

# De la difficulté de récupérer la chaleur industrielle pour du chauffage urbain

## Table des matières

Introduction.....	2
Le réseau d'échange de chaleur basse température.....	3
Concept.....	3
Fourniture de chaud et de froid.....	4
Les défis.....	4
Conclusions.....	5
Annexes.....	6
Annexe 1 : Transport d'énergie et volume de fluide.....	6
A1.1 Chauffage urbain haute température.....	6
A1.2. Réseau d'échange de chaleur basse température .....	7
Annexe 2 : Comportement d'un réseau de transport de chaleur.....	8
A2.1. Chauffage urbain haute température.....	8
A2.2. Réseau d'échange de chaleur basse température.....	9

Etienne Bayenet

27 Novembre 2013

## Introduction

Le concept d'utiliser la chaleur résiduelle de processus industriels pour réaliser du chauffage urbain existe depuis longtemps et est utilisé efficacement dans deux domaines particuliers :

- La production d'électricité à partir de gaz – le processus est souvent appelé cogénération chaleur-force.
- La combustion des déchets.

Dans les deux cas, nous avons un processus produisant des températures de plus de 90°C pouvant facilement être utilisées pour du chauffage urbain et même de la climatisation avec une machine à absorption. Les applications sont nombreuses et fréquentes. Ces deux cas ont également l'avantage qu'il est facile de varier la chaleur produite en fonction du besoin.

Il existe dans l'industrie et les services de nombreux processus produisant de la chaleur à de faibles températures (20°C à 40°C) qui est souvent considérée comme un déchet dont le recyclage serait intéressant mais représente un défi. Nous pouvons citer comme exemples :

- Des salles informatiques.
- Des installations de congélation ou de stockage de produits congelés et frigorifiés.
- D'autres systèmes électriques dont l'objectif n'est pas la production de chaleur (éclairage, moteurs, transformateurs...).
- Des processus nécessitant un refroidissement de la matière traitée – le plastique doit être refroidi pour durcir lors du moulage ou la distillation nécessite un refroidissement des gaz pour récupérer un liquide.

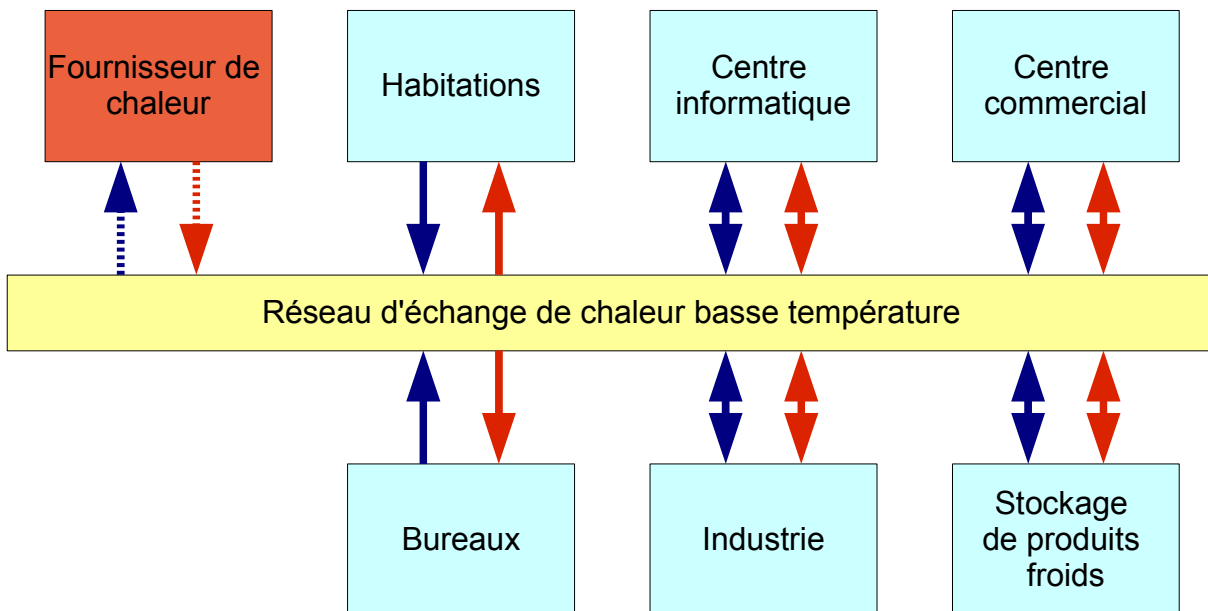
La chaleur dégagée est souvent importante, mais la température est trop faible pour que cette chaleur puisse être facilement réutilisée dans un autre processus. Il est souvent nécessaire de l'évacuer comme un déchet. Les pompes à chaleur permettent d'amener cette chaleur à une température où elle peut être utilisée. Ceci apporte une économie autant pour l'entreprise qui n'est plus obligée de la détruire que pour l'utilisateur qui peut espérer un prix intéressant.

Les fours sont des processus dont la chaleur n'est normalement pas récupérable. Leur objectif étant de chauffer, toute chaleur qui en est retirée en diminue l'efficacité. Il est possible de récupérer la chaleur des éléments sortants du four, mais il est préférable d'utiliser celle-ci pour pré-chauffer les éléments y entrant.

# Le réseau d'échange de chaleur basse température

## Concept

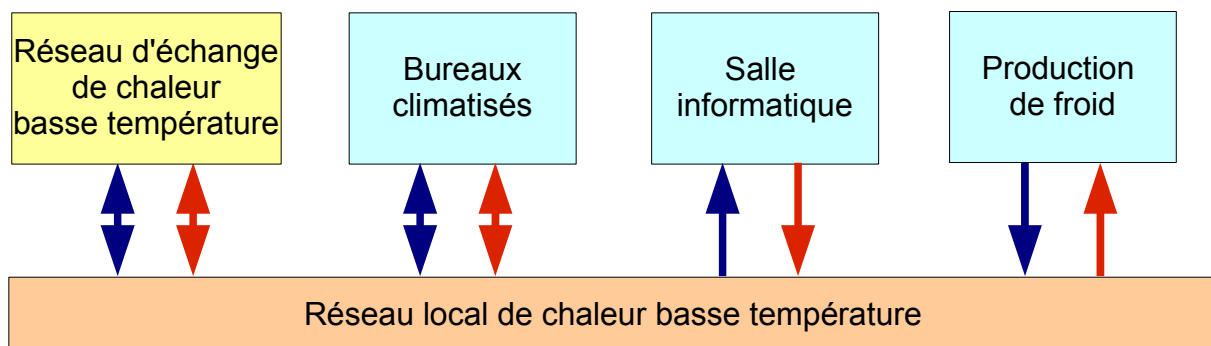
Au niveau conceptuel, il est facile d'imaginer un réseau d'échange de chaleur basse température entre différents bâtiments.



Chaque bâtiment et société connecté au réseau peut y prendre de la chaleur (y mettre du froid). Ceux en ayant les capacités peuvent y mettre de la chaleur (y prendre du froid). Un fournisseur de chaleur peut être ajouté pour garantir qu'il y ait assez de chaleur pour tous durant l'hiver et éviter à chacun d'investir dans un chauffage individuel.

Des pompes à chaleur permettent à chacun d'avoir de la chaleur à la température nécessaire pour ses applications (climatisation, chauffage, eau sanitaire, séchage, congélation...).

A l'intérieur d'une société ou d'un bâtiment, un réseau similaire peut exister pour permettre un échange de chaleur entre les différents systèmes présents.



Le réseau local peut avoir une autre température que le réseau extérieur si les besoins de la société l'exigent, par exemple si seule de l'eau chaude est nécessaire.

## ***Fourniture de chaud et de froid***

Aucun fournisseur de froid n'est prévu. Un fournisseur de froid est imaginable, mais trois raisons font que je ne l'ai pas indiqué ici :

- Le besoin de froid est beaucoup plus aléatoire et un manque de froid crée de réels dégâts (nourriture décongelée, ordinateurs arrêtés...). Il est préférable que chacun puisse garantir la couverture de ses besoins.
- La production de froid est plus difficile à gérer et est souvent plus efficace décentralisée (centraliser une grande production de froid créerait une augmentation localisée de la température extérieure qui diminuerait l'efficacité du système).
- Il ne faut jamais produire en même temps du froid et du chaud pour le réseau car les deux s'annuleraient.

Le fournisseur de chaud est indiqué en option car il y a plusieurs intérêts à en avoir un, principalement :

- Il est possible pour le client de compter entièrement sur le réseau pour son chauffage (pas de frais associés à un chauffage individuel)
- La centralisation de la production de chaleur permet de profiter de systèmes plus efficaces au niveau énergétique.

Par contre la gestion de la facturation de la chaleur produite est compliquée car il s'agit parfois un déchet et parfois un produit avec un coût important.

## ***Les défis***

Avec une telle configuration, nous nous trouvons face à deux défis majeurs :

- Le fait d'avoir des basses températures et d'utiliser des pompes à chaleur limitent les différences de températures entre l'eau livrée et rendue au réseau. Le chauffage urbain préfère de grandes différences de température pour limiter le volume d'eau à déplacer pour transporter la chaleur – voir annexe 1.
- Un système récupérant de la chaleur de processus industriels va avoir un comportement non linéaire et peu prévisible car la plupart des activités sont irrégulières. La chaleur sera parfois déchet et parfois produit de valeur. La gestion et facturation des services rendus par le réseau est relativement complexe – voir annexe 2.

## Conclusions

Un réseau d'échange de chaleur basse température présente un intérêt évident et est facilement réalisable si les conditions suivantes sont remplies :

- Une fourniture de chaleur stable, continue et indépendante des conditions météorologiques (salles informatiques, refroidissement d'un processus industriel continu...).
- Une chaleur disponible supérieure aux besoins des clients (la chaleur est toujours un déchet).
- Des clients proches afin de limiter l'investissement en canalisations.
- Des processus industriels demandant des investissements importants garantissant le maintien de l'activité durant une longue durée.

Dans les autres cas, le modèle économique est à inventer et différentes technologies doivent être adaptées. Les points devant être clarifiés sont principalement :

- Quelles sont les garanties à fournir par le réseau : chaleur, prix, température... ?
  - Faut-il envisager un fonctionnement différent en été et hiver ?
- Quelles sont les technologies à mettre en œuvre pour respecter les engagements du réseau ?
  - Dans quelle mesure les technologies du chauffage urbain sont compatibles avec un réseau de chaleur basse température ? Cette question couvre également la continuité du service en cas d'arrêt définitif d'un processus industriel fournissant de la chaleur.
  - Quel est la durée minimale annuelle de fourniture de chaleur par une installation (chaudière ou cogénération) pour garantir sa rentabilité ? Dans quelle mesure est-ce compatible avec un réseau dont le besoin de chaleur peut varier rapidement ?
- Quelles sont les technologies à mettre en œuvre par le client pour se prémunir contre ce que le réseau ne peut pas garantir ?
- Quel modèle de facturation peut être utilisé et quelles sont les technologies à utiliser pour limiter les contestations possibles ?

Les choix à réaliser sont fonction des types d'industries actives dans la zone couverte par le réseau et du type de clients demandeur de chaleur.

# Annexes

## Annexe 1 : Transport d'énergie et volume de fluide

### A1.1 Chauffage urbain haute température

Dans ses conditions techniques de raccordement, la ville de Luxembourg (<http://www.vdl.lu/>) donne les températures de départ de l'eau chaude suivantes :

Température maximale de départ en hiver :

Réseau Kirchberg : 109°C  
Réseau Limpertsberg : 95°C  
Réseau Bonnevoie : 95°C  
Réseau Belair : 95°C  
Réseau Gare 95°C  
Réseau Centre 95°C  
Réseau Dommeldange 95°C  
Réseau Cloche d'Or 115°C

Température maximale de départ en été :

Réseau Kirchberg : 95°C  
Réseau Limpertsberg : 75°C  
Réseau Bonnevoie : 95°C  
Réseau Belair : 95°C  
Réseau Gare 95°C  
Réseau Centre 95°C  
Réseau Dommeldange 75°C  
Réseau Cloche d'Or 115°C

Et donne comme température de retour exige ceci :

Chauffage (côté secondaire) :

Installations nouvelles : 50°C  
Installations anciennes : 60°C  
Préparateur eau chaude sanitaire (côté secondaire) 60°C  
Installations de ventilation (côté secondaire) : 40°C

Production frigorifique par machine à absorption (côté primaire)

Réseau Kirchberg : 70°C  
Réseau Bonnevoie : 70°C  
Réseau Belair : 70°C  
Réseau Gare : 70°C  
Réseau Centre : 70°C  
Réseau Cloche d'Or : 70°C

Nous avons donc une différence de température de plus ou moins 40°C entre l'eau entrant et sortant de l'installation du client final.

L'eau liquide ayant une capacité thermique massique de 4185 J/kg/K ou 1,1625 kWh/m<sup>3</sup>, **la prise de 1m<sup>3</sup> d'eau en le rendant 40°C plus froid correspond à une livraison d'environ 45 kWh.**

Ceci correspond plus ou moins à la consommation de 4,5 litres de mazout ou de 4,5 m<sup>3</sup> de gaz naturel.

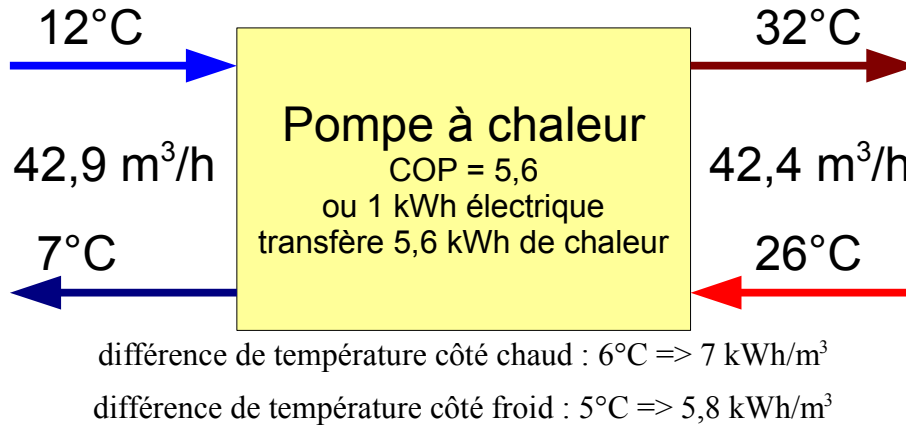
## A1.2. Réseau d'échange de chaleur basse température

Le fonctionnement en basse température implique l'utilisation de pompes à chaleur.

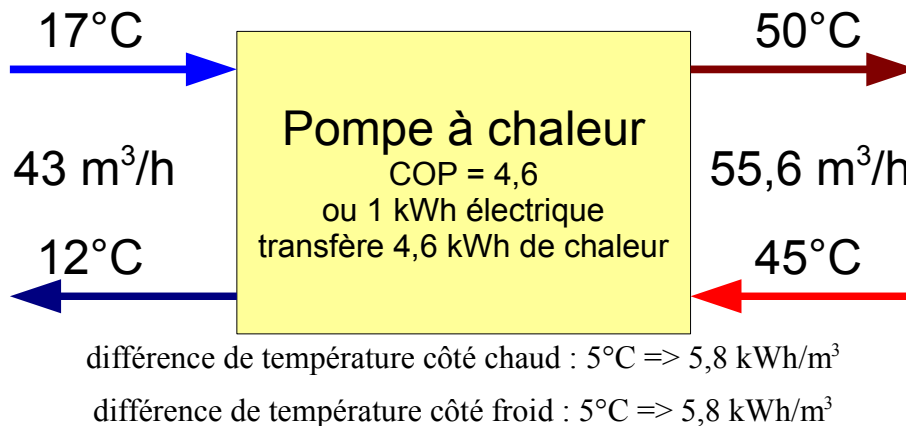
Une pompe à chaleur est un système ayant d'un côté un fluide froid (en général de l'eau) dont on extrait la chaleur et de l'autre côté un fluide chaud (en général également de l'eau) dans lequel on injecte de la chaleur.

Voici des valeurs typiques pour ce type de système (plus les écarts sont grands, moins le système est efficace donc le COP petit):

*Production de froid pour une salle informatique:*



*Production de chaud pour chauffer un bâtiment :*



**La quantité d'énergie transportée dans 1 m<sup>3</sup> d'eau est 6 à 7 fois inférieure à un chauffage urbain classique.**

Il est possible d'agir de deux manières sur ce problème :

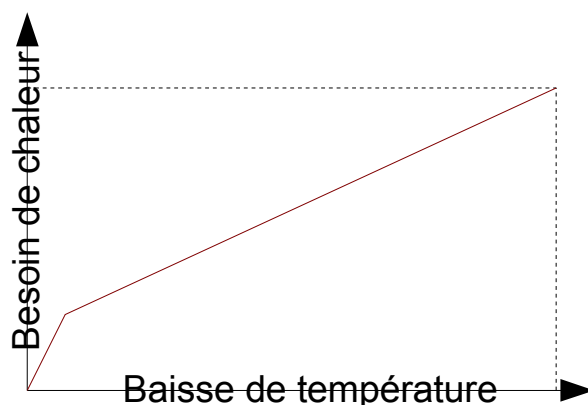
- La distribution de chaleur doit être limitée à des clients proches de la source de chaleur. Dans les installations existantes, il s'agit souvent d'un client unique qui est également le gestionnaire de l'installation produisant la chaleur ou apparenté à celui-ci.
- Plusieurs pompes à chaleur peuvent être mise en série. Ceci diminue le rendement et augmente les possibilités de pannes. Je ne connais pas d'exemple de mise en œuvre de cette solution.

Les températures du réseau étant basses, la différence de température entre l'arrivée et le retour est aussi limitée par la congélation de l'eau. Augmenter la température moyenne augmente les coûts.

## **Annexe 2 : Comportement d'un réseau de transport de chaleur**

### **A2.1. Chauffage urbain haute température**

Dans un réseau de chauffage urbain habituel, le gestionnaire du réseau est le seul producteur de chaleur et il peut assez facilement adapter sa production en fonction de paramètres extérieurs mesurables, principalement la température extérieure. L'ensoleillement joue également un rôle qui peut également être pris en compte car il est mesurable.



Le principal point de non linéarité est que chaque bâtiment commence à se chauffer à une température extérieure différente. Entre 20°C et 10°C extérieur, nous aurons une augmentation importante du besoin de chaleur chaque fois qu'un nouveau bâtiment commence prendre de la chaleur, mais ensuite la courbe est relativement linéaire.

L'impact de l'ensoleillement sur le besoin de chaleur peut facilement être calculé et une simple mesure permet d'adapter les algorithmes de chauffage.

Un gestionnaire maîtrisant bien son installation peut donc démarrer ces différentes machines de cogénération et ses diverses chaudières en fonction de besoins relativement prévisibles, un ballon d'eau chaude permettant d'amortir les variations ponctuelles de la demande et de la production (démarrage et arrêt des différentes machines).

La cogénération est une technique d'autant plus efficace que les besoins de chaleur et d'électricité évoluent en parallèle à cause du chauffage électrique ou avec pompe à chaleur. En été, le fonctionnement des machines de climatisation à absorption (consommation de chaleur) est également corrélé à la mise en service des systèmes de climatisation avec pompe à chaleur (consommation électrique).



## A2.2. Réseau d'échange de chaleur basse température

Le réseau d'échange de température est caractérisé par le fait que différents acteurs peuvent y injecter de la chaleur en fonction de excédents de chaleur. Ces excédents sont liés à des contraintes de production qui n'ont rien à voir avec les conditions météorologiques, par exemple :

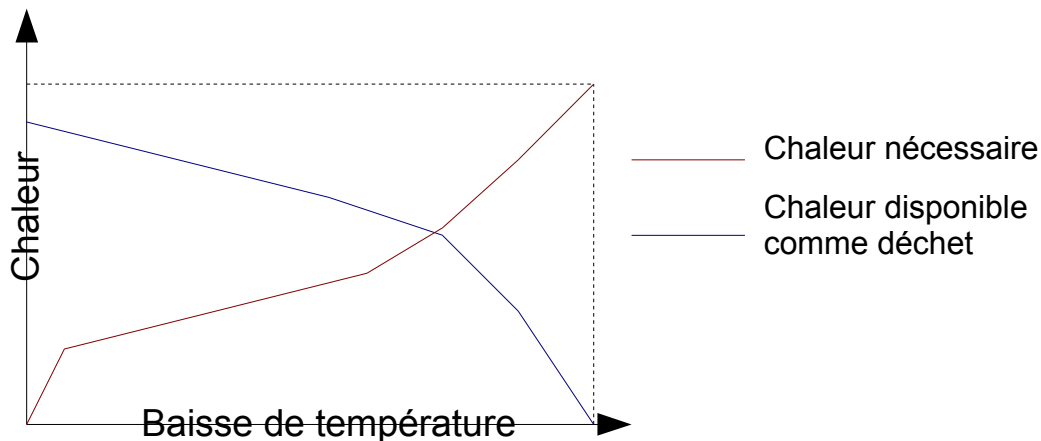
- La production de chaleur d'une salle informatique est relativement stable, que ce soit en été ou en hiver.
- L'évacuation de la chaleur de congélateurs ou frigos diminue lorsque la température extérieure baisse.
- La congélation de produits frais dépend des arrivages et des saisons.
- Les moteurs et machines fonctionnent suivant des besoins de production...

La gestion de cette offre en partie aléatoire est encore compliquée par le fait qu'en cas de froid, chaque fournisseur va devoir chauffer ses bureaux et par grand froid passer du statut de producteur au statut de consommateur de chaleur.

Le gestionnaire d'un tel réseau devra donc fournir de la chaleur de manière peu prévisible avec des pics importants sur de courtes durées. Ces périodes nécessitent des installations puissantes mais moins efficaces en terme énergétique car il n'est pas possible d'amortir des installations de type cogénération en les faisant fonctionner de manière irrégulière.

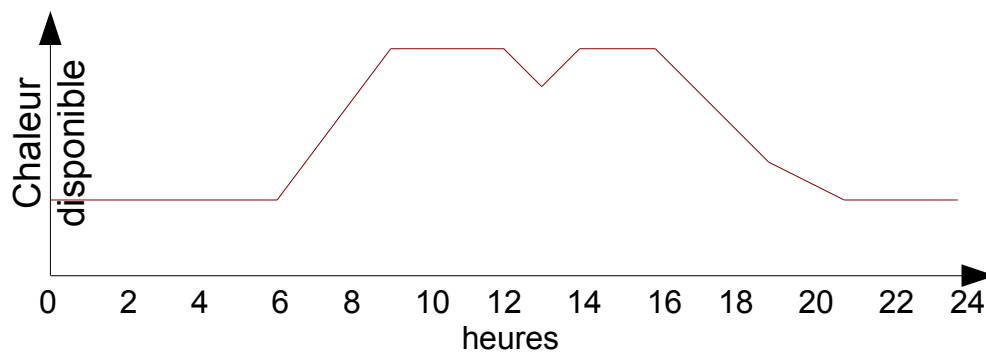
La chaleur étant parfois un déchet, parfois un service ayant un coût associé, la facturation peut être très compliquée et nécessiter un suivi horaire des quantités fournies et utilisées.

*Hypothèse de disponibilité de la chaleur par rapport à la température extérieure*



Le graphe ci-dessus représente la chaleur disponible de processus industriels diminuant lorsque la température extérieure baisse, phénomène amplifié lorsqu'un producteur de chaleur devient consommateur.

### *Hypothèse de disponibilité de la chaleur un jour ouvrable*



La chaleur disponible est fonction de l'heure et du jour de la semaine, mais également des congés scolaires, des jours fériés, des maintenances techniques mensuelles ou annuelles, des commandes...

Une contrainte importante sur le réseau est l'évolution des entreprises. De nombreuses installations industrielles ont des durées de vie comprises entre 10 et 20 ans, les produits et services fournis doivent s'adapter aux contraintes du marché. Nous nous trouvons face à des entreprises qui doivent régulièrement se poser la question de renouveler les installations et leurs produits/services alors qu'un réseau de distribution de chaleur urbain est un investissement long à amortir.

Deux points positifs sont à mentionner ici :

- Le fonctionnement avec des pompes à chaleur ne nécessite pas une température du réseau stable pour fournir une température relativement constante. Il est possible par une variation de la température du réseau d'absorber une partie des variations de la chaleur fournie par les processus industriels.
- Pour fonctionner correctement, le réseau d'échange de chaleur basse température doit se trouver à une température moyenne entre les besoins des utilisateurs de chaud et de froid, par exemple autour de 20°C ou 30°C. Comme il s'agit d'une température relativement basse, les pertes de chaleur durant le transport sont nettement diminuées par rapport à un chauffage urbain habituel.