# ÉNERGIE URBAINE

## GUIDE D'APPLICATION

be
think
innovate

GRUNDFOS

# PRÉFACE

L'accès à l'énergie a toujours été et reste un préalable essentiel pour les générations qui souhaitent créer des conditions de vie saines, que ce soit pour elles-mêmes ou leurs descendants. Très tôt, il est apparu souhaitable de pouvoir vivre chez soi confortablement et au chaud.

L'énergie est vitale pour le fonctionnement de nos sociétés. Nous avons besoin de solutions permettant d'associer une croissance économique saine à un impact mineur sur l'environnement. L'énergie urbaine (regroupant les réseaux urbains de chauffage et de climatisation) est la clé d'un développement durable. Son infrastructure permet de réduire considérablement les émissions carbone en amenant les villes à exploiter leurs potentiels d'énergies renouvelables et de surplus de chaleur, qui autrement seraient gaspillés ; ces nouvelles sources viennent ainsi se substituer aux énergies fossiles.

Nous gaspillons plus de la moitié de l'énergie que nous consommons pour le chauffage et la climatisation conventionnels. L'idée fondamentale de l'énergie urbaine est simple : réutiliser/recycler l'énergie en surplus qui autrement serait gaspillée. Les réseaux d'énergie urbaine sont donc essentiels pour réduire les émissions de $CO_2$ et accroître le rendement énergétique de nos villes, communautés et campus.

Les avantages environnementaux, sociaux et économiques retirés de la récupération du surplus de chaleur et de l'utilisation de sources d'énergie renouvelables font du chauffage urbain et de la climatisation urbaine l'option la plus sensée pour les communautés qui cherchent à promouvoir la croissance économique tout en minimisant les conséquences environnementales.
Au vu de la croissance que connaît l'urbanisation, il est vital de créer des systèmes robustes à même de fournir de la chaleur et du froid de façon simple et efficace aux générations futures. Les réseaux de chauffage et de climatisation urbains peuvent être une solution réelle à un certain nombre de défis que la société moderne doit relever aujourd'hui. De plus en plus de gens décident de vivre dans des villes immenses, ce qui accroit la charge pesant sur les systèmes existants.

Comme les sociétés recherchant des sources d'énergies renouvelables sont de plus en plus nombreuses, elles rencontrent des problèmes comme les fluctuations dans le réseau électrique, l'électricité étant parfois produite aux moments où on en a peu ou moins besoin. Dans ces cas précis, les réseaux d'énergie urbaine peuvent venir « lisser » ces fluctuations en offrant des capacités de stockage énergétique. Il ne s'agit que d'un exemple des nombreux avantages que peuvent offrir les systèmes d'énergie urbaine. Nous espérons que le contenu de ce guide piquera la curiosité du lecteur et l'amènera à explorer ce sujet plus en profondeur. Nous pensons qu'il s'agit là de solutions optimales à court et long terme pour répondre aux besoins de la société.

Anders Nielsen

*Responsable application Grundfos Commercial Building Services*

Introduction ..... 4
Définition de l'énergie urbaine ..... 6
Chauffage urbain (DH) ..... 6
Climatisation urbaine (DC) ..... 7
Lien entre le chauffage et la climatisation ..... 7
Bref historique de l'énergie urbaine ..... 8
Chauffage urbain ..... 8
Climatisation urbaine ..... 10
Installations côté consommateur ..... 11
Systèmes directs ..... 12
Systèmes indirects ..... 13
Connexion de la boucle de mélange ..... 16
Production d'eau chaude ..... 17
Réseau de distribution de la chaleur ..... 20
Gros consommateurs ..... 20
Climatisation urbaine ..... 21
Règles régissant la consommation et les tarifs ..... 21
Compteurs intelligents ..... 23
Profils de charge au niveau mondial ..... 24
Conception et fonctionnement du réseau ..... 26
Un système de distribution bitube ..... 26
Installation de canalisations souterraines ..... 30
SCADA (système d'acquisition et de contrôle de données) ..... 30
Analyse du réseau et optimisation de la température ..... 31
Production de chaleur et de froid ..... 33
Besoins thermiques ..... 33
Conservation de l'énergie et impact sur le climat et l'environnement ..... 34
Cogénération de chaleur et d'électricité ..... 36
Autres sources de chaleur disponibles ..... 40
Production de froid avec la cogénération de chaleur et d'électricité ..... 42
Traitement des eaux ..... 44
Systèmes de stockage de l'énergie thermique ..... 44
L'exemple danois ..... 50
Des villes intelligentes pour le futur ..... 54
Conclusion ..... 55

# INTRODUCTION

Au cours des dernières années, la consommation d'énergie mondiale a rapidement augmenté. Il s'agit là d'un réel problème, pesant à la fois sur l'approvisionnement en énergie, soumis à des contraintes de quantités et de compétitivité des prix, sur l'environnement local, en particulier dans les grandes zones urbaines, ou même sur le climat mondial. De nombreuses personnes, ainsi que des gouvernements et organisations du monde entier, reconnaissent qu'il est nécessaire d'avoir une consommation plus rationnelle de l'énergie. Très souvent, l'accent est placé sur le développement de nouvelles technologies visant à améliorer l'efficacité dans les bâtiments, le transport et l'industrie ; de même, l'exploitation de sources d'énergie durables et renouvelables, comme la géothermie, l'énergie solaire et éolienne ou la bioénergie, devrait être renforcée.

Les réseaux de chauffage et de climatisation urbains offrent un excellent potentiel en termes de consommation plus rationnelle de l'énergie et de recours plus systématique aux sources d'énergie durables. Ce guide a pour but de présenter et de décrire les caractéristiques des réseaux d'énergie urbaine contemporains, leur évolution et l'énorme potentiel de cette technologie pour les villes modernes.

*Canalisations de distribution pour chauffage urbain*

Nous y abordons certains des problèmes les plus importants posés par les réseaux urbains de chauffage et de climatisation. Ils sont principalement associés à une utilisation rationnelle de l'énergie, à sa conservation et aux améliorations environnementales. Les conditions préalables à l'implantation d'une centrale d'énergie urbaine dépendent beaucoup des conditions locales. Celles-ci recouvrent notamment des problématiques comme le climat, la culture, la structure de la ville, la conception des bâtiments et l'accès aux ressources énergétiques. En d'autres mots, deux systèmes d'énergie urbaine ne seront jamais identiques.

Par conséquent, ce guide décrit un certain nombre de facteurs et d'aspects à prendre en considération, tenant compte de la planification, la conception, la construction et le fonctionnement de nouveaux systèmes ; il est principalement destiné à inspirer la recherche de meilleures solutions énergétiques pour le futur.

# DÉFINITIONS DE L'ÉNERGIE URBAINE

L'énergie urbaine (ou DE pour District Energy) est un terme qui couvre à la fois les réseaux de chauffage urbain et de climatisation urbaine. Les deux types de services sont des infrastructures similaires capables de fournir de la chaleur ou du froid à un certain nombre de bâtiments. Dans les deux cas, l'infrastructure est constituée d'un réseau bitube, raccordant la station d'énergie à chaque consommateur connecté. Ces réseaux peuvent couvrir un ou plusieurs quartiers à forte densité dans une ville. De plus en plus souvent, les nouveaux quartiers ou nouveaux centres urbains sont entièrement alimentés en DE, et dans de nombreux cas, les villes ou centres urbains existants utilisent très largement la DE (à plus de 90 %).

## Chauffage urbain (ou DH, pour District Heating)

Dans les réseaux DH, l'eau chaude est pompée puis acheminée à travers une canalisation vers le consommateur ; là, elle traverse son circuit de chauffage où elle libère son énergie dans le bâtiment et revient à la station pour être réchauffée. Dans les réseaux contemporains, les températures d'alimentation et de retour types se situent respectivement autour de 75 °C et 35 °C. Toutefois, les réseaux à basse température gagnent du terrain ces dernières années. Dans de tels systèmes, les températures d'alimentation et de retour peuvent atteindre des valeurs aussi faibles que 60/30 °C, voire 55/25 °C. Certains réseaux DH plus anciens fonctionnent à la vapeur plutôt qu'à l'eau.

*Construction d'un réseau de canalisations principal à grande échelle pour le chauffage à travers le centre d'une ville.*

## Climatisation urbaine (ou DC pour District Cooling)

Dans les réseaux DC, l'eau à la sortie est refroidie à une température inférieure à la température ambiante, puis elle est acheminée chez le consommateur où la chaleur en excès de la centrale frigorifique du bâtiment est transférée à l'eau froide. L'eau réchauffée est renvoyée à la centrale pour être refroidie dans différents types de groupe frigorifiques. L'excès de chaleur doit alors être rejeté dans l'environnement ou recyclé pour être utilisé dans un réseau de chauffage urbain. Les températures d'alimentation des réseaux DC contemporains sont souvent d'environ 10 °C et les températures de retour d'environ 20 °C. Les anciens réseaux étaient souvent conçus pour fonctionner à 4/12 °C.

## Lien entre le chauffage et la climatisation

Les charges maximales de chauffage et de climatisation d'un bâtiment, relevées respectivement en hiver et en été, sont souvent au même niveau. D'un site à l'autre, la durée de la période de chauffage et celle de la période de climatisation sont rarement équivalentes. Par exemple, en Europe du nord, la saison de chauffage est plus longue que celle de la climatisation. Toutefois, le nombre d'appareils électriques, comme les ordinateurs et les serveurs dans les bureaux modernes, ne cessant de croître, il est de plus en plus nécessaire de rafraîchir les bâtiments au cours de l'année ; de même le chauffage urbain fonctionne tout l'été afin de satisfaire la demande en eau chaude sanitaire.

# BREF HISTORIQUE DE L'ÉNERGIE URBAINE

## Chauffage urbain

Outre quelques exemples connus remontant à l'empire romain, où l'eau des sources chaudes était canalisée sous le sol des bâtiments pour chauffer des salles entières, le chauffage urbain à l'échelle industrielle a d'abord été conçu aux États-Unis à la fin du 19e siècle.

*1ère génération*
Les réseaux de première génération ont été construits pour utiliser la vapeur ; après avoir chauffé des bâtiments, le condensat était évacué vers les égouts. Cependant, les réseaux plus récents ont été conçus avec des canalisations de retour pour le condensat, ce qui permet de réduire les pertes d'eau et d'énergie car le système forme une boucle grâce à laquelle le condensat peut être à nouveau chauffé.

*2e génération*
Au début du 20e siècle, les réseaux de deuxième génération basés sur de l'eau à haute température (plus de 120 °C) sont apparus. De nombreuses grandes villes d'Europe ont repris l'idée du chauffage urbain en l'associant à l'électrification : la chaleur en surplus des turbines ou moteurs des centrales électriques locales pouvait être utilisée pour le chauffage. En général, étaient alimentés les centres villes concentrant un grand nombre de bâtiments publics ; avec le temps, ces réseaux se sont aussi développés pour inclure des zones d'immeubles à étages. En ce qui concerne les centrales de première génération, les connexions aux consommateurs se faisaient via des échangeurs thermiques en raison des haute températures et hautes pression de ces centrales. Les centrales DH de ce type se sont multipliées en Europe centrale et en Europe de l'Ouest, en Russie et en Asie.

*Le chauffage urbain joue un rôle de premier ordre au Danemark. Quelques 450 centrales, grandes comme petites, alimentent en DH environ 1,6 million de logements. Cela correspond à environ 64 % des foyers, en plus du grand nombre d'institutions et d'entreprises qui en bénéficient.*

*3e génération*

Les réseaux de troisième génération se caractérisent par l'utilisation d'eau chaude à une température inférieure à 120 °C. On a construit un très grand nombre de ces centrales au Danemark dans la deuxième moitié du 20e siècle. En fait, une bonne parte de tous les foyers danois et de nombreux bâtiments institutionnels, industriels et commerciaux sont chauffés de cette façon. La grande majorité de ces centrales est connectée aux installations des consommateurs sans échangeurs thermiques, ce qui signifie que l'eau du chauffage urbain provenant des centrales productrices circule à travers tout le réseau de canalisations dans les radiateurs et autres installations de chaque maison pour revenir au point de départ. Cependant, des réservoirs d'eau chaude ou des échangeurs thermiques sont installés dans les maisons afin d'assurer la production d'eau chaude sanitaire.

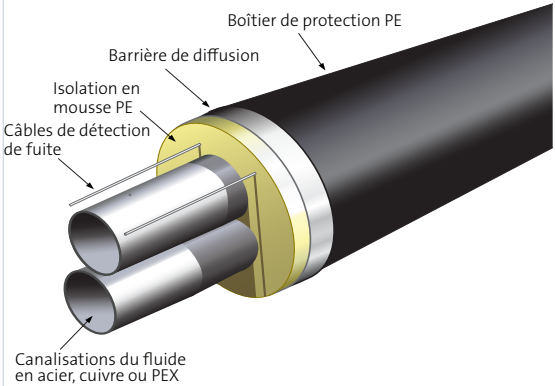
Auparavant, ces centrales fonctionnaient en général à des températures d'alimentation de 80 °C, et il est apparu possible de parvenir à des températures de retour de 40 °C. Toutefois, dans les villes situées sur des reliefs aux pentes accentuées ou dans les bâtiments élevés, les fortes pressions statiques pouvaient se révéler trop importantes. Dans de tels cas, il a été nécessaire d'utiliser des échangeurs thermiques pour séparer le circuit interne de la maison du réseau de distribution. Aujourd'hui, les systèmes fonctionnent habituellement à des températures plus basses la plupart de l'année.

Pouvoir fonctionner avec des températures DH plutôt basses a permis d'extraire à basse pression la vapeur des turbines des centrales de cogénération, contribuant à assurer un rendement total élevé, la production d'électricité étant plus performante que celle des centrales pour réseau DH haute température. Les températures basses ont également permis de mieux tirer profit, entre autres, de la chaleur industrielle en surplus, de l'énergie géothermique et de l'énergie solaire.

*4e génération*

Afin d'améliorer encore le rendement des réseaux DH, la quatrième génération se met peu à peu en place. Elle repose sur des besoins énergétiques réduits dans des maisons mieux isolées, de meilleures technologies pour les systèmes de tuyauterie, des échangeurs thermiques compacts ou des petites centrales d'appartements assurant la production d'eau chaude sanitaire, des logiciels d'optimisation et des équipements de contrôle, etc. , et cette transition se fait en douceur. De nombreuses applications ont déjà montré de quelle manière on pouvait encore réduire et réguler les températures d'alimentation en fonction des besoins et de leur évolution d'heure en heure et au jour le jour, le résultat étant des températures de retour plus basses.

Un certain nombre de systèmes de démonstration ciblés ont été introduits. Ils utilisent de nouveaux types de canalisations jumelées de très petites dimensions afin de réduire les pertes de chaleur. Par ailleurs, un large éventail d'initiatives apparentées, comme l'utilisation d'équipements intelligents pour produire l'eau chaude sanitaire, ont vu le jour ces dernières années. Un projet R&D international à grande échelle géré depuis le Danemark, appelé « Fourth Generation District Heating » (Chauffage urbain de quatrième génération, informations sur www.4dh.dk) a été lancé. Il abordera les différents aspects d'un chauffage urbain intelligent dans un futur proche.




*Canalisation jumelée*

## Climatisation urbaine

Les réseaux de climatisation sont connus depuis le milieu du siècle dernier. Le concept de climatisation urbaine est similaire à celui de chauffage urbain, son but étant cependant de refroidir les bâtiments, c'est à dire de prélever la chaleur issue du rayonnement solaire, des équipements de bureau, de l'éclairage et des activités humaines, etc. dans les bâtiments. La charge de climatisation atteint son pic pendant l'été, mais même en hiver le besoin de refroidissement est important.

L'une des premières centrales frigorifiques pour réseau urbain connues se situait à Hartford, dans le Connecticut. Elle prélevait de l'eau de rivière froide et la faisait circuler dans une centrale de centre ville. Depuis lors, de nombreux systèmes plus grands et plus avancés ont été développés et fonctionnent en Amérique, en Europe, au Moyen-Orient et en Extrême-Orient. Les centrales frigorifiques sont par essence très différentes des centrales thermiques et, de façon générale, sont par nature beaucoup plus complexes. Elles peuvent être équipées de compresseurs et/ou d'absorbeurs électriques, ce type d'équipement ayant considérablement évolué au cours des trente dernières années. Par ailleurs, le refroidissement naturel, recourant à l'eau de mer ou à un lac, est utilisé dans ces centrales en association avec les groupes frigorifiques traditionnels.

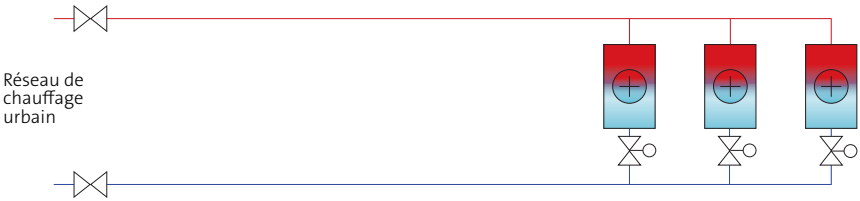
Les centrales DC reposent sur les mêmes idées et avantages que les centrales DH : économies d'échelle, utilisation plus rationnelle de l'énergie et demande plus faible en maintenance pour l'utilisateur, l'entretien de l'installation centralisée étant réalisé par des professionnels. Par ailleurs, quand le DC et le DH sont exploités ensemble, l'interaction entre la génération d'électricité, celle de la chaleur et celle du froid peut être bénéfique pour tous les services en termes d'économie et de conservation de l'énergie.

# INSTALLATIONS CÔTÉ CONSOMMATEUR

## Systèmes directs

La connexion entre un réseau de distribution DH et les installations de chauffage dans les bâtiments peut être soit directe soit indirecte.

Dans les systèmes directs, l'eau DH est directement conduite dans le circuit interne de la maison et circule à travers les radiateurs. L'échangeur thermique ou le réservoir d'eau chaude est par ailleurs alimenté en eau chaude sanitaire. Avec ces systèmes, la pression maximale doit rester basse, normalement à 6 bars. Une connexion directe est une façon très simple et peu coûteuse de raccorder un consommateur au réseau. L'inconvénient est que le consommateur n'aura aucun moyen de régler la température entrante établie par la centrale DH. Au lieu de cela, la température fixée par la centrale doit se trouver dans une plage adaptée à une utilisation par le consommateur. L'avantage d'un système direct est la possibilité de fonctionner avec des températures d'alimentation et de retour très basses, la chute de température au niveau de l'échangeur thermique pouvant être




*Connexion directe entre le réseau de chauffage urbain et les installations côté consommateur*

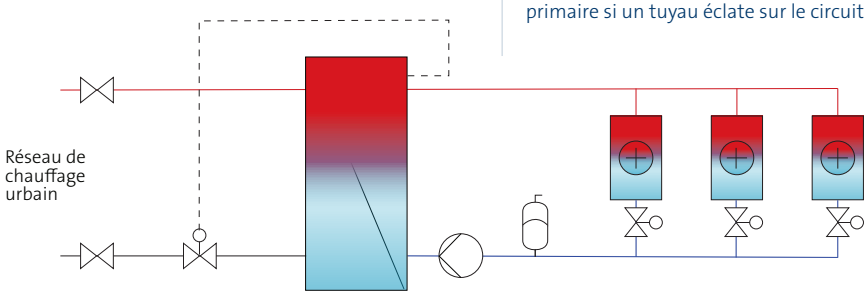
évitée. D'un autre côté, une pression maximale de 6 bars n'est possible que dans les quartiers peu vallonnés, car il faut éviter que la pression statique ne devienne trop forte au sein du réseau. Pour la même raison, la hauteur des bâtiments doit aussi être modérée.

## Systèmes indirects

Dans les systèmes indirects, un échangeur thermique sépare l'eau du réseau DH de l'eau du chauffage central circulant à l'intérieur de la maison à chauffer. Dans ce cas, les niveaux de pression dans le réseau DH et dans le circuit interne de la maison peuvent être différents.

En général, un système indirect nécessite des températures d'alimentation DH d'environ 10 °C supérieures à celles d'un système direct ; en outre, des pompes de circulation sont nécessaires dans chaque bâtiment. Par ailleurs, la température de retour est aussi supérieure de 10 °C.

Le chauffage urbain (DH) et la climatisation urbaine (DC) recourent tous deux aux échangeurs thermiques. L'avantage est que celui-ci permet une séparation hydraulique entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Du fait de cette séparation hydraulique, il n'y a aucun impact sur le circuit primaire si un tuyau éclate sur le circuit secondaire.




*Connexion indirecte entre le réseau de chauffage urbain et les installations côté consommateur.*

En même temps, l'avantage pour le consommateur est que les fuites potentielles sont minimes.

Les bénéfices apportés par l'échangeur thermique ne se limitent pas à la séparation hydraulique.

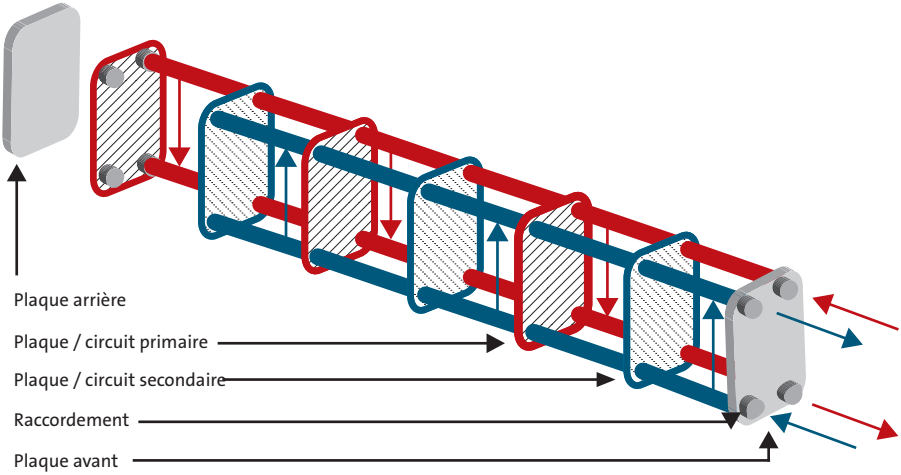
Dans la plupart des cas, la température que la centrale urbaine doit fournir peut être soit réduite (pour le chauffage), soit augmentée (pour la climatisation). Ce faisant, les pertes thermiques seront réduites côté consommateur. L'expérience montre que l'on peut faire des économies allant jusqu'à 20 % dans une application de chauffage en ajoutant ce type de régulation de température.

L'échangeur thermique permet au consommateur de régler la température d'alimentation du circuit secondaire à un niveau correspondant à ses besoins. Cela se fait en général en laissant la vanne de régulation se régler automatiquement sur le circuit primaire. Le point de consigne pour cette vanne est donné par un régulateur chargé de compenser les conditions climatiques extérieures. De cette façon, la température d'alimentation est ajustée en fonction de la température extérieure.

Les niveaux de température et les débits d'un réseau de chauffage urbain doivent être vus dans un contexte identique : Une température d'alimentation haute permet d'obtenir une température de retour basse et donc d'avoir un débit relativement faible et des coûts de pompage réduits. D'un autre côté, des températures d'alimentation et de retour basses signifient que les pertes thermiques dans le réseau sont faibles. L'équilibre optimum doit donc prendre en compte le coût de l'électricité et celui de la chaleur en vigueur sur le site d'implantation du réseau. Cette optimisation complexe est incorporée dans les programmes d'optimisation contemporains présentés dans le chapitre Analyse du réseau et optimisation de la température.

*Exemple d'un échangeur thermique à plaques de l'entreprise Danfoss.*
*Échangeurs thermique à plaques brasées :*
*Légers, petite taille, prix compétitif.*
*Ne se nettoient que par rinçage, aucune réparation possible, capacité max. ~ 2 MW*

*Échangeurs thermiques à plaques et joint :*
*Construction robuste, peuvent être ouverts pour le nettoyage et la réparation.*
*Capacité max. 30-50 MW*

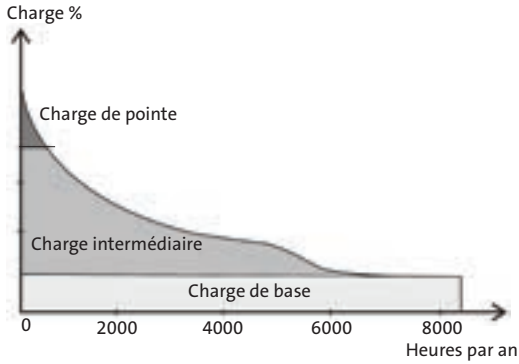



*Principes de base d'un échangeur thermique à plaques*

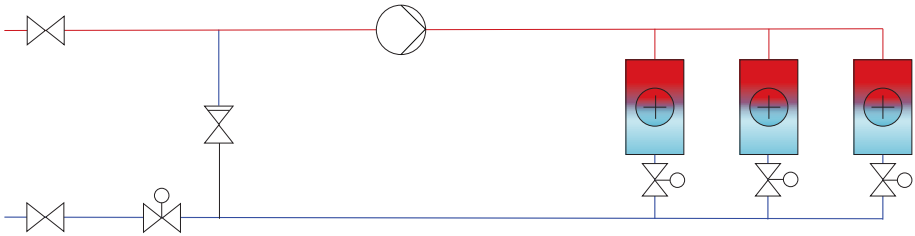
- *Les échangeurs thermiques sont constitués de plaques d'acier inoxydables moulées, entre lesquelles sont créés des canaux d'écoulement.*
- *La forte turbulence et le principe du contre-courant permettent un transfert efficace de la chaleur.*
- *Le concept de base du BPHE (échangeur thermique à plaques brasées) repose sur une série de fines plaques ondulées en acier inoxydable brasées ensemble avec du cuivre*
- *Une plaque sur deux est tournée à 180° pour créer des voies d'écoulement distinctes pour le liquide*

# Connexion de la boucle de mélange

La connexion de la boucle de mélange permet au consommateur de régler la température d'alimentation en fonction des besoins réels en ajustant la vanne de régulation sur le circuit primaire. Quand la vanne est partiellement fermée, une certaine quantité d'eau est remise en circulation dans le tuyau d'alimentation ; ainsi, la température d'alimentation du circuit secondaire est un mélange entre la température d'alimentation du circuit primaire et la température de retour du circuit secondaire.
Il convient d'ajuster la température d'alimentation car celle-ci doit s'adapter aux différents besoins de charge pendant la journée, en se basant par exemple sur la charge du bâtiment en termes d'occupants, d'ordinateurs, d'éclairage, etc. La charge fluctue aussi au cours de l'année en fonction des conditions météo locales.



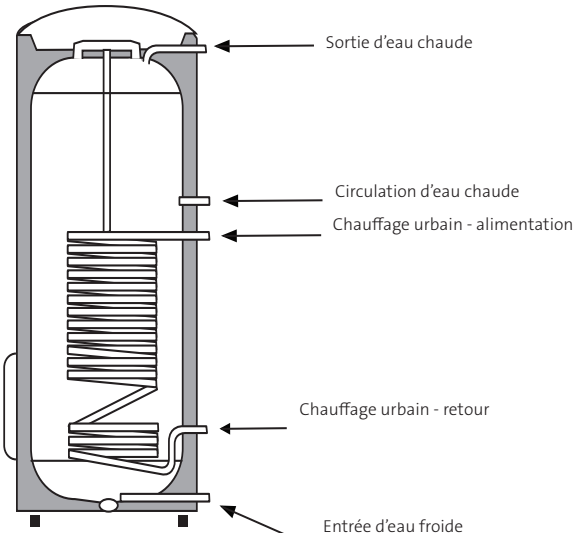

*Une courbe de durée de charge type pour le chauffage urbain.*



*La connexion de la boucle de mélange permet à l'utilisateur de régler la température de l'eau à ses besoins réels.*

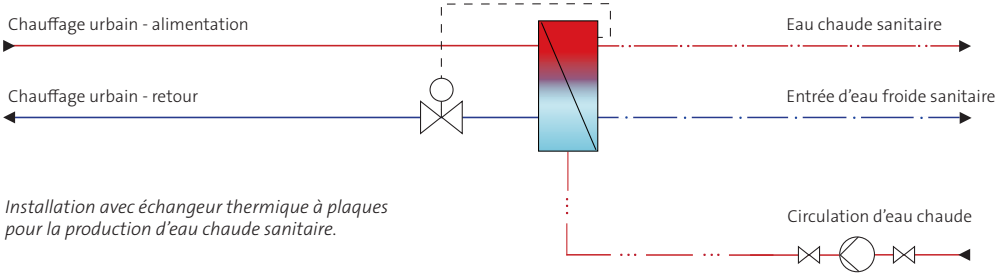
# PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Il est possible de produire de l'eau chaude sanitaire de différentes façons. La solution traditionnelle utilisant un réservoir d'eau chaude avec spirale interne est présentée ci-dessous.




*Réservoir d'eau chaude*
*Source : Viessmann*

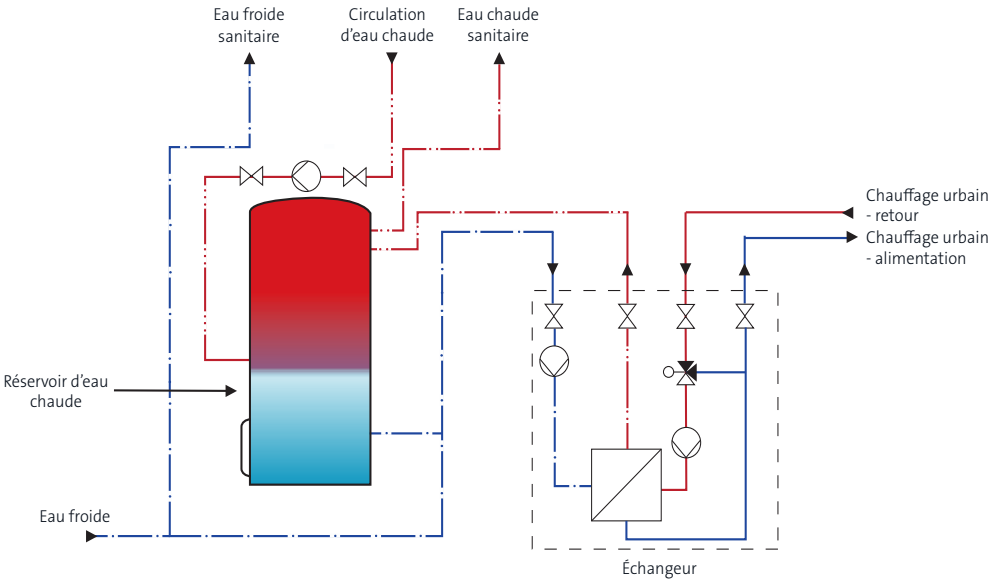
Au cours des dernières années, l'utilisation d'échangeurs thermiques s'est répandue, ces unités ne nécessitant que peu d'espace. Un autre de leurs avantages, et pas des moindres, est qu'ils présentent un rendement élevé leur permettant de produire de l'eau chaude avec une température primaire relativement faible. Un exemple d'installation assez simple est présenté ci-dessous.




*Installation avec échangeur thermique à plaques pour la production d'eau chaude sanitaire.*

Dans les situations où la demande maximale d'eau chaude excède la capacité du réseau de chauffage urbain, une solution consiste à installer un échangeur thermique couplé à un réservoir d'eau chaude ; c'est ce que l'on appelle un circuit de charge.
Avec cette solution, la période de « charge » peut être prolongée et assez d'eau chaude peut être « stockée » pour assurer l'approvisionnement en périodes de pointe. Autre avantage, la capacité du système à livrer l'eau de retour au réseau de chauffage urbain à une température relativement basse.
Quel que soit le système utilisé pour produire de l'eau chaude, des précautions particulières doivent être prises pour assurer de bonnes conditions sanitaires et éviter notamment la prolifération des légionelles. Ce sujet ne sera pas abordé dans ce document, cependant il est traité dans le Guide de désinfection.
Quand un échangeur thermique à plaques est intégré au réseau d'eau chaude, le tartre et la

façon de l'éviter doivent aussi être abordés, car l'impact négatif sur la performance du système peut être énorme. Les problèmes de tartre varient considérablement d'une nappe phréatique à l'autre. Les autorités locales doivent toujours être consultées avant de prendre une décision concernant le type de système optimal.




*Système de chargement d'eau chaude avec réservoir de stockage*

# RÉSEAU DE DISTRIBUTION DU CHAUFFAGE

En fonction de la structure et de la taille des villes, combiner des systèmes directs et indirects peut aussi s'avérer judicieux. Dans les grands réseaux DH couvrant toute une région, un réseau de canalisations de distribution global peut permettre de raccorder un certain nombre de grosses sous-stations, chacune desservant des réseaux DH locaux plus petits auxquels les consommateurs sont directement connectés. Ce type de système permet en général un fonctionnement à basse température dans chaque zone urbaine desservie et peut tirer parti de sources de chaleur locales, comme les capteurs solaires ou la chaleur dégagée par les activités commerciales.

Le système global est en effet en mesure de transporter de grandes quantités de chaleur sur de longues distances, un peu à la manière des systèmes de transmission sur le réseau électrique.

## Gros consommateurs

Si les petits bâtiments, comme les maisons individuelles, bénéficient normalement de leur propre raccordement DH, les bâtiments résidentiels ou administratifs comptant un grand nombre d'occupants, ou encore d'autres types d'utilisateurs comme les entreprises, disposent eux en général d'une dérivation pour le raccord au réseau DH.

Jusqu'à présent, ce type de bâtiments bénéficiait en général d'un système commun de production d'eau chaude sanitaire composé d'un réservoir d'eau chaude centralisé, habituellement placé dans le sous-sol du bâtiment. Cependant, afin de réduire la longueur des tuyaux et d'améliorer la qualité de l'approvisionnement en eau chaude, de nouveaux systèmes basés sur un échangeur thermique à eau chaude placé dans chaque appartement apparaissent maintenant dans ces bâtiments.

*Centrale de climatisation urbaine alimentant les bâtiments commerciaux.*

Cette approche facilite aussi la mesure de la consommation individuelle de chauffage.

# CLIMATISATION URBAINE

Les clients DC sont en général de grands bâtiments hébergeant des entreprises, hôtels, institutions, etc. Les centrales DC sont ainsi conçues en fonction des conditions locales et leur conception impose souvent certaines restrictions quant à la façon dont doivent être conçues et fonctionner les installations des consommateurs pour optimiser l'intégralité du réseau. Il n'est donc pas possible dans ce guide d'établir des règles générales concernant la conception de réseaux destinés à ces consommateurs.

Cependant, on peut affirmer qu'un réseau favorisera le recours à des capacités de production de froid bon marché et facilement accessibles, à l'instar du refroidissement libre, ainsi qu'à d'autres options à bas coût, le système de distribution fonctionnant alors à des températures assez élevées. Les systèmes de climatisation modernes sont conçus pour fonctionner dans de telles conditions ; toutefois, il est important que le côté demande soit optimisé en fonction de l'agencement côté approvisionnement, et ce dans une mesure bien plus large que pour les réseaux DH.

# RÈGLES RÉGISSANT LA CONSOMMATION ET LES TARIFS

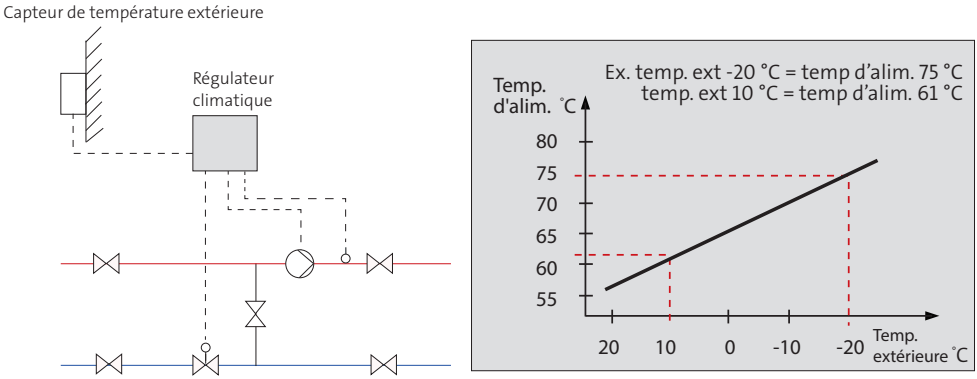
Comme pour tout autre service public tel que l'électricité et le service d'adduction d'eau, les règles de comptage et de facturation de la climatisation et du chauffage doivent être définies et faire l'objet d'un contrat avec le client. Les tarifs sont

souvent partagés entre frais fixes et variables, et le consommateur doit également payer des frais de raccordement au réseau.

- Les frais fixes reflètent le coût annuel fixé pour le réseau de distribution et les centrales de production. Il s'agit essentiellement des coûts d'investissement et de personnel pour assurer le fonctionnement et la maintenance.
- Les coûts variables reflètent l'approvisionnement en énergie, qui peut être de l'électricité ou du carburant pour le fonctionnement des pompes, ou encore l'achat de l'énergie en surplus de l'industrie ou d'une autre source.

- Les frais de raccordement reflètent la part du consommateur dans la capacité du système, et est souvent calculée en se basant, par exemple, sur la taille du bâtiment à alimenter.

Souvent, d'autres circonstances ou règles viennent régir les relations économiques entre le client et le fournisseur DE. Par exemple, ce peut être l'incitation à renvoyer l'eau DH à la température la plus basse possible, ce qui permettrait de maximiser la capacité du système de distribution et de réduire les coûts de production. Pour y parvenir, il est possible de récompenser le consommateur renvoyant des températures de retour très basses ou même de pénaliser des températures de retour trop élevées.
La façon dont les frais et les règles entre le consommateur et la compagnie DE sont établis et administrés dépend de la compagnie DE et de la législation locale ou nationale, ou encore des traditions. Dans certains pays, les services DE sont proposés par des entreprises privées soumises à la concurrence, alors que dans d'autres pays, elles sont plus ou moins soumises aux autorités.




*Fonction de la régulation climatique :*
*En ajoutant de l'eau sur le circuit secondaire, la boucle de mélange régule la température d'alimentation en tenant compte de la température extérieure.*

## Compteurs intelligents

Les compteurs d'énergie contemporains installés chez chaque client peuvent mesurer à la fois le débit et les températures d'alimentation et de retour, et sur cette base calculer la quantité d'énergie réellement consommée. Les données sont enregistrées et calculées à intervalles donnés dans ces compteurs ; ensuite, elles peuvent être collectées par le biais de connexions sans fils par la compagnie DE afin que celle-ci les traite et établisse ses factures.
En se basant sur les températures et les débits collectés à l'entrée des bâtiments et en les assortissant de données similaires issues du système SCADA central, il est maintenant possible de se faire à tout instant une image globale de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie dans tout le réseau.

# PROFILS DE CHARGE AUTOUR DU MONDE

Les températures moyennes les plus hautes se situent dans les zones tropicales et subtropicales. Ces parties du monde nécessitent donc davantage de climatisation que de chauffage. Plus la distance à l'équateur est grande (et donc plus on se rapproche des pôles nord ou sud), plus le climat devient froid, d'où un plus grand besoin de chauffage.

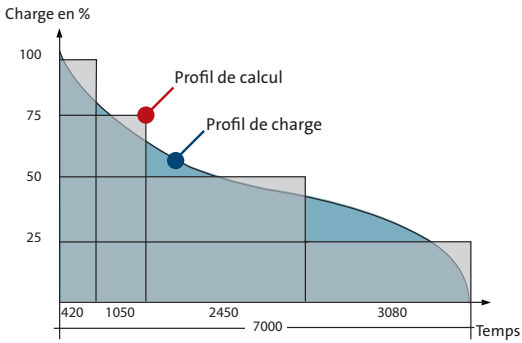
Un autre avantage de l'ajustement de la température d'alimentation est la capacité à augmenter Δt dans le système.
Une augmentation mineure de Δt aboutit à une réduction significative du débit requis et donc de la consommation du système de pompage.

$$\frac{\Phi}{\Delta t} = Q$$

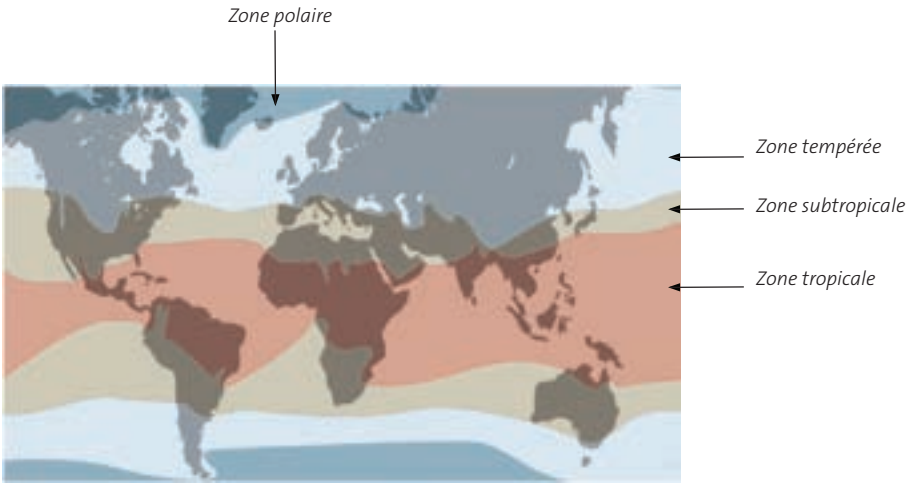
Φ = Flux énergétique
Δt = Différence de température
Q = Débit volumique

| | Distribution | | Consommateur | |
|---|---|---|---|---|
| | Δt | Débit | Δt | Débit |
| Charge | ˚C | m³/h | ˚C | m³/h |
| 1 | 7,5 | 150 | 6 | 187 |
| 2 | 7,5 | 90 | 6 | 113 |
| 3 | 7,5 | 60 | 6 | 75 |
| 4 | 7,5 | 120 | 6 | 150 |
| 5 | 7,5 | 120 | 6 | 225 |
| Total | | 600 | | 750 |

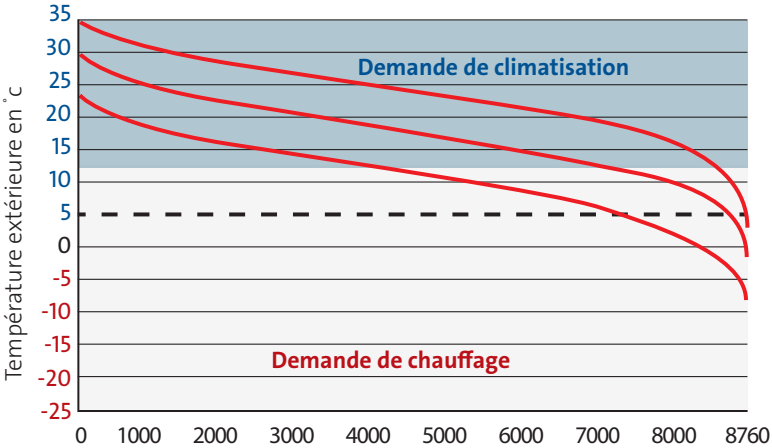
*Une augmentation de Δt de 1,5°conduit à une réduction du débit de 20 %*




*Profil de charge et profil de calcul*




*Mappemonde avec zones climatiques*




*Profils de charge basés sur différentes zones climatiques.*

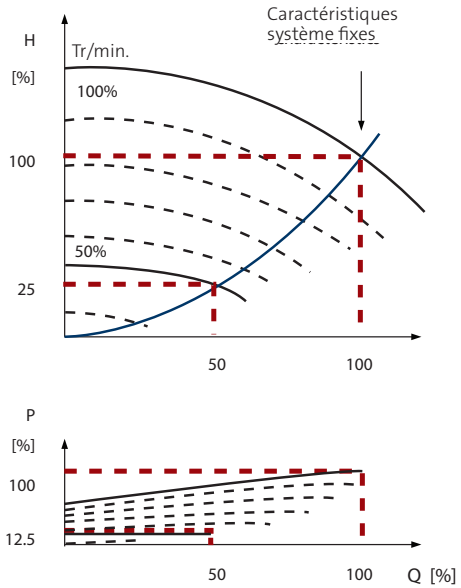
# CONCEPTION ET EXPLOITATION DU RÉSEAU

## Système de distribution bitube

Après avoir traversé la centrale de production de chaleur ou de froid, l'eau est distribuée au consommateur via un réseau de canalisation isolées. Les réseaux d'énergie urbaine sont constitués de canalisations d'alimentation et de retour. En général, les canalisations sont installées sous terre mais il existe aussi des réseaux avec canalisations au sol. Du fait des différences de Δt, les débits et donc la taille des canalisations varient énormément. La température de retour doit toujours être aussi basse que possible afin d'obtenir le Δt le plus grand possible, et donc le débit le plus bas possible.

Dans les réseaux de climatisation urbains, la température d'alimentation se situe souvent entre 4 et 10 °C, et la température de retour entre 10 et 20 °C, en fonction des conditions locales. La température dans les réseaux de chauffage urbain est plus variée et peut aller d'une température d'alimentation de 55 °C dans les systèmes basse température les plus récents à une température d'alimentation de 80 à 90 °C, voire plus. Pour obtenir un bon rendement énergétique dans les centrales thermiques, la température de retour doit être aussi basse que possible, ce qui veut dire que Δt doit être aussi élevé que faire se peut.

*Canalisations de chauffage urbain prêtes à être installées.*




*En changeant la vitesse de la pompe, on modifie la performance et on économise l'énergie. Dans l'exemple, la vitesse est réduite de 50 %, la pression différentielle (H) chute donc de 25 % et la consommation électrique passe de 100 % à 12,5 %.*

---

La loi de l'affinité montre le lien entre :
- Tr/min.
- Débit
- Hauteur manométrique
- Puissance

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_2}$$ DÉBIT > TR/MIN

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_2}\right)^2$$ HAUTEUR > TR/MIN

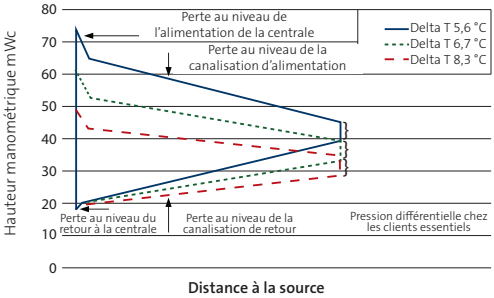
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_2}\right)^3$$ PUISSANCE > TR/MIN

En général, la tendance est au refroidissement des hautes températures et au réchauffement des basses températures, l'objectif étant de livrer de la chaleur ou du froid de la façon la plus économique possible, avec une perte thermique qui soit la plus faible possible au sein du réseau de distribution. Comme l'indiquent les lois de l'affinité, Δt aura un énorme impact sur le coût de pompage.

Les économies d'énergie réalisées en réduisant la vitesse d'une pompe centrifuge sont tout à fait considérables. Comme le montre cet exemple, une réduction du débit de 50 % peut avoir pour résultat une réduction de la consommation électrique d'origine de 88 %.
En particulier dans les systèmes de climatisation urbains, où Δt est bien inférieur à celui d'un réseau de chauffage urbain, il est primordial de maintenir Δt à un niveau acceptable. Un profil de pression est présenté ci-dessous pour illustrer la différence dans la demande de pression différentielle au niveau de l'installation de la pompe principale en fonction des différents niveaux de Δt.

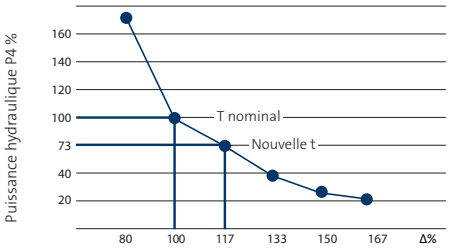
La perte de pression nominale dans le réseau de distribution a un énorme impact sur la consommation énergétique du système de pompage. Le niveau recommandé de perte de pression par mètre est en général d'environ 100 Pa/mètre*. Cependant, dans l'idéal, la taille appropriée pour la canalisation doit être déterminée à partir d'une étude économique sur le coût du cycle de vie portant sur la construction et le fonctionnement.** Quand on détermine le débit nominal des systèmes de distribution thermiques, la diversité des demandes des consommateurs doit être prise en compte, car les pics de demande n'interviennent pas en même temps.

Le réseau d'approvisionnement en chaleur et les canalisations principales peuvent donc être dimensionnés afin de permettre une charge maximale pouvant être quelque peu inférieure à la somme des demandes maximum de chaque consommateur. Le facteur de diversité peut être défini à 0,65 seulement, mais il doit être calculé avec prudence, car la taille et le nombre de charges affectent les valeurs. L'importance de parvenir à un Δt élevé est illustrée dans le tableau ci-dessous. La « puissance hydraulique P4 % » mentionnée est une valeur théorique calculée ; elle montre la relation entre Δt et la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe. La valeur ne prend pas en compte le rendement de la pompe. La connexion se fait entre Δt et l'alimentation nécessaire au fonctionnement de la pompe. Le tableau montre l'effet que produit une augmentation de Δt de simplement 1 °C dans un réseau de climatisation et de 3 °C dans un réseau de chauffage. Ici, il est clair que nous pouvons réduire la demande de puissance hydraulique de 27 %. C'est pour cette raison qu'il est important de se concentrer sur Δt quelles que soient les conditions de fonctionnement.




*Plus Δt est élevé, moins il est nécessaire d'avoir une pression différentielle dans le réseau. Une augmentation Δt de seulement 2,7 °C réduit le besoin de pression différentielle d'un facteur de 2,2.*

** Bøhm 1988*
*** Manuel ASHRAE 2012*




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Δt |
| Chauffage | 17 | 20 | 23 | 27 | 30 | 33 | Δt |

*Lien entre Δt et P4 dans un réseau*

La puissance hydraulique P4, dont il est fait mention, est une valeur théorique calculée qui ne prend pas en compte le rendement de la pompe. La corrélation entre Δt et la puissance nécessaire pour faire fonctionner la pompe, est donnée par les lois de l'affinité.
La raison pour laquelle l'impact est si important est que le débit est proportionnel à la puissance à hauteur d'un tiers. Même une augmentation mineure de Δt aura donc pour effet de réduire le besoin de puissance à la pompe de façon substantielle, et ce, surtout dans les réseaux de climatisation urbains, le Δt nominal y étant relativement bas.

## Installation de canalisations souterraines

Comme le montre ces images, les canalisations destinées au chauffage urbain sont normalement pré-isolées, d'où une perte thermique assez faible. Les canalisations pour la climatisation urbaine ne sont dans certains cas pas isolés, la différence de température entre l'eau froide à l'intérieur des canalisations et le sol environnant étant assez faible. Ces critères dépendent, bien entendu, de la situation géographique. Par exemple, au Moyen-Orient, les températures moyennes extérieures étant élevées, la situation peut être différente et nécessiter une isolation. Cependant, même si les canalisations ne sont pas isolées, elles doivent toujours être enduites à l'extérieur afin de les protéger contre la corrosion.

## SCADA, système d'acquisition et de contrôle de données

Pour qu'un réseau d'énergie urbaine fonctionne de façon optimale, il est vital que le service de télégestion puisse surveiller et régler différents paramètres. Cette demande est couverte par les systèmes SCADA, eux-mêmes utilisés par le personnel chargé de l'exploitation. À titre d'exemple, ces systèmes sont à même de renseigner sur les pressions différentielles livrées aux clients et la température d'alimentation réelle. Pour obtenir un rendement optimum de la centrale, il est essentiel de surveiller la température de retour des consommateurs. Dans certains réseaux de climatisation urbaine, le gestionnaire de la centrale a la possibilité de couper l'alimentation des consommateurs si la température de retour n'est pas la température convenue.

*Canalisations souterraines en centre ville*

*Les nouvelles canalisations sont prêtes à être installées en zone industrielle.*

# ANALYSE DU RÉSEAU ET OPTIMISATION DE LA TEMPÉRATURE

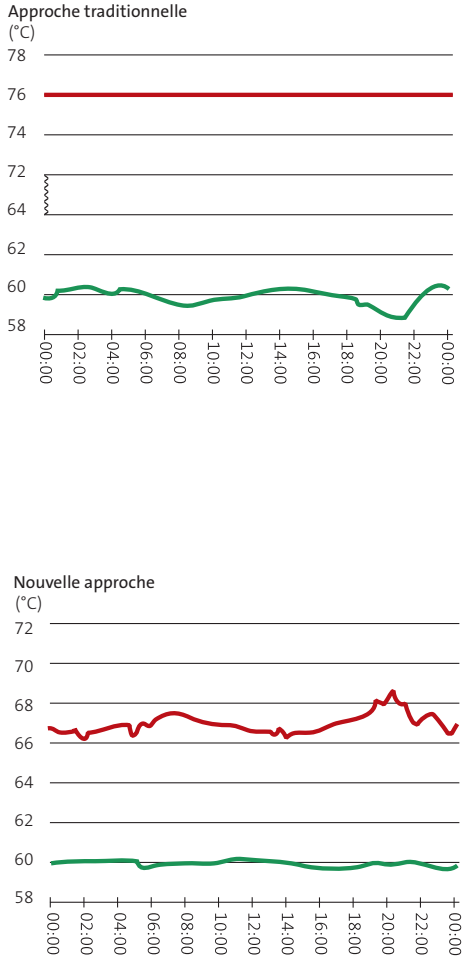
La plupart des réseaux DH subissent des transformations diverses pendant leur durée de vie. À l'heure actuelle, un grand nombre de réseaux DH ont naturellement grandi avec l'expansion des villes. Cela signifie que les réseaux d'origine ont souvent changé, à la fois en taille et en charge. L'extension des réseaux DH a souvent été à l'origine de réseaux plus complexes, difficiles à exploiter sans l'aide d'ordinateurs. Bien qu'un grand nombre de réseaux DH aient été à l'origine calculés à l'aide de modèles informatiques, les modèles actuels disposent de nombreuses nouvelles fonctionnalités permises par l'évolution de l'informatique.

Aux côtés des modèles informatiques statiques que l'on utilise depuis les années 1980, de nouveaux modèles dynamiques commencent à voir le jour depuis environ 2008. Ces modèles sont connectés à d'autres systèmes tels que le système SCADA, les prévisions météorologiques ou les systèmes de comptage à distance. Cette association permet une automatisation plus complexe, par exemple dans le cadre de la gestion des températures d'alimentation. Le logiciel d'énergie urbaine TERMIS en est un exemple.

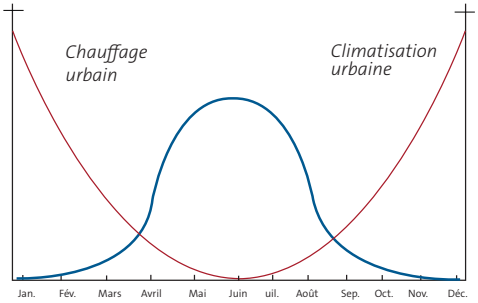
Celui-ci offre notamment un module d'optimisation des températures qui réduit automatiquement la perte thermique dans les réseaux de chauffage urbain, la réduisant en général de 10 %. Les économies réalisées sont significatives, jusqu'à 2 % du coût du chauffage, tout en réduisant les émissions de $CO_2$.

La température d'entrée est ajustée pour être aussi basse que possible, en prenant en compte la quantité de chaleur à fournir aux consommateurs dans le réseau. Le module d'optimisation de la température prend en compte l'énergie accumulée dans le réseau et les changements qui se produisent suite aux prévisions météo, notamment en termes de température extérieure et de vent. À l'avenir, on peut s'attendre à une intégration encore plus importante entre les divers systèmes informatiques utilisés dan les réseaux DH modernes. On continuera à se focaliser sur l'optimisation des pertes thermiques, mais celle des pompes et de la production sera aussi d'actualité. On portera une attention particulière à la température de retour, celle-ci présentant le potentiel d'économies le plus important mais aussi le plus difficile à obtenir.

Pour terminer, on peut conclure que l'optimisation informatisée des réseaux DH n'en est qu'à ses débuts. L'augmentation de la puissance des ordinateurs et l'amélioration des simulations informatiques au moyen de logiciels comme TERMIS sont amenées à évoluer. Outils devenu indispensables pour les opérateurs, ils continueront à leur apporter de précieuses informations dans le cadre de l'exploitation quotidienne et à les aider à prendre des décisions complexes quand il s'agit en premier lieu d'optimiser tout le réseau DH.




*Approche traditionnelle et nouvelle approche montrant comment la température d'alimentation est régulée pour répondre à la demande. Le résultat est une température d'alimentation plus basse*

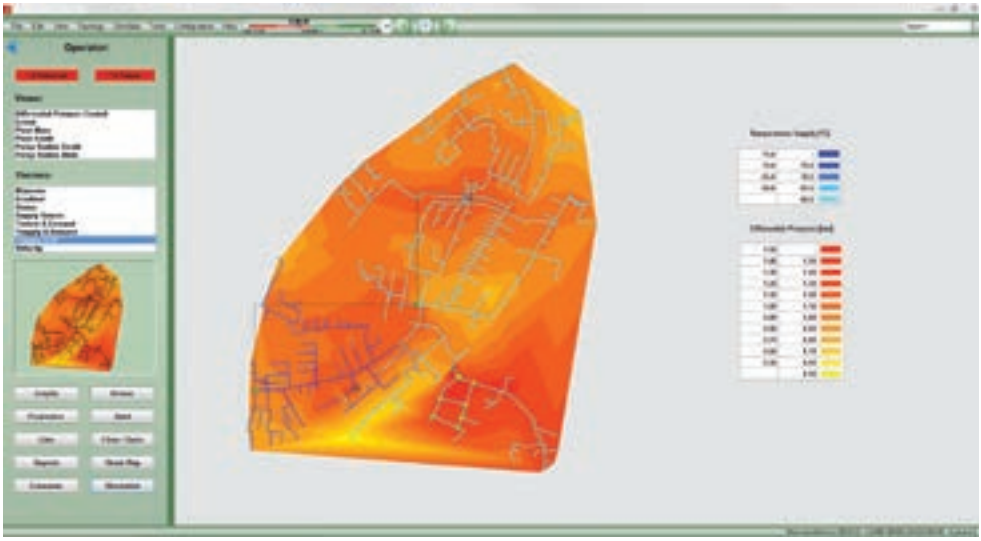



*Courbes annuelles de durée de charge pour le chauffage et la climatisation urbains (hémisphère nord).*

# PRODUCTION DE CHALEUR ET DE FROID

## Besoins thermiques

La demande de chauffage et/ou de froid dépend avant tout des conditions climatiques locales et des besoins spécifiques. En zones tempérées, normalement, le besoin est à la fois en chauffage et en climatisation. En partant du principe que les besoins de pointe pour les deux services sont égaux, ce qui est souvent le cas, on peut établir les courbes de durée de charge présentées ci-dessous. Une courbe de durée indique la variation de charge sur toute une année (en Europe centrale ou en Europe du Nord dans ce cas). On peut voir que la durée est environ trois fois plus longue pour le chauffage que pour le climatisation. Plus au sud, la relation entre les deux besoins s'inverse : moins d'heures à chauffer et plus d'heures à rafraîchir.



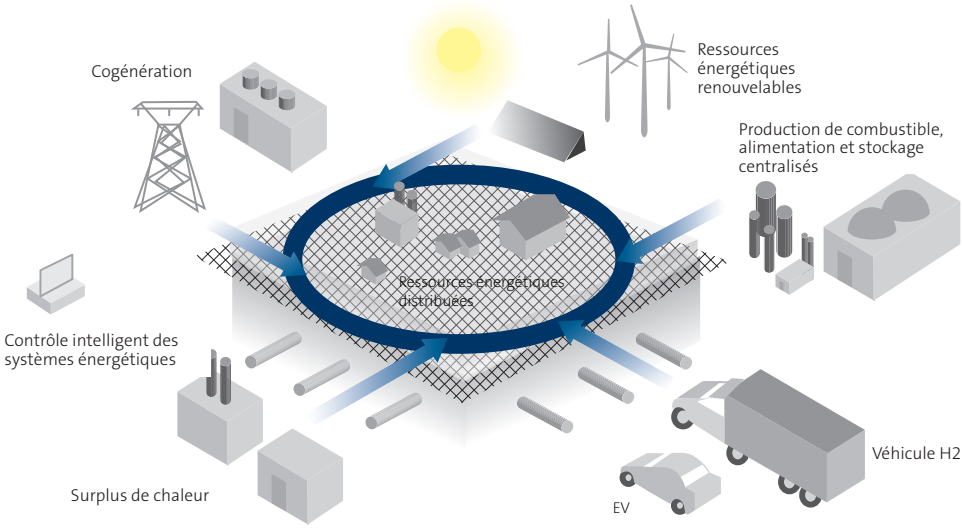
*Capture d'écran de TERMIS*

# CONSERVATION DE L'ÉNERGIE ET IMPACT SUR LE CLIMAT ET L'ENVIRONNEMENT

L'un des principaux atouts de l'énergie urbaine (DE) est que les centrales de ces systèmes sont potentiellement en mesure de réduire considérablement la consommation directe d'énergies fossiles par rapport aux systèmes individuels. Cet atout est indispensable pour l'économie et l'environnement ; la très grande consommation que nous faisons des combustibles fossiles, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, constitue l'une des principales menaces pour le climat, car le $CO_2$ libéré a pour effet d'accroitre l'effet de serre sur terre.

Parmi les sources de chaleur alternatives types, de plus en plus utilisées dans les centrales DH, nous trouvons le surplus de chaleur industrielle, la chaleur issue de l'incinération des déchets municipaux, les biogaz, les biocarburants comme la paille issue des fermes ou le bois de la sylviculture (sous forme de copeaux ou granulés), l'énergie géothermique, l'énergie solaire et dans une certaine mesure, l'énergie éolienne.

Dans la climatisation urbaine, certains de ces mêmes combustibles peuvent être utilisés pour le fonctionnement des machines frigorifiques à absorption ; par ailleurs l'eau de mer ou des lacs est souvent utilisée pour le refroidissement naturel. La colonne vertébrale de la plupart des centrales DE est la cogénération d'électricité, de chaleur et de froid. Un large éventail de possibilités permet de combiner ces différents types de services ; ce peut être le cas de turbines à vapeur fonctionnant avec de la biomasse ou des déchets municipaux. Autre option : les turbines à gaz ou




*Un système énergétique durable est un système d'énergie plus intelligent, plus unifié et plus intégré*

moteurs à gaz qui fonctionnent avec du biogaz ou un autre combustible. Pendant de nombreuses années, ce type de centrale fonctionnait, et dans une certaine mesure fonctionne encore, au charbon, au pétrole ou au gaz. Cependant, un nombre croissant de centrales sont maintenant conçues ou sont modernisées pour davantage utiliser les énergies renouvelables. Il s'agit là d'un autre avantage clé des réseaux DE, car il est assez facile de convertir une grosse centrale à énergie fossile en une centrale plus écologique, plutôt que d'avoir à changer des milliers de chaudières ou de centrales de climatisation électriques dans une grande ville.

Par ailleurs, le rendement global des « réseaux urbains » est normalement plus élevé, d'une part grâce aux économies d'échelle réalisées, d'autre part parce que le débit nécessaire à un grand réseau est inférieur à la somme des débits d'un grand nombre de centrales individuelles. Dans un grand réseau, tous les consommateurs DE bénéficient par conséquent d'un faible coefficient de simultanéité entre eux et d'un grand coefficient de consommation au sein du réseau. Il faut aussi mentionner que contrairement aux installations individuelles, les réseaux DE sont exploités et entretenus par un personnel professionnel constamment à la recherche de possibilités d'optimisation.

# COGÉNÉRATION DE CHALEUR ET D'ÉLECTRICITÉ

La cogénération de chaleur et d'électricité (centrales CHP) offre un fort potentiel du point de vue d'une utilisation rationnelle de l'énergie dans les villes et villages via des réseaux DH nouveaux ou existants. En combinant les types

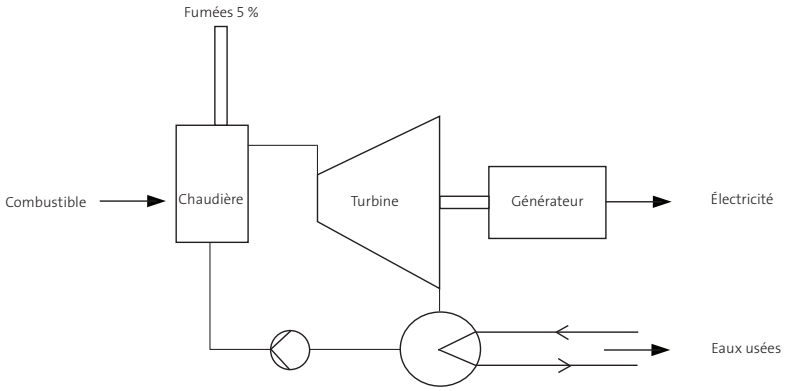



*Schéma d'une centrale électrique conventionnelle*

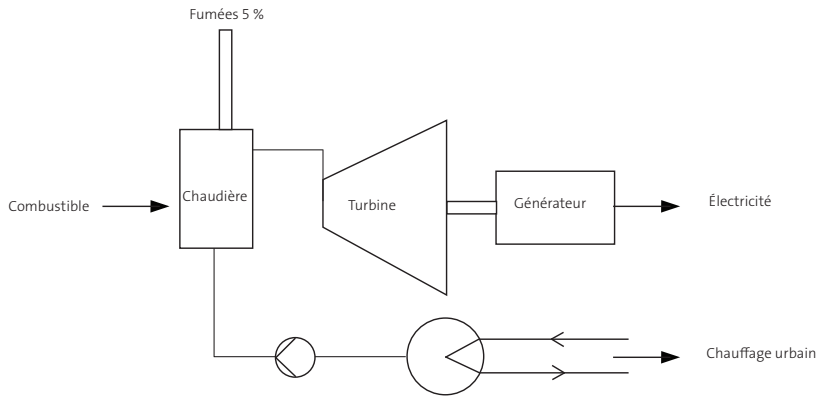
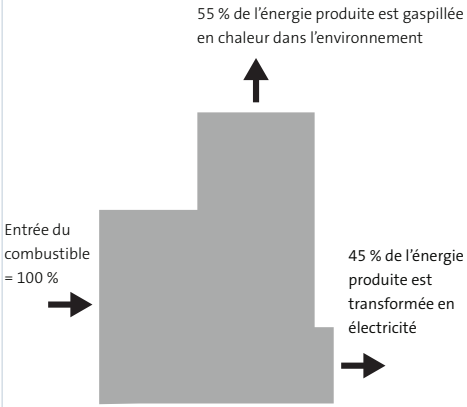



*Schéma d'une centrale de cogénération thermique et électrique, CHP*

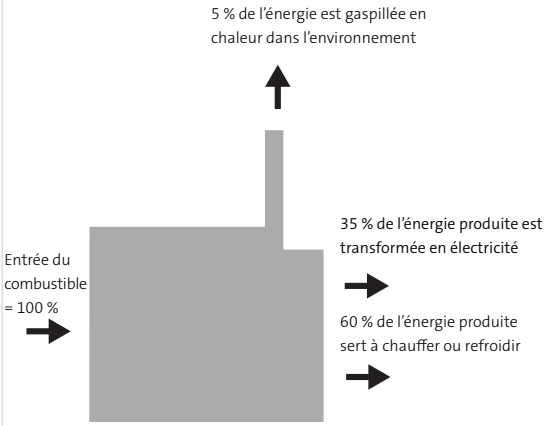
de production, on parvient à un bien meilleur rendement total à partir du combustible utilisé. Une centrale électrique conventionnelle type présente un rendement global de 45 %, 50 % de l'énergie étant perdue en refroidissant l'eau et/ou via une tour de refroidissement, et 5 % étant perdue au niveau de la cheminée. En utilisant l'eau de refroidissement d'un condenseur à une température (plus haute) adaptée à un réseau DH, le rendement de la production d'électricité peut être réduit à environ 35 % ; toutefois, la chaleur de l'eau de refroidissement peut maintenant être utilisée pour le chauffage. De cette façon, le rendement total maximum de la centrale CHP peut atteindre 95 % (électricité 35 %, chaleur 60 %).

Bien évidemment, ce sont des exemples de centrales électriques simplifiés ; les chiffres donnés sont approximatifs, mais ils permettent d'indiquer le potentiel d'utilisation de l'eau chaude d'une centrale électrique. Lors de la planification de la conversion d'une centrale électrique existante en une centrale CHP ou de la construction d'une nouvelle centrale, il convient d'aborder la question de la puissance de sortie d'une centrale CHP, dans ce cas réduite à 35 % du combustible de départ contre 45 %. Bien qu'il puisse être nécessaire de faire appel à un approvisionnement en électricité d'une autre centrale, la CHP présente quand même une consommation totale de combustible bien inférieure, la chaleur de la centrale CHP remplaçant de nombreuses petites chaudières conventionnelles et inefficaces.

Les systèmes de chauffage individuels à « petite échelle » reposent habituellement sur la consommation de combustibles fossiles, comme le charbon, le pétrole, le gaz ou même le chauffage électrique, et ne sont pas très performants. Par contre, un réseau DH peut mettre à profit la chaleur générée dans le cadre de la production d'énergie. Ainsi,




*Centrale électrique standard*




*Centrale de cogénération thermique/ électrique - Centrale d'énergie urbaine*

l'eau de refroidissement de cette production conventionnelle, qui autrement aurait été perdue dans l'environnement, peut être exploitée. Ce concept résulte en une importante réduction de la consommation de combustibles d'une ville et en des coûts de production plus faibles. Ce sont là des avantages qui peuvent être partagés à la fois par les clients du réseau électrique et ceux du DH. Pour réduire encore la consommation des combustibles fossiles, les centrales CHP peuvent être conçues ou modernisées en vue d'utiliser de la biomasse ou des déchets municipaux.
Au cours des dernières décennies, on a vu plusieurs centrales électriques se moderniser pour devenir des centrales CHP et ainsi alimenter des villes à proximité qui possédaient déjà un réseau DH basé sur des chaudières de chauffage seul. Dans d'autres cas, de nouvelles centrales CHP ont été bâties et des réseaux DH existants ou tout à fait nouveaux ont été construits et étendus pour couvrir de grandes zones urbaines. Parfois, des villes voisines ont même été raccordées au moyen de canalisations de distribution de chaleur afin de profiter d'économies d'échelle.

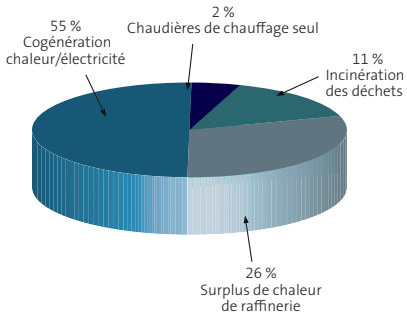
De nombreuses centrales CHP sont conçues comme telles dès le début. Toutefois, l'expérience montre aussi que les centrales à condensation existantes peuvent également être modernisées afin de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. On y arrive par exemple en extrayant la vapeur après la turbine à pression intermédiaire afin de l'utiliser pour chauffer l'eau DH.

# Autres sources de chaleur disponibles

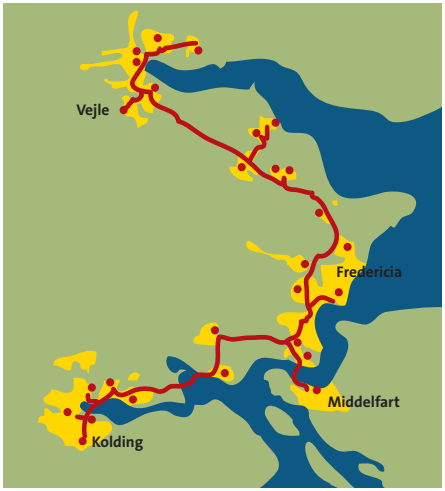
Un réseau DH peut utiliser la chaleur issue de toutes sortes de déchets locaux urbains ou des alentours. Il peut s'agir des excédants de chaleur sous forme de fumées chaudes issues de fours à ciment, de l'eau de refroidissement d'une raffinerie ou d'un surplus de chaleur d'un quelconque processus industriel libéré dans l'air au moyen de condenseurs ou de tours de refroidissement.

De toute évidence il doit y avoir une concordance entre la température nécessaire au réseau DH et les surplus de chaleur à exploiter. Il n'est pas toujours aisé de les faire correspondre, mais très souvent les solutions se trouvent par une coopération entre le fournisseur et la compagnie de DH intéressée par le surplus de chaleur. Une solution peut consister à ce que le fournisseur de chaleur fournisse, de son usine, un chauffage graduel par le biais d'un certain nombre d'échangeurs thermiques à différents niveaux de température ; dans d'autres cas, une solution envisageable peut consister à élever la température à l'aide d'une pompe à chaleur. Par ailleurs, la compagnie DH peut régler sa centrale de sorte que la contribution de l'usine soit au moins utilisée pour préchauffer l'eau DH.

## CAS : PLAN DH RÉGIONAL INTER-URBAIN




*Répartition des sources du chauffage urbain*




*Réseau de chauffage urbain de la TVIS. La ligne rouge montre le réseau de distribution supérieur avec ses sous-stations. Les lignes jaunes représentent les sous-réseaux appartenant aux réseaux de chauffage urbain locaux connectés à la TVIS.*

Au milieu du Danemark, un réseau de chauffage inter-urbain alimente 80 000 foyers dans les villes de Vejle, Fredericia, Middelfart et Kolding, où le consommateur bénéficie des grandes quantités de chaleur excédentaires produites dans la région. Pendant de nombreuses années, ce marché était partagé entre huit entreprises locales de chauffage urbain. Suite à la fondation de la compagnie TVIS chargée de la distribution de la chaleur à l'échelle régionale, chacune de ces entreprises est maintenant connectée au réseau via 25 grandes sous-stations.
Le réseau de distribution de chaleur, d'une longueur de 140 km, a été construit et est exploité par TVIS, une structure fondée par les quatre municipalités en 1982. En tout 55 000 clients, comprenant des maisons familiales, des immeubles à étages, des bâtiments publics, des bureaux et des bâtiments commerciaux, sont raccordés au réseau.
Les principaux fournisseurs de chaleur sont la raffinerie Shell de Fredericia, la centrale électrique de Skærbæk, une grosse centrale CHP dans le fjord de Kolding, et la TAS, une centrale de traitement des déchets qui se trouve à Kolding et qui traite les déchets communaux de toutes les municipalités.

**Une utilisation efficace de l'énergie**

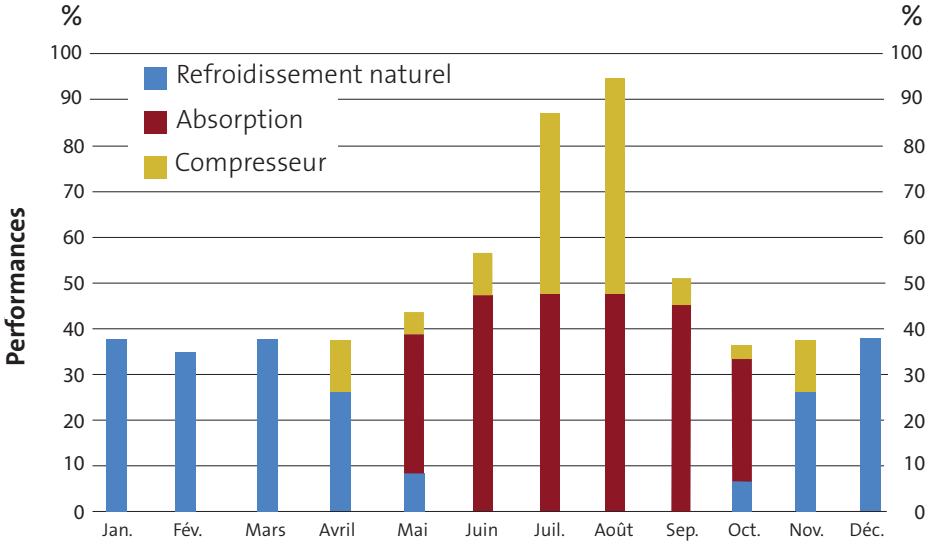
Le fait que toutes les entreprises DH de la région soient raccordées au même réseau permet une utilisation efficace des surplus de chaleur qui autrement auraient été perdus. Pratiquement plus aucune chaudière à mazout ou à gaz à alimentation directe ne fonctionne aujourd'hui dans les anciennes centrales de chauffage urbain, entraînant une disparition quasi totale de la consommation directe de combustibles fossiles pour le chauffage urbain. Cette solution représente un avantage économique pour le client DH en même temps qu'elle améliore l'environnement de tous ceux qui vivent dans la région. De toute évidence, elle est bénéfique pour notre climat, la production de gaz à effet de serre étant nettement réduite.
Après vingt cinq ans de fonctionnement la leçon que nous en avons tirée est que les fournisseurs de chaleur et le système de distribution sont très fiables. Chaque année, environ 55 % de la chaleur est fournie par la centrale CHP, 26 % par la raffinerie, 11 % par le recyclage des déchets et seulement 2 % est fourni par des chaudières de chauffage seul, et ce, pour des périodes très courtes en cas de grand froid.

# Production de froid combinée à la cogénération chaleur/électricité

Le but des centrales DC est de produire l'eau froide à distribuer aux clients, et comme pour les centrales DH, la cogénération impliquant des sources d'énergie alternatives ou renouvelables et différents types de machines frigorifiques (compresseurs, machines frigorifiques à absorption et refroidissement naturel) est de plus en plus courante.

Quand de tels systèmes sont envisagés, les conditions locales, ainsi que les besoins présents et futurs doivent toujours être pris en considération. Les éléments à prendre en compte et auxquels faire appel sont les sources locales de refroidissement naturel, ainsi que les sources de chaleur provenant des déchets ou de la biomasse pouvant alimenter les machines frigorifiques à absorption. Enfin, il conviendra également de mettre en œuvre des compresseurs frigorifiques mécaniques/électriques, ceux-ci pouvant être installés comme centrales de trigénération capable de produire à la fois du froid, de la chaleur et de l'électricité.

La source la plus évidente à utiliser est le refroidissement naturel, et même si cette ressource est limitée en comparaison des besoins, l'utilisation d'eau de mer ou d'un lac peut représenter une part importante de la charge de base.




*Répartition de la production annuelle de froid*

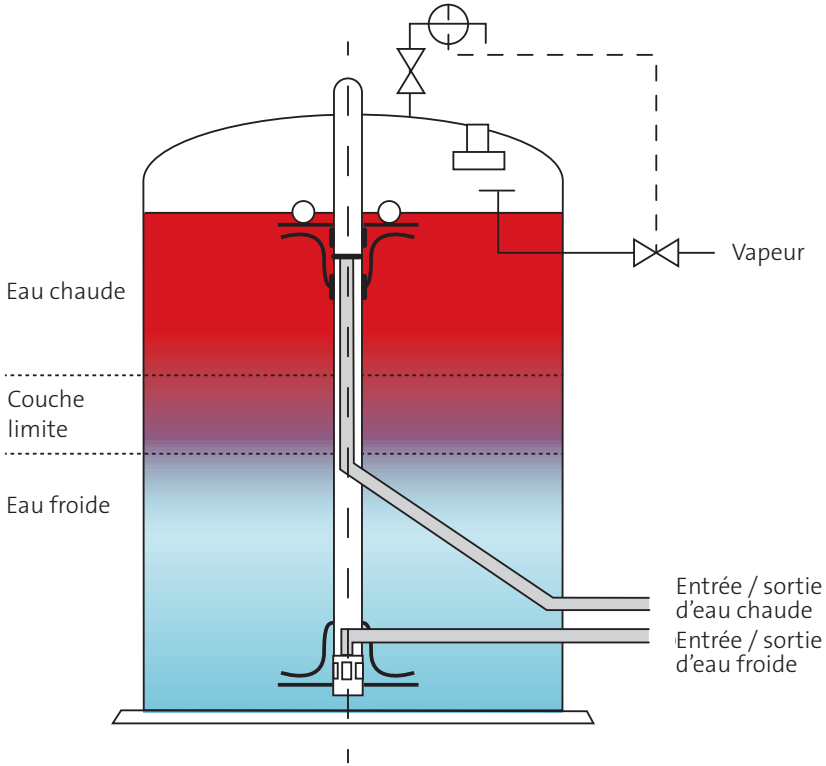
# TRAITEMENT DES EAUX

Pour le bon fonctionnement des réseaux DE, il est très important d'empêcher la formation de corrosion dans le réseau, de sorte qu'il reste étanche et en bon état pendant de nombreuses années. Veiller à maintenir une qualité de l'eau adéquate est un facteur décisif à cet égard. Comme il s'agit là d'un problème global, nous nous contenterons de mentionner les exigences strictes en matière de conductivité de l'eau en circulation ; son pH, sa dureté résiduelle, son apparence et sa teneur en oxygène et en chlore devront être ajustées selon l'expérience.

# SYSTÈMES DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE THERMIQUE

Afin de réduire l'interdépendance entre la production et les besoins de chaleur, d'électricité et de froid, il est possible d'envisager la mise en place d'installations de stockage de chaleur ou de froid. Ce type d'installation est utilisé depuis de nombreuses années, le stockage pouvant se faire dans des cuves, des puits ou des nappes aquifères. De plus, ces installations permettent d'accroitre la flexibilité de fonctionnement des centrales et peut même réduire les coûts des combustibles.

On retrouve très souvent le principe de l'accumulateur thermique dans les centrales CHP. Le réservoir est rempli d'eau DH et est étanchéisé à l'aide d'azote ou de vapeur en surface afin de permettre une expansion et éviter tout contact avec l'oxygène de l'atmosphère. Près du fond et




*Principe de l'accumulateur thermique*

juste en-dessous de la surface, deux diffuseurs circulaires permettent l'entrée ou la sortie de l'eau de sorte qu'elle circule lentement et doucement dans le sens radial, de façon à réduire au minimum les perturbations dans l'eau. Ce modèle permet le phénomène de stratification de l'eau : l'eau chaude de la ligne d'évacuation reste dans la partie supérieure et l'eau plus froide de la ligne de retour reste au fond.

Lors du chargement, l'eau chaude en circulation de la centrale entre en haut du réservoir pendant que le même flux d'eau froide de retour sort du fond et se dirige vers la centrale pour être réchauffée. Progressivement, la couche limite où le gradient de température entre l'eau chaude et froide est élevé se déplace vers le bas. Lors du tirage, par exemple quand la centrale CHP est à l'arrêt pendant la nuit, le processus est inversé : l'eau chaude du haut est pompée hors du réseau DH pendant que l'eau froide de retour est refoulée vers le fond du réservoir ; la couche limite se déplace alors vers le haut jusqu'à ce que le réservoir soit déchargé.  De tels réservoirs peuvent être installés pour permettre à une centrale CHP de fonctionner à pleine puissance lors des charges de pointe le matin ou tard dans l'après-midi. Dans d'autres cas, la question est de pouvoir fermer la centrale la nuit ou le weekend, tout en fournissant quand même de la chaleur.

Un nombre croissant de centrales DH, de petite et moyenne taille, sont couplées à des champs de capteurs solaires afin de tirer profit de cette source de chaleur renouvelable. L'énergie solaire est essentiellement disponible l'été où la demande de chaleur équivaut en général au quart de la demande au plus froid de l'hiver. Afin d'améliorer la couverture en énergie solaire, des « puits de chaleur » ont été conçus et sont maintenant exploités. Ils permettent d'augmenter l'utilisation de l'énergie solaire pour la porter à environ 50 % de la demande annuelle de chaleur.

*La centrale CHP de Studstrup présente une puissance électrique maximale de 350 MW et une puissance de chauffage maximale de 455 MW.*
*Son réservoir de 33 000 m³ est visible tout à fait à droite.*

Un puits de chaleur est un grand trou rectangulaire dans le sol. Le surplus de matériau est placé de façon à former un mur autour du puits, et le fond et les côtés sont étanchéisés à l'aide d'un film hermétique. Le puits est rempli d'eau, puis on pose sur le dessus un couvercle flottant isolé. Dans ce cas, l'eau se stratifie sous forme d'une couche chaude en haut et d'une couche froide en bas. Des concepts similaires peuvent être utilisés pour le stockage dans les réseaux DC. Par ailleurs, la neige ou la glace « récoltée » pendant l'hiver pourrait être une source complémentaire de refroidissement naturel.

Les aquifères représentent une autre option pour stocker l'eau chaude ou froide d'une saison à l'autre. De toute évidence pour de tels systèmes, il est nécessaire que les aquifères soient à proximité d'une éventuelle centrale DH et/ou DC. Ce type de système a été installé par Grundfos et l'entreprise DH Bjerringbro en 2013.

## CAS : Une coopération étroite entre Grundfos et le réseau de chauffage urbain de Bjerringbro

Une coopération étroite entre Grundfos et le réseau de chauffage urbain de Bjerringbro

En 2013, Grundfos et la compagnie de chauffage urbain de Bjerringbro ont inauguré ensemble un réseau commun permettant d'exploiter la chaleur issue de la production de froid des compresseurs de l'usine dans le réseau de chauffage urbain.

Le fonctionnement des compresseurs demande beaucoup d'énergie et est onéreux ; de plus, il génère un gros surplus de chaleur devant être refroidie à l'air au moyen de tours de refroidissement.

La conception de la nouvelle centrale reposait sur trois éléments : l'exploitation du surplus de chaleur des machines frigorifiques, le stockage indirect de la chaleur dans un aquifère et l'utilisation d'une pompe à chaleur pour accroître la température de l'énergie stockée en vue d'une utilisation dans un réseau de chauffage urbain.

Pendant l'été, la chaleur provenant de la production de Grundfos n'est pas nécessaire, et donc toute la chaleur du condenseur issue des compresseurs frigorifiques est envoyée à travers un conduit vers le lieu de stockage où la chaleur est emmagasinée, c'est à dire dans l'aquifère situé à environ 750 m. À l'automne, quand le réseau DH requiert de la chaleur du stockage, environ 80 % de la chaleur emmagasinée pendant l'été est toujours disponible. Pour amener la température au niveau nécessaire dans le réseau DH, la compagnie de chauffage urbain de Bjerringbro la fait monter au moyen d'une pompe à chaleur. En hiver, la compagnie DH reçoit le surplus de chaleur à la fois du stockage et directement des compresseurs.

Grundfos économise jusqu'à 90 % de l'énergie qui était jusque là utilisée dans les tours de refroidissement, et la compagnie DH peut réduire la consommation de gaz dans la centrale CHP. En tout 4,7 millions d'euros ont été investis par les deux partenaires qui se sont partagés les coûts à hauteur de 50 % chacun. Environ 0,4 million d'euros sera économisé chaque année sur l'énergie. Cela correspond à une période de retour sur investissement de 12 à 13 ans, ce qui est correct pour une compagnie DH, mais souvent trop long pour une entreprise industrielle. Cependant, dans le même temps, 3 700 tonnes de $CO_2$ ont été économisées et, au vu de la politique de conservation énergétique et de durabilité de Grundfos, ce résultat est tout à fait acceptable.

# L'EXEMPLE DANOIS

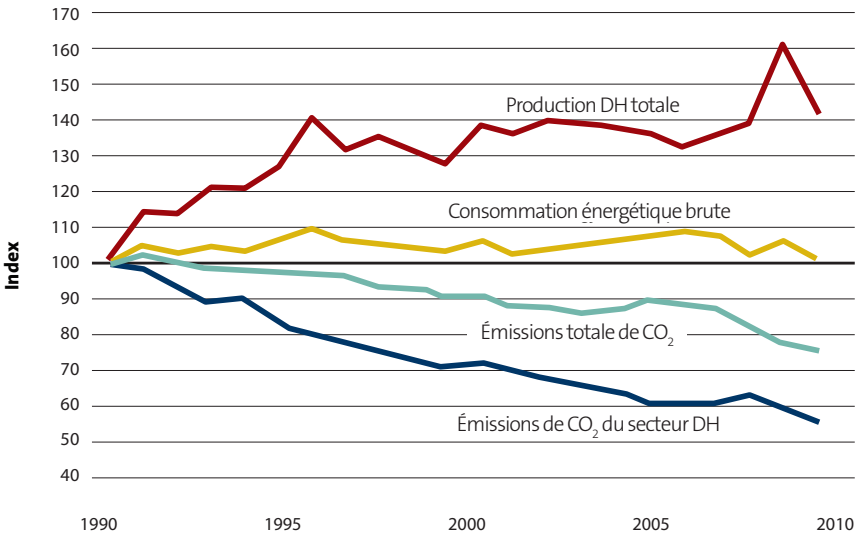
Le Danemark bénéficie du chauffage urbain depuis près d'un siècle, et son réseau n'a cessé de s'étendre pendant toute cette période. En 2010, environ 64 % de tous les foyers danois étaient chauffés de cette façon, et un grand nombre de bâtiments publics et administratifs y sont aussi raccordés. Dans de nombreuses villes danoises, la couverture en DH est d'environ 95 %. Au cours de la dernière décennie, un grand réseau de climatisation urbaine a aussi été installé dans les parties centrales de Copenhague.

Si le pétrole était le combustible dominant des réseaux DH il y a 35 ans, la part du charbon et du gaz a augmenté au cours du temps. Toutefois, l'utilisation de biocarburants, des surplus de chaleur et de l'énergie renouvelable s'est constamment accrue pendant cette période pour couvrir à présent 52 % de l'approvisionnement en énergie des 400 dispositifs DH qui desservent la plupart des villes et villages du pays. Dans un futur proche, davantage de biomasse devrait être utilisée, en particulier au niveau des centrales CHP et des grandes centrales à chaudières.

À plus long terme, l'énergie durable devrait être davantage intégrée au chauffage urbain. La demande en chaleur des bâtiments devrait progressivement se réduire grâce à l'innovation dans la construction et aux efforts croissants de modernisation dans les bâtiments existants.

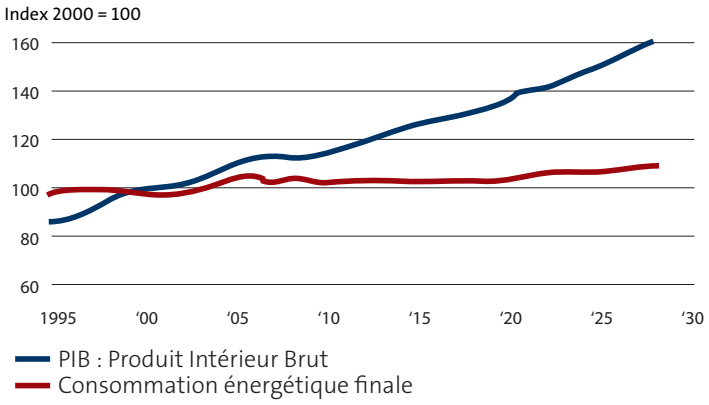
Résultat de cette évolution au sein des sources énergétiques, les émissions de $CO_2$ dans le secteur DH danois ont été réduites d'environ 60 % par rapport au niveaux de 1990 au cours des dix dernières années. Il s'agit là de la principale raison de la réduction des émissions totales de $CO_2$ au Danemark, pour arriver à environ 85 % du niveau de 1990.

*Le chauffage urbain joue un rôle essentiel au Danemark. Quelques 450 centrales, grandes comme petites, alimentent en DH environ 1,6 million de logements. Cela correspond à environ 64 % des foyers, en plus du grand nombre d'institutions et d'entreprises qui en bénéficient.*




*Impact total sur le climat du secteur du chauffage urbain danois*
*Source : Energistatistik 2012, et calculs par COWI A/S.*

Si le Danemark en est arrivé là, il le doit surtout à l'utilisation à grande échelle des centrales CHP, qui par nature utilisent tout type de combustible avec un bien meilleur rendement global que la production autonome d'énergie et de chaleur. Au Danemark, environ 60 % de toute la production d'électricité se fait maintenant en associant le DH, et 80 % de tout le DH est dérivé des centrales CHP.



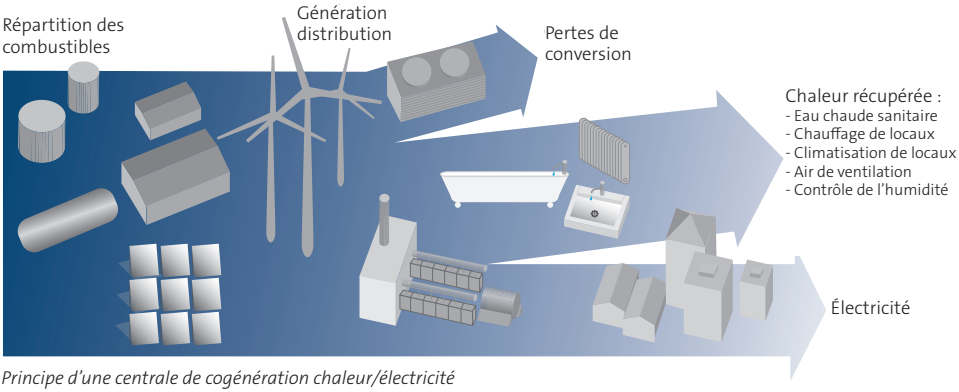

*PIB et consommation totale de l'énergie finale (adaptée au climat). Données historiques et projections.*

*Source : Agence de l'énergie danoise*

Au cours du siècle dernier, les sources d'énergie dominantes dans le chauffage urbain ont suivi le schéma suivant : charbon, lignite, pétrole, à nouveau charbon, gaz naturel et à présent énergies renouvelables. De manière similaire, l'abandon de la biomasse, également appelée à se raréfier, devrait se produire dans les années qui viennent. Les technologies permettant de mobiliser l'énergie solaire, l'éolien et la géothermie, ainsi que d'autres sources d'énergie futures, devraient continuer à se développer.

Ces 25 dernières années, 1 milliard de personnes sont passées de la pauvreté à la classe moyenne, d'où une augmentation des besoins énergétiques. Et on estime qu'au cours des 25 prochaines années, 3 milliards de personnes en plus quitteront la pauvreté pour rejoindre la classe moyenne. Il s'agit d'un problème de taille pour les sources d'énergie. Utiliser les combustibles fossiles de façon efficace devient impératif, tout comme il conviendrait qu'une bonne part de l'énergie nécessaire soit à l'avenir couverte par les sources renouvelables.

Pour en savoir plus sur le chauffage urbain au Danemark, rendez-vous sur : www.dbdh.dk.




*Principe d'une centrale de cogénération chaleur/électricité*

# Des villes intelligentes pour le futur

Les villes intelligentes sont un concept qui implique l'intégration et l'exploitation intelligentes d'un certain nombre de systèmes, réseaux et services urbains, tels que l'approvisionnement en électricité, en chauffage, en climatisation et en eau, ainsi que le traitement des eaux et des déchets. Les transports publics et individuels locaux peuvent aussi y figurer, l'ambition générale étant d'accroître le rendement énergétique global. Il s'agit d'une vision du futur avec une infrastructure urbaine plus intelligente et plus intégrée que celle que nous connaissons aujourd'hui. Nos connaissances actuelles nous permettent d'affirmer qu'il est faisable, tant sur le plan économique que technique, d'économiser beaucoup plus d'énergie que nous ne le faisons actuellement et d'améliorer notre environnement, et ainsi de nous orienter vers un impact moindre sur notre climat.

Aujourd'hui déjà, les réseaux DH exploitent de grandes quantités de chaleur dans de nombreuses villes du monde, réduisant les factures locales de combustible. Les réseaux de chauffage urbain sont considérés comme les systèmes de gestion des déchets de la production d'énergie, car ils peuvent récupérer la chaleur perdue des centrales électriques, des systèmes de refroidissement, des usines et des incinérateurs. Par ailleurs, les énergies renouvelables, comme la géothermie, l'énergie éolienne et l'énergie solaire, sont des sources auxquelles on recourt de plus en plus souvent quand le contexte le permet.

Les pompes à chaleur peuvent être un lien nécessaire permettant d'accroître la température d'une source de chaleur afin de satisfaire les demandes du réseau DH. Cependant, la tendance en matière de centrales DH est de réduire le niveau de la température à la fois dans les canalisations d'alimentation et dans celles de retour. De façon similaire, les températures de fonctionnement des centrales de climatisation contemporaines approvisionnant des bâtiments ou

des réseaux DC sont plus élevées qu'autrefois. De cette manière, les pertes d'énergie inévitables au sein des réseaux DE s'en trouvent réduites.
Le recours à des températures DH plus basses (ou de températures plus hautes dans le cas du DC) améliore aussi le rendement global des centrales. Il a été établi que les centrales CHP pouvaient générer plus d'énergie avec la même quantité de combustible quand la température de l'eau de refroidissement (eau DH dans une centrale CHP) est basse. La chaleur issue des énergies renouvelables peut être utilisée avec davantage d'efficacité à basse température ; il en va de même des surplus de chaleur de l'industrie ou de la chaleur issue des déchets.

Le DH à basse température augmente les chances d'exploiter même les petites sources d'énergie locales. Il peut s'agir de la chaleur en excès dans une salle de serveurs ou dans un poste de transformation quelque part en ville. Même les surplus de chaleur des douches chaudes ou des cuisines peuvent devenir des « points chauds » à exploiter dans de futurs réseaux DH.

# CONCLUSION

La demande mondiale en énergie, en particulier l'électricité consommée par l'industrie, les appareils électriques, les machines de bureau, la climatisation, le transport, etc. est en constante augmentation. Il paraît donc judicieux de renforcer les infrastructures DE et de combiner les services nécessaires au sein de réseaux intelligents et performants sur le plan énergétique.

L'énergie urbaine est l'un de ces services et elle a déjà prouvé sa valeur dans plusieurs villes. Il existe de nombreuses possibilités de parvenir à une intégration plus poussée et à des améliorations offrant un meilleur rendement énergétique ; de nouvelles applications et des solutions intelligentes devraient voir le jour à l'avenir.

be think innovate

# RENDEZ-NOUS VISITE EN LIGNE

Pour en savoir plus sur Grundfos Bâtiments Collectifs et Tertiaires et nos services, rendez-vous sur www.thinkingbuildings.com

Vous pourrez y trouver tous les renseignements concernant nos produits ou utiliser nos outils en ligne, y compris l'outil de sélection rapide permettant de gagner du temps.

**POMPES GRUNDFOS DISTRIBUTION S.A.S.**
Parc d'activités de Chesnes
57, rue de Malacombe
38070 ST-QUENTIN-FALLAVIER
Tél. 04 74 82 15 15
Fax 04 74 94 10 51
www.grundfos.fr

GRUNDFOS

Le nom Grundfos, le logo Grundfos et le slogan être penser innover sont des marques déposées de Grundfos Holding A/S ou de Grundfos A/S au Danemark. Tous droits réservés dans le monde entier.

98504984/1113