fonctionnement à performance variable.

Il existe plusieurs types de convertisseurs de fréquence sur le marché, chacun possédant ses propres caractéristiques. En voici un bref aperçu :

- Le convertisseur de fréquence le plus simple est basé sur une courbe de fréquence de tension. Ce convertisseur est parfois appelé convertisseur U/f ou V/f. La tension de sortie réelle est calculée sur base de la fréquence, sans tenir compte de la charge réelle. Différentes courbes U/f ou V/f sont disponibles pour optimiser l'application réelle. Les pompes utiliseront généralement la courbe de couple variable. Ces convertisseurs de fréquence sont les moins coûteux du marché, ce qui les rend très populaires.

- Vient ensuite le convertisseur de fréquence à commande vectorielle. Ce convertisseur de fréquence utilise un modèle du moteur et calcule la tension de sortie sur la base de différents paramètres, dont la charge réelle. Il permet d'obtenir de meilleures performances en termes de commande de l'arbre moteur, notamment une plus grande précision pour min-1, un meilleur couple, etc. Ces entraînements sont plus chers que les entraînements U/f et sont généralement utilisés pour les installations industrielles. Cependant, ils sont également utilisés dans les systèmes instables. Une commande précise de l'arbre permet normalement d'éliminer les problèmes causés par une pompe instable. Les entraînements à commande vectorielle sont généralement plus performants ou dotés d'une fonction d'optimisation automatique de l'énergie.

La section de sortie d'un convertisseur de fréquence peut se présenter sous deux formes différentes : soit 6, soit 12 transistors.

On parle parfois aussi de convertisseur à 6 ou 12 impulsions. La solution la plus fréquente est le type à 6 transistors, vu qu'elle est la moins coûteuse et la plus simple pour créer un étage de sortie. Afin de réduire la contrainte exercée sur l'isolation du moteur et d'augmenter la performance de commande, une version à étage de sortie réalisée à partir de 12 transistor a été lancée sur le marché. Les modèles à 12 transistors sont généralement combinés à des commandes avancées basées sur des modèles de flux du moteur. Les principaux avantages offerts par la solution à 12 transistors incluent une commande améliorée à faibles vitesses et une réduction de la contrainte exercée sur le moteur. Les convertisseurs de fréquence à 12 impulsions se situent dans la gamme la plus chère des convertisseurs de fréquence.

Le facteur de sélection principal liant le convertisseur de fréquence et la pompe est l'ampérage de la charge pleine, incluant le facteur de surcharge. Le convertisseur de fréquence doit être sélectionné afin de pouvoir fournir le courant requis à tout moment. Par exemple, si un moteur requiert 9,7 A, le convertisseur de fréquence doit posséder un courant de sortie de 9,7 A ou plus.



5.5 FONCTIONNEMENT AVEC UN CONVERTISSEUR DE FRÉQUENCE

Plusieurs éléments sont à prendre en compte lorsque les convertisseurs de fréquence sont associés à des moteurs immergés. Certaines des conditions requises pour faire fonctionner des moteurs immergés avec des convertisseurs de fréquence sont énumérées ci-dessous.

1a. Le convertisseur de fréquence doit être équipé d'un filtre de sortie permettant de limiter les pointes de tension (U<sub>pointe</sub>) et de réduire la valeur dU/dt (ou dV/dt), qui génère des contraintes sur l'isolation du moteur immergé. La tension maximale (U<sub>pointe</sub>) doit être réduite à un niveau inférieur à 850 V (exception : MS 402) ; la valeur dU/dt doit également être limitée selon le tableau ci-après.

Tension de pointe max. et valeur dU / dt max pour les moteurs immergés Grundfos		
Séries de moteurs	Tension U <sub>pointe</sub> max.	Valeur dU / dt max.
MS402	650 V Phase - Phase	2 000 V / micro s.
MS4000	850 V Phase - Phase	2 000 V / micro s.
MS6/MS6000	850 V Phase - Phase	2 000 V / micro s.
MMS6/MMS6000	850 V Phase - Terre	500 V / micro s.
MMS8000	850 V Phase - Terre	500 V / micro s.
MMS10000	850 V Phase - Terre	500 V / micro s.
MMS12000	850 V Phase - Terre	500 V / micro s.

Les filtres de sortie typiques utilisés pour les convertisseurs de fréquence sont les filtres LC (également appelés filtres sinusoïdaux) ou les filtres RC. Les fournisseurs de convertisseurs de fréquence sont à même de fournir des informations concernant les valeurs U<sub>pointe</sub> et dU/dt des différents convertisseurs de fréquence de leurs gammes. Voir chapitre 5.6.

Normalement, l'utilisation de filtres est également obligatoire lorsque le convertisseur de fréquence est associé à de longs câbles moteurs.

Les valeurs U<sub>pointe</sub> et dU/dt doivent être mesurées au niveau des bornes du moteur.

Le tableau ci-dessus vous donne les valeurs dV/dt acceptables.

1b. Les convertisseurs de fréquence sont conçus pour être utilisés dans un environnement industriel. Si un convertisseur de fréquence est utilisé dans une zone résiden-

tielle, il pourrait s'avérer nécessaire d'installer une sorte de filtre d'entrée afin de prévenir les perturbations électriques du convertisseur de fréquence pouvant affecter les autres équipements électriques raccordés au même réseau. Il existe trois niveaux de filtres :

- Aucun filtre (uniquement à des fins industrielles, lorsque le filtrage s'effectue à un autre endroit)
- Filtres pour les installations industrielles
- Filtres pour les installations domestiques

La version pour les installations domestiques peut se présenter sous la forme d'un complément au filtre pour les installations industrielles ou d'une version autonome.

Il est obligatoire de se conformer aux exigences mentionnées dans les manuels des convertisseurs de fréquence afin de conserver le marquage CE du produit. En cas de non-respect, le marquage CE n'est plus autorisé.

2. Le débit le long du moteur doit être d'au moins 0,15 m/s. Le moteur doit être équipé d'une chemise de refroidissement si la pompe ne génère pas un débit suffisant.
3. La commande de moteurs immergés dans des systèmes ouverts à force ascensionnelle statique élevée n'entraînera qu'une faible modification de la consommation électrique. Cela signifie qu'une réduction de la performance de la pompe engendrera une plus grande production de chaleur au niveau du moteur. Dès lors, on pourra s'attendre à ce que la durée de vie du moteur soit réduite. En présence d'un convertisseur de fréquence, Grundfos recommande donc toujours l'utilisation d'un moteur avec capacité de réserve, c'est-à-dire un moteur industriel T60 ou un moteur standard déclassé.
4. Fréquence moteur :  
min. : 30 Hz  
max. : 60 Hz
5. L'utilisation d'un convertisseur de fréquence entraînera la désactivation du système Tempcon Grundfos des moteurs MS (un fusible déconnectera les composants électroniques du réseau - cette action est irréversible). **Il est impossible d'utiliser le MP204 dans les installations dotées de convertisseurs de fréquence.**

La température peut être surveillée au moyen de sondes (PT100 ou PT1000) fixées sur le moteur immergé (boulon d'ancrage traversant pour le MS, fixation directe dans le liquide moteur pour les MMS6 et MMS8000 et dans le

tube d'insertion pour les MS10000 et MMS12000). Le signal peut être lu par des relais de mesure standard ou directement par le convertisseur de fréquence. Il faudra prévoir un câblage supplémentaire.

**Si vous tenez compte des points évoqués précédemment, le moteur aura une durée de vie acceptable.**

Attention, les convertisseurs de fréquence externes entraînent une perte de puissance ainsi que des chocs de tension. Il en résulte :

- une génération de chaleur accrue au niveau du moteur par rapport à un fonctionnement direct
- une réduction du rendement moteur
- une augmentation de la consommation électrique du moteur

Pour ces raisons, nous recommandons l'utilisation d'un moteur industriel T6, celui-ci ayant été conçu pour compenser ces désagréments.

En ce qui concerne l'économie de fonctionnement, il faut prendre en compte les points suivants :

- Les commandes de fréquences des pompes immergées pour puits installées à des profondeurs importantes ne permettent pas de réaliser des économies sur le fonctionnement.
- Elles permettent cependant de réduire la taille des réservoirs et donc de l'espace requis.
- La commande par fréquences des pompes à eau brute permet de réduire les pics de pression dans les conduites et les variations du niveau d'eau dans le puits lors du démarrage et de l'arrêt de la pompe.

Lorsque certains éléments tels qu'une pression constante, un niveau d'eau dans le puits constant ou similaire sont requis, les convertisseurs de fréquence peuvent apporter différents niveaux d'amélioration. Un convertisseur de fréquence inclut une entrée et une sortie logiques. Il intègre généralement également une section de commande PID permettant de commander l'application. Dans de nombreux cas, tout équipement supplémentaire est superflu. De plus, l'utilisation d'un convertisseur de fréquence en tant que démarreur et élément du système de commande améliore les perspectives économiques globales.

Le contrôleur PID est utilisé à grande échelle dans les applications de commande. Les fabricants de convertisseurs de fréquence donnent généralement quelques conseils relatifs à une utilisation optimisée de cette fonction.



Figure 41 Famille CUE

Attention toutefois au fait qu'un contrôleur PID mal programmé peut entraîner une performance instable et une pression excessive au sein du système.

Le temps d'accélération à une fréquence minimale de 30 Hz ne doit pas être supérieur à 3 secondes.

5.6 COFFRET DE COMMANDE CUE POUR POMPES SP

Le CUE est un coffret de commande Grundfos doté d'une interface logique garantissant une configuration et un fonctionnement simples.

Il permet de commander la performance de la pompe en modifiant la fréquence. Vous pourrez ainsi programmer un démarrage et un arrêt en douceur de la pompe. Ce procédé minimise le risque de dommages au niveau de la tuyauterie. Il en résulte également une réduction des coups de bélier et une minimisation des coûts relatifs à l'achat de vannes ou d'autres dispositifs de réglage.

Un fonctionnement à moins de 30 Hz n'est autorisé que pendant une durée inférieure à trois secondes. Au-dessus de 30 Hz, il n'y a aucune limitation en termes de durée de fonctionnement. Cette règle doit toujours être respectée à

la fois pendant les séquences d'accélération et pendant les séquences de décélération.

La fréquence maximale est de 60 Hz.

La valeur de configuration du CUE est toujours exprimée en courant et non en kW vu que les moteurs immergés sont souvent différents des moteurs standards.

Fonctions

Le CUE vous permet de gérer les paramètres suivants :

- Pression constante
- Niveau constant
- Débit constant
- Température constante
- Courbe constante

Câble d'alimentation

Il n'existe pas de câble d'alimentation pour pompe immergée en version blindée. Un tel type de câble n'est pas requis selon les réglementations relatives à la compatibilité électromagnétique dans le cadre d'installations immergées.

Câble de réseau

Ce câble non blindé va de l'alimentation principale au CUE. Le câble reliant le CUE et le filtre est quant à lui blindé. Le câble allant du filtre au moteur de la pompe est généralement non blindé. Les deux exemples illustrent ces configurations.

Si le câble est utilisé en dehors du puits dans un environnement sec, ce dernier doit être de type blindé et un raccord pour câble doit être prévu sur le câble de la pompe immergée au niveau de la tête du puits. La figure 42 présente l'utilisation des câbles avec un CUE et un filtre. Dans le deuxième exemple, le boîtier de raccordement se situe au niveau de la tête du puits.

Pour plus d'informations, utilisez l'outil en ligne Grundfos Product Center disponible à l'adresse [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com).

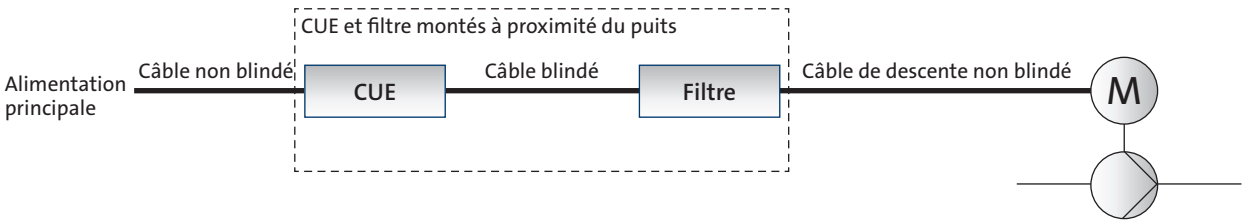
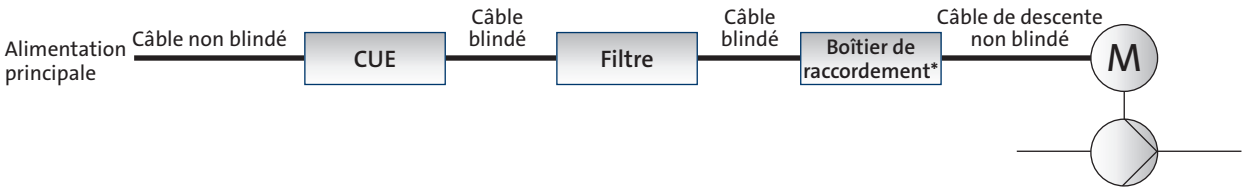


Figure 42 Pompe immergée sans boîtier de raccordement



\* Les deux extrémités du câble blindé allant du filtre au boîtier de raccordement doivent être connectées à la terre

Figure 43 Pompe immergée avec boîtier de raccordement et câble blindé

Sélection du filtre

La figure 44 montre comment sélectionner correctement le filtre en fonction de l'installation.

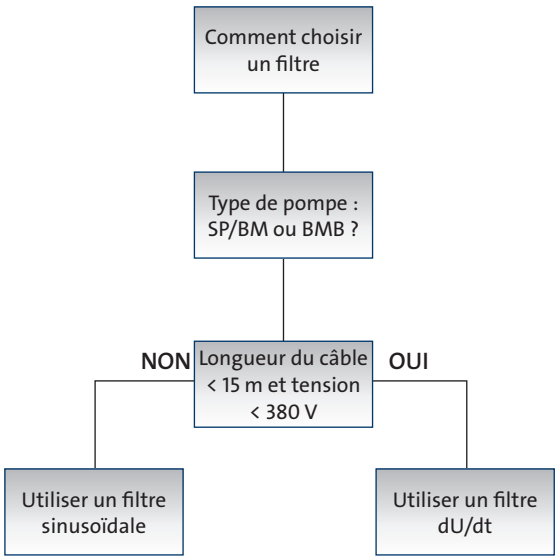


Figure 44 Directives de configuration

Le principal point commun entre les filtres dU/dt et les filtres sinusoïdaux est que les deux types de filtres intègrent des bobines et des condensateurs. Les valeurs des bobines et condensateurs sont cependant inférieures dans les filtres dU/dt par rapport aux filtres sinusoïdaux.

Grundfos propose une vaste gamme de filtres compatibles avec les CUE.

Directives de configuration

- Rampe (accélération et décélération) : maximum 3 secondes. Ce procédé permet de garantir la lubrification des paliers lisses en vue de limiter l'usure et d'empêcher l'enroulement de griller.
- Contrôle de la température grâce à une sonde PT100 (si nécessaire, utiliser un câble blindé).
- La chaleur détruit le moteur => faible résistance d'isolement => sensible aux pointes de tension.
- Recommandations concernant le moteur :
  - Modèles MS : utiliser un moteur d'une puissance supplémentaire de 10 % au point de consigne donné.
  - Modèles MMS : toujours utiliser des moteurs avec bobinage PE2 - PA.
- Ne pas oublier d'utiliser un filtre de sortie.
- Réduire les pointes de tension à maximum 800 V.
- Grundfos recommande l'utilisation d'un variateur de fréquence Danfoss associé à un filtre de sortie (sinusoïdale).
- Les câbles agissent tels des amplificateurs => mesure ou calcul des pics du moteur.
- Procéder au dimensionnement en fonction du courant et non de la puissance de sortie.
- Calculer la quantité de réfrigérant pour le tube du stator au point de consigne avec le débit le plus faible. Il faut tenir compte du débit minimal m/s le long du corps du stator.
- S'assurer que la pompe est utilisée dans la plage de la courbe de pompe prévue.
- Se focaliser sur la pression de refoulement et un NPSH suffisant car les vibrations détruiront le moteur.



## 6 ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

## 6.1 PRODUCTION D'ÉNERGIE

La partie suivante sera uniquement consacrée au courant alternatif (CA) vu qu'il s'agit de la source d'alimentation principale des moteurs asynchrones.

**Distribution**

Pour que l'énergie générée puisse être utilisée, elle doit être transmise de la centrale jusqu'au point de consommation. Le défi est de disposer d'une quantité d'énergie suffisante à l'endroit et au moment où la tâche doit être effectuée.

La manière la plus efficace pour transférer l'énergie d'une centrale vers le point de consommation est d'augmenter la tension tout en réduisant l'intensité. Cette procédure est nécessaire afin de réduire la perte d'énergie liée à la distribution. Ces pertes sont désignées par la formule  $I^2 \times R$  pertes, vu qu'elles sont équivalentes au carré du courant multiplié par la résistance des lignes électriques. Une fois l'énergie électrique arrivée à proximité de l'utilisateur, le service doit réduire le niveau d'énergie à la tension requise par la machine qui la consomme. Chaque changement de tension entraîne une perte d'énergie, même avec les transformateurs les plus performants.

## 6.2 TENSION

## 6.2.1 Déséquilibre de tension

Les moteurs immergés sont conçus pour être connectés aux lignes électriques à la tension et à la fréquence données.

Les déséquilibres de tension peuvent être réglés au niveau du tableau de réglage du transformateur et/ou du générateur. Le déséquilibre de tension doit être le plus faible possible, vu qu'il s'agit de la source principale de déséquilibre dans l'intensité. Ceci conduit à un dégagement de chaleur supplémentaire au niveau du moteur.

L'une des causes possibles d'un déséquilibre de tension est la distribution inégale des charges monophasées. Ces charges varient dans le temps. Il est donc difficile de prévenir le déséquilibre de tension en présence d'un fort taux de clients consommant du courant monophasé reliés au réseau.

L'utilisation de deux transformateurs monophasés dans les connexions en « étoile ouverte » n'est pas recommandée pour l'alimentation triphasée.

## 6.2.2 Surtension et sous-tension

Les lignes électriques doivent fournir une tension spécifique. À proximité du transformateur basse tension, on notera souvent une surtension de 3 à 5 %. Lors du chargement des lignes électriques, la résistance ohmique entraîne une chute de tension au moment des pics de consommation.

La plupart des lignes électriques sont dimensionnées de sorte qu'une sous-tension supérieure à -10 % ne soit occasionnée que moins d'une fois par an au point le plus bas. Cependant, de nombreux consommateurs doivent faire face à des périodes où les chutes de tension sont importantes.

Tout moteur souffrira du fait de ne pas être alimenté par la tension indiquée sur la plaque signalétique. Si la tension chute, le couple du moteur baisse, ce qui entraîne également une réduction de la vitesse du moteur en charge.

Il en résulte une chute du rendement et de la résistance à l'induction du moteur. Ceci fera augmenter la consommation électrique et entraînera une surchauffe au niveau du moteur.

Lorsqu'un moteur de pompe centrifuge à pleine charge subit une sous-tension de 10 %, la consommation électrique augmente d'environ 5 % et la température du moteur d'environ 20 %. Si la hausse de température dépasse la température maximale du matériau d'isolation entourant les enroulements, ces derniers subiront un court-circuit et le stator sera détruit. La température du liquide moteur qui se trouve à l'intérieur des moteurs immergés joue un rôle crucial dans la lubrification des paliers lisses.

La capacité de charge en fonction de la température est illustrée dans la figure ci-dessous.

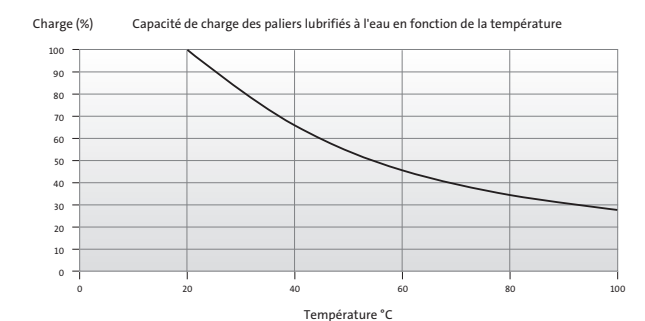


Figure 45 Graphique : capacité de charge des paliers lisses en fonction de la température du liquide moteur.

Cet aspect est crucial lorsque le moteur est installé dans un environnement chaud et que le refroidissement n'est pas optimal ou en présence simultanée d'une asymétrie de tension, d'une asymétrie de courant ou de tension transitoire.

Généralement, une augmentation de la température de l'enroulement provoquée par une sous-tension conduira à un vieillissement plus rapide de l'isolation et donc à une réduction de la durée de vie.

En cas de sous-tension du réseau, la consommation électrique et la génération de chaleur dans les enroulements du moteur augmenteront également.

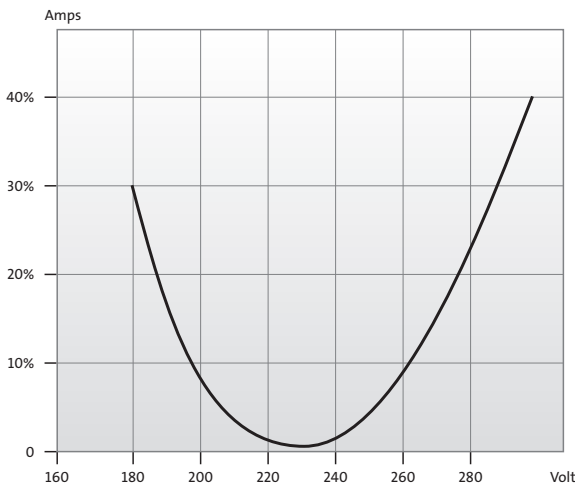


Figure 46 Variations de courant dues à des surtensions et des sous-tensions sur un moteur 230 V.

Conclusion

1. Pour les variations de tension entre +6/-10 % de la valeur nominale, mesurée au niveau des bornes du moteur, on peut s'attendre à une durée de vie normale si la consommation électrique est égale ou inférieure au courant nominal indiqué sur la plaque signalétique, si le refroidissement du moteur est suffisant et si aucun transitoire ou asymétrie ne se manifeste.
2. Pour les variations de tension brèves/périodiques supérieures à +6/-10 % par rapport à la valeur nominale, la réduction de la durée de vie sera modérée jusqu'à ce que les variations de sous-tension/surtension soient assez importantes pour court-circuiter les enroulements du stator.
3. En cas de variations permanentes ou de longue durée dépassant +6/-10 %, le moteur doit être déclassé ou il faut opter pour un moteur Grundfos surdimensionné afin de bénéficier d'une durée de vie et d'un rendement acceptables. Grundfos recommande toujours l'utilisation d'un dispositif électronique de protection moteur MP 204 pour la régulation de la température du moteur.

Il est habituel de déclasser un moteur standard lorsqu'une surtension ou sous-tension supérieure à +6/-10 % peut être attendue au niveau de l'entrée du câble moteur. Les moteurs monophasés requerront fréquemment une adaptation du condensateur lorsqu'ils sont exposés à une alimentation basse tension.

6.3 FRÉQUENCE

La fréquence doit toujours être maintenue à la valeur nominale. Si la fréquence est plus élevée, le fonctionnement de la pompe peut entraîner une surcharge du moteur. Si la fréquence est plus faible, la performance de la pompe chutera.

6.4 ENTRAÎNEMENTS À FRÉQUENCE VARIABLE

Afin d'assurer une distribution électrique rationnelle, les fournisseurs d'électricité se sont mis d'accord pour utiliser la même fréquence. Ceci permet une connexion directe à différents réseaux, à condition que la fréquence et la séquence soient identiques. De nos jours, les fréquences dominantes dans le monde sont 60 Hz et 50 Hz.

La fréquence détermine la vitesse d'un moteur asynchrone. Malheureusement, il est très difficile de calculer précisément la vitesse d'un moteur asynchrone. Elle est déterminée par la vitesse d'un moteur synchrone dont on déduit le glissement.

Le glissement est défini comme la différence de vitesse entre le rotor et le champ du stator. Le glissement est le produit du couple résultant. Ceci signifie que plus la charge (couple) est élevée, plus le glissement est élevé. En d'autres termes, le glissement d'un moteur asynchrone dépend de la charge.

La vitesse synchrone peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

Ns = vitesse du champ magnétique rotatif  
120 = constante  
f = fréquence  
P = nombre de pôles

Les entraînements à fréquence variable (EFV) sont utilisés pour créer un nouveau « réseau » local dont la fréquence est différente de celle fournie par le fournisseur d'électricité. Ceci permet de réguler la fréquence et la vitesse du moteur (et de la pompe).

Les entraînements à fréquence variable modernes offrent une plage de réglage de 0 à 400 Hz (voire plus). Attention, n'oubliez pas que plus la vitesse augmente, plus la charge augmente également, ce qui peut conduire à un risque de surcharge si le moteur n'est pas dimensionné correctement.

Un autre point important dont il faut se rappeler est que l'entraînement à fréquence variable ne doit pas être utilisé pour augmenter la tension. Lorsque vous réglez la tension, le rapport fréquence/tension doit rester constant.

Exemple pratique :

Réseau = 400 V, 50 Hz  
Afin de bénéficier d'une plage de réglage plus importante, vous décidez de dimensionner la pompe pour un fonctionnement à une fréquence de 60 Hz. Il en résulte une plage de réglage recommandée de 30 à 60 Hz. Vu qu'il vous est interdit d'augmenter la tension, vous devez opter pour un moteur adapté à un fonctionnement à 400 V, 60 Hz.

Filtres :

Les entraînements à fréquence variable sont basés sur une technologie qui allume et coupe la tension. Cela signifie que la sortie produite par un entraînement à fréquence variable n'aura que partiellement la forme d'une courbe sinusoïdale. Il en résulte un bruit du côté primaire et du côté secondaire de l'entraînement à fréquence variable. Le côté primaire est régulé par les autorités et/ou les compagnies et requiert des solutions de filtrage RFI (antiparasitage). Du côté sortie, la solution consiste à adapter la longueur, le type, la taille et l'endroit où les câbles sont placés dans l'installation. Les câbles longs augmentent le risque d'apparition de pointes de tension élevées, ce qui aurait pour effet d'entraîner une détérioration du système d'isolement du moteur immergé.

Grundfos recommande l'utilisation de filtres de sortie du côté secondaire de tous les entraînements à fréquence variable. Si le fournisseur d'un EFV avec une configuration de câble donnée garantit que l'Upointe d'un moteur donné ne sera pas dépassée au niveau des bornes du moteur, cette solution peut être acceptée. Voir le tableau page 42.

Courant :

Le dimensionnement des entraînements à fréquence variable se fait à l'aide de la valeur de courant du moteur. De plus, un moteur immergé possède des valeurs de courant plus élevées qu'un moteur de surface à la puissance de sortie similaire.

6.5 CONNEXION AU RÉSEAU

Avant de se connecter au réseau, il faut en connaître les caractéristiques : Quelle est la qualité du réseau, quel est le type de terre utilisé et quel est le niveau de protection contre les pics de tension et la foudre ?

- Quelle sera la tension fournie et avec quelles tolérances ?
- Quelle sera la fréquence fournie et avec quelles tolérances ?
- Quelle est la puissance disponible ?
- À quelle fréquence peut-on s'attendre à des perturbations du réseau ?
- Un transformateur dédié est-il prévu ou utilisera-t-on un transformateur commun ? En cas d'utilisation d'un transformateur commun, il faut se renseigner sur la manière dont l'équilibre de la charge du réseau est assurée (uniquement pour les moteurs triphasés).

L'alimentation du moteur via le réseau est généralement définie par le terme « alimentation réseau ». L'alimentation réseau est la ligne électrique qui fournit la tension nécessaire aux machines. En ce qui concerne la qualité du réseau, on distingue le réseau « rigide » et le réseau « souple ».

Une tension de réseau donnée est transformée en une tension nette adaptée au moyen d'un transformateur. La manière la moins coûteuse de transformer une tension de réseau donnée en une tension nette adaptée consiste à utiliser un autotransformateur. Attention, ce procédé n'est pas autorisé dans tous les pays.

Afin de protéger le moteur immergé, vous avez besoin d'un équipement capable d'isoler le moteur de l'alimentation réseau en cas de problème. Grundfos recommande l'utilisation du dispositif électronique de protection moteur MP 204.



6.6 ASYMÉTRIE DE COURANT

La présence d'une faible asymétrie de courant permet à la fois de garantir que le moteur fournira le meilleur rendement possible et qu'il bénéficie de sa durée de vie maximale. C'est pourquoi il est important que toutes les phases présentent la même charge. Avant de procéder à la mesure, il faut vérifier que le sens de rotation de la pompe est correct, c'est-à-dire qu'elle tourne dans le sens qui offre la meilleure performance. Le sens de rotation peut être modifié en inversant 2 phases. L'asymétrie de courant ne devrait pas dépasser 5 %. En présence d'un MP 204, une valeur de 10 % est acceptable. Cette valeur est calculée au moyen des deux formules suivantes :

$$I (\%) = \left( \frac{I_{\text{phase max.}} - I_{\text{moyenne}}}{I_{\text{moyenne}}} \right) \times 100 [\%]$$

$$I (\%) = \left( \frac{I_{\text{phase}} - I_{\text{moyenne min.}}}{I_{\text{moyenne}}} \right) \times 100 [\%]$$

La valeur maximale désigne l'asymétrie de courant. Le courant doit être mesuré sur les 3 phases, comme illustré ci-dessous. La meilleure connexion est celle présentant l'asymétrie de courant la plus faible. Afin de ne pas modifier le sens de rotation lors du changement du branchement, les phases doivent toujours être déplacées comme illustré. Le MP 204 offre non seulement une protection contre une asymétrie de courant trop élevée, mais permet également la lecture des valeurs réelles s'il est associé au R100 ou Grundfos GO (voir page 81). Ce procédé facilite la recherche de la connexion optimale.

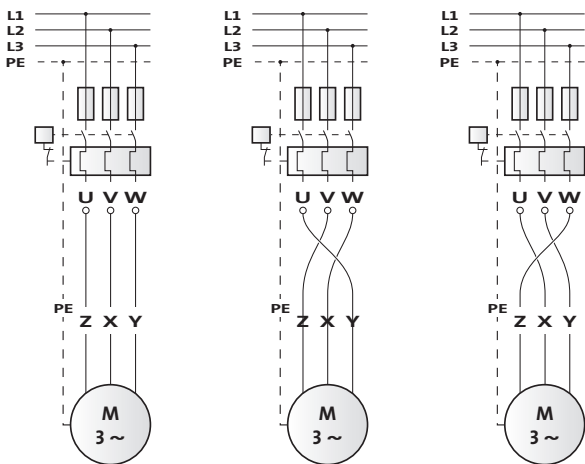


Figure 47 Connexion optimale

Exemple

Voir le graphique de la figure 45 et le tableau ci-dessous.

Étape 1	Connexion 1 UZ 31 A VX 26 A WY 28 A Total 85 A	Connexion 2 Z 30 A X 26 A Y 29 A Total 85 A	Connexion 3 Z 29 A X 27 A Y 29 A Total 85 A
Étape 2	Courant moyen : $\frac{\text{Courant total}}{3 \times 3} = \frac{85 + 85 + 85}{3 \times 3} = 28,3 \text{ A}$		
Étape 3	Différence d'ampérage max. avec la moyenne : Connexion 1 = 31 - 28,3 = 2,7 A Connexion 2 = 28,3 - 26 = 2,3 A Connexion 3 = 28,3 - 27 = 1,3 A		
Étape 4	% déséquilibre : Connexion 1 = 9,5 % - pas bon Connexion 2 = 8,1 % - pas bon Connexion 3 = 4,6 % - OK		
Étape 5	Si le déséquilibre de courant est supérieur à 5 %, il faut contacter le fournisseur d'électricité. Une autre alternative consiste en l'utilisation d'un moteur déclassé ou industriel protégé par un MP 204. La valeur réelle de l'asymétrie de courant s'affichera sur le contrôleur à distance. Un déséquilibre d'intensité de 5 % correspond à un déséquilibre de tension de 1 à 2 %.		

Un faible déséquilibre de tension entraînera un déséquilibre de courant important. Ce déséquilibre provoque à son tour une distribution irrégulière de la chaleur dans les enroulements du stator ce qui conduit à des points chauds et une surchauffe locale. Les principaux résultats sont illustrés dans le graphique ci-dessous.

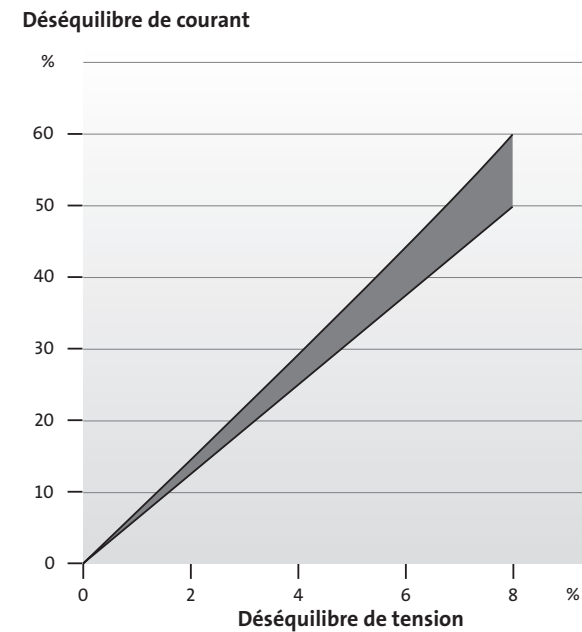


Figure 48 Rapport entre la tension et le déséquilibre de courant

Augmentation de la température de l'enroulement dans la phase la plus chaude

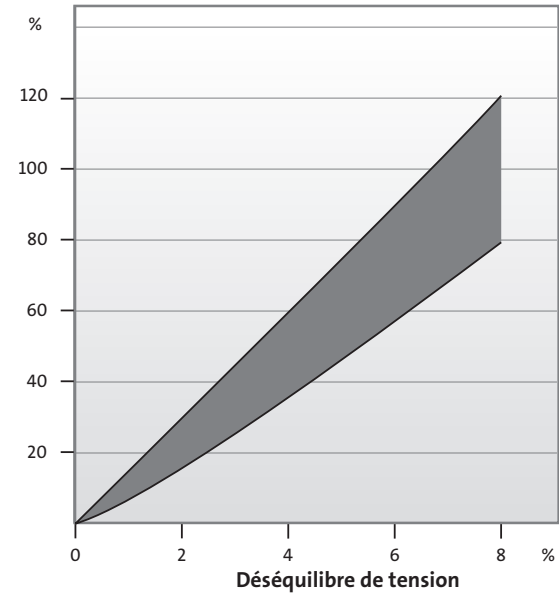


Figure 49 Rapport entre le déséquilibre de tension et la température

Un déséquilibre de courant peut être provoqué par le positionnement des câbles immergés. Aucun problème ne devrait se poser avec des câbles gainés. Si un câble unipolaire est utilisé, il est recommandé d'installer les conducteurs triphasés d'un côté de la colonne montante et de placer le câble de terre du côté opposé.

Tensions transitoires / foudre

Les lignes électriques doivent générer des ondes sinusoïdales sur les 3 phases. Les ondes sinusoïdales créées au niveau de la centrale électrique s'ajoutent aux transitoires du système de distribution.

Sources des transitoires :

1. Convertisseurs de fréquence sans filtres
2. Démarreurs progressifs
3. Contacteurs pour la commutation de grandes machines
4. Condensateurs pour les machines de process
5. Foudre

1. **Convertisseurs de fréquence sans filtres**  
Les convertisseurs de fréquence modernes dotés d'un filtre de sortie peuvent être protégés afin de ne pas entraîner de pics de tension supérieurs à 850 V à condition que la longueur des câbles entre le convertisseur de fréquence et le moteur ne soit pas supérieure à 100 m. Cette solution est parfaitement acceptable et tout moteur

Grundfos présentant une puissance nominale et une capacité de refroidissement correctes bénéficiera d'une durée de vie acceptable. Les convertisseurs de fréquence de type PWM (modulation de largeur d'impulsions) sans filtre LC ou RC génèrent une puissance de sortie qui diffère fortement de la courbe sinusoïdale idéale, avec des transitoires de 600 V sur le réseau 400 V et une valeur dU/dt : 2 000-2 400 V/us, mesurée sur une longueur de câble de 1 m et indépendamment de la marque. Ces transitoires augmenteront si la longueur du câble entre le convertisseur de fréquence et le moteur augmente. A 200 m par exemple, les transitoires seront doublés au niveau de la prise du câble moteur, c'est-à-dire que U<sub>pointe</sub> équivaldra à 1 200 V et dU/dt : 1 200 V/us (réseau 400 V). Le moteur verra alors sa durée de vie réduite. C'est pourquoi les convertisseurs de fréquence doivent au moins intégrer un filtre RC afin de garantir une durée de vie optimale du moteur.

2. La connexion d'un **démarreur progressif** absorbera le courant non-sinusoïdal et générera un bruit de grille. Si les temps d'accélération/de décélération sont très courts, ceci n'aura pas d'importance en pratique et ne s'opposera pas aux réglementations concernant le bruit de grille. Si le temps de démarrage est supérieur à trois secondes, les transitoires non sinusoïdaux entraîneront une surchauffe des enroulements du moteur, ce qui affectera la durée de vie du moteur.
3. Les **grandes machines** à démarrage direct ou étoile-triangle peuvent générer des étincelles et renvoyer d'importants transitoires vers le réseau au moment de l'ouverture des contacteurs. Ces pics de courant peuvent endommager le moteur immergé.
4. La compensation de phase peut impliquer des commandes compliquées en raison du nombre et de la taille des **condensateurs** qui renvoient des pics de courant vers le réseau. Les pics de courant peuvent être nuisibles pour les moteurs immergés.
5. Un impact de **foudre** important sur l'installation du puits, le démarreur ou l'alimentation électrique entraînera généralement la destruction de tous les organismes vivants et des installations électriques. Les transitoires résultant d'un tel impact seront au moins de 20-100 kV et la génération de chaleur sera suffisante pour faire fondre les matériaux d'isolation. Un impact de foudre sur le réseau générera des transitoires qui seront partiellement bloqués par les parafoudres du réseau. Un parafoudre sert à conduire les surtensions vers la terre.



Si un réseau basse tension est touché par la foudre, il existe un risque de génération de transitoires supérieurs à 10-20 kV au niveau du démarreur du moteur de la pompe. Si le démarreur et le moteur ne sont pas correctement protégés par des dispositifs parafoudres et de mise à la terre, l'installation peut subir des dommages vu qu'elle se trouve dans des eaux souterraines conductrices d'électricité, la meilleure mise à la terre qui soit.

Les dommages aux moteurs immergés dus à la foudre peuvent être imputables aussi bien à l'alimentation électrique des câbles aériens qu'à celle des câbles immergés. Dans les régions fréquemment touchées par la foudre, la meilleure protection du démarreur et du moteur immergé reste l'installation de parafoudres sur le circuit secondaire, côté panneau de l'interrupteur principal du démarreur, et de les connecter à des tiges de terre ou si possible à la colonne montante si le puits est fabriqué en acier.

Au niveau du forage, les parafoudres doivent être installés du côté sortie de l'interrupteur de révision mis à la terre au niveau de la conduite verticale et du cuvelage du puits, si ce dernier est en acier. Pour les installations profondes, des parafoudres peuvent également être fixés sur le câble moteur vu que les transitoires doublent la tension d'un câble de descente de 200 m. Généralement, les parafoudres sont installés de sorte que leur fonctionnement puisse être contrôlé périodiquement au moyen d'un mégohmmètre étant donné qu'ils s'usent lorsqu'ils sont exposés à des impacts de foudre importants. Si l'alimentation électrique est perturbée par d'importants transitoires dus à la foudre, il sera nécessaire de contacter le fournisseur d'électricité afin qu'il teste les parafoudres installés au niveau de leur transformateur.

Quand un système a subi un impact de foudre, il est impératif de tester soigneusement tous les composants du boîtier de démarrage. Une phase du contacteur pourrait avoir brûlé, ce qui entraînerait un déséquilibre de la tension et du courant au niveau des bornes du moteur. Plusieurs phases du contacteur ou du relais thermique peuvent également avoir brûlé, ce qui provoquerait à la fois une sous-tension et un déséquilibre. Le relais thermique peut avoir brûlé, ce qui l'empêcherait de se déclencher. Les enroulements du moteur ne sont alors plus protégés. Seuls quelques moteurs touchés par la foudre sont détruits par l'impact en lui-même. Les autres sont endommagés par des effets secondaires. Les moteurs immergés Grundfos de type MS 402 possèdent un niveau d'isolement pouvant atteindre 15 kV.

## INSTALLATION ET FONCTIONNEMENT

## 7.1 PUIITS ET CONDITIONS

Un puits est un trou qui s'étend de la surface de la terre jusqu'à l'aquifère où se trouvent les eaux souterraines. La profondeur du puits peut varier de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres.

Les puits sont généralement forés au moyen d'un équipement de forage spécial, capable de pénétrer les différentes couches du sol, telles que le sable, l'argile, le soubassement rocheux, etc. À l'intérieur du trou, on place un cuvelage (tuyau) qui prévient l'effondrement du puits autour de la pompe.

Sous le cuvelage, à hauteur de l'aquifère, on trouve un tube perforé. Il s'agit de la crépine du puits, les perforations permettant à l'eau de pénétrer dans le puits tout en retenant le sable et les particules de grande taille. Voir figure 50.

Afin d'améliorer la fonction de filtration, le trou de forage présente en général un diamètre 2 à 3" (5,1 à 7,6 cm) supérieur au cuvelage. Un filtre à sable/gravier fin est installé entre le cuvelage et la nappe souterraine, comme illustré à la figure 45. Certains tubes perforés sont fournis avec un filtre à sable/gravier intégré. Installé correctement, ce dispositif de filtrage empêche le sable et la vase d'entrer dans le puits.

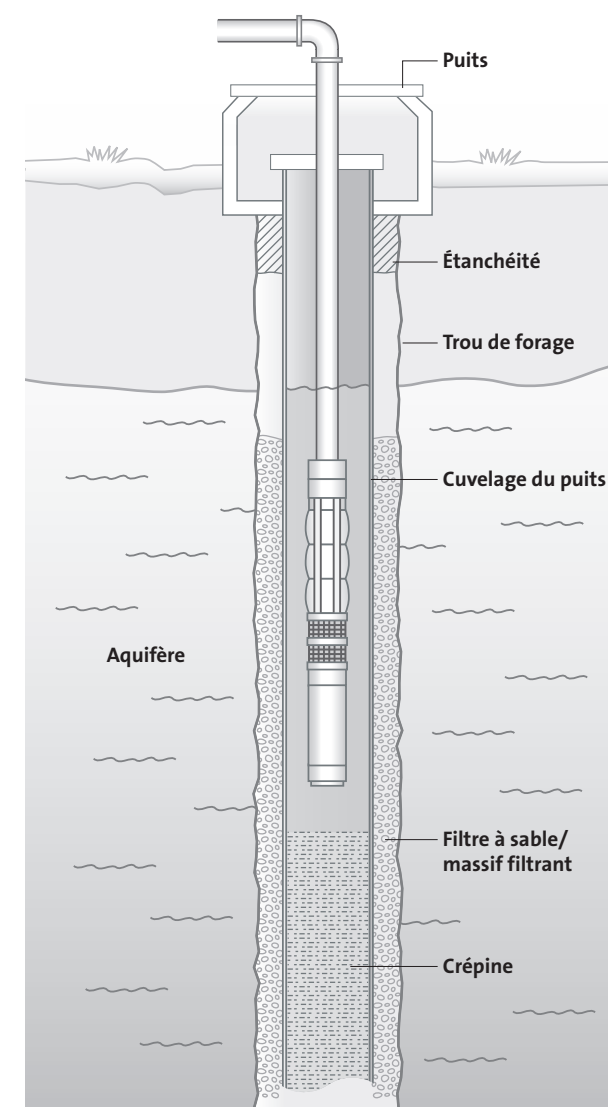


Figure 50 Éléments typiques d'un puits d'eau souterraine

Les recommandations en termes de teneur en sable varient en fonction des pays.

L'association américaine des eaux souterraines (NGWA) recommande les limites de sable suivantes dans l'eau de puits :

1. 10 mg/l dans l'eau utilisée dans l'industrie alimentaire et des boissons.
2. 50 mg/l dans l'eau utilisée pour les domiciles privés, les institutions et les industries.
3. 10 mg/l dans l'eau utilisée pour l'irrigation par aspersion, les systèmes de refroidissement industriels par évaporation et les autres installations dans lesquelles une teneur modérée en solide ne représente pas de risque particulier.
4. 15 mg/l dans l'eau utilisée pour l'irrigation par submersion.



Si la teneur en sable dépasse les 15 mg/l, la quantité de matériau pompée dans le puits sera importante, ce qui pourrait entraîner l'effondrement de l'aquifère et des strates et donc réduire la durée de vie du puits.

En fonction du type de pompe choisi, Grundfos autorise une teneur en sable variant entre 50 mg/l et 150 mg/l. Si la teneur en sable est de 50 mg/l, le rendement et la durée de vie de la pompe resteront dans les limites acceptables : jusqu'à 25 000/35 000 heures de fonctionnement, c'est-à-dire une utilisation pendant 8 heures par jour sur une durée d'environ 4 ans.

Si la teneur en sable de l'eau du puits est supérieure à 50 mg/l, une pompe et un moteur spécial sont disponibles sur demande.

Avant de pouvoir mettre le puits en service, il faut procéder à son développement. Au début, un nouveau puits produit toujours du sable et de la vase. Le développement d'un puits est le processus par lequel on pompe le sable et la vase contenus dans un nouveau puits. Pour ce faire, on fait tourner la pompe à un débit très élevé, ce qui attire les fines particules contenues dans l'aquifère dans le filtre du puits. La performance du filtre augmente petit à petit. Après environ un jour de pompage, le puits est généralement propre et prêt à être mis en service.

La pompe utilisée pour le développement du puits s'use très vite en raison de la forte teneur en sable et il est de ce fait recommandé de la remplacer par une nouvelle pompe dès que le puits ne produit plus de sable.

La pompe doit toujours être installée au-dessus du filtre du cuvelage. Cette manière de procéder permet de garantir que l'eau passe toujours le long du moteur et en assure donc un refroidissement adapté. S'il est impossible d'installer la pompe au-dessus de la crépine, nous recommandons l'installation d'une chemise de refroidissement qui générera le débit nécessaire pour assurer le refroidissement du moteur. Voir chapitre 10.

## 7.2 RÉGLAGE DE POMPE

Le réglage de pompe correspond à la profondeur à laquelle la pompe est installée sous le niveau du sol. La pompe doit pouvoir relever l'eau de l'aquifère jusqu'à la surface tout en fournissant une pression minimale définie.

Lors de l'installation de la pompe, la baisse du niveau d'eau et le niveau dynamique de l'eau doivent toujours être connus. Pendant le fonctionnement, le niveau d'eau ne doit jamais se trouver sous l'entrée de la pompe. Le risque de cavitation est normalement fortement réduit avec les pompes immergées. Cependant, la NPSH d'une pompe spécifique au point de consigne donné doit toujours être contrôlée.

Profondeur d'immersion minimale de l'entrée de la pompe en mètres :  $NPSH (m) - 10 (m)$ .

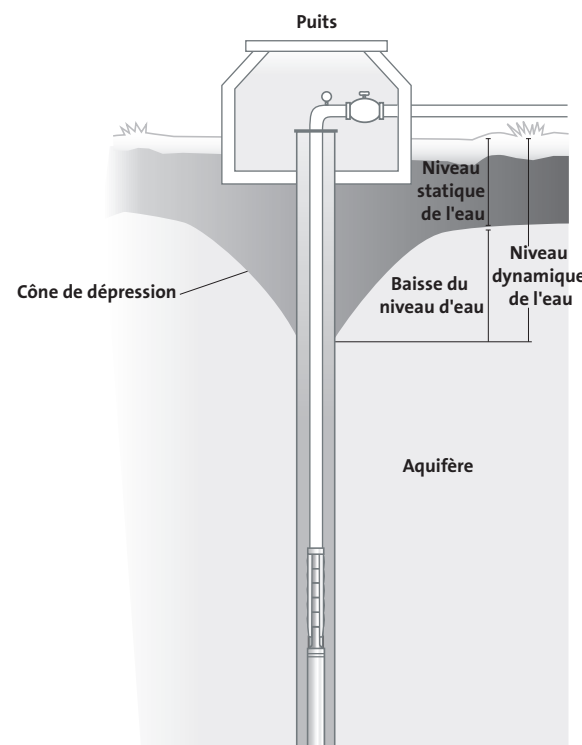


Figure 51 Niveaux statique et dynamique de l'eau

## 7.3 SÉLECTION DE LA POMPE ET DU MOTEUR

Référez-vous au chapitre 4 pour le dimensionnement et la sélection des pompes immergées.

### 7.3.1 Point de consigne

Le point de consigne de la pompe correspond au débit auquel le rendement est le meilleur. La pompe doit être sélectionnée de sorte que le débit souhaité soit aussi proche que possible du point de consigne ou légèrement à droite du point de consigne.

### 7.3.2 Diamètre du puits

En général, plus le diamètre de la pompe est important, plus le rendement est élevé.

Cependant, la pompe doit pouvoir être introduite dans le puits et il faut toujours respecter un dégagement minimal entre la surface du moteur et le diamètre interne du puits.

Dans un puits correctement conçu, c'est-à-dire lorsque la crépine se trouve sous la pompe et le moteur, l'eau doit passer dans le dégagement entre le cuvelage et le moteur. Ceci entraînera une perte de charge.

Si en même temps, le moteur est positionné de façon excentrée dans le puits avec un côté touchant le cuvelage, l'entrée d'eau d'un seul côté de la pompe générera des turbulences, ce qui affectera la performance de la pompe.

La figure 52 montre la perte de charge pour un dégagement de 4 à 16 mm dans un puits de 6" (15,2 cm) et la figure 53 une situation identique mais dans un puits de 8" (20,3 cm).

Les turbulences et la perte de charge entraîneront une sous-performance de la pompe, qui peut, dans certaines situations, s'avérer extrême.

Dans les puits où la crépine se trouve au-dessus de la pompe, l'eau doit passer par le dégagement entre la pompe et le cuvelage, ce qui entraîne une perte de charge.

Si en même temps, la pompe est positionnée de façon excentrée contre le cuvelage, cela réduira le débit entrant à la moitié du connecteur d'aspiration. Le chemin en U suivi par l'eau d'entrée créera une turbulence qui affectera le fonctionnement de la pompe.

La figure 54 présente la turbulence/perte de charge la plus défavorable des pompes 6" dans les puits 6" (15,2 cm) de différents diamètres.

La figure 55 présente la turbulence/perte de charge la plus défavorable des pompes 8" dans les puits 8" (20,3 cm) de différents diamètres.

Les turbulences et les pertes de charge sont considérées comme une sous-performance de la pompe.

### 7.3.3 Rendement du puits

De nombreuses pompes sont en mesure d'effectuer un surpompage du puits, c'est-à-dire de l'assécher en un laps de temps très court. La pompe doit être sélectionnée en tenant compte de la capacité du puits de façon à prévenir tout surpompage. Nous recommandons par conséquent de surveiller le niveau de la nappe phréatique.

Un surpompage peut entraîner différents problèmes :

- Marche à sec et endommagement de la pompe
- Infiltration d'eau non potable, c'est-à-dire d'eau de mer
- Réactions chimiques à l'intérieur du puits lorsque l'oxygène entre en contact avec l'aquifère asséché

Une baisse excessive du niveau d'eau entraîne également une augmentation de la consommation électrique vu qu'il faut compenser la hauteur de refoulement supplémentaire.

### 7.3.4 Rendement de la pompe

Le rendement maximal des pompes se limite généralement à une plage de débit très restreinte. C'est sur la base de cette plage qu'est normalement sélectionnée la pompe. Une pompe Grundfos SP46 offrira généralement le meilleur rendement à un débit d'environ 46 m³/h et une pompe SP60 à environ 60 m³/h. Il en va de même pour toutes les autres pompes SP.

Si le débit requis se situe juste entre deux modèles, c'est-à-dire 66 m³/h, les pompes SP60 et SP77 pourront être utilisées et offriront le même rendement. Certains critères entrent en jeu :

- Le diamètre du puits (voir chapitre 7.3.2)
- Le rendement du puits (voir chapitre 7.3.3)
- La capacité de réserve

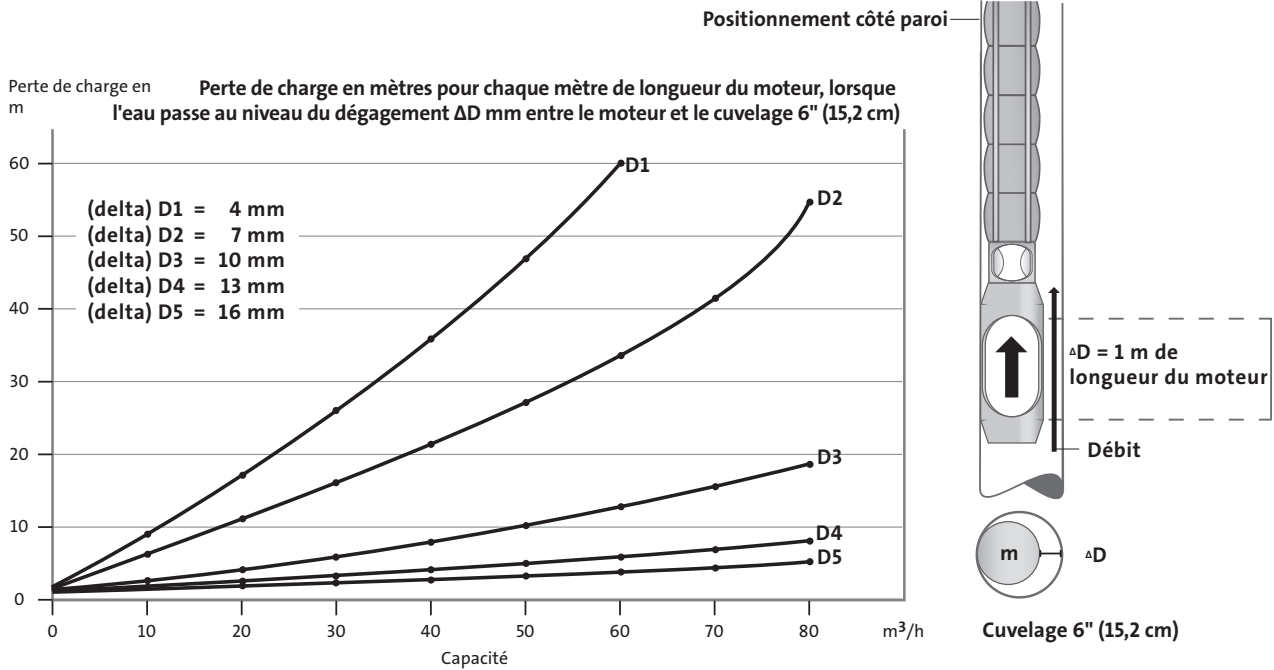


Figure 52 Perte de charge, 6" (15,2 cm)

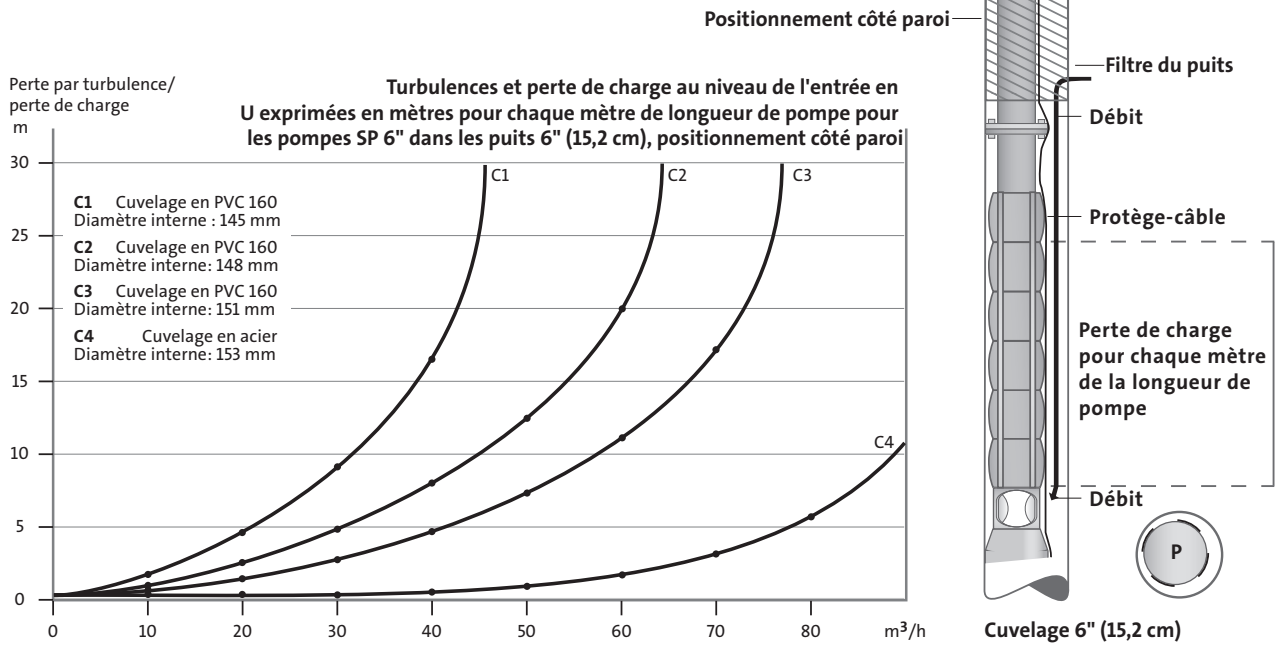


Figure 54 Entrée en U, 6" (15,2 cm)

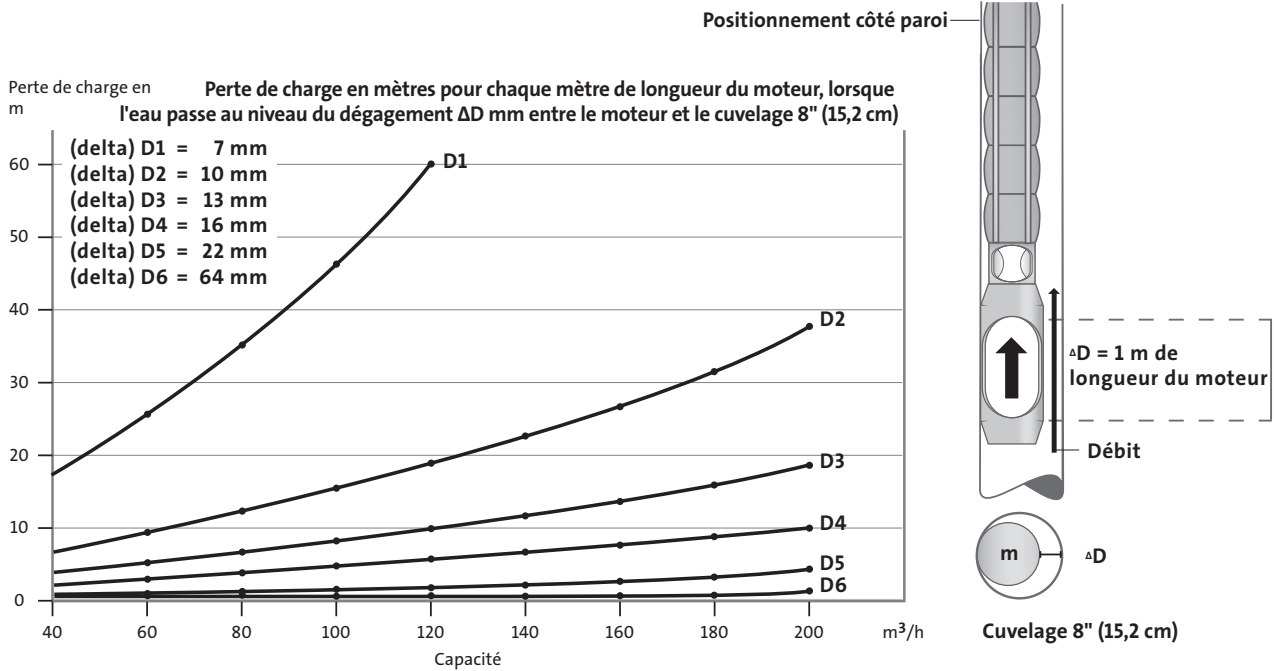


Figure 53 Perte de charge, 8" (20,3 cm)

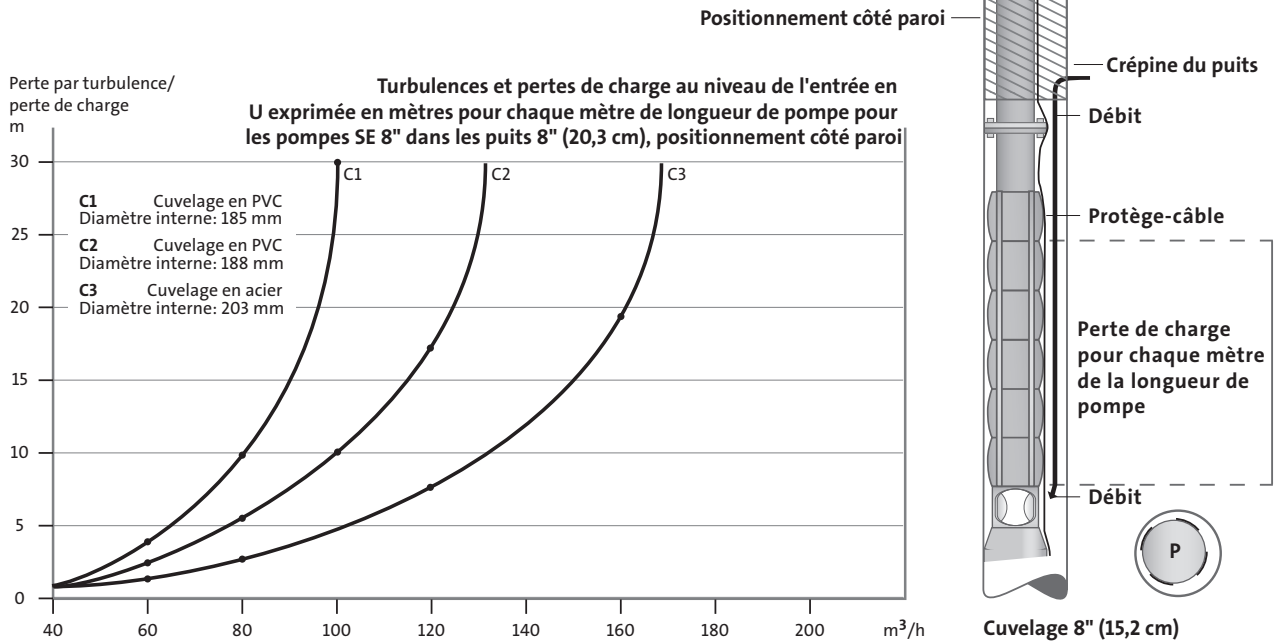


Figure 55 Entrée en U, 8" (20,3 cm)

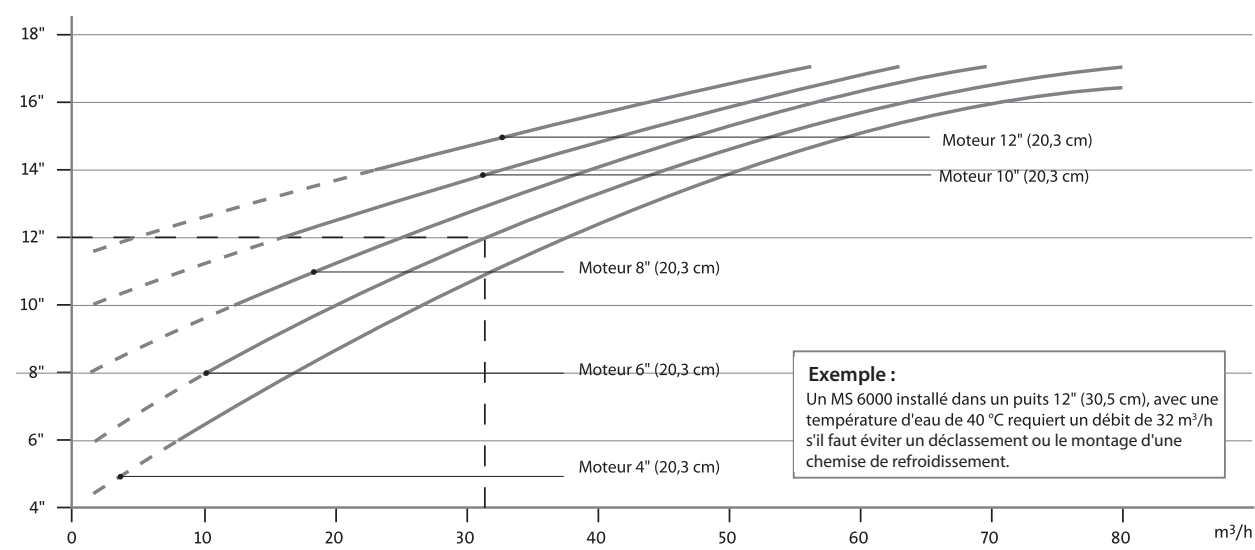


Figure 56 Température de l'eau de refroidissement à charge complète max.

### 7.3.5 Température de l'eau

Les facteurs limitant la température de l'eau sont le moteur immergé et le refroidissement du moteur. Le refroidissement est la clé pour assurer une longue durée de vie au moteur.

Les moteurs immergés installés dans une eau à la température autorisée maximale doivent être refroidis à un débit d'au moins 0,15 m/s afin de garantir un flux tubulaire. Pour maintenir la vitesse, le débit de la pompe ne doit pas tomber sous une valeur minimale définie. Voir figure 56.

Dans les puits d'un diamètre plus important, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un manchon d'écoulement pour augmenter le débit le long du moteur à minimum 0,15 m/s. Voir également le chapitre 10.

Sur le graphique, on part du principe que le moteur est positionné au-dessus de la crépine.

Température de l'eau max.

Moteur Grundfos	Débit le long du moteur [m/s]	Température max. du liquide [°C]
MS 4" T40	0,15	40
MS 4" T60	0,15	60
MS 6000 T40	0,15	40
MS 6000 T60	1,00	60
MMS 6" avec enroulements PVC	0,15	25
	0,50	30
MMS 6" avec enroulements PE/PA	0,15	45
	0,50	50
MMS 8", 10", 12" immergé avec enroulements PVC	0,15	25
	0,50	30
MMS 8", 10", 12" immergé avec enroulements PE/PA	0,15	40
	0,50	45

**Remarque :** Pour les moteurs MMS 6" - 37 kW, MMS 8" - 110 kW et MMS 10" - 170 kW, la température maximale du liquide est inférieure de 5 °C aux valeurs données dans le tableau ci-dessus. Pour les moteurs MMS 10" - 190 kW, la température est inférieure de 10 °C.

#### Températures d'eau supérieures à la limite de température

Les moteurs Grundfos MS402 ne doivent pas être utilisés lorsque la température du liquide est supérieure à 30 °C. L'utilisation d'un MS4000 et d'un MS6000 est possible dans un liquide dont la température est supérieure à la limite de température donnée (40 °C) à condition que le moteur soit déclassé (voir figure 57 au chapitre 7.3.6).

Généralement, il en résultera cependant une réduction de la durée de vie du moteur. Il est impossible de quantifier cette réduction car de nombreux autres paramètres entrent en ligne de compte, tels que la tension d'alimen-

tation, la charge du moteur, les conditions de refroidissement du moteur, etc. Suivre les recommandations données dans le présent manuel devrait vous permettre d'obtenir une durée de vie acceptable. Dans ces cas, nous vous recommandons d'effectuer la maintenance et de remplacer les éléments en caoutchouc tous les trois ans afin de maintenir une performance constante et de garantir une durée de vie normale.

En cas de fonctionnement à des températures supérieures à la limite, les questions de garantie doivent faire l'objet d'un accord. Aucune garantie ne peut être donnée sans déclassement ni protection MP 204.

### 7.3.6 Déclassement des moteurs immergés

Multipliez la taille du moteur (P2) par le facteur de déclassement. Vous obtiendrez la puissance du moteur déclassé P2. Il s'agit de la charge maximale pouvant être appliquée sur le moteur. Généralement, on obtient un moteur de la taille supérieure à celui calculé à l'origine.

Facteurs de déclassement

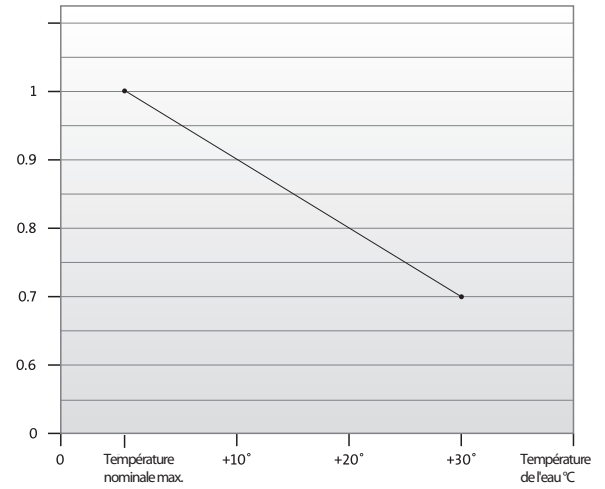


Figure 57 Déclassement des moteurs immergés

#### Exemple :

Un MS6000 d'une puissance nominale standard, P2 = 30 kW, est capable de fournir une puissance de 30 x 0,9 = 27 kW dans une eau à 50 °C à un débit de refroidissement de 0,15 m/s. Le moteur immergé doit être installé à la profondeur recommandée.

Attention : il n'est pas recommandé de déclasser un MS4000 T60 ou MS6000 T60.

### 7.3.7 Protection contre l'ébullition

Afin de protéger le moteur contre l'ébullition à l'arrêt de la pompe et par conséquent d'entraîner un arrêt de l'alimentation en eau de refroidissement, il convient d'installer le moteur 5 m sous le niveau dynamique de l'eau. Ceci augmentera le point d'ébullition.

Profondeur d'installation

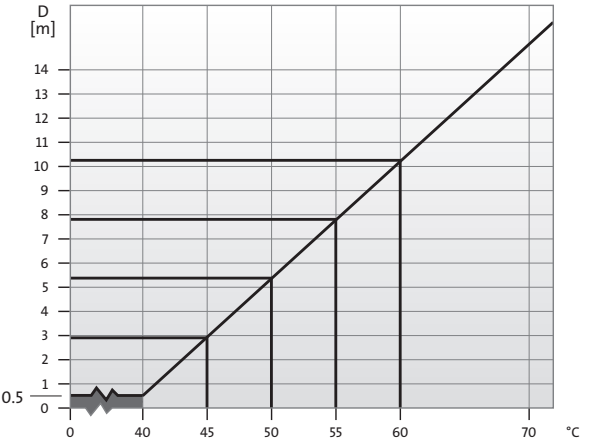


Figure 58 Température d'eau/profondeur d'installation requises pour les modèles MS 4000 et MS 6000

Pour les moteurs MS4000 et MS6000, la meilleure mais aussi la plus simple des protections contre la surcharge et les températures excessives est de mesurer la température du moteur au moyen d'un MP 204. Pour les autres moteurs immergés, une sonde PT100/PT1000 peut être utilisée.

### 7.3.8 Chemise de refroidissement

Afin de garantir un refroidissement correct du moteur, le débit d'eau le long du moteur doit être d'au moins 0,15 m/s.

S'il est impossible d'atteindre ce débit minimal de manière naturelle, Grundfos propose toute une gamme de chemises de refroidissement faciles à installer qui assureront un débit et un refroidissement conformes. Les manchons d'écoulement sont en général utilisés lorsqu'une pompe est installée dans un réservoir, une cuve ou encore un puits, où l'alimentation en eau de la pompe se fait par le haut, ce qui ne permet pas de refroidir le moteur. Un dégagement raisonnable doit être prévu entre le cuvelage et le diamètre extérieur afin de limiter la perte de pression.



Le dégagement minimal recommandé entre le cuvelage et le manchon d'écoulement peut être calculé à partir de la formule ci-dessous :

$$v = \frac{Q \times 354}{(D^2 - d^2)}$$

v = m/s. Doit être de max. 3 m/s afin de limiter la perte de hauteur  
Q = m³/h  
D = diamètre intérieur du cuvelage en mm  
d = diamètre extérieur du manchon d'écoulement en mm

1. Si le puits contient des quantités importantes de fer (et de ferrobactéries), de manganèse et de chaux, ces substances s'oxyderont et se déposeront sur la surface du moteur. Celle-ci est environ 5 à 15 °C plus chaude que l'eau entrante. Si le débit d'eau le long du moteur est lent, cette formation d'une couche thermo-isolante constituée de minéraux et de métaux oxydés peut entraîner la formation de points chauds au niveau de l'isolation de l'enroulement du moteur. Cette augmentation de température peut atteindre des valeurs qui réduiront le pouvoir isolant et par conséquent la durée de vie du moteur. Une chemise de refroidissement permet toujours d'assurer un flux tubulaire au-delà du moteur, et ce flux tubulaire assure un refroidissement optimal, indépendamment de la nature des dépôts.
2. Si l'eau souterraine est corrosive ou contient des chlorures, le taux de corrosion doublera chaque fois que la température augmente de 15 °C. Une chemise de refroidissement réduira de ce fait le risque de corrosion du moteur.
3. Dans la partie supérieure du puits, on trouve de l'eau brute oxydée. À chaque démarrage de la pompe, le niveau d'eau du puits baisse. De l'oxygène pénètre ainsi à chaque fois dans le puits. L'oxydation des premiers mètres ne pose aucun problème, jusqu'à ce que l'oxygène atteigne la crépine. Si l'eau brute contenant une faible teneur en oxygène et pénétrant dans la crépine est mélangée à une eau contenant de l'oxygène frais, le fer, le manganèse et la chaux s'oxyderont et se déposeront sur les perforations de la crépine. Cela réduira le rendement et par conséquent la capacité du puits. Un moteur immergé chaud sans chemise de refroidissement entraînera le réchauffement de l'eau environnante même à l'arrêt.

L'effet thermique entraînera la remontée de l'eau chaude vers la partie supérieure du puits. Simultanément, l'eau

oxydée passera à travers la crépine. Avec une chemise de refroidissement, le moteur fonctionnera à une température plus faible et au moment de son arrêt, la chemise de refroidissement absorbera la chaleur résiduelle du moteur, ce qui aura pour effet de prévenir la remontée de l'eau en raison de l'effet thermique ainsi que la descente de l'eau oxydée. Les périodes entre deux interventions de curage en sont prolongées.

Pour ces applications, il faut prendre en compte le risque de chauffe local, particulièrement dans le cas des installations horizontales et lorsque plusieurs pompes sont installées les unes à côté des autres. Dans de tels cas, il est recommandé de toujours utiliser des chemises de refroidissement.

7.4 SÉLECTION DE LA COLONNE MONTANTE

Le choix de la colonne montante dépend de plusieurs facteurs différents :

- Pression de refoulement et profondeur d'installation
- Agressivité de l'eau souterraine
- Pertes de charge / coûts de fonctionnement
- Accessibilité et coût d'une alternative
- Priorité des coûts initiaux par rapport aux coûts de maintenance et de réparation à un stade ultérieur

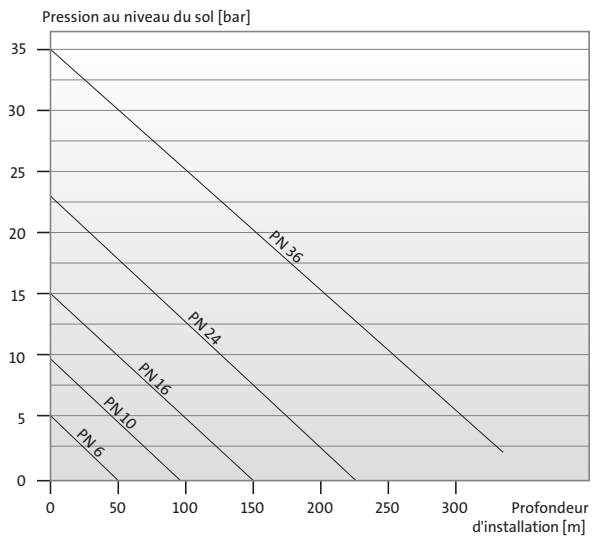


Figure 59 Classe de pression des conduites requise à différentes profondeurs d'installation et à pression réelle au niveau du sol

L'agressivité de la plupart des eaux souterraines étant assez faible, des conduites en acier revêtu ou galvanisé seront parfaitement acceptables.

On utilise en général des colonnes montantes en PEBD ou PEMD pour les installations domestiques. Si l'eau est suffisamment corrosive pour attaquer l'acier inox de la meilleure des qualités, des anodes en zinc remplaçables seront fixées pour protéger le moteur et la pompe. Dans de telles installations, cela coûterait trop cher de protéger l'ensemble de la colonne montante en acier inoxydable contre la corrosion.

C'est pourquoi nous recommandons plutôt l'utilisation de tuyaux Wellmaster. Voir chapitre 10.

**Perte de charge dans la colonne montante**  
Les pertes de charge au niveau des conduites contribuent grandement à l'augmentation de la consommation électrique d'une pompe immergée. Une conduite en acier d'un petit diamètre est très attractive au niveau prix, mais elle génère une friction interne importante, qui augmentera au fil du temps. Il en résulte une consommation et des coûts accrus.

Une conduite en acier inoxydable d'un grand diamètre représente un investissement important mais génère une perte de charge moindre réduisant la consommation d'énergie du pompage. La surface interne reste lisse plus facilement, ce qui réduit les besoins de maintenance (nettoyage).

**Exemple :**  
Le débit est de 54 m³/h, ou 15 l/s.

La perte de charge dans 100 m de tuyau 3" (7,6 cm) et 100 m de tuyau 4" (10,2 cm) est calculée à partir du tableau de perte de charge.

Tuyau 3" (7,6 cm) : 14 m  
Tuyau 4" (10,2 cm) : 3,8 m

Opter pour un tuyau 4" (10,2 cm) au lieu d'un tuyau 3" (7,6 cm) permet d'économiser 10 m de hauteur manométrique par 100 m de tuyau.  
Les économies d'énergie sont calculées comme suit :

$$kWh = \frac{Q \times H}{367 \times \eta} = \frac{54 \times 10,2}{367 \times 0,6} = 2,45 kWh$$

Les tuyaux flexibles spécialement conçus pour l'eau sous pression (du type Wellmaster), sont une bonne alternative aux conduites en acier inox. Certains types sont également homologués pour être utilisés avec l'eau potable. Cette solution est généralement recommandée pour les colonnes montantes des pompes immergées. En raison de

la conception du tuyau, le diamètre augmente légèrement lorsque le tuyau est sous pression, ce qui a pour effet de diminuer la perte de charge. En même temps, ce type de tuyau permet également de prévenir la formation de dépôts calcaires à la surface, vu que le changement permanent de diamètre disloque les dépôts.

La solution à base de tuyaux flexibles permet aussi de procéder à un retrait plus rapide de la pompe par rapport aux conduites traditionnelles. Elle est de ce fait recommandée lorsque la pompe doit être retirée fréquemment à des fins de maintenance.

N'utilisez jamais de tuyaux d'incendie, en nylon ou similaires car ils vieillissent rapidement et ne présentent pas la pression nominale requise. Il pourrait en effet arriver que la pompe et le moteur tombent au fond du puits, ce qui nécessiterait le forage d'un nouveau puits. N'oubliez pas de fixer un câble à tous les tuyaux afin d'éviter que la pompe ne tombe dans le puits.

L'inconvénient des solutions à base de tuyaux flexibles est qu'il est parfois difficile d'empêcher le contact entre les tuyaux et le sol. Ceci peut entraîner une contamination par des bactéries et des germes qu'il est ensuite impossible d'éliminer sans l'intervention d'un équipement spécial et coûteux. Lorsque vous procédez au dimensionnement de la colonne montante et des conduites d'eau brute au moyen de graphiques ou de programmes informatiques, n'oubliez pas de tenir compte d'une rugosité de surface du tuyau de 1 mm.

7.5 SÉLECTION ET DIMENSIONNEMENT DU CÂBLE

Le câble de descente est le câble qui relie la tête du puits au câble moteur fixé au moteur immergé.

Normalement, le câble de descente est doté de quatre fils, dont l'un est le fil de terre/PE. Dans certaines régions, le fil de terre/PE n'est pas requis. Consultez toujours les réglementations locales applicables pour connaître les exigences en matière de mise à la terre avant de sélectionner le type de câble.

Les autres critères à prendre en compte pour la sélection du câble de descente sont :

1. L'intensité admissible du courant
2. La chute de tension
3. La qualité et la température de l'eau
4. Les exigences en termes d'homologation pour l'eau potable
5. Les réglementations

Intensité admissible du courant

Le câble de descente de la pompe immergée n'est jamais dimensionné en fonction du courant à rotor bloqué vu que le moteur démarre en moins de 1/10 de seconde. Utilisez toujours l'intensité à pleine charge mentionnée sur la plaque signalétique en tant qu'intensité de dimensionnement. L'intégralité du câble de descente n'est pas immergée dans l'eau, ce qui peut entraîner un refroidissement supplémentaire de l'eau.

Chute de tension

Le câble doit être dimensionné pour que la chute de tension ne dépasse jamais 3 %. À aucun moment, la tension au niveau des bornes du moteur ne doit être inférieure à la tension minimale du moteur, qui correspond à la tension nominale moins 10 %.

La longueur maximale est calculée selon les formules suivantes :

Longueur maximale du câble d'une pompe immergée suivantes :

$$L = \frac{U \times \Delta U_p}{I \times 2 \times 100 \times (\cos \varphi \times \frac{p}{q} + \sin \varphi \times XI)} \text{ [m]}$$

Longueur maximale du câble d'une pompe immergée triphasée :

$$L = \frac{U \times \Delta U_p}{I \times 1,73 \times 100 \times (\cos \varphi \times \frac{p}{q} + \sin \varphi \times XI)} \text{ [m]}$$

- U = Tension nominale [V]
- U = Chute de tension [%]
- I = Courant nominal du moteur [A]
- p = Résistance spécifique : 0,02 [mm²/m]
- q = Section transversale du câble de descente immergé [mm²]
- XI = Résistance inductive : 0,078 x 10<sup>-3</sup> [Ω/m]

Qualité et température de l'eau

Le matériau le mieux adapté à l'eau pure est le caoutchouc d'éthylène propylène (EPR) (copolymère éthylène-propylène (EPM) ou terpolymère éthylène-propylène-diène (EPDM)). Il présente de bonnes propriétés électriques associées à une bonne résistance à l'eau. Ce type de câble est toujours recommandé lorsque l'eau pompée n'a pas été contaminée par des hydrocarbures. L'EPR ne résiste que de manière limitée aux hydrocarbures.

Dans les solutions à faible teneur en hydrocarbures, on utilisera un câble en chloroprène.

En présence de teneurs plus fortes en hydrocarbures, il sera nécessaire d'utiliser un câble doté d'une gaine PTFE (téflon). La version SPE des pompes SP est fournie par défaut avec un câble moteur en PTFE, ce qui permet de l'utiliser pour le pompage d'une eau contenant une forte teneur en hydrocarbures.

Une solution moins coûteuse consiste à choisir un câble standard en chloroprène. N'hésitez pas à demander les spécifications à Grundfos.

Lorsque la température de l'eau augmente, le câble doit être déclassé. L'intensité admissible du courant des câbles de descente est généralement valable à 30 °C. Quand les températures sont plus élevées, il est nécessaire de compenser ce phénomène conformément au tableau ci-dessous.

Type de câble	TML-A-B	H07RN
Matériau isolant	EPR	NR/SR
Temp. ambiante °C	Facteur de correction	Facteur de correction
10	1,18	1,29
15	1,14	1,22
20	1,10	1,15
25	1,05	1,05
30	1,00	1,00
35	0,95	0,91
40	0,89	0,82
45	0,84	0,71
50	0,77	0,58
55	0,71	0,41
60	0,63	-
65	0,55	-
70	0,45	-

Homologation pour l'eau potable

Tous les moteurs Grundfos vendus en-dehors de l'Amérique du Nord et du Japon sont fournis par défaut avec des câbles moteur homologués pour l'eau potable. Si la pompe est utilisée pour pomper de l'eau potable, Grundfos recommande aussi de toujours utiliser un câble de descente homologué pour l'eau potable.

Règlementations

Les réglementations locales doivent toujours être vérifiées et suivies.

7.6 ASSEMBLAGE ET BRANCHEMENTS

7.6.1 Assemblage pompe/moteur

Les pompes et moteurs immergés Grundfos sont tous fabriqués selon les normes NEMA. Ils sont entièrement compatibles avec les pompes et les moteurs conformes à ces normes. Grundfos recommande de toujours associer une pompe Grundfos uniquement à un moteur Grundfos et vice-versa.

Pour des consignes de montage détaillées, consultez les différentes notices d'installation et de fonctionnement des pompes SP.

7.6.2 Jonction/raccord du câble moteur et du câble de descente

L'utilisation de mauvais raccords de câble ou de modèles non homologués est une cause fréquente de grillage du moteur. Il est conseillé d'opter pour les produits recommandés par Grundfos ou des produits de qualité similaire et de suivre les instructions données par le fabricant. Tout raccord de câble doit être étanche et posséder une résistance d'isolement minimale de 10 mégaohms, mesurée après une immersion de 24 heures dans l'eau. Pour obtenir cette valeur, toutes les parties du câble doivent être propres et toutes les exigences mentionnées dans le manuel d'entretien et les vidéos de maintenance doivent être suivies. Il existe trois manières de réaliser un raccord de câble.

1. Gaine thermorétractable

La gaine thermorétractable consiste en un tube plastique dont la partie intérieure est recouverte de colle. Exposée à la chaleur, elle se rétracte et la colle fond, ce qui permet d'obtenir une jonction de câble étanche. L'avantage de ce principe est que son installation est simple, qu'elle ne nécessite pas de temps de séchage, et que par conséquent le raccord est prêt immédiatement et est sûr. Grundfos recommande ce type d'extrémités de câbles. La série de jonctions de câbles thermorétractables « KM » couvre tous les types de câbles moteur connectés au câble de descente.

2. Résine

Le scellage à la résine est un joint d'un type plus ancien. Ce joint est difficile à réaliser correctement dans les installations d'eau chaude et les liquides à conductivité élevée. Grundfos recommande donc plutôt la gaine thermorétractable.

3. Connexion de la fiche

Il est important de ne pas utiliser des kits de jonction de câble et des adhésifs de plus de trois ans. Cette limite d'âge est réduite à un an si le matériel est stocké à une température supérieure à 15 °C. Il faut tester le raccord de câble lors de chaque maintenance.

Prise du câble moteur

La prise du câble moteur doit toujours être serrée au couple mentionné dans la documentation. Si la prise du câble doit être lubrifiée, il faut utiliser un matériau non conducteur d'électricité (par exemple du silicone). Les prises de câble moteur qui ont plus de trois ans ne doivent plus être utilisées car elles pourraient ne plus garantir la sûreté et l'étanchéité du branchement.

7.6.3 Raccordements à la colonne montante

Les pompes immergées sont disponibles avec des filetages mâles et femelles ainsi qu'avec des brides de différentes tailles standard.

Généralement, Grundfos recommande de commencer par fixer un tuyau d'une longueur de 50 cm à la pompe. Ce procédé permet de manipuler facilement la pompe pendant l'installation vu que la longueur est limitée. Cela permet également d'offrir un espace suffisant pour la bride de fixation qui maintiendra la pompe jusqu'à la pose du tuyau suivant.

En tant qu'alternative au raccord fileté, de nombreux types de brides sont disponibles : brides Grundfos, brides JIS et brides DIN.

Raccordements et installation des tuyaux

Les brides standard Grundfos sont particulièrement adaptées pour une fixation dans les puits. En effet, elles ne satisfont ni aux normes nationales ni aux normes internationales mais ont été dimensionnées pour résister aux pressions des pompes Grundfos.

L'utilisation de brides standard Grundfos au lieu d'autres types de brides présente certains avantages : elles sont non seulement moins chères, mais leurs dimensions permettent également de les installer facilement dans le puits.

Grundfos fournit aussi des contre-brides pour brides Grundfos, qui pourront être soudées sur le premier tuyau.

7.7 FONCTIONNEMENT DES POMPES EN PARALLELE

On recourt en général à un fonctionnement des pompes en parallèle lorsque les schémas de consommation sont variables. L'utilisation d'une seule pompe requerrait que celle-ci présente une grande capacité, la capacité de réserve étant toutefois uniquement utilisée pendant une période très brève. Procéder de cette manière représente un très grand investissement pour un rendement trop faible. Les pics résulteraient en une baisse supplémentaire du niveau dynamique de l'eau, ce qui entraînerait un certain nombre de problèmes en termes de qualité de l'eau et du puits. Ces problèmes sont généralement évités en utilisant l'une des méthodes suivantes :

- 1. Plusieurs petites pompes fonctionnant en cascade (des pompes supplémentaires se mettent en marche et s'arrêtent en fonction de la demande)
- 2. Commande par fréquences de la pompe via un capteur de pression
- 3. Une combinaison des solutions 1 et 2

Pour procéder à une sélection correcte de la pompe, il faut connaître les caractéristiques du puits, soit en procédant à une diagraphie du puits, soit à un pompage d'essai.

7.8 FONCTIONNEMENT DES POMPES EN SERIE

Lorsque la pompe est installée à une profondeur supérieure à la capacité de refoulement maximale d'une pompe SP standard, elle peut être couplée en série à une pompe BM (SP dans une chemise). Voir figure 60.

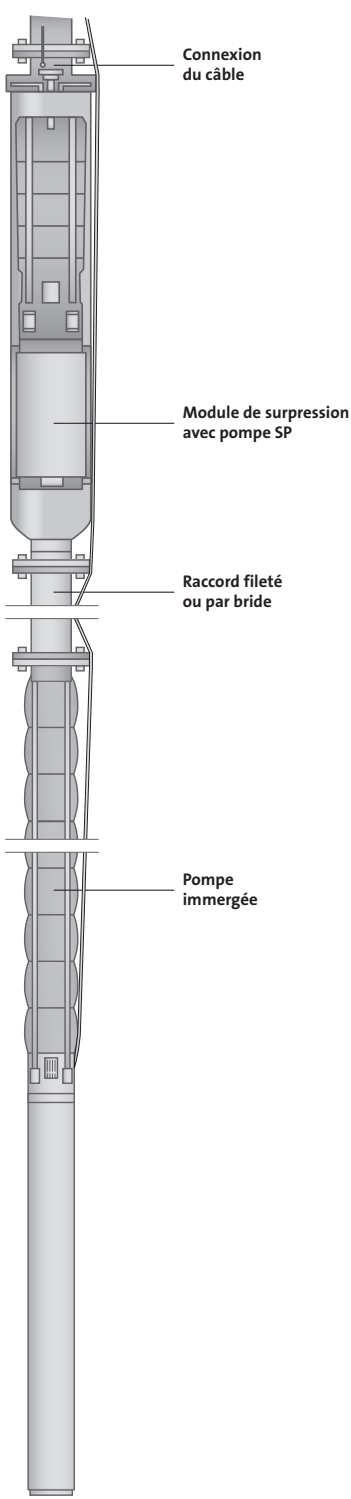


Figure 60 Pompe immergée couplée en série

7.9 NOMBRE DE DÉMARRAGES/ARRÊTS

Pour que les pompes immergées bénéficient de la plus grande durée de vie possible, il faut limiter le nombre de démarrages. Généralement, le facteur de limitation est le moteur. Il est également nécessaire de démarrer le moteur au moins une fois par an afin de prévenir tout grippage.

Le tableau ci-dessous donne le nombre de démarrages maximal recommandé pour les différents types de moteurs :

Y compris versions N, R et RE	Démarrages min. par an	Démarrages max. par heure	Démarrages max. par jour
MS 402	1	100	300
MS 4000	1	100	300
MS6/MS 6000	1	30	300
MMS 6000	1	15	360
MMS 8000	1	10	240
MMS 10000	1	8	190
MMS 12000	1	5	120

7.10 DÉMARRAGE DE LA POMPE

Pour des informations détaillées concernant les méthodes de réduction du courant à rotor bloqué, voir le chapitre 5.

En ce qui concerne le démarrage, suivez toujours les instructions données dans les notices d'installation et de fonctionnement de chaque pompe.

Pour les pompes montées en série, n'oubliez pas de les démarrer dans le bon ordre : la pompe dont la pression ambiante est la plus faible doit être démarrée en premier.

Pour les pompes montées en parallèle, n'oubliez pas que les différents systèmes de purge sont déjà intégrés. Cela permettra de prévenir tout blocage d'air.

7.11 FONCTIONNEMENT AVEC UN EFV

Voir chapitre 5.

7.12 FONCTIONNEMENT AVEC UN GÉNÉRATEUR

Les groupes électrogènes pour moteurs immergés sont souvent proposés en fonction des conditions standard, par exemple

- Altitude max. : 150 m
- Température d'entrée max. de l'air : 30 °C
- Humidité max. : 60 %

Si ces limites sont dépassées, le moteur diesel standard et

éventuellement le générateur devront être déclassés afin de fournir une alimentation électrique suffisante au moteur.

Lors de la commande d'un groupe électrogène, il faut transmettre au fabricant l'altitude, la température d'entrée de l'air et l'humidité maximale, afin qu'il procède à un déclassement en usine du générateur. Les groupes électrogènes pour moteurs immergés triphasés doivent être en mesure de résister à une réduction de tension de 35 % pendant la phase de démarrage.

Pour procéder à la sélection d'un générateur à régulation interne, consultez le tableau ci-dessous afin de connaître la charge en kW du frein continu des moteurs monophasés et triphasés à démarrage direct.

Exemples de facteurs de déclassement pour des moteurs diesel standard	Exemples de facteurs de déclassement pour des générateurs standard
<b>Altitude :</b> 3,5 % tous les 300 m à partir d'une altitude de 150 m (2,5 % pour les moteurs turbo).	<b>Altitude :</b> 2,5 % tous les 300 m à partir d'une altitude de 1 000 m.
<b>Température d'entrée de l'air :</b> 2 % tous les 5,5 °C à partir d'une température de 30 °C (3 % pour les moteurs turbo).	<b>Température d'entrée de l'air :</b> 5 % tous les 5 °C à partir d'une température de 40 °C.
<b>Humidité :</b> 6 % à 100 % d'humidité.	

**Remarque :** il est impératif d'obtenir une confirmation de la part du fabricant du générateur, en particulier en ce qui concerne la faible charge et le dimensionnement de l'alternateur



Si le générateur et le moteur diesel sont déclassés selon le tableau, les critères suivants s'appliquent :

- 1. La chute de tension au niveau du générateur ne dépassera pas 10 % lors de la phase de démarrage. Cela signifie qu'il est possible d'utiliser même la protection contre la sous-tension la plus rapide disponible sur le marché dans le boîtier de démarrage du moteur de la pompe.
- 2. Les générateurs et moteurs diesel bénéficieront d'une durée de vie normale étant donné que le nouveau moteur ne sera chargé qu'à environ 70 % par le courant nominal continu du moteur de la pompe une fois sa période de rodage terminée. Un moteur diesel aura un rendement maximal (consommation de carburant la plus faible par kW de puissance générée) à 70-80 % de la charge maximale.
- 3. Un démarrage par autotransformateur ou l'installation d'un dispositif de protection contre la sous-tension Grundfos MP 204 permettent de sélectionner un générateur et un moteur diesel plus petits de 20 % par rapport à la taille donnée dans le tableau. Il faudra cependant procéder à une maintenance fréquente du filtre à air et des buses d'injection, à un nettoyage du refroidisseur et à un changement de l'huile. Il en résultera une chute de tension pouvant atteindre jusqu'à 20 % lors du démarrage. Si on y ajoute une chute de 15 % au niveau des câbles de descente et moteur, la chute de tension totale au niveau du moteur sera de plus de 35 %. Ceci ne pose aucun problème pour les moteurs triphasés, mais peut s'avérer problématique pour les moteurs monophasés qui requerront fréquemment un condensateur de démarrage surdimensionné pour le démarrage à basse tension.

Il existe deux types de générateurs : à régulation interne et à régulation externe.

Les générateurs à régulation interne sont dotés d'un enroulement supplémentaire au niveau du stator du générateur. On les définit également par le terme « auto-excités ». L'enroulement supplémentaire détecte le courant de sortie et augmente automatiquement la tension de sortie.

Les générateurs à régulation interne offrent généralement la meilleure performance.

Les générateurs à régulation externe sont équipés d'un régulateur de tension externe qui détecte la tension de sortie. Lorsque la tension baisse au moment du démarrage du moteur, le régulateur augmente la tension de sortie du générateur.

Puissance nominale du moteur immergé des versions monophasées et triphasées [kW]	Puissance nominale du générateur		Élévation de max. 150 m et humidité de 100 %		Élévation de max. 750 m et humidité de 100 %	
			Puissance nominale du moteur diesel à une température ambiante de			
	[KVA]	[kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]
0,25	1,5	1,0	1,25	1,3	1,4	1,43
0,37	2,0	1,5	2,0	2,1	2,3	2,3
0,55	2,5	2,0	2,5	3,1	2,8	2,86
0,75	3,0	2,5	3,0	3,1	3,4	3,44
1,1	4,0	3,0	4,0	4,2	4,5	4,58
1,5	5,0	4,0	5,0	5,2	5,6	5,73
2,2	7,0	6,0	7,0	7,3	7,8	8,0
3,7	11,0	9,0	10,0	10,4	11,1	11,5
5,5	16,0	12,5	14,0	14,6	15,6	16,0
7,5	19,0	15,0	17,0	17,7	19,0	20,0
11,0	28,0	22,0	25,0	26,0	28,0	29,0
15,0	38,0	30,0	35,0	36,0	39,0	40,0
18,5	50,0	40,0	45,0	47,0	50,0	52,0
22,0	55,0	45,0	50,0	52,0	56,0	57,0
30,0	75,0	60,0	65,0	68,0	72,0	75,0
37,0	95,0	75,0	83,0	86,0	92,0	95,0
45,0	110,0	90,0	100,0	104,0	111,0	115,0
55,0	135,0	110,0	120,0	125,0	133,0	137,0
75,0	185,0	150,0	165,0	172,0	183,0	189,0
90,0	220,0	175,0	192,5	200,0	215,0	220,0
110,0	250,0	200,0	220,0	230,0	244,0	250,0
132,0	313,0	250,0	275,0	290,0	305,0	315,0
150,0	344,0	275,0	305,0	315,0	335,0	345,0
185,0	396,0	330,0	365,0	405,0	405,0	415,0

Un générateur à régulation externe doit être dimensionné à un rapport kW/kVA environ 50 % plus élevé que celui d'un générateur à régulation interne pour fournir un couple de démarrage identique.

La fréquence du générateur est d'une importance capitale vu que la vitesse du moteur varie en fonction de la fréquence [Hz]. En raison des lois d'affinité de la pompe, une pompe fonctionnant à 1-2 Hz sous la fréquence indiquée sur la plaque signalétique du moteur ne pourra pas se conformer à sa courbe de performance. Inversement, une pompe qui fonctionne à 1-2 Hz de plus pourra entraîner le déclenchement du relais de surcharge.

Fonctionnement du générateur

Démarrez toujours le générateur avant de démarrer le moteur et arrêtez toujours le moteur avant d'arrêter le générateur. Le palier axial du moteur peut subir des dommages si les générateurs décélèrent alors que le moteur est connecté. La même chose se produit lorsque les générateurs tombent en panne de carburant.

## 8 COMMUNICATION



### 8.1 OBJECTIF DE LA COMMUNICATION ET DE LA MISE EN RÉSEAU

La communication de données et la mise en réseau d'un équipement ou de machines dans des installations industrielles telles que celles servant à l'adduction d'eau poursuit deux objectifs majeurs : **la centralisation de la surveillance et la commande.**

Il est prouvé que la plupart des systèmes automatisés tirent des avantages substantiels d'une centralisation de la commande et de la surveillance. Les points les plus fréquemment évoqués sont :

- L'optimisation de la performance (par exemple les économies d'énergie et de matériau)
- L'optimisation de la qualité des processus (actions correctives)
- L'amélioration de la maintenance (entretien à la demande)
- La réduction des coûts de fonctionnement (par exemple une réduction de personnel)
- Une réaction organisée/rapide pour solutionner les pannes (minimalisation des temps d'arrêt)
- Un accès facile aux données courantes et la possibilité de stocker les données dans des bases de données (génération de rapports)

Les systèmes permettant ce type de gestion centralisée sont appelés *système SCADA* (système de contrôle et d'acquisition de données)

### 8.2 SYSTÈMES SCADA

#### 8.2.1 Éléments principaux du système SCADA

Les trois éléments principaux d'un système SCADA typique sont :

##### 1. Un ordinateur central

Ordinateur (par exemple avec système d'exploitation Windows ou Unix) sur lequel est installé un logiciel IHM (interface homme-machine) et une base de données. De nombreux packs logiciels spécialisés IHM/SCADA tiers sont disponibles. Parmi ceux-ci, iFix de GE Fanuc, CitectSCADA de Citect, SIMATIC de Siemens et Wonderware d'Invensys.

##### 2. Un certain nombre de postes satellites

Un poste satellite correspond fréquemment à un sous-système *autonome*. Autonome signifie qu'en cas de perte de liaison avec le système SCADA, le sous-système continue à

fonctionner et à effectuer la tâche qui lui est confiée (par exemple l'alimentation en eau d'un réservoir). La conception globale du système (choix de la technologie et de l'équipement) doit permettre d'assurer dans une large mesure l'autonomie des sous-systèmes. Ceux-ci devront toujours et sans exception être fiables et repasser dans un état sûr et bien défini prévisible en cas de rupture de liaison avec le système SCADA. Le poste satellite sera généralement :

- Un PLC (contrôleur logique programmable)
- Un DDC (contrôleur numérique dédié)
- Une passerelle vers un autre réseau (sous-jacent)

##### 3. Une infrastructure de communication

Voici ce qui connecte tous ces éléments. Un mélange de technologies sera généralement préféré à une technologie unique (réseau ou protocole), car aucune d'entre elles ne permet de satisfaire à toutes les demandes des installations plus complexes.

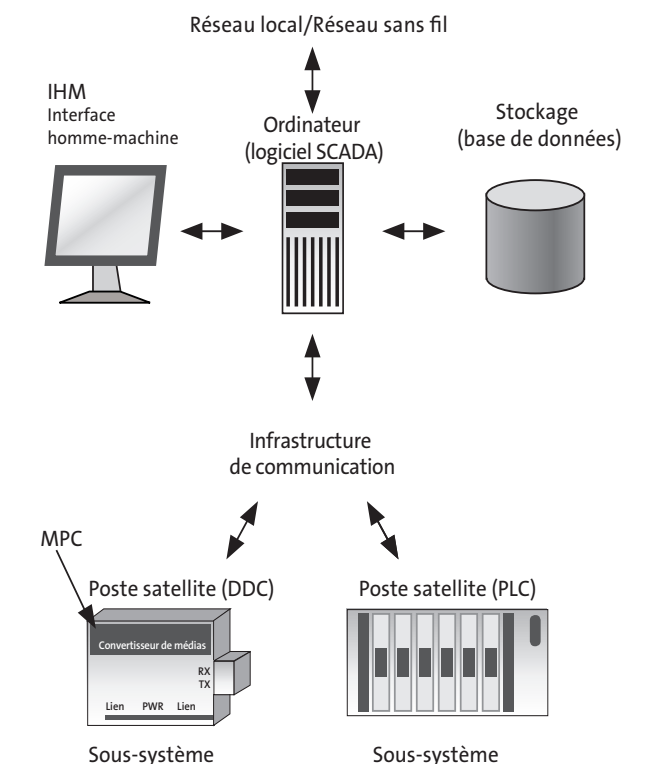


Figure 61 Illustration des éléments principaux d'un système SCADA

#### 8.2.2 Fonctions d'un système SCADA

Ci-après, vous trouverez une liste des fonctions généralement proposées par les packs logiciels SCADA. Les fonctions les plus importantes sont reprises en tête de liste. Le

logiciel d'un système SCADA est généralement compatible avec le réseau, ce qui signifie que si l'ordinateur hôte est connecté à un réseau local ou à internet, il sera possible de se connecter au système à distance au départ d'un autre ordinateur connecté au réseau. Le logiciel d'un système SCADA se présente sous la forme d'un pack standard (fourni par de nombreux vendeurs de logiciels différents). Il offre cependant un haut degré de personnalisation (données, fonctions, graphiques, etc.).

- Établir l'état du système
  - Le système est-il OK (fonctionne-t-il comme prévu et effectue-t-il la tâche qui lui est confiée) ?
  - Le système a-t-il besoin d'une maintenance (cause et type) ?
  - Le système est-il en panne (cause) ?
- Affichage des variables/états du système
  - États (tels que activé/désactivé) illustrés au moyen de graphiques et de couleurs
  - Variables importantes du système affichées sur des schémas (pression, débit, etc.)
  - Variables importantes du système affichées sous forme de graphiques
- Enregistrement et routage des alarmes
  - Gestion des permanences
  - Routage des messages (par ex. SMS)
- Enregistrement des données/récupération des données enregistrées
  - Interface vers base de données (par ex. Microsoft SQL)
  - Traitement des données/stockage des données/visualisation sous forme de graphiques
- Commande
  - Mode manuel
  - Mode automatique
  - Commande en boucle fermée (rare)
- Configuration
  - Affichage des principaux paramètres de configuration
  - Modification des principaux paramètres de configuration
- Informations relatives à la maintenance
  - Plan de maintenance et historique
  - Liste des pièces détachées
  - Manuels, photos, vidéos instructives
- Système expert
  - Intelligence artificielle
  - Diagnostic des pannes
  - Aide à la décision
- Connexion au système de planification des ressources de l'entreprise (ERP)

8.2.3 SCADA hébergé sur le web

Un logiciel d'un système SCADA qui tourne sur un serveur web au lieu d'un ordinateur Windows traditionnel est appelé *système SCADA hébergé sur le web*. Toutes les données sont accessibles via internet au moyen d'un navigateur web (par ex. Internet Explorer).

Les sous-systèmes peuvent être surveillés et commandés au départ de n'importe quel ordinateur, peu importe le pays où il se trouve, pour autant que ce dernier soit connecté à internet. Cette solution ne nécessite à aucun moment l'installation d'un logiciel coûteux sur un ordinateur.

Le logiciel du système SCADA et les données sont hébergés sur un serveur web. Il est accessible tant par le fournisseur de services (intégrateur système) que par le client (par exemple un serveur web centralisé destiné à toute une commune).

Le client/utilisateur ne devra pas se focaliser sur les informations, la communication et la technologie logicielle/matérielle mais pourra se concentrer sur l'utilisation pratique des données et la maintenance du sous-système.

Des mots de passe veillent à ce que seules les personnes autorisées aient accès aux commandes des sous-systèmes spécifiques.

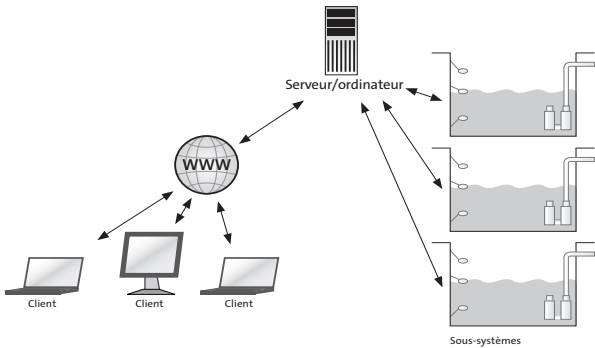


Figure 62 Illustration du principe d'un système SCADA hébergé sur le web

8.3 BASES DE LA MISE EN RÉSEAU

8.3.1 Architecture physique du réseau

Ce terme fait référence à la manière dont le réseau de périphériques de communication est connecté. Chaque architecture est adaptée à des tâches spécifiques et présente ses propres avantages et inconvénients.

Dans un *réseau en étoile*, tous les câbles partent d'un point central (par exemple un répartiteur ou un contrôleur central). C'est dans cette configuration que les longueurs de câbles utilisées seront les plus importantes. Les réseaux Ethernet sont généralement basés sur une architecture en étoile.

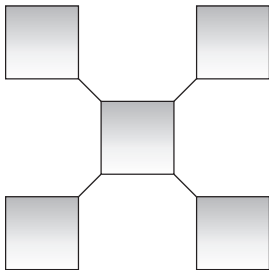


Figure 63 Architecture en étoile

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>Facilité d'ajout de nouveaux périphériques</li><li>Commande centralisée, surveillance du réseau/répartiteur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Une panne du répartiteur paralyse tous les périphériques connectés à ce répartiteur</li></ul>

Un *réseau circulaire* est une architecture de réseau dans laquelle chaque périphérique du réseau est connecté à deux autres périphériques, permettant aux signaux de transiter de manière circulaire. Les données transitent de périphérique en périphérique, chaque périphérique traitant chaque ensemble de données. L'ancienne norme de réseau local Token Ring d'IBM et le bus de terrain industriel Interbus sont tous deux utilisés dans l'architecture circulaire.

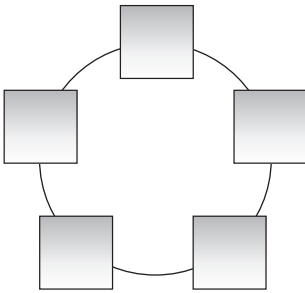


Figure 64 Architecture circulaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>Accès identique pour tous les périphériques</li><li>Chaque périphérique bénéficie d'un accès à pleine vitesse au cercle</li><li>Une augmentation du nombre de périphériques n'entraînera qu'une faible perte de performance</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Câblage coûteux</li><li>Connexions difficiles et coûteuses</li></ul>

Dans un *réseau bus*, tous les périphériques sont connectés au même segment de câble. Le câblage s'effectue généralement point à point en chaîne ou via des câbles de descente. Chaque extrémité du câble est terminée. Les messages transmis par le câble sont visibles pour tous les appareils connectés à ce câble. La plupart des bus de terrain (par ex. Profibus, DeviceNet, GENibus) utilisent l'architecture bus, mais en dépit de leur nom, les bus de terrain peuvent également être basés sur d'autres architectures.

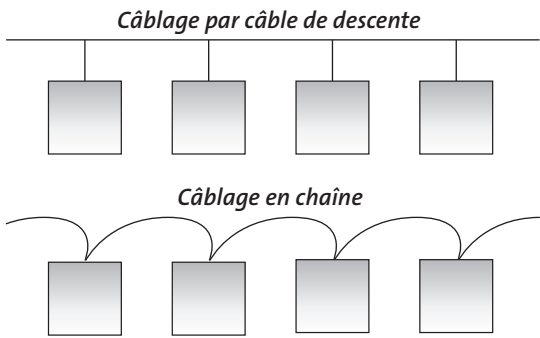


Figure 65 Architecture bus

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>Facile à mettre en œuvre</li><li>Faible coût</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Limites en termes de longueur de câble et de nombre de périphériques</li><li>Difficulté d'isoler les pannes du réseau</li><li>Une panne de câble affecte tous les périphériques</li><li>Une augmentation du nombre de périphériques ralentit la vitesse du réseau</li></ul>

Il est fréquent de rencontrer un mélange de ces trois architectures de base. On parle alors d'*architecture mixte*. Si la technologie de mise en réseau utilisée permet une connexion dans n'importe laquelle des architectures, on parle d'*architecture libre*.



8.3.2 Protocoles de communication

Le *protocole de communication* contient les règles qui définissent la manière dont un périphérique fonctionnel connecté à un réseau peut échanger des données avec d'autres périphériques faisant partie du même réseau. Il spécifie les caractéristiques du matériel physique telles que l'impédance et les signaux électriques. En ce qui concerne le transfert de données, il fixe des critères tels que la vitesse de transmission, le timing et le format de l'ensemble de données ainsi que l'adressage des périphériques, la demande des données et la manière de répondre aux demandes.

Le protocole de communication est le gestionnaire de la ligne de communication. Le protocole détermine qui peut transmettre, en quelle quantité et pendant combien de temps. Dans les protocoles maître/esclave (tels que GENIbus, Modbus, Profibus), les règles d'arbitrage du protocole définissent qui est le maître et qui est l'esclave.

C'est le protocole qui permettra de garantir que tout fonctionne de manière fiable et que les données seront communiquées sans erreurs. Toutefois, lorsqu'un incident survient (ce que l'on appelle des *exceptions* en langage « protocole »), il relève de la responsabilité du protocole de détecter ces exceptions, de réagir en conséquence (par exemple, erreur de rapportage, retransmission, etc.) et finalement de revenir à un état sans défaut après chaque erreur, y compris après une panne complète du réseau.

8.3.3 Profil fonctionnel

Le *profil fonctionnel* d'un périphérique réseau définit comme réagit son interface vis-à-vis du réseau. Il s'agit principalement de la description des données d'entrée et de sortie du périphérique. Il est fréquemment fait référence à ces données du périphérique sous les termes « points de données » ou « éléments de données ». Le profil fonctionnel décrit les éléments de données, c'est-à-dire leur format (8 bits, 16 bits, etc.), leur dimensionnement (résolution et plage), leurs limitations et leur relation mutuelle.

Outre la description des éléments de données, le profil fonctionnel décrit également la manière dont on peut commander le périphérique via le réseau lorsque celui-ci est utilisé pour des applications. Il documente la relation entre les fonctions du périphérique, les éléments de données et le comportement de l'application/du système dans lequel le périphérique fonctionne.

Les périphériques qui utilisent le même protocole de communication et procèdent à un échange de données conforme à un profil fonctionnel défini et partagé sont dits *interopérables*.

8.3.4 Bus de terrain

Les réseaux utilisés dans les systèmes industriels automatisés pour connecter des capteurs, des actionneurs et des contrôleurs sont appelés des *bus de terrain*, par opposition aux réseaux utilisés à des fins administrative dans les bureaux, qui sont généralement appelés *réseaux locaux*.

Les bus de terrain sont conçus pour fonctionner dans les environnements difficiles, c'est-à-dire véritablement « sur le terrain », et sont compatibles avec un équipement et un câblage de qualité industrielle. De plus, un protocole de bus de terrain présente généralement d'autres caractéristiques que celles d'un réseau local, vu que les demandes sont légèrement différentes.

Le bus de terrain transmet habituellement de faibles quantités de données, mais la fréquence de transmission des données est élevée (par exemple des taux d'échantillonnage élevés). De plus, le bus de terrain doit être en mesure de traiter un transfert des données dans une limite de temps imposée, c'est-à-dire qu'il doit satisfaire à des exigences strictes en termes de timing (délais en termes d'accès au bus et de réponse de données et traitement rapide des données).

Le réseau local, pour sa part, permet de transférer des quantités importantes de données (fichiers, etc.) entre des ordinateurs et des serveurs, mais ces transferts de données sont rares. De plus, la réaction doit être rapide vu que l'interaction se fait avec des humains et non avec des processus physiques limités dans le temps.

8.4. GENIbus

*GENIbus*, le bus de communication du réseau Grundfos est un bus de terrain propriétaire développé par Grundfos pour répondre aux impératifs du transfert de données et de la mise en réseau des installations de pompage dans les bâtiments, l'adduction d'eau, le traitement de l'eau et l'industrie.

8.4.1 Historique

Le GENIbus a été lancé pour la première fois sur le marché en 1991 sous la forme d'une interface de bus de terrain pour le circulateur Grundfos UPE qui fut le premier au monde à

être doté d'un convertisseur de fréquence intégré ainsi que d'une interface de bus de terrain intégrée.

L'objectif original de l'interface GENIbus était de permettre une mise en réseau rapide des circulateurs à vitesse variable dans les sous-systèmes, là où un maître central pouvait traiter plusieurs boucles de commande de circulateurs montés en parallèle et afficher simultanément des données importantes telles que la pression, le débit et les alarmes, sur un écran.

Depuis lors, le GENIbus s'est établi comme une norme Grundfos avancée et peu coûteuse et est disponible pour pratiquement tous les produits Grundfos dotés de composants électroniques. Ses principaux domaines d'application sont les suivants :

- Mise en réseau des pompes, périphériques auxiliaires et coffrets de commande dans les sous-systèmes Grundfos (par ex. Hydro MPC et PPD)
- Intégration dans les systèmes automatisés (par ex. SCADA) du concept CIM/CIU de Grundfos
- Connexion à des outils informatiques au moyen d'un adaptateur à des fins de configuration, détection des pannes, contrôle des valeurs, enregistrement des données, etc.

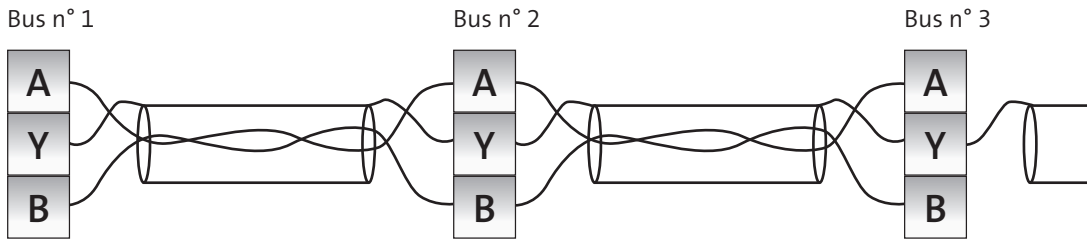
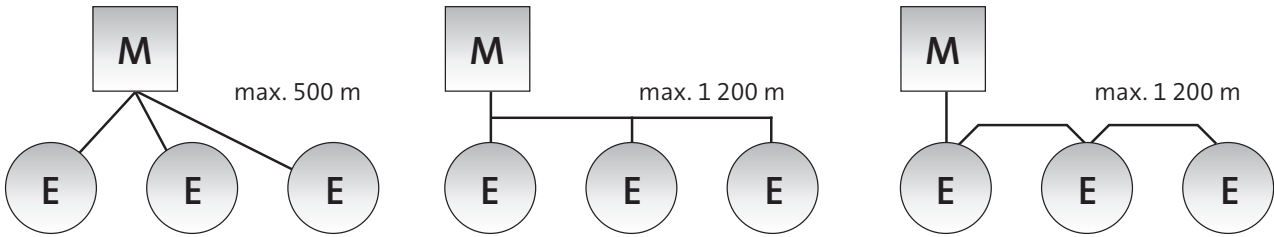
8.4.2 Directives de câblage

Généralités

- Utilisez des câbles à paires torsadées blindés
- Connectez le blindage aux deux extrémités
- La connexion de différentes unités se fera de préférence en chaîne
- Évitez les longs bouts
- Gardez les câbles aussi courts que possible
- Si possible, séparez les câbles de bus des câbles d'alimentation

GENIbus

- N'utilisez pas de résistances de fin de ligne
- Une distance de communication allant jusqu'à 1 200 m ne présentera généralement aucun problème
- La distance peut être allongée au moyen de répéteurs
- Si vous faites face à des problèmes de bruit, essayez de déconnecter le blindage qui se trouve à l'une des extrémités de chaque bus.



Configuration en chaîne, la manière idéale de câbler un GENIbus

8.5 PRODUITS GRUNDFOS GENIBUS  
POUR APPLICATIONS SP

L'utilisation d'un dispositif électronique de protection moteur MP 204 permet de commander la pompe SP à distance :

- Courant triphasé et tensions
- Angles et cos (θ) de la tension triphasée
- Courant de démarrage
- Asymétrie de courant
- Résistance d'isolement
- Puissance et consommation d'énergie
- Fréquence d'alimentation
- Température du moteur
- Alarmes et avertissements en cours
- Alarmes enregistrées
- Compteurs de durée d'activation et de temps de fonctionnement
- Compteurs de démarrages (total et par heure)
- Compteurs de redémarrages (total et par jour)
- Mode de fonctionnement de la protection moteur MP 204

Si le dispositif électronique de protection moteur MP 204 est utilisé comme un actionneur marche/arrêt, il est possible de commander à distance le démarrage et l'arrêt de la pompe. On pourra également procéder à la réinitialisation des alarmes, des alarmes enregistrées et des différents compteurs tels que le temps de fonctionnement et les compteurs de démarrages.

L'utilisation de l'interface CIU 251 seule ou couplée à un MP 204 ou un CUE ne permet pas de surveiller les valeurs suivantes :

- Valeur de la sonde de température PT100
- Valeur de l'entrée du compteur d'impulsions
- Valeur de l'entrée du signal analogique 4-20 mA
- Dépassement de la limite des alarmes (pour les entrées ci-dessus)
- Durée d'activation
- Alarmes enregistrées

Le MP 204 et le module IO 112 sont tous deux dotés de l'interface GENIBUS. Le MP 204 est pris en charge par la passerelle G100 de Grundfos (fiche technique disponible sur l'outil en ligne Grundfos Product Center), qui permet de traiter simultanément la connexion de jusqu'à 32 dispositifs MP 204 et prend en charge la communication via le protocole Modbus (RS232, radio ou GMS) ou Profibus. Il dispose également d'un enregistreur de données d'une capacité d'environ 300 000 enregistrements horodatés.

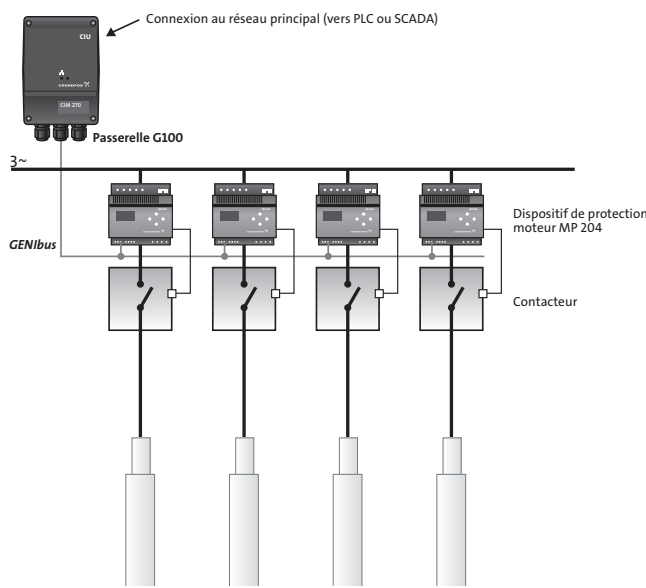
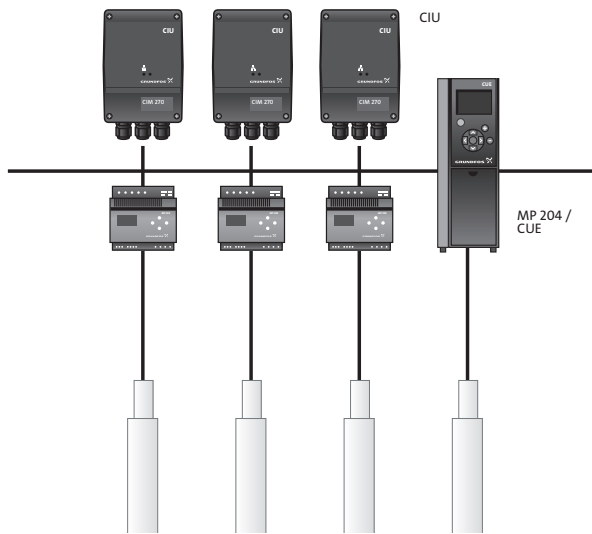


Figure 66 Illustration de la surveillance et de la commande à distance de pompes SP



Gestion à distance Grundfos GO

Les pompes Grundfos sont conçues pour communiquer sans fil avec l'application de gestion à distance Grundfos GO, qui communique avec la pompe au moyen d'une liaison radio. La liaison radio entre la pompe et le système de gestion à distance Grundfos GO est chiffrée afin de la protéger contre toute utilisation malveillante.

L'application de gestion à distance Grundfos GO est disponible dans l'Apple App Store ou sur l'Android market et doit être utilisée conjointement avec l'une des interfaces mobiles MI 202, MI 204 ou MI 301.

Les modules supplémentaires MI 202 et MI 204 sont dotés d'une communication infrarouge et d'une liaison radio intégrées. Le MI 202 est compatible avec les appareils Apple équipés d'un connecteur 30 broches (iPhone 4, 4S et iPod touch 4G). Le MI 204 est compatible avec les appareils Apple équipés d'un connecteur Lightning.

Le concept de gestion à distance Grundfos GO remplace la télécommande Grundfos R100. Tous les produits compatibles avec la R100 sont donc également compatibles avec le système de gestion à distance Grundfos GO.

Pour savoir comment fonctionne le système et comment le connecter à la pompe, consulter les notices d'installation et de fonctionnement du système de gestion à distance Grundfos GO pour la configuration souhaitée.



## DÉPANNAGE

Panne	Cause	Solution
<p>Bruit important dans les conduites d'eau d'une maison ou d'un bâtiment.</p> <p>Arrêt des manomètres après un court instant.</p> <p>Éclatement des conduites ou raccords.</p>	<p>Coups de bélier au démarrage et à l'arrêt de la pompe.</p>	<p>Installer un réservoir à membrane d'une capacité de 50 litres à l'interconnexion de la colonne montante et du tuyau d'évacuation horizontal.</p> <p>L'eau contenue dans ce réservoir à membrane s'écoulera lors de l'arrêt de la pompe afin de prévenir la formation d'un vide.</p>
<p>Pénétration d'air dans les conduites d'aspiration et les conduites sous pression.</p> <p>Déclin rapide de la performance de la pompe.</p>	<p>Coups de bélier entraînant la formation d'un vide</p> <p>Usure due à la pénétration de sable/vase dans le puits.</p>	<p>Absorber les chocs en installant un démarreur progressif, un variateur de fréquence ou un réservoir sous pression.</p> <p>Détecter les puits qui posent problème, étanchéifier la section du puits qui pose problème ou réduire la performance de la pompe à la moitié de la capacité.</p>
<p>Panne trop fréquente des contacteurs et consommation excessive des moteurs en kWh par m<sup>3</sup> pompé.</p>	<p>Fréquence de démarrage élevée.</p>	<p>Réduire la capacité de la pompe, installer un convertisseur de fréquence ou augmenter la capacité du réservoir.</p>
<p>Consommation électrique excessive du moteur et usure des raccords arbre/accouplement.</p>	<p>Poussée</p>	<p>Limiter la performance de la pompe à son meilleur point de rendement ou réduire le nombre de roues sur la pompe.</p>
<p>Paliers antagonistes usés</p>	<p>Poussée générée par le mode MARCHE/ARRÊT</p>	<p>Mettre en place la régulation de débit requise au démarrage.</p>
<p>Panne des paliers axiaux sur les moteurs à rotor noyé</p> <p>Panne de la résistance d'isolement sur les moteurs immergés.</p>	<p>Cavitation</p>	<p>Ne pas limiter le débit vers la pompe et contrôler la performance au meilleur point de rendement.</p>
<p>Augmentation de la température du moteur au fil du temps ; réduction de la performance de la pompe.</p>	<p>Dépôts (calcaire, fer, etc.) à la surface du moteur et sur les éléments hydrauliques de la pompe.</p>	<p>Démonter la pompe et le moteur à des fins de nettoyage ; nettoyer les conduites, la crépine du puits et installer une chemise de refroidissement sur le moteur.</p>
<p>Réduction de la performance de la pompe</p>	<p>Eau agressive (corrosion de la pompe et des conduites)</p>	<p>Procéder à des essais de pression des conduites à partir du sol. En cas de fuites, retirer et remplacer la pompe et les conduites par des modèles présentant une classe de résistance à la corrosion plus élevée.</p>
<p>De l'eau s'écoule sous les conduites à l'arrêt de la pompe.</p>	<p>Corrosion de la colonne montante</p>	<p>Retirer et remplacer la pompe et les conduites par des modèles présentant une classe de résistance à la corrosion plus élevée.</p>
<p>Performance de la pompe trop faible. Le moteur consomme une quantité insuffisante de kWh.</p>	<p>Évacuation des gaz</p>	<p>Installer la pompe plus bas si elle est équipée d'un manchon d'évacuation des gaz.</p>
<p>Le niveau d'eau du puits baisse en permanence.</p>	<p>Surpompage du puits</p>	<p>Réduire la capacité de la pompe jusqu'à ce que le niveau d'eau reste constant tout au long de l'année.</p> <p>Forer d'autres puits dans d'autres aquifères.</p>





Ci-dessous vous trouverez un aperçu des accessoires actuellement disponibles pour les pompes immergées Grundfos SP. Vous trouverez les références dans la brochure SP.

10.1 CHEMISES DE REFROIDISSEMENT

De manière générale, il est recommandé d'utiliser des chemises de refroidissement lorsque le refroidissement du moteur est insuffisant. Les moteurs immergés Grundfos requièrent toujours un débit minimal de 0,15 m/s le long du moteur.

Lorsque des réservoirs sont utilisés, un manchon d'écoulement est habituellement requis. Dans les puits profonds, où il existe un risque que l'eau pénètre dans l'entrée de la pompe par le dessus et ne passe pas automatiquement le long du moteur, un manchon d'écoulement peut également s'avérer nécessaire.

Autres applications pour lesquelles un manchon d'écoulement devrait être utilisé :

- Le moteur est exposé à une charge thermique élevée, telle qu'une température ambiante élevée, un déséquilibre d'intensité ou une surcharge.
- Des liquides corrosifs sont pompés ; en effet, la corrosion double chaque fois que la température augmente de 10 °C.
- De la sédimentation ou des dépôts se forment sur et/ou autour du moteur.

L'utilisation de chemises de refroidissement permet de réduire la température du moteur grâce au flux qui s'écoule le long du moteur et par conséquent d'augmenter sa durée de vie.

$$v = \frac{Q \times 353}{D^2 - d^2} \text{ [m/s]}$$

Q	m³/h	Débit
D	mm	Diamètre de la chemise
d	mm	Diamètre de la pompe

Le manchon d'écoulement Grundfos est conçu de sorte à ce que le débit le long du moteur soit de minimum 0,5 m/s et de maximum 3 m/s afin de garantir des conditions optimales de fonctionnement de la pompe et du moteur.

10.2 PROTECTION ANTICORROSION DANS L'EAU DE MER

L'acier inoxydable peut subir des dommages par fissuration ou piqûres de corrosion lorsqu'il est immergé dans l'eau chlorée.

- La probabilité de formation de corrosion dépend :
- De la qualité du matériau utilisé (GG – AISI 304 – AISI 316 – AISI 904L)
  - De la teneur en chlorures de l'eau
  - Du potentiel électrochimique du métal exposé au fluide
  - De la température
  - De la teneur en oxygène
  - De la vitesse du fluide en contact avec la surface métallique
  - Du pH

Lorsque du métal est immergé dans l'eau, il forme une cellule électrochimique avec une anode et une cathode immergées dans un électrolyte (par exemple de l'eau chlorée). On parle alors de cellule galvanique. L'anode en est la partie active et la cathode la partie noble.

Les métaux peuvent être classés en fonction de leur activité relative dans l'eau de mer. Si la surface en métal devient l'anode de la cellule électrochimique, alors de la corrosion se forme.

10.2.1 Protection cathodique

La protection cathodique est une technique permettant de contrôler la formation de corrosion sur une surface en métal donnée en lui imposant le rôle de cathode de la cellule électrochimique.

- Deux possibilités s'offrent à vous :
- **Protection galvanique** : grâce à l'utilisation d'un métal sacrificiel
  - **Protection par courant imposé** : grâce à l'utilisation d'une alimentation électrique CC et d'une anode inerte

## 10.2.2 Systèmes de protection cathodique galvanique

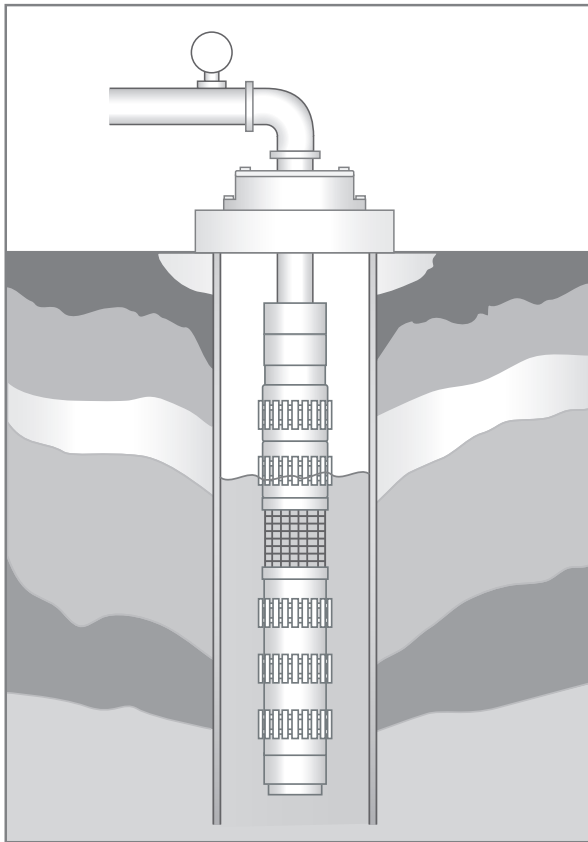


Figure 67 Pompe immergée avec anodes en zinc sacrificiel

Grundfos propose toute une série d'anodes en zinc sacrificiel pour les pompes et moteurs immergés. Pour les colonnes montantes en métal, des solutions de conduites standard sont recommandées.

L'utilisation d'anodes sacrificielles présente un impact environnemental qui doit être pris en considération. Il faudra également toujours tenir compte des effets des sels formés lors du processus galvanique.

Le système doit être surveillé afin de définir le bon moment pour procéder au remplacement des anodes sacrificielles.

L'avantage est que le système s'autorégule. La détérioration de l'anode sacrificielle reflète le besoin de protection du système.

Pour les systèmes plus grands et plus complexes, une étude d'ingénierie est nécessaire afin de faire le bon choix en termes de protection anticorrosion. Parmi les aspects à prendre en compte, citons :

- Le matériau de l'anode sacrificielle
- La forme
- L'extension
- La connexion

## 10.2.3 Systèmes de protection cathodique par courant imposé

Ce système nécessite une alimentation électrique CC ainsi que des connaissances relatives au potentiel réel entre le métal à protéger et l'électrode de référence. Il est nécessaire de prendre en compte le risque de croissance organique sur la partie métallique qui peut au fil du temps entraîner une modification de la différence de potentiel.

Ces systèmes requièrent une conception personnalisée et Grundfos renvoie vers des fournisseurs externes pour obtenir des conseils et des informations de conception. La plage normale de l'alimentation CC est de 50 V avec 10-100 A.

L'avantage de cette méthode est qu'elle est inerte, ce qui signifie qu'aucun agent chimique n'est libéré dans l'environnement. Le processus requiert de l'énergie sous forme d'une alimentation électrique.

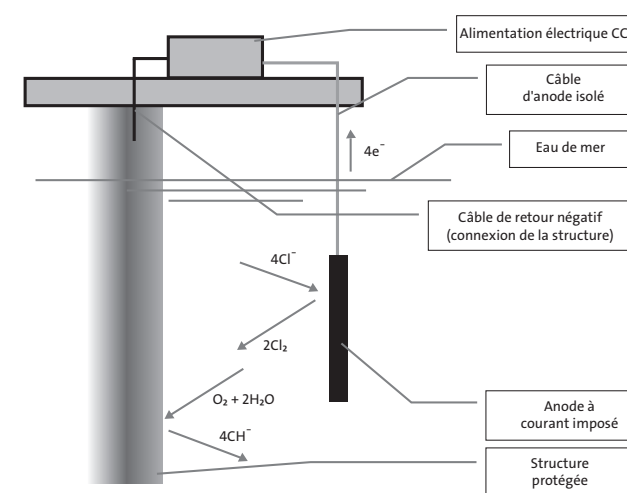


Figure 68 Principe d'un système de protection cathodique par courant imposé

## 10.3 Câbles de descente

Grundfos propose différents types de câbles de descente en fonction de l'installation pour laquelle la pompe est utilisée. Des directives générales sont données au chapitre 7.5.

Ces câbles ont été spécialement développés pour être utilisés avec des pompes immergées. Certains d'entre-eux possèdent une homologation pour l'eau potable. De nombreux fabricants produisent ces câbles compatibles avec les pompes immergées.

Grundfos recommande de toujours demander au fabricant du câble de garantir que celui-ci satisfait à la norme Grundfos GS418A0010. Il s'agit d'un essai de résistance d'isolement supplémentaire réalisé avec le câble immergé dans l'eau.

La fonctionnalité du câble dépend du joint d'étanchéité. Le matériau d'étanchéité doit pouvoir coller à la surface du câble et des différents fils. Il est donc primordial de nettoyer la surface avant la pose du joint d'étanchéité. Certains fabricants de câbles utilisent des lubrifiants liquides tels que du silicone dans le cadre de leurs processus internes. Ces fluides sont pratiquement impossibles à éliminer de la surface, ce qui empêche la pose d'un joint d'étanchéité. Vérifiez toujours que les extrémités de câble sont correctes au niveau du câble de descente et du câble moteur.

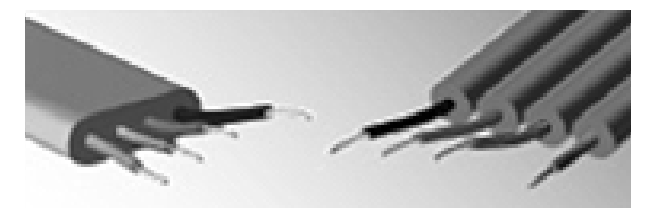
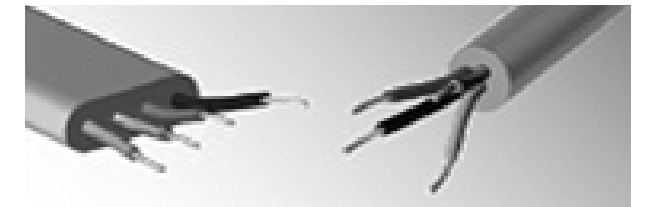
## 10.4 Extrémités de câble

Peu importe le type de joint, l'adhésion entre le matériau d'étanchéité et le câble est la clé pour obtenir un joint étanche. Comme mentionné au point 10.3 ci-dessus, la surface du câble doit être propre et exempte de toute trace d'huile.

Il ne faut jamais appliquer de solvants car cela entraînerait des dommages irréversibles au câble. Seuls les processus de nettoyage mécaniques tels que le séchage avec un chiffon propre ou un ponçage au papier abrasif afin d'obtenir une surface métallique vierge sont autorisés.

Grundfos propose toute une gamme d'extrémités de câble homologuées pour la connexion de câbles de descente quadripolaires ou de câbles de descente unipolaires au câble moteur, que ce soit sous forme de joint en résine ou de gaine thermorétractable.

Grundfos recommande de toujours utiliser des « extrémités de câble KM » en gaine rétractable.



10.5 COLONNES MONTANTES

En alternative aux conduites en acier inox et plastique, Grundfos propose la colonne montante flexible Wellmaster. Il s'agit d'un tuyau flexible à revêtement en polyuréthane, homologué pour l'eau potable dans différents domaines et se déclinant dans des tailles allant de 1 à 8" (2,5 cm à 20,3 cm). Il est disponible dans des longueurs allant jusqu'à 200 mètres.

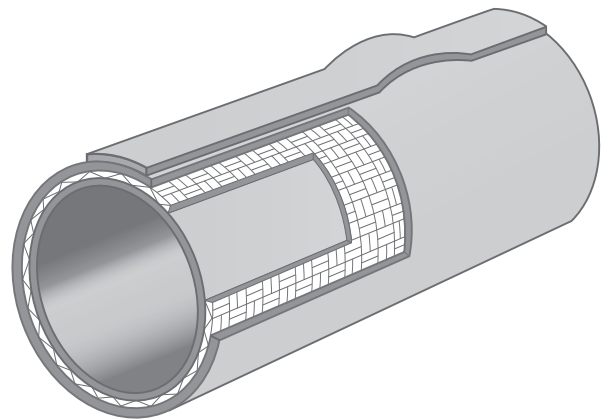


Figure 69 Coupe transversale d'un tuyau Wellmaster

10.6 TUYAUX DE RACCORDEMENT

Les pompes SP sont toujours dotées d'un filetage Rp ou NPT. Si ce filetage « standard » n'est pas acceptable, Grundfos propose une vaste gamme de raccords qui vous permettra d'obtenir des filetages Rp/NPT de toutes tailles ainsi que de transformer un filetage Rp/NPT en une bride DIN standard.



10.7 PROTECTION MOTEUR

Pour la protection moteur, Grundfos propose le dispositif MP204, qui est également capable de traiter les signaux de température du tempcon, si le moteur en est équipé. Si le moteur n'en est pas équipé, l'utilisation d'une sonde PT100 ou PT1000 est recommandée. Le MP 204 peut également traiter ce signal.

Le MP 204 est un dispositif électronique de protection moteur servant à protéger le moteur et la pompe immergés.

- Le MP204 offre les avantages suivants :
- Compatible à la fois avec les moteurs monophasés et les moteurs triphasés
  - Protection contre la marche à sec
  - Protection contre la surchauffe du moteur
  - Protection contre la surcharge
  - Niveau de précision très élevé

10.8 CONVERTISSEUR DE FRÉQUENCE CUE

Les convertisseurs de fréquence externes CUE de Grundfos sont conçus pour réguler la vitesse d'un moteur immergé Grundfos.

Lors de l'utilisation d'un CUE, le moteur ne requiert aucune protection supplémentaire et offre les avantages suivants :

- Pression constante
- Niveau constant
- Débit constant
- Courbe constante
- Conditions de fonctionnement optimales (économie d'énergie)

Lors de l'utilisation de convertisseurs de fréquence, un filtre de sortie est requis. Grundfos propose deux types de filtres : filtres dU/dt ou filtre sinusoïdale.





## INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES



Pour de plus amples informations concernant Grundfos, rendez-vous sur :

[www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

### Le Grundfos Product Center

L'outil en ligne Grundfos Product Center vous permet de dimensionner vos pompes, de naviguer dans le catalogue de produits Grundfos, de trouver des pompes de remplacement adaptées ou encore des pompes compatibles avec des liquides bien spécifiques. Le Grundfos Product Center vous donne toutes les informations dont vous avez besoin pour chaque pompe, y compris les courbes de pompe, les spécifications techniques, les schémas DAO, les pièces détachées disponibles, les vidéos d'installation et toute documentation annexe. Tout est regroupé sur la page produit de la pompe !

Le Grundfos Product Center a été conçu pour être simple à utiliser et vous permettre de trouver rapidement et facilement tout ce dont vous avez besoin. Utilisez les fonctions suivantes pour trouver les informations relatives aux pompes :

- **Recherche rapide** : Cherchez une pompe spécifique et trouvez les informations relatives à sa taille et à son remplacement.
- **Guide des fluides** : Saisissez le fluide, la température et la concentration afin de trouver la pompe adaptée.
- **Dimensionnement rapide** : Saisissez simplement la hauteur et le débit de la pompe souhaitée et le système trouvera les pompes Grundfos qui satisfont à ces critères.
- **Résultat personnalisés** : Les résultats seront classés en fonction d'options telles que les pompes les moins chères, les pompes consommant le moins d'énergie et les pompes dont le coût du cycle de vie est le plus faible.

En tant qu'utilisateur enregistré du Grundfos Product Center, vous pouvez accéder rapidement à vos articles récents et sauvegardés, y compris les projets complets, et ce directement depuis la page d'accueil. Le système a été optimisé pour pouvoir être utilisé à partir de terminaux mobiles. Vous pouvez ainsi y accéder facilement avec votre smartphone ou tablette.

Index alphabétique	chapitre	page
Accessoires.....	10	83
Informations supplémentaires.....	11	87
Présence d'air/de gaz dans l'eau.....	3.4	20
Applications.....	3	17
Autotransformateur – AT.....	5.4.3	39
Historique.....	8.5.1	76
Modules de surpression.....	3.7	24
Raccords de câbles.....	10.4	85
Sélection et dimensionnement du câble.....	7.5	63
Jonction/raccord du câble moteur et du câble de descente.....	7.6.2	65
Directives de câblage.....	8.5.3	77
Protection cathodique.....	10.2.1	83
Communication.....	8	71
Communication et technologie de mise en réseau.....	8.2	71
Protocole de communication.....	8.4.2	75
Chemises de refroidissement.....	10.1	83
Protection anticorrosion dans l'eau de mer.....	10.2	83
Eau corrosive (eau de mer).....	3.5	22
Entraînement à vitesse variable CUE pour pompes SP.....	5.6	43
Asymétrie de courant.....	6.6	50
Déclassement des moteurs immergés.....	7.3.6	60
Assèchement.....	3.2	19
Direct – DOL.....	5.4.1	36
Câbles de descente.....	10.3	84
Fréquence.....	6.3	48
Convertisseurs de fréquence (entraînement à vitesse variable).....	5.4.6	40
Alimentation en eau douce.....	3.1	17
Sources d'eau douce.....	2.3.1	14
Sources d'eau de mer et d'eau salée.....	2.3.2	14
Profil fonctionnel.....	8.4.3	75
Systèmes de protection cathodique galvanique.....	10.2.2	83
Introduction générale.....	8.1	71
Fonctionnement du générateur.....	7.1.2	67
GENIbus.....	8.5	76
Connexion au réseau.....	6.5	49
Eaux souterraines.....	2.2	9
Exigences relatives aux eaux souterraines.....	2.2.3	10
Puits d'eau souterraine.....	2.2.1	9
Produits Grundfos GENIbus pour applications SP.....	8.6	78
Assemblage et branchements.....	7.6	65
Installation horizontale.....	3.3	20
Eau chaude et eau géothermique.....	3.6	23
Systèmes de protection cathodique par courant imposé.....	10.2.3	84
Installation et fonctionnement.....	7	53
Introduction.....	1	7
Exploitation minière.....	3.2.1	19
Câbles et joints moteur, référence aux câbles immergés.....	5.2	35
Dispositifs de protection moteur.....	5.3	36
Types de moteurs, description générale.....	5.1	33
Moteurs et commandes.....	5	33
Bases de la mise en réseau.....	8.4	74
Infrastructure physique du réseau.....	8.4.1	74
Nombre de démarrages/arrêts.....	7.9	67
Fonctionnement avec un convertisseur de fréquence.....	5.5	42

Index alphabétique	chapitre	page
Surpression et sous-tension.....	6.2.2	47
Production d'énergie.....	6.1	47
Alimentation électrique.....	6	47
Démarrage à résistance, RR.....	5.4.4	39
Protection contre l'ébullition.....	7.3.7	61
Assemblage pompe/moteur.....	7.6.1	65
Sélection de la pompe et du moteur.....	7.3	56
Courbes de la pompe et tolérances.....	4.4	29
Rendement de la pompe.....	7.3.4	57
Principe de la pompe.....	4.1	27
Sélection de la pompe.....	4.3	28
Réglage de la pompe.....	7.2	56
Démarrage de la pompe.....	7.10	67
Pompes.....	4	27
Fonctionnement des pompes en parallèle.....	7.7	66
Fonctionnement des pompes en série.....	7.8	66
Réduction du courant à rotor bloqué.....	5.4	36
Eau brute/des puits et capacité de traitement de l'eau requises.....	2.2.4	11
Ressources.....	2.1	9
Raccordements à la colonne montante.....	7.6.3	66
Sélection de la colonne montante.....	7.4	62
Colonnes montantes.....	10.5	85
Filtration sur berge.....	2.2.2	9
Fonctions SCADA.....	8.3.2	72
Éléments principaux du système SCADA.....	8.3.1	72
Systèmes SCADA.....	8.3	72
Chemises de refroidissement.....	7.3.8	61
Démarrage progressif – SS.....	5.4.5	39
Étoile-triangle – SD.....	5.4.2	38
Eau de surface.....	2.3	14
Description technique.....	8.5.2	76
Point de consigne.....	7.3.1	56
Bus de terrain.....	8.4.4	75
Dépannage.....	9	73
Entraînements à fréquence variable.....	6.4	48
Fonctionnement avec un EFV.....	7.1.1	67
Tension.....	6.2	47
Déséquilibre de tension.....	6.2.1	47
Adduction d'eau.....	2	9
Température de l'eau.....	7.3.5	60
Pièces d'usure.....	4.2	28
SCADA hébergé sur le web.....	8.3.3	73
Diamètre du puits.....	7.3.2	57
Rendement du puits.....	7.3.3	57
Rendement du puits et efficacité opérationnelle.....	2.2.5	12
Puits et conditions.....	7.1	55

## LE SYSTÈME SP

Un système immergé Grundfos complet est composé d'une pompe SP, d'un moteur dédié, d'un entraînement à fréquence variable et d'un dispositif de surveillance. Chaque composant est conçu pour interagir parfaitement avec les autres afin de garantir une performance fiable et un rendement énergétique élevé.

Grundfos possède des décennies d'expérience dans le secteur des installations immergées ainsi qu'un vaste savoir-faire dans les domaines de l'adduction d'eau, de l'irrigation et de l'exploitation minière.

Pour de plus amples informations concernant les avantages offerts par un système SP complet, rendez-vous sur **[grundfos.com](http://grundfos.com)**