



## Faire du froid avec la chaleur d'été sur les réseaux de chaleur

# Note de synthèse

## Conditions cadres et comment surmonter les obstacles

Rhônealpiénergie-Environnement  
Reinhard Six, Jean-Eric Mesmain, Abdellah Mehiris

Octobre 2008

Rhônealpiénergie-Environnement  
10, rue des Archers  
69002 Lyon  
[www.raee.org](http://www.raee.org)

Ce projet est soutenu par

Intelligent Energy  Europe

RhôneAlpes Région

 Compagnie de chauffage  
le confort durable, tout simplement

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
1.1	Présentation succincte du projet Summerheat .....	3
1.2	Objectif de la note de synthèse pour le développement de la production de froid sur réseaux de chaleur.....	3
1.3	Situation des réseaux de chaleur en France .....	4
<b>2</b>	<b>Conditions cadres pour les collectivités et les gestionnaires des réseaux de chaleur ...</b>	<b>8</b>
2.1	Cadre général .....	8
2.2	Technologies de production de froid.....	8
2.3	Différents concepts pour la fourniture de froid envisageable.....	11
2.4	Sources de chaleur disponible.....	12
2.5	Conséquences sur les réseaux de chaleur et la production de chaleur .....	13
2.6	Conditions légales et réglementaires de gérer et vendre des services de rafraîchissement .....	14
2.7	Les réseaux de froid alimenté par la «chaleur d'été » réduisent les besoins en électricité.....	14
2.8	Comparaison impacts environnementaux et énergie primaire .....	15
2.9	Comparaison économique .....	19
2.10	Cadre politique et légal à prendre en compte .....	21
<b>3</b>	<b>Approche du potentiel de marché.....</b>	<b>28</b>
3.1	Evolution du marché de la climatisation en France : .....	28
3.2	Potentiel de production du froid des réseaux de chaleur en France : .....	29
3.3	Potentiel de production de froid du réseau de chaleur de l'agglomération Grenobloise (CCIAG):.....	31
3.4	Éléments pour situer Summerheat dans le contexte du marché de climatisation:.....	32
<b>4</b>	<b>Attente des clients .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Conclusions et perspectives de développement.....</b>	<b>36</b>
5.1	Les arguments en faveur selon trois points de vue .....	36
5.2	Les freins au développement et les opportunités .....	37
5.3	Les mesures de soutien proposées .....	39
5.4	Améliorer le cadre économique et juridique.....	41
<b>6</b>	<b>Sources .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Annexes : exemples de production de froid par machine à absorption sur réseaux de chaleur ou réseaux de froid .....</b>	<b>48</b>
7.1	Réseau de chaleur et de froid de Montpellier (SERM) .....	48
7.2	Réseau de froid de Monaco (SMEG).....	50
7.3	Production décentralisée de froid sur réseaux de chaleur : nouveau service en préparation à Grenoble (CCIAG).....	52

### Remerciements :

Yann OREMUS, AMORCE, pour son premier rapport sur la production de froid à partir des réseaux de chaleur et pour son regard critique sur cette note.

Isabelle MIGLIORE, ADEME, pour son regard critique sur cette note

*Le contenu de cette publication n'engage que la responsabilité de son auteur et ne représente pas l'opinion de la Communauté européenne. La Commission européenne n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent.*

# 1 Introduction

## 1.1 Présentation succincte du projet Summerheat

En été, les besoins en chaleur étant réduits, une grande partie de la chaleur produite par les cogénérations et les incinérateurs en Europe n'est pas valorisée. Par ailleurs, en été, l'utilisation de systèmes de production de froid est en constante augmentation. L'enjeu du projet européen SUMMERHEAT (chaleur d'été) est donc de taille : valoriser la chaleur d'été des systèmes de cogénération et des incinérateurs en l'utilisant pour produire du froid. Les avantages sont multiples :

- améliorer la rentabilité des infrastructures du réseau de chauffage urbain, particulièrement les unités de cogénération et les installations d'incinération,
- réduire la consommation d'énergie primaire du fait de la meilleure efficacité énergétique de cette solution par rapport aux systèmes de refroidissement habituels et ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre,
- réduire notre grande dépendance vis-à-vis des importations d'énergie et de l'augmentation des prix des énergies fossiles.

Le projet SUMMERHEAT a pour but d'étudier, au sein de l'Union européenne, le cadre politique et les conditions du marché pour l'utilisation de la chaleur non valorisée issue de la production combinée d'électricité et de chaleur (cogénération) et des installations d'incinération, dans les réseaux de chauffage urbain pour des opérations de climatisation, en été. Cette chaleur résiduelle est appelée, en anglais, « summerheat ». Sa faible valorisation actuelle est un des principaux obstacles à l'utilisation accrue des techniques de cogénération et des installations d'incinération.

Le projet réunit, à travers l'Europe, 9 organisations partenaires qui contribuent au développement de stratégies pour accroître l'usage de chaleur résiduelle dans les régions participantes. Rhônealpeénergie-Environnement est le partenaire français du projet en coopération avec la Compagnie de Chauffage Intercommunal de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG).

Des propositions d'amélioration des conditions cadres seront adressées aux décideurs, établies d'après des analyses de marché détaillées quant à l'offre technologique et aux besoins en climatisation. Maîtres d'ouvrages et urbanistes recevront un guide d'information détaillé sur l'utilisation de la chaleur résiduelle. De plus, les études de faisabilité démontreront les avantages supposés de l'utilisation de la chaleur résiduelle.

Plus d'informations sur ce projet se trouvent :

En français : [www.chaleurfraicheur.org](http://www.chaleurfraicheur.org)

En anglais : [www.eu-summerheat.net](http://www.eu-summerheat.net)

## 1.2 Objectif de la note de synthèse pour le développement de la production de froid sur réseaux de chaleur

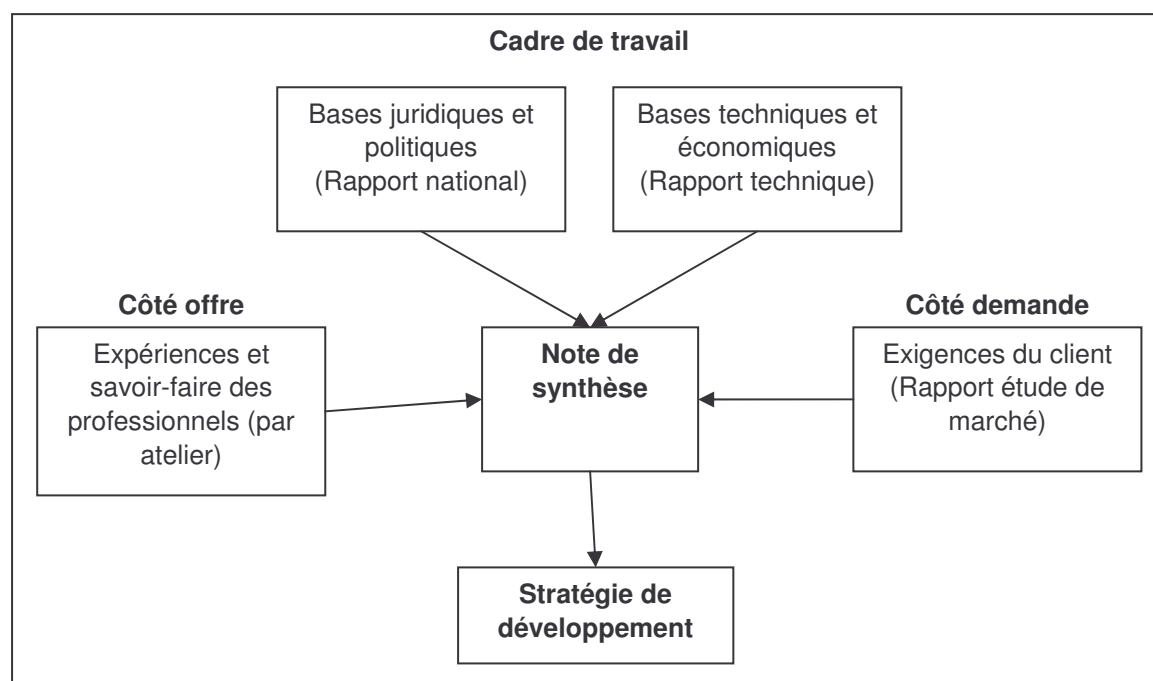
Comme les collectivités et les gestionnaires des réseaux de chaleur ont un rôle clé à jouer dans la chaîne de valeur et le développement du marché pour les applications de refroidissement produit par de la chaleur non valorisée, c'est du côté de l'offre qu'il faut

commencer. La note de synthèse est la présentation des conditions du cadre de travail français pour la mise en œuvre du concept « SUMMERHEAT ». Au-delà de la description du cadre juridique et politique, il montre aussi les barrières pour les collectivités et les gestionnaires des réseaux de chaleur et donne des suggestions sur comment les adresser. Dans cette optique, cette note de synthèse est la base pour l'élaboration d'une stratégie nationale de développement du concept « SUMMERHEAT » pour que les acteurs clés puissent déployer et exécuter avec succès ce concept.

La note de synthèse est fondée sur des rapports précédents et leurs conclusions dans le cadre du projet SUMMERHEAT, à savoir les rapports sur les aspects techniques, le cadre national et l'analyse du marché (disponible sur le site français et anglais).

Cette note de synthèse fera office de base pour le processus de discussion avec les différents acteurs clés. Un atelier de travail sera organisé pour recueillir l'avis des professionnels et des collectivités sur les conditions à améliorer. Cet échange permettra d'affiner et rendre plus opérationnel les stratégies de développement proposées.

La méthodologie derrière la note de synthèse peut être illustrée de la manière suivante :



Cette note ne prend pas en compte la mise en œuvre des décisions prises lors du Grenelle de l'environnement comme par exemple le fonds de chaleur renouvelables.

### 1.3 Situation des réseaux de chaleur en France

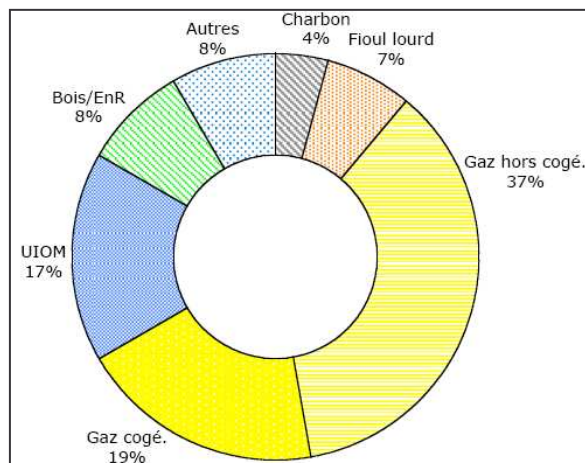
#### Les réseaux de chaleurs français en quelques chiffres :

Selon l'annuaire VIASEVA et les chiffres de l'association AMORCE, la France compte plus de 450 réseaux de chauffage urbains dont 395 de plus de 3MW, répartis sur 350 villes (l'Île De France compte à elle seule 120 réseaux), 3 millions d'équivalents logements sont raccordés aux réseaux de chaleur à comparer aux 100 millions chauffés

par les réseaux de chaleur en Europe. C'est une proportion assez faible compte tenu du potentiel réel des réseaux de chaleur français et comparativement aux autres pays européens ; à titre d'exemple, le Danemark assure 70% de son chauffage par des réseaux de chaleur.

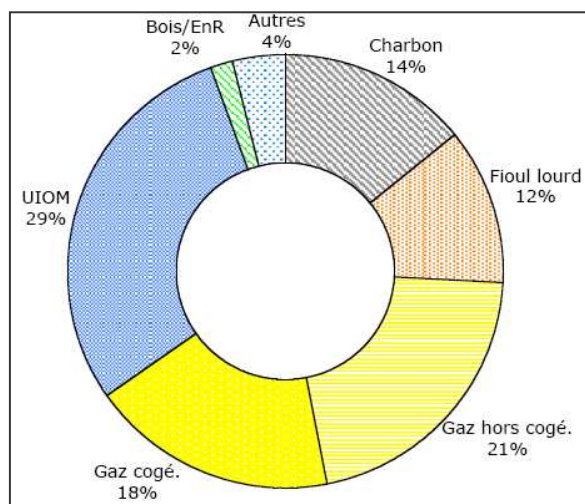
Les réseaux de chaleur ont la particularité d'utiliser une multitude de source d'énergie et valorisent des énergies fatales que seuls ces réseaux peuvent valoriser. Les graphiques qui suivent montrent la part occupée par chaque source d'énergie.

Graphique 01 : Répartition des réseaux selon la source principale utilisée  
(17% des réseaux ont pour source principale l'incinération des déchets)



Source : AMORCE (prix de vente de la chaleur 2006)

Graphique 02 : Production de chaleur (sortie chaufferie) par énergie.

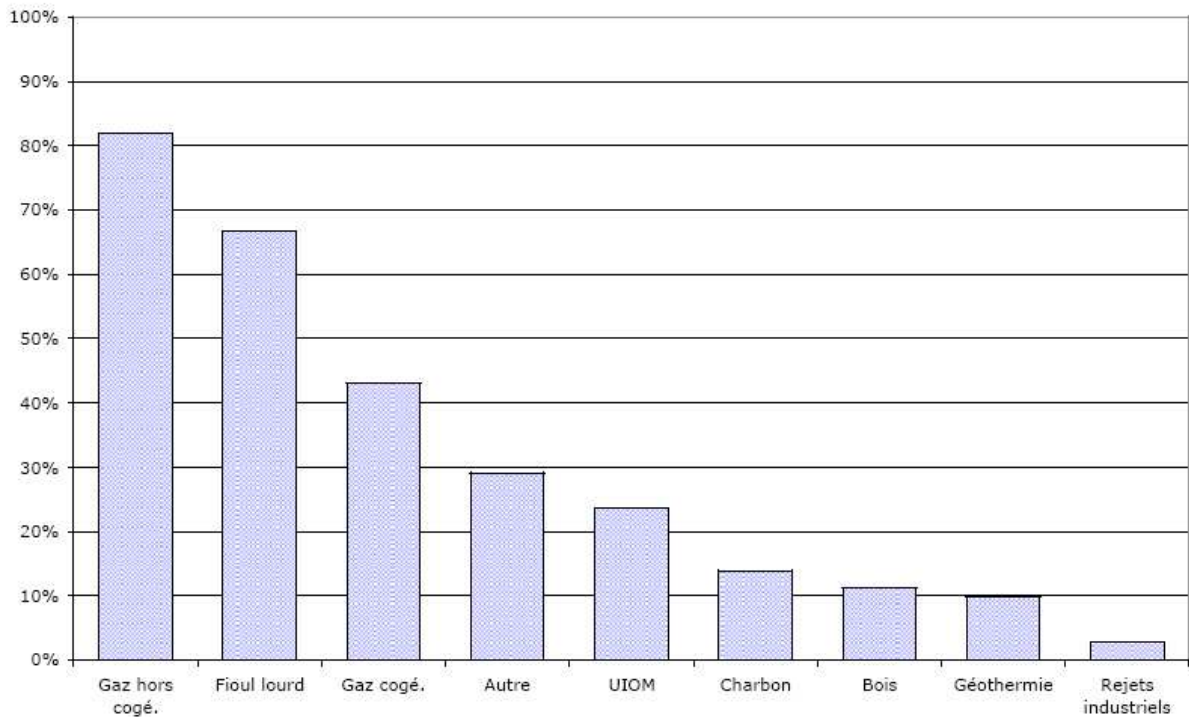


Source : AMORCE (prix de vente de la chaleur 2006)

Les deux graphiques ci-dessus mettent en évidence et confirme la grande mixité des énergies utilisées par les réseaux de chaleur et la part importante occupée par la chaleur d'incinération et la cogénération.

Graphique 03 : Utilisation des énergies.

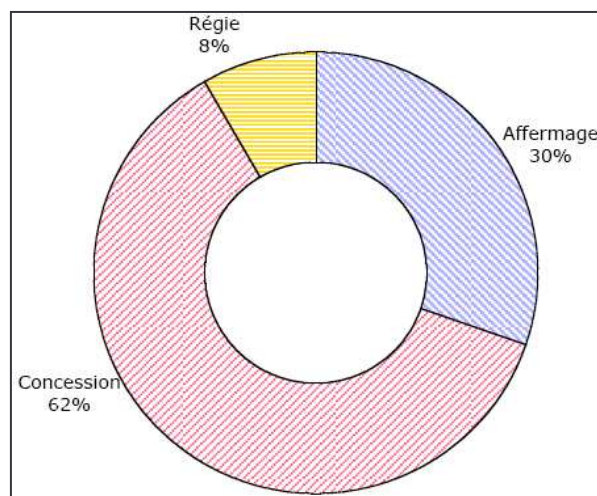
(Exemple : le Fioul lourd est utilisé dans 65% des réseaux de chaleur)



Source : AMORCE (prix de vente de la chaleur 2006)

La majeure partie des réseaux de chaleur français sont gérés par des compagnies spécialisées dans le cadre de contrat d'affermage ou de concession qui lie ces compagnies aux propriétaires des réseaux qui sont généralement les communes ou les collectivités territoriales, notant que quelques réseaux sont gérés en régie interne, comme le montre le graphique 04. La concession est actuellement le montage juridique le plus utilisé dans les réseaux de chaleur. Cette solution permet de limiter l'implication financière et technique de la collectivité. Elle doit s'accompagner d'un contrôle continu par l'autorité concédante qui peut se faire assister par un bureau d'étude.

Graphique 04 : Répartition par mode de gestion.



Source : AMORCE (prix de vente de la chaleur 2006)

## Les enjeux pour développer les réseaux de chaleur :

La France en tant que membre de l'Union européenne a pris des engagements pour la réduction de ses consommations énergétiques et de ses émissions de gaz à effet de serre. La chaleur est le premier poste énergétique en France avec 35% du total de l'énergie finale consommée. Cette donnée accompagnée des particularités des réseaux de chaleur (citées ci-dessus) classe les réseaux de chauffage urbains parmi les principaux vecteurs de développement des énergies renouvelables et de réduction de nos émissions et doit inciter les pouvoirs publics à promouvoir le développement de ces réseaux. Mais la réalité est que les réseaux de chaleur ont longtemps souffert de la presque ignorance des politiques énergétiques. Il y a peu de temps que les réseaux de chaleur peuvent bénéficier de mesures encourageant leur développement tel que l'application du taux de TVA réduit sur les abonnements aux réseaux de chaleur, et même à l'énergie fournie lorsqu'elle est produite à plus de 60% à partir de biomasse, de géothermie, de déchets et d'énergie de récupération. En plus il existe la possibilité de classer un réseau de chaleur si celui-ci est alimenté par plus de 50% par de l'énergie thermique produite à partir de cogénération ou d'énergies renouvelables et s'il justifie d'un équilibre financier reposant sur des conditions tarifaires équivalentes pour l'utilisateur à celles qui sont applicables aux énergies concurrentes pour des services de même nature. Des actions sont continuellement menées par des associations notamment «AMORCE» pour aboutir à des mesures plus incitatives en faveur des réseaux de chaleur.

Parmi les avantages des réseaux de chaleur que l'on peut mettre en avant :

- Ils permettent l'utilisation et la valorisation de plusieurs types d'énergie qu'une utilisation individuelle ne pourra pas valoriser ;
- Ils permettent une meilleure maîtrise des consommations par une gestion assurée par un personnel qualifié et spécialisé ;
- Ils permettent un meilleur rendement des équipements thermiques par un effet de production de masse et du fait qu'une machine de grande puissance a un rendement meilleur que la somme de plusieurs machines de plus petite puissance ;
- Ils permettent la réduction des risques d'incendie ou de santé publique en éliminant les installations thermiques à l'intérieur des locaux.

Ajoutant à cela la perspective du présent projet « Summerheat » d'exploiter ces réseaux pour couvrir une partie des besoins en rafraîchissement des bâtiments en saison estivale. Il devient plus que nécessaire de promouvoir l'extension des réseaux de chaleur existants et favoriser la création de nouveaux réseaux thermiques urbains (froid et chaleur).

## 2 Conditions cadres pour les collectivités et les gestionnaires des réseaux de chaleur

### 2.1 Cadre général

Alors que les réseaux de chaleur sont aujourd'hui bien identifiés comme l'un des principaux vecteurs de développement des énergies renouvelables, la production et/ou la distribution de froid en réseaux collectifs est encore très peu développée en France. Par ailleurs, des moyens de production de chaleur comme la récupération d'énergie sur usines d'incinération d'ordures ménagères ou sur process industriel, voire la géothermie profonde ou la cogénération représentent des disponibilités d'énergie en période estivale, à priori en coïncidence avec les besoins de rafraîchissement (même si certains besoins de froid se manifestent aussi pendant la période d'hiver).

La fourniture ou l'offre de froid pour le rafraîchissement peut être envisagée selon deux principes : d'une manière centralisée avec une distribution de l'eau glacée ou par une production sur place chez l'utilisateur ou le client du réseau de chaleur. La technologie utilisée en général est le principe de l'absorption qui valorise la chaleur pour faire du froid.

Le choix du système de production centralisé ou décentralisé a un impact fort sur la viabilité technique et économique d'une offre de rafraîchissement. La création de nouvelles infrastructures avec un réseau de distribution d'eau glacée n'est pas toujours envisageable surtout dans les centres urbains, où l'on trouve des besoins de rafraîchissement souvent importants. Par contre dans une nouvelle ZAC ou en cas de construction d'un nouveau quartier une telle option pourrait être envisagée. Dans tous les cas de figure la coopération étroite entre la collectivité et son gestionnaire du réseau de chaleur est cruciale pour le succès d'une telle offre.

### 2.2 Technologies de production de froid

#### 2.2.1 Machine à compression

Le principal mode de production de froid à l'échelle industrielle est la machine à compression qui fonctionne sur le cycle d'un fluide frigorigène.

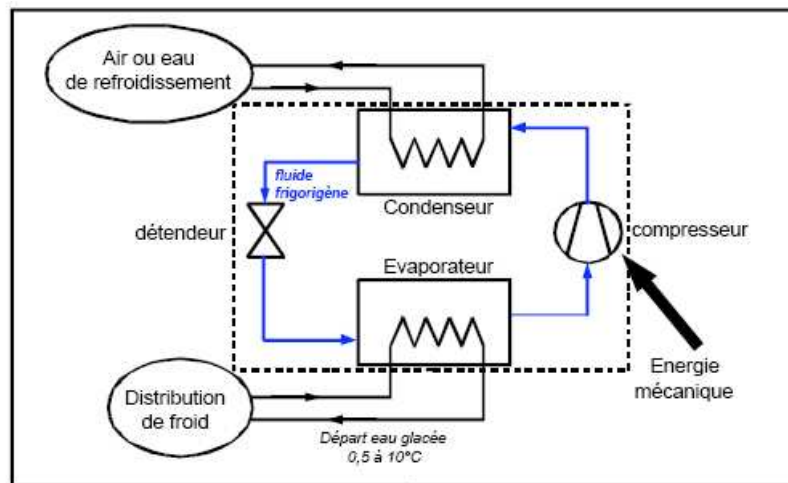


Schéma de principe d'une machine à compression

Source : Rapport Amorce/Ademe ; Réseaux de chaleur et production de froid, 2008

L'énergie mécanique est fournie par un moteur électrique. La source froide nécessaire au niveau du condenseur peut être fournie par l'air (via une installation de tours aéroréfrigérantes) ou par l'eau d'une nappe ou de rivière. Cette technologie permet de n'avoir aucun rejet sur place dans l'atmosphère.

L'efficacité énergétique d'une machine à compression (le  $COP_{\text{froid}}$ ) est calculée par le rapport entre l'énergie « froid » produite au niveau de l'évaporateur et l'énergie mécanique (généralement électrique) apportée au condenseur. Le  $COP_{\text{froid}}$  moyen est de l'ordre de 3 à 3,5 (donc 3 à 3, kWh froid produits pour 1 kWh électrique consommé).

### 2.2.2 Machine à absorption

Plusieurs technologies de production de froid à partir de chaleur sont disponibles sur le marché et peuvent s'inscrire dans les exigences et caractéristiques de la « chaleur d'été ». On peut néanmoins constater que certaines restrictions limitent finalement l'utilisation de cette technologie. Les deux critères limitatifs importants sont le niveau de température auquel la chaleur est disponible (en général en dessous de 100°C) et la maturité de certaines technologies. Dans le cadre de ce projet le choix s'est porté sur les machines à absorption (à simple effet en cas des températures du réseau en dessous de 100°C et à double effet pour les réseaux à eau surchauffée ou à vapeur) fonctionnant avec un mélange de Bromure de Lithium et d'eau.

Pour une machine à absorption, l'énergie motrice est fournie par la chaleur du réseau au lieu de l'électricité pour une machine à compression. Son fonctionnement s'effectue à une pression basse, proche du vide, afin de permettre la vaporisation de l'eau à basse température (5-7°C). Cette vaporisation est nécessaire à l'échange de chaleur pour refroidir l'eau, qui sert de vecteur pour le transport du froid. La chaleur fournie par le réseau comme force motrice ainsi que la chaleur produite lors du refroidissement du vecteur de froid doivent être évacuées par d'autres éléments techniques.

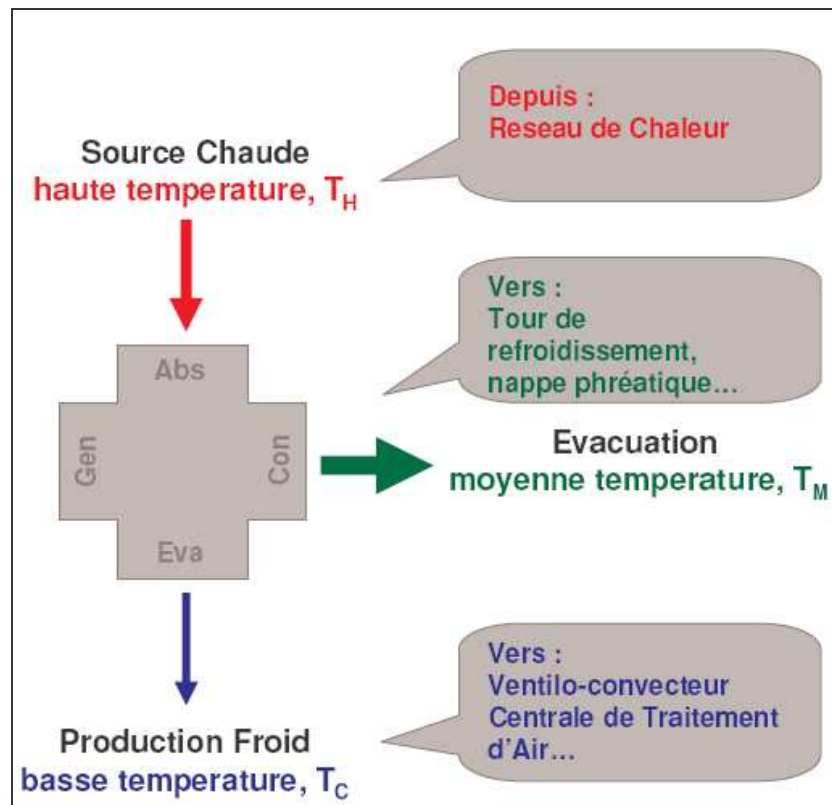


Schéma de principe d'une machine à absorption

Le  $COP_{\text{froid}}$  moyen est de l'ordre de 0,6 à 0,7 (donc 0,6 à 0,7 kWh froid produit pour 1 kWh thermique consommé) pour les machines avec simple effet. Pour les machines à double effet (besoin de températures de chaleur utilisée plus élevée), le  $COP_{\text{froid}}$  se situe entre 1,1 et 1,2.

En comparaison avec le système à compression, la machine à absorption a plus de chaleur à évacuer au niveau du condenseur. A niveau de production de froid égal, la machine à absorption a un besoin de refroidissement du condenseur 2 à 2,5 fois supérieur au besoin de refroidissement d'une machine à compression (rejet de chaleur de 2,5 kWh chaleur pour 1 kWh froid produit). La performance de la machine à absorption est très sensible à la température et aux variations du flux de l'eau de refroidissement. Un refroidissement sur nappe ou eau de rivière est à privilégier. Si ce n'est pas possible les systèmes de refroidissement avec tours aéroréfrigérantes humides sont à favoriser, même si les coûts d'exploitations sont plus élevés.

Les machines à absorption ont deux avantages pour les services de distribution d'énergie calorifique :

- Elles permettent de mettre en place une offre de fourniture de froid à partir d'un réseau de chaleur existant, sans nécessité de mise en œuvre d'un réseau de distribution spécifique,
- Elles permettent la valorisation d'énergie thermique excédentaire ou fatale,
- Elles n'utilisent pas des fluides frigorigènes avec des contraintes de gestion de plus en plus fortes,
- Elles émettent beaucoup moins de bruit comparé avec une machine à compression.

### 2.3 Différents concepts pour la fourniture de froid envisageable

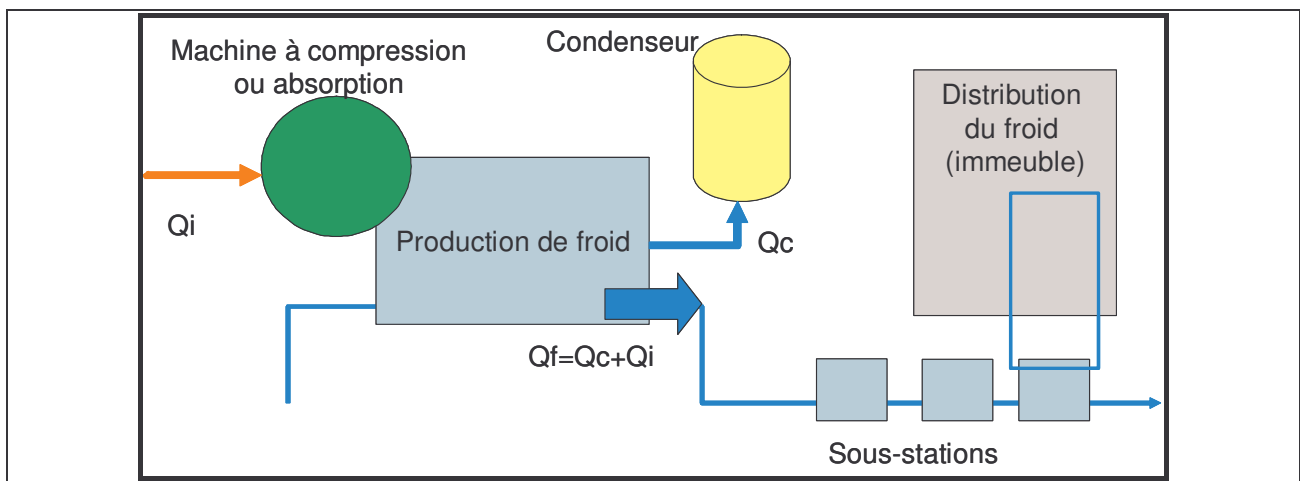
La mise en place d'une offre de fourniture de froid pour le rafraîchissement sur un réseau de chaleur peut s'envisager selon deux principes :

- Une production de froid centralisée alimentant un réseau dit « eau glacée » (entre 1 et 7°C au départ de la centrale), pouvant être développé indépendamment d'un réseau de chaleur,
- Une production de froid en sous-station à partir de l'énergie fournie par un réseau de chaleur.

#### 2.3.1 Production de froid centralisée

C'est essentiellement cette technologie qui est développée sur les réseaux de chaleur et de froid français. Le principe est celui d'une production de froid à partir de machines à compression et/ou absorption (cas des réseaux de Montpellier ou de Monaco) et une distribution via des canalisations spécifiques vers les sous-stations des bâtiments raccordés. En sous-station, comme pour la chaleur, sont installés des échangeurs permettant de dissocier la distribution dite « primaire » du « secondaire » intérieur aux bâtiments. Les réseaux de chaleur et de froid sont physiquement totalement distincts et indépendants.

Schéma : Système centralisé de production de froid et distribution réseau de froid



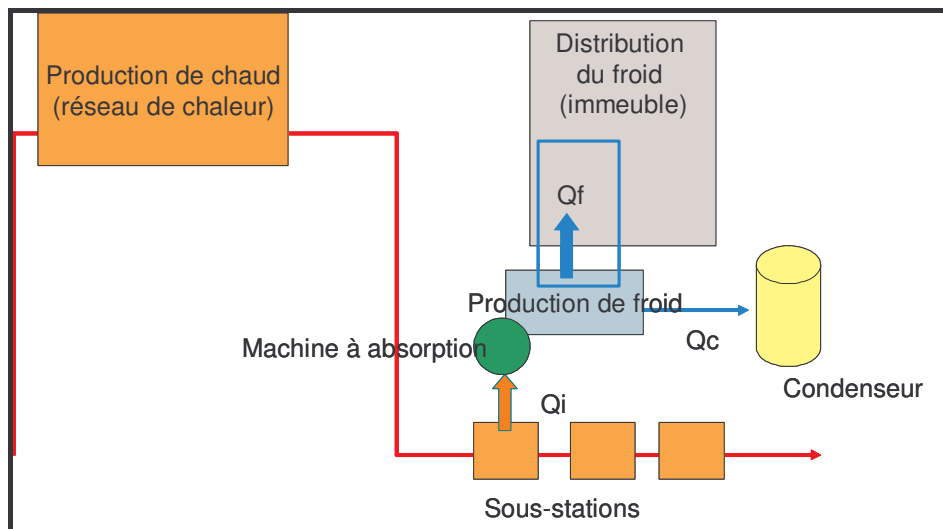
#### 2.3.2 Production de froid décentralisée à partir d'un réseau de chaleur

Cette logique est particulièrement intéressante pour le développement d'une offre commerciale de fourniture de froid par les réseaux de chaleur. Il s'agit d'utiliser des technologies d'absorption pour produire en sous-station, à partir d'eau chaude, d'eau surchauffée ou de vapeur, de l'eau glacée distribuée dans le ou les bâtiments en aval de la sous-station. L'avantage principal est que les canalisations en place peuvent être utilisées et l'offre de froid faite sur la totalité du réseau de chaleur existant.

Le principe décrit dans le schéma ci-après est celui d'un réseau de chaleur qui intégrerait sur le réseau primaire une production de froid décentralisée. La prestation du gestionnaire du réseau pourrait comprendre plusieurs niveaux :

- Livraison de chaleur uniquement, le client investit et gère ses installations de rafraîchissement
- Livraison de chaleur et prise en charge de la gestion et la maintenance des installations de rafraîchissement par le gestionnaire du réseau de chaleur
- Livraison de froid selon les besoins du client et garantie de performance (investissement et exploitation par le gestionnaire du réseau de chaleur avec garantie de performance)

Schéma : Production décentralisée de froid à partir d'un réseau de chaleur



Une production décentralisée de froid peut permettre aussi de fournir le rafraîchissement à une température moins basse comparé avec un réseau de froid. On pourrait envisager de monter à 10 ou 13°C au lieu de 1 à 7°C. Une température de livraison de froid plus élevée augmentera la performance énergétique des machines à absorption.

## 2.4 Sources de chaleur disponible

La production de chaleur dans les différents réseaux de chaleur en France peut différer fortement (voir chapitre 1). Il existe une large variété de sources d'énergie et de manière de produire de la chaleur. Il faut bien considérer quels systèmes et quelles sources sont disponibles en période d'été pour fournir de la chaleur pour les machines à absorption. Dans la suite les sources principales sont présentées. Selon les réseaux et leur particularité la part détenue par chacune de ces sources est différente. En plus il faut étudier aussi la disponibilité pendant l'été de ces sources : est-ce qu'il y a un surplus de chaleur disponible ? ou est-ce qu'il faut faire augmenter ou faire fonctionner les installations plus longtemps pendant la période d'été ? Le niveau de température auquel la chaleur peut être fournie joue un rôle clé. Souvent pendant la période d'été les températures dans les réseaux de chaleur sont abaissées. Certains aspects des impacts techniques dû à la valorisation de la « chaleur d'été » sur la manière de produire et de distribuer sont développés dans ce chapitre.

- Cogénération à partir des énergies fossiles

La cogénération en place sur les réseaux de chaleur fonctionne en général seulement pendant la période d'hiver EDF (donc du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars). Un prolongement du fonctionnement n'est pas envisageable dans le contexte actuel de la cogénération en France. En cas d'une modification du contrat d'achat d'électricité, avec la possibilité d'un fonctionnement selon la demande de chaleur la production de froid en été, pourrait devenir une valorisation supplémentaire intéressante. La limitation du fonctionnement de la cogénération est très spécifique à la France. Dans le cadre de ce projet SUMMERHEAT on ne trouve pas cette limite dans les autres pays impliqués.

➤ Incinération des ordures ménagères

Les UIOM fonctionnent en général tout au long de l'année avec peu de modulation. En cas d'une cogénération, il faut étudier la part de chaleur éventuellement encore disponible pour l'alimentation du réseau de chaleur ou en cas d'une turbine à soutirage, la perte de production d'électricité dû à la valorisation de chaleur.

➤ Energies renouvelables

Actuellement on peut rencontrer deux énergies renouvelables alimentant les réseaux de chaleur : la biomasse (surtout le bois de rebut ou les déchets de la transformation) et la géothermie. Dans le futur, le biogaz pourrait être aussi une énergie présente sur les réseaux de chaleur. La géothermie est disponible tout au long de l'année, donc une valorisation plus élevée pendant l'été est possible. Concernant la biomasse elle pourrait aussi fournir plus de chaleur pendant l'été. Dans tous les cas une étude précise sur le coût d'une production « marginale » en été devrait être menée. Dans le cadre des appels d'offres pour des unités de cogénération alimentées par la biomasse, ou en cas d'une modification favorable du tarif d'achat d'électricité garanti pour les cogénérations biomasse, une production pendant l'été pourrait être économiquement intéressante. La limite de fonctionnement, comme pour la cogénération à partir des énergies fossiles, ne s'applique pas.

➤ Chaleur fatale de l'industrie

Selon le procédé industriel, la chaleur fatale peut être disponible tout au long de l'année à des paramètres constants.

Dans la conception d'un nouveau service par un réseau de chaleur il faut prendre en compte la valeur et le coût de la chaleur produite en été. Selon la production en place, la valeur économique n'est pas la même : l'énergie venant de l'incinération des ordures ménagères peut être considérée comme presque gratuite, si sans cette valorisation la chaleur est envoyée dans l'atmosphère. Un réseau alimenté en grande partie par une source géothermique peut envisager de pomper plus de chaleur pendant la période d'été. La valeur économique donnée aura un impact important sur la compétitivité du service rafraîchissement proposé.

## **2.5 Conséquences sur les réseaux de chaleur et la production de chaleur**

L'intégration des machines à absorption dans les réseaux de chaleur aura très probablement un impact sur les paramètres du fonctionnement du réseau, le dimensionnement des sous-stations et les unités de production de chaleur. Dans la suite

un certain nombre d'impacts techniques sont listés, qui peuvent avoir une influence sur la performance économique d'un nouveau service. Cette liste ne prétend pas à l'exhaustivité compte tenu de la diversité des réseaux de chaleur.

- Température minimale requise par la machine à absorption
- Dimensionnement du réseau et des sous-stations en amont
- Impact sur le volume en circulation
- Impact sur la température de retour (faut-il imposer un différentiel de température au client final ?)
- Impacts sur les pertes de chaleur du réseau
- Evolution de la demande d'électricité pour le pompage
- Pour les cogénérations :
  - Performance énergétique pendant l'été (ex. en charge partielle)
  - Perte possible en cas de soutirage de vapeur
- Pour les énergies renouvelables :
  - Augmentation de la consommation de combustible

## **2.6 Conditions légales et réglementaires de gérer et vendre des services de rafraîchissement**

La gestion des réseaux de chaleur sont en général en France organisé par des relations contractuelles type affermage ou concession. Les collectivités en tant qu'autorité concédante délèguent l'exploitation et l'investissement à des sociétés privées qui se rémunèrent principalement sur la vente de chaleur. Ces contrats ont souvent une durée entre 10 et 20 ans. Ils décrivent précisément les périmètres des services à fournir par le fermier ou le concessionnaire. Ce cadre réglementaire rend nécessaire la modification de ces contrats par des avenants pour permettre aux gestionnaires d'offrir un nouveau service aux clients d'un réseau de chaleur. Même si le client lui-même investi dans la production de froid, une modification du tarif de vente de chaleur pour des telles applications est probablement nécessaire et peut se justifier. Mais ceci implique une modification de la relation contractuelle entre la collectivité et le concessionnaire. Pour certains gestionnaires qui ont déjà une activité de vente de froid, l'offre d'un nouveau service pourrait déjà faire partie du contrat en vigueur (voir les réseaux de Grenoble ou de Montpellier).

## **2.7 Les réseaux de froid alimenté par la «chaleur d'été » réduisent les besoins en électricité**

Si la demande croissante de climatisation des bâtiments est couverte par des climatiseurs à compression, cela demandera une augmentation substantielle en électricité. Un tel effort massif impliquera des tensions supplémentaires sur l'environnement et le climat, sur l'économie et la conception urbaine.

Par conséquent, l'augmentation intensifierait des problèmes déjà existants dans la fourniture d'énergie comme les pics de charges en été, une dépendance supplémentaire

sur les importations, des émissions de CO<sub>2</sub> plus importantes et des problèmes avec les gaz frigorigènes.

L'utilisation du froid produite à partir de la « chaleur d'été » pour répondre à la demande croissante nivellera les pics de demande et utilisera moins d'électricité.

Par expérience, on sait que les équipements de climatisation consomment environ 70% de l'énergie totale des bâtiments et constituent 70% des pics de demande en électricité en été. En faisant passer cette pointe de consommation du bâtiment à une installation centralisée, la puissance électrique du bâtiment est considérablement réduite et avec elle le nombre de transformateurs ainsi que la longueur et la taille des câbles électriques.

## 2.8 Comparaison impacts environnementaux et énergie primaire

Les impacts environnementaux (exprimés en gaz à effet de serre et énergie primaire) de ce nouveau service sont cruciaux pour son développement. Le projet européen Ecoheatcool et le projet de norme européenne EN 15316-4-5 ont développé un indicateur de la performance énergétique des systèmes de chauffage urbain, applicable également à la distribution urbaine de froid. Cet indicateur permet d'évaluer les réseaux de chaleur et de froid, quant à leur efficacité énergétique et leur recours à des énergies renouvelables, et mettre ces performances en perspective avec les systèmes de production de chaleur ou de froid individuels/par bâtiment (ex. chaudière gaz et froid par machine à compression). Son mode de calcul couvre l'ensemble de la chaîne : production – transport – livraison.

Cette méthode est différente des méthodes utilisées actuellement pour les Diagnostics de Performance Energétique des bâtiments (DPE) ou pour la Réglementation Thermique 2005. Elles ne prennent pas en compte la manière dont est produite la chaleur sur un réseau de chaleur. Dans les DPE, par exemple, le facteur d'énergie primaire est pris à 1 pour toutes les sources d'énergie, sauf l'électricité. La production d'électricité est imputée du facteur 2,58 (pour produire une kWh d'électricité, il faut apporté 2,58 kWh d'énergie primaire). L'énergie fatale issue de l'incinération a la même valeur que le gaz ou fioul consommé pour produire de la chaleur. Les avantages en énergie primaire de la cogénération (en général un facteur < 1 dû à la substitution de l'électricité produite dans des centrales) ne peuvent pas être concrétisés avec une telle méthode.

### 2.8.1 Impact en énergie primaire

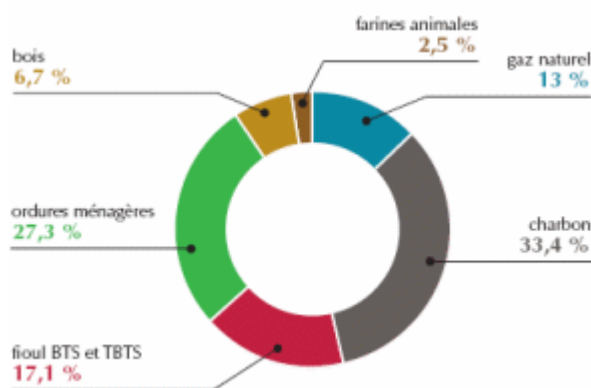
Des facteurs de ressources primaires (PRF – primary resource factors) sont définis par combustible ou par source d'énergie. Ils peuvent être combinés pour évaluer les facteurs de ressources primaires de mix énergétique complexes, comme on retrouve souvent sur des grands réseaux de chaleur. Quelques-uns sont présentés dans le tableau suivant :

Combustible / énergie	PRF
Electricité	2,58
Charbon	1,2
Gaz naturel, fioul...	1,1

Biomasse	0,1
Chaleur fatale issue d'un process industriel	0,05
UIOM, géothermie	0
Cogénération	Déduction faite selon production d'électricité évitée

Ces facteurs doivent être appliqués à la consommation d'énergie à l'entrée du système considéré (MWhPCI pour les combustibles, MWh livré pour l'électricité, MWh entrée réseau pour les process industriels, les UIOM, la géothermie...) et rapportés à l'énergie utile (chaud, froid) livré à la sous-station pour obtenir le facteur d'énergie primaire du système.

Plusieurs cas de figure de réseaux génériques ont été étudiés, ainsi que plus particulièrement le réseau de Grenoble avec des caractéristiques bien précises, gérées par la Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG). Le réseau est composé de six chaufferies dont deux sont externes aux limites de notre étude. Ainsi la cogénération d'Isergie ne délivre que de la chaleur industrielle pour notre calcul et l'incinérateur d'Athanor que de la chaleur issue de déchets. Le mix énergétique de la CCIAG est le suivant sur une base annuelle. Il a servi de base aux calculs suivants. Le mix est en train d'évoluer vers un recours renforcé de bois énergie.



Le résultat de ces calculs est présenté ci-dessous :

Mode de production de froid	PRF
<b>Machine à compression (COP de 3 à 4)</b>	0,645 à 0,86
<b>Machine à absorption sur réseau de chaleur <sup>1</sup> :</b>	
UIOM, géothermie	0,05
Biomasse	0,238
Gaz naturel, fioul...	2,105
Charbon	2,292
Réseau 60% UIOM ou géothermie / 40% gaz naturel	0,873
Réseau 70% bois / 30% gaz naturel	0,798
Réseau de Grenoble annuel	1,080
Réseau de Grenoble marginal / été	0,073

L'analyse de ces résultats montre un avantage pour tous les réseaux, qui fonctionnent majoritairement avec de l'énergie fatale ou des énergies renouvelables. Pour les réseaux avec un bouquet diversifié intégrant aussi une part importante d'énergies fossiles, l'approche marginale ou le zoom sur le fonctionnement en été montre aussi un avantage important. L'approche avec un zoom sur l'été s'explique par la volonté de mieux valoriser l'énergie produite par les UIOM ou la géothermie. La logique marginale peut s'appliquer aussi à des réseaux qui substituent les énergies fossiles par de la biomasse et donc couvrent les nouvelles demandes de chaleur par une énergie renouvelable. Par contre, tout réseau ayant recours à plus d'énergie fossile pour couvrir ces nouveaux besoins n'aura pas la même performance.

### 2.8.2 Impact en émissions de CO<sub>2</sub>

De même que l'on peut observer l'impact des différents systèmes en termes de facteur de ressource primaire, on peut également faire une comparaison en termes d'émission de CO<sub>2</sub>. Comme pour les PRF décrits dans le chapitre ci-avant, les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> sont définis par combustible ou énergie primaire. Il est proposé de reprendre les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> utilisé par le système d'affectation de quotas de CO<sub>2</sub>. Ces facteurs sont d'ailleurs repris dans l'élaboration des contenus en CO<sub>2</sub> des réseaux de chaleur utilisés pour les diagnostics de performance énergétique (DPE).

Combustible / énergie	Facteur CO <sub>2</sub>
-----------------------	-------------------------

<sup>1</sup> Pour le calcul des PRF les hypothèses suivantes sont rendues:

- machine à compression COP entre 3 et 4
- machine à absorption COP moyen 0,7
- rendement des réseaux de chaleur générique (production + distribution) de 76,5%
- consommation d'électricité pour pompage = + 0,05

	en g CO <sub>2</sub> / kWh <sub>PCI</sub>
Electricité	
- chauffage	180
- utilisation base (eg climatisation, pompage)	40
Charbon	343
Gaz naturel	206
Fioul lourd	282
Biomasse	0
Chaleur fatale issue d'un process industriel	0
UIOM, géothermie	0
Cogénération	Avoir pour substitution -356

En utilisant ces facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> et les hypothèses déjà prises pour le calcul des facteurs de ressource primaire, on arrive pour les différents systèmes de production de froid aux résultats suivants :

Mode de production de froid	Facteur CO <sub>2</sub> En gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>PCI</sub> froid
<b>Machine à compression (COP de 3 à 4)</b>	10 et 13 <sup>2</sup>
<b>Machine à absorption sur réseau de chaleur:</b>	
UIOM, énergies renouvelables	2
Gaz naturel	387
Fioul	529
Charbon	643
Réseau 60% UIOM ou géothermie / 40% gaz naturel	156
Réseau 70% bois / 30% gaz naturel	117
Réseau de Grenoble annuel	322 <sup>3</sup>
Réseau de Grenoble marginal / été	5

En prenant comme indicateur uniquement les émissions de CO<sub>2</sub> seule l'énergie frigorifique produite à partir des énergies renouvelables ou de l'énergie fatale sont plus

<sup>2</sup> Hypothèses d'un COP de 3 et 4 sur un contenu de 40g CO<sub>2</sub>/kWh électrique (source ADEME)

<sup>3</sup> Hypothèse d'un COP de 0,7 de la machine à absorption et du mix annuelle du réseau de la compagnie de chauffage. Le contenu CO<sub>2</sub> est exprimé en kWh froid vendu au clients.

avantageuses que le froid produit par compression. Le raisonnement développé pour la comparaison des facteurs de ressource primaire est valable aussi pour les émissions CO<sub>2</sub>. Les réseaux avec un bouquet d'énergie diversifié comme le réseau de Grenoble, et ayant des surplus de chaleur pendant l'été, sont compétitifs avec la production de froid par compression. Le facteur d'émission pour l'électricité utilisé dans le calcul ci-dessus est actuellement un point de débat au niveau national et européen. L'appréciation de la valeur donnée, comme par exemple l'approche marginale évitée à l'échelle de l'Europe, qui donnent une valeur jusqu'à 600 gCO<sub>2</sub>/kWh au lieu de 40, peut fortement infléchir les conclusions en terme de performance CO<sub>2</sub> des solutions comparées.

### 2.8.3 Conclusions impacts environnementaux

Les deux critères pris en compte (utilisation de la ressource primaire et les émissions CO<sub>2</sub>) montrent des avantages pour la production de froid à partir des réseaux de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou par l'énergie fatale et surtout non valorisée pendant la période d'été. Les méthodologies et valeurs appliquées par les diagnostics de performance énergétique des bâtiments ou la RT 2005 ne prennent pas suffisamment en compte ces avantages. Un point crucial dans ce contexte est la valeur de CO<sub>2</sub> appliquée à l'électricité, qui pèse fortement sur la performance des réseaux de chaleur. Il est souhaitable que les méthodes utilisées par ces deux réglementations prennent mieux en compte les valeurs d'utilisation des ressources primaires et des émissions CO<sub>2</sub> plus proche de la réalité et utilisées au niveau européen.

## 2.9 Comparaison économique

Afin de mieux cerner les enjeux économiques d'un service de fourniture de rafraîchissement une étude comparative a été commanditée auprès du bureau d'étude GIRUS dans le cadre du projet SUMMERHEAT (l'étude complète est disponible sur le site Internet du projet). Le principe est de comparer une production de froid par une machine à absorption ou par une machine à compression dans plusieurs configurations<sup>4</sup>. Les variantes étudiées sont :

Puissance froid	Compression décentralisée	Absorption alimentée par réseau de chaleur en sous-station	Compression avec mini réseau d'eau glacée	Absorption alimentée par réseau de chaleur avec mini réseau d'eau glacée
35 kW	X	X	-	-
100 kW	X	X	-	-
300 kW	X	X	X	X
1000 kW	X	X	X	X

<sup>4</sup> COP machine à compression = 4 ; COP machine à absorption = 0,7

Pour toutes ces solutions ont été calculées les coûts globaux de fonctionnement (ramenés aux MWh froid produits) incluant :

- L'investissement dans la production et le refroidissement (tour), et dans un réseau de distribution ; amorti selon la durée de vie technique des composants (ramené à 20 ans)
- Les coûts de maintenance
- Les coûts de fonctionnement (prix de chaleur entre 0 et 50€<sup>5</sup> ; prix d'électricité selon tarif réglementé, prix de l'eau à Grenoble)

Plusieurs durées de fonctionnement par an ont été simulées (500, 800 et 1200 h/an). Les résultats présentés ci-après sont basés sur 800 h/an.

Puissance froid / Coûts en €/MWh <sub>froid</sub>	Compression décentralisée	Absorption alimentée par réseau de chaleur en sous-station	Compression avec mini réseau d'eau glacée	Absorption alimentée par réseau de chaleur avec mini réseau d'eau glacée
35 kW	167	304	-	-
100 kW	94	155	-	-
300 kW	69	100	84	109
1000 kW	58	78	93	123

Les coûts d'investissements sont toujours plus élevés à puissance identique pour la solution absorption. L'écart dans les coûts globaux se resserre avec l'augmentation de la puissance. Les solutions avec la création d'un mini réseau de froid sont plus coûteuses dans cette étude comparée à une production de froid par immeuble. Ceci dépend fortement des hypothèses prises concernant la densité de consommation et la longueur du réseau de froid.

<sup>5</sup> Cette fourchette des prix de chaleur illustre les différentes possibilités de donner une valeur à la chaleur ; une approche de valorisation marginale produite par exemple par une UIOM pourrait être 7€/MWh s'il y a valorisation production d'électricité en parallèle ou de 20€/MWh sans distinction d'usage ou de 50€/MWh (la moyenne du prix selon l'enquête de prix d'AMORCE). Pour cette étude le prix de référence a été pris à 20€/MWh.

Si on analyse la sensibilité aux prix entrants (chaleur et électricité) des deux grosses puissances, on arrive à des résultats suivants :

Puissance froid / Coûts en €/MWh <sub>froid</sub>		Compression décentralisée	Absorption alimentée par réseau de chaleur en sous-station	Compression avec mini réseau d'eau glacée	Absorption alimentée par réseau de chaleur avec mini réseau d'eau glacée
300 kW	Prix chaleur	69	81	84	90
1000 kW	7 €/MWh	58	60	93	104
300 kW	Prix	79	100	95	110
1000 kW	électricité doublé	67	79	102	124

En abaissant le prix de chaleur à 7€/MWh les solutions à partir de 300 kW<sub>froid</sub> et production en pied d'immeuble deviennent compétitives. L'augmentation du prix d'électricité de 100% (prix de chaleur constant à 20€/MWh) réduit l'écart, mais pas encore suffisamment, pour que le service de rafraîchissement devienne intéressant. Ceci illustre, que l'économie d'un nouveau service est pertinente dans le cadre d'une valorisation de chaleur fatale. Il est plus difficile à atteindre si les combustibles de compléments doivent être achetés pour produire du froid. Avec un coût marginal de la chaleur de 20€/MWh livré en sous-station (ce qui peut correspondre à un prix de combustible de l'ordre de 15€/MWh<sub>PCI</sub>), le coût de production de froid est supérieur d'environ 30% par rapport à une production par machine à compression.

En cas d'une volonté forte de développer les réseaux de chaleur et de froid une aide à l'investissement est nécessaire, afin de réduire l'écart d'investissement au début. Pour les grosses installations un taux de 30 à 40% semble intéressant pour amorcer le démarrage de la filière.

## 2.10 Cadre politique et légal à prendre en compte

Les objectifs nationaux en matière de maîtrise de l'énergie sont clairs et sont exprimés relativement aux émissions de gaz à effet de serre :

- Objectif de Kyoto de stabilisation des émissions aux valeurs de 1990 en 2010.
- Division par 4 d'ici à 2050.

Pour mémoire, le secteur bâtiment représente 25% des émissions françaises de GES. Pour tenir ces objectifs, la France devra s'appuyer sur les piliers suivants :

- Action sur la demande (p ex. isolation des bâtiments)
- Amélioration de l'efficacité énergétique (cogénération...)
- Recours aux énergies renouvelables

Dans la suite le travail dans le cadre du Grenelle de l'environnement a permis d'approfondir les objectifs à viser pour l'amélioration des bâtiments. Ces objectifs ont été précisés dans des commissions avec la participation d'experts venant d'horizons différents et ont été intégrés dans la proposition de loi pour rendre ses objectifs opérationnels. Dans la construction neuve sera visée une augmentation rapide des exigences de la Réglementation Thermique 2005 tendant vers les bâtiments respectant le label Effinergie (Bâtiment Basse Consommation). Dans l'existant une réglementation thermique a été mise en œuvre qui obligera les maîtres d'ouvrages d'avoir recours à des technologies et des matériaux plus performants lors des rénovations des bâtiments. En général ces mesures déjà en vigueur ou en préparation vont réduire les besoins en chauffage, soutenir les énergies renouvelables et exiger un confort d'été, qui ne devrait pas créer une demande supplémentaire de climatisation. Certains de ces aspects sont développés dans la suite.

**La transposition de la directive de performance énergétique des bâtiments (Directive 2002/91 EC)** se fait avec les objectifs de réduire les impacts environnementaux de l'utilisation des énergies fossiles dans le secteur du bâtiment. Outre l'augmentation des exigences de performance énergétique de la réglementation pour le neuf et la rénovation et les aspects relatifs à leur certification énergétique, elle sert de base pour de nouveaux standards.

### **Obligation d'étude de faisabilité technique, économique, environnementale pour le raccordement à un réseau de chaleur ou de froid**

Dans la Loi de Programme et d'Orientation de la Politique Energétique du 13 juillet 2005 (*Loi POPE*) les réseaux de chaleur sont abordés en annexe dans la partie relative à la mise en œuvre de la politique de diversification des sources d'approvisionnement énergétiques. L'Etat par le biais de l'ADEME encourage « la substitution d'une énergie fossile, distribuée par un réseau de chaleur, par une énergie renouvelable thermique, de même que le développement des réseaux de chaleur, outils de valorisation et de distribution des ressources énergétiques locales. »

Relatif aux réseaux de chaleur, l'article 5 et 6 de la directive européenne impose **une étude de faisabilité technique, économique et environnementale pour les bâtiments neufs de plus de 1000 m<sup>2</sup> de surface utile et pour des bâtiments faisant l'objet d'une rénovation lourde** afin de comparer les « solutions » énergétiques suivantes et afin d'en tenir compte avant le début de la construction :

- les systèmes d'approvisionnement en énergie décentralisés faisant appel aux énergies renouvelables,
- la Production Combinée de Chaleur et d'Electricité (PCCE ou cogénération),
- les systèmes de chauffage ou de refroidissement urbains ou collectifs, s'ils existent,
- les pompes à chaleur, sous certaines conditions.

Cette obligation d'étude apparaît en droit français à l'article 27 de la loi POPE. Le décret d'application n°2007 - 363 du 19 mars 2007 (relatif aux études de faisabilité des

approvisionnements en énergie, aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants et à l'affichage du diagnostic de performance énergétique) fixe les modalités de ces études (Art.1) et les caractéristiques thermiques des bâtiments existants (Art.2). L'arrêté du 18 décembre 2007 précise, que cette étude est à fournir avant le dépôt du permis de construire et qu'elle doit respecter un certain nombre de critères. Surtout dans le segment des bâtiments neufs, cette obligation permettra d'obliger le maître d'ouvrage à au moins solliciter une offre du réseau de chaleur le plus proche.

## Réglementation thermique pour les bâtiments neufs ou en rénovation lourde (RT 2005)

La réglementation thermique 2005 s'adresse aux bâtiments neufs des secteurs résidentiels et tertiaires. Elle est intégrée au code de la construction et de l'habitation et s'applique aux permis de construire déposés après le 1<sup>er</sup> septembre 2006.

### Confort d'été bâtiment neuf

L'article 8 de l'**Arrêté du 24 mai 2006** relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments introduit la notion de confort d'été. Cet article définit deux catégories de locaux qui sont les CE1 et les CE2. L'objectif en définissant ces deux catégories est de maîtriser le recours à la climatisation et de valoriser les systèmes de refroidissement passifs. Les locaux CE1 sont soumis aux exigences de confort d'été tandis que les locaux CE2 ne le sont pas. La première catégorie a des consommations de références liées au refroidissement nul. Ceci implique en cas d'une installation de rafraîchissement que la consommation du bâtiment doit être réduite sur d'autre poste comme l'augmentation de la résistance thermique de l'enveloppe. Pour les bâtiments de la catégorie CE2 par contre les besoins de refroidissement du bâti sont pris en compte. Cette réglementation aura un impact important sur la demande de climatisation dans le secteur neuf. Les besoins de refroidissement vont en principe baisser.

### Exigences de niveau de performance des systèmes de rafraîchissement

Le chapitre VIII du titre II (Art.30) de ce même arrêté définit les caractéristiques thermiques de référence pour le refroidissement. Ainsi les équipements de génération ont les références minimales suivantes :

Compression électrique	EER*=2,45
Groupe à absorption	0,70 puis 0,95kW/kWep gaz
Réseaux de distribution	Bitube classe 3
Emetteurs	Auxiliaires terminaux 2W/m2

\*EER=Energy Efficiency Ratio

« Pour les appareils de production de froid à gaz (groupe à absorption), l'efficacité corrigée au sens de la méthode de calcul Th-C-E (moteur de calcul pour la validation du

respect de la RT 2005) est de 0,70 kW/kW<sub>ep</sub> jusqu'au 31 décembre 2008 et de 0,95 après cette date. »

Il deviendra dès lors plus difficile de justifier une installation sur réseau de chaleur avec une machine à absorption simple effet de COP moyen de 0,7 puisque la référence de calcul de la RT2005 se situant à 0,95 sera au-dessus de ce système. La conséquence immédiate est que les sur-consommations par rapport à la référence liées à ce poste devront être compensées sur d'autres postes de consommation de la RT2005.

Pour l'ensemble des composantes, génération, distribution, programmation, émission et régulation, des coefficients de références sont employés. Seule la composante d'échange, pour le cas où le système de refroidissement est lié à un réseau de refroidissement urbain, prendra la valeur réelle du projet pour référence.

### Confort d'été dans les bâtiments en rénovation (RT 2005 existant)

La réglementation thermique pour l'existant est séparée en deux sous rubriques selon la taille, l'âge, les coûts des travaux et la valeur du bâtiment en vue. Dans le cadre des bâtiments avec une surface > 1 000 m<sup>2</sup> une approche globale est obligatoire similaire à la RT 2005 pour le neuf. Concernant le confort d'été, il est stipulé de limiter l'inconfort des occupants et l'utilisation de la climatisation. Le bâtiment rénové doit assurer un confort d'été acceptable, dans la mesure de ce qui est possible compte tenu du bâti existant. Des exigences plus précises sont détaillées dans le chapitre « Refroidissement ».

Dans le chapitre intitulé « Suivi des consommations » l'article 84 exige la mise en place d'un dispositif de suivi des consommations de refroidissement pour des bâtiments à usage autre qu'habitation avec plus de 400m<sup>2</sup> refroidie. Ceci permettra éventuellement de mieux cerner les coûts de refroidissement pour un bâtiment.

### **Nouvelle réglementation pour le contrôle et la maintenance périodique des installations de production de froid**

L'article 9 de la directive européenne « Bâtiments » demande aux Etats-membres de prendre les mesures nécessaires pour mettre en oeuvre une inspection périodique des systèmes de climatisation d'une puissance nominale effective supérieure à 12 kW. Cette inspection comprendra une évaluation du rendement de la climatisation et de son dimensionnement par rapport aux besoins en matière de refroidissement du bâtiment. Des conseils appropriés seront donnés aux utilisateurs sur l'éventuelle amélioration ou le remplacement du système de climatisation et sur les autres solutions envisageables. La transcription dans la réglementation française de cet article est toujours en cours. Une application est prévue pour 2009. C'est là en principe une bonne occasion de proposer le service performant de Summerheat aux propriétaires des bâtiments concernés.

### **Diagnostic de performance énergétique (DPE)**

L'article 7 de la directive européenne impose la création de certificats de performance énergétique qui doivent être établis lors de la vente ou de la location d'un bien immobilier. L'article 12 prévoit que les utilisateurs doivent être informés des différentes

méthodes et pratiques qui contribuent à améliorer la performance énergétique. Ceci a été transposé en droit français avec la mise en place des Diagnostics de Performance Energétique (DPE).

Concernant les bâtiments autre usage qu'habitation, ce type de diagnostic regroupe principalement les bâtiments tertiaires et sont définis par l'Arrêté du 15 septembre 2006. La réalisation de ces diagnostics est obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2006 en cas de vente. Les consommations prises en compte par ce type de diagnostic sont tout usage et ne sont pas séparées par poste. La climatisation est par conséquent incluse et les consommations sont évaluées à l'aide de la facturation des trois dernières années. Les textes pour la location dans le secteur tertiaire sont en cours d'élaboration.

Les consommations en énergie finale sont transformées par des facteurs pré-établis en consommation d'énergie primaire et en émissions de gaz à effet de serre (principalement CO<sub>2</sub>). Ces facteurs établis dans les arrêtés ne prennent pas bien en compte les avantages des réseaux de chaleur concernant la performance en énergie primaire et en gaz à effet de serre. Le tableau comparatif suivant entre les facteurs préconisés par les arrêtés français et la méthode européenne EcoHeatCool le montre :

Combustible	Facteur ressource primaire		Facteur CO <sub>2</sub> en kg/kWh	
	Arrêtés DPE	EcoHeatCool	Arrêtés DPE, méthode SNCU	EcoHeatCool
Charbon	1	1,2	0,343	0,343
Biomasse	1	0,1	0	0
Fioul lourd	1	1,1	0,282	0,282
Fioul domestique	1	1,1	0,271	0,271
Gaz naturel	1	1,1	0,206	0,206
Biogaz	1	0	0	0
Electricité (chauffage)	2,58	2,58	0,180	0,180
Réseau de chaleur (par défaut)	1	A calculer	0,384	A calculer
Process industriel	Non défini	0,05	0	0
UIOM	Non défini	0	0	0
Géothermie	Non défini	0	0	0
Production électricité par cogénération (= avoir/réduction)	2,58	2,58	- 0,356	- 0,356

Dans une logique de développement des réseaux de chaleur vertueux en ressource primaire et en émission CO<sub>2</sub>, il est souhaitable de caler aussi bien les facteurs d'énergie primaire et d'émissions CO<sub>2</sub> sur le modèle de la méthodologie européenne. Ceci implique naturellement un calcul pour chaque réseau de chaleur selon la diversité d'énergies utilisées. Avec une telle approche l'intérêt de la valorisation de la chaleur en été pour la production de froid devient très lisible.

### Réglementation sur les gaz frigorigènes

Les textes sont de plus en plus sévères à l'encontre de l'utilisation de ce type de produit, surtout les gaz frigorigènes avec un potentiel de dégradation de l'ozone ou de

réchauffement global important. Le protocole de Montréal (1987) a fixé un calendrier d'abandon de certains gaz. Ce protocole a été transcrit dans la réglementation française, qui entraîne un abandon de certain gaz ou une obligation forte de suivi et de maintenance pour les installations ayant encore des gaz frigorigènes acceptés. Le personnel des entreprises et les entreprises mêmes impliquées dans la construction et la maintenance de ces installations doivent être formés et habilités à ces fonctions selon la nouvelle réglementation européenne n° 303/2008. De fait, ces exigences devraient faciliter l'émergence de procédés utilisant les équipements à absorption pour lesquelles cette réglementation ne s'applique pas.

### **Systemes de refroidissement : tours aéroréfrigérantes ou nappes phréatiques**

La nappe phréatique et les tours aéroréfrigérantes sont les deux principales techniques de refroidissement d'une machine à absorption. Compte tenu des besoins de refroidissement plus élevés comparé aux machines à compression, le choix du système de refroidissement doit être étudié avec beaucoup d'attention. Le durcissement récent de la réglementation sur les tours – décès par légionellose – favorise désormais l'utilisation des nappes phréatiques. Mais aussi cette source est de plus en plus sollicitée et donc réglementée.

#### **2.10.1 Le rôle de l'urbanisme et de l'aménagement**

Le rôle de l'urbanisme est crucial pour le développement de l'énergie ou des services distribués par un réseau. Selon la densité d'occupation des sols, les différents usages prévus ou les énergies autorisées sur un territoire donné les énergies/services distribués par réseau, comme le chauffage ou le refroidissement, peuvent trouver ou non leur place. En plus dans le cas des nouvelles zones de développement, le choix des infrastructures disponibles dès le départ aura un impact important sur les coûts d'investissement pour ces infrastructures, particulièrement pour les réseaux urbains.

Comme les réseaux de chauffage et de froid urbain représentent des infrastructures très coûteuses et avec une durée de vie longue, une coopération étroite entre le gestionnaire du réseau de chauffage urbain et le service d'urbanisme de la ville est obligatoire. En particulier pour les nouveaux bâtiments et dans les zones urbaines de développement, une implication très en amont des services concernés, comme le développement urbain ou le service d'urbanisme, est nécessaire en ce qui concerne la planification et la conception de ces réseaux d'approvisionnement. Ainsi, les conditions favorables pour une telle infrastructure peuvent déjà être créées à un stade très amont. Le soutien politique par les autorités locales et, en particulier les conseillers municipaux, créera les conditions pour que les promoteurs publics ou privés acceptent le raccordement au réseau de chauffage et de froid urbain comme une opportunité et, dans une certaine mesure, comme une obligation. Pendant les échanges avec les élus et le service d'urbanisme, il faudra veiller à bien expliquer l'environnement compétitif pour ces deux services (chauffage et rafraîchissement) présentant les solutions techniques attractives comme la pompe à chaleur réversible ou les systèmes multi-split très souvent prisés par les promoteurs immobiliers.

Les zones de développement les plus prometteuses sont celles dédiées aux activités tertiaires ou à un usage mixte avec des petites et moyennes entreprises. Plus la densité de la surface constructible est élevée par rapport à la zone de construction, plus les

conditions sont meilleures pour le chauffage et le refroidissement urbain. A Vienne, en Autriche, pour une nouvelle zone de développement, la densité varie entre 1,5 et 2 (zone constructible brute / zone brute de développement). Les exemples des réseaux de froid et le projet de fourniture de rafraîchissement dans le chapitre 7 illustrent le succès d'une démarche conjointe entre gestionnaire de réseau et collectivité.

Au-delà de cette coopération étroite entre gestionnaire de réseau et collectivité il existe en principe deux outils principaux pour cadrer le raccordement à un réseau de chaleur :

- Classement d'un réseau de chaleur existant
- En cas d'une zone d'aménagement avec vente des terrains aux promoteurs.

### **Classement d'un réseau de chaleur**

Le préfet peut à la suite de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi LAURE du 30 décembre 1996) demander le classement d'un réseau de chaleur. Ceci est effectué après enquête publique et si celui-ci est principalement alimenté (>50%) par des énergies de récupération (déchets, chaleur industrielle, cogénération). Dès lors le raccordement devient obligatoire sur le périmètre du classement et favorise ainsi le réseau par rapport aux autres énergies. Le décret du 5 mai 1999 précise les conditions de classement. Mais cette procédure est longue et fastidieuse : un seul réseau, celui de Fresnes, a réussi à faire ce parcours de classement. La mise en œuvre du Grenelle de l'environnement changera la procédure de classement.

### **Zone d'aménagement avec vente des terrains aux promoteurs**

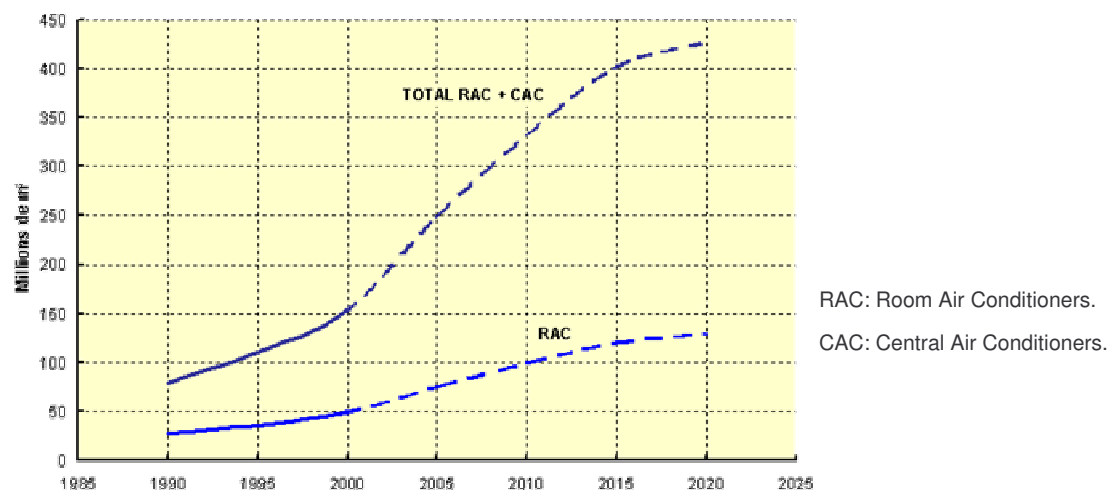
Dans le cas d'une zone d'aménagement (ZAC), il est très fortement conseillé de réaliser le plus en amont possible une étude de faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur et de froid. Cette étude devrait permettre de cerner les enjeux en général d'une telle infrastructure et plus particulièrement sa performance par rapport à une alimentation en chauffage et rafraîchissement individuel par bâtiment. Une fois la décision prise par la municipalité/collectivité il faut identifier le porteur de cette infrastructure (par délégation de service public ou éventuellement en régie). Dans la suite dans le règlement de la zone une obligation de raccordement au réseau de chaleur et de froid sera incluse. Avec le contrat de vente de terrain le promoteur s'engage à se raccorder à ce réseau. Mais en cas de non-respect du promoteur un recours est difficilement envisageable.

Dans tous les cas de figure il est crucial, que les services fournis par un réseau de chaleur et de froid soient techniquement performants, présentent des avantages environnementaux et soient économiquement compétitifs.

### 3 Approche du potentiel de marché

#### 3.1 Evolution du marché de la climatisation en France :

La situation géographique et le climat tempéré de la France n'ont pas favorisé un recours massif à la climatisation des bâtiments comparativement à d'autres pays méditerranéens. Néanmoins l'étude de marché du projet européen EECCAC et le rapport du CEREN sur la dynamique des parcs climatisés dans le secteur tertiaire ont mis en évidence une forte croissance de la demande en climatisation en France.



Le graphique ci-dessus issu de l'étude EECCAC 2002 représente la progression des surfaces climatisées en France entre 1990 et 2000 avec une projection à l'horizon 2020. Selon cette étude les surfaces climatisées tous usages confondus devront triplées d'ici 2020 par rapport à l'année 2000.

Le rapport du CEREN 2003 sur la dynamique des parcs climatisés dans le tertiaire vient conforté cette hypothèse en mettant en évidence une progression des surfaces climatisées dans le secteur tertiaire de 114 millions de m<sup>2</sup> en 1995 à 178 millions de m<sup>2</sup> en 2003, ce qui représente une augmentation annuelle moyenne de 7.5 millions de m<sup>2</sup> par an. La branche « bureaux » représente 35% des surfaces climatisées dans le tertiaire en 2003 (soit 60.6 millions de m<sup>2</sup>).

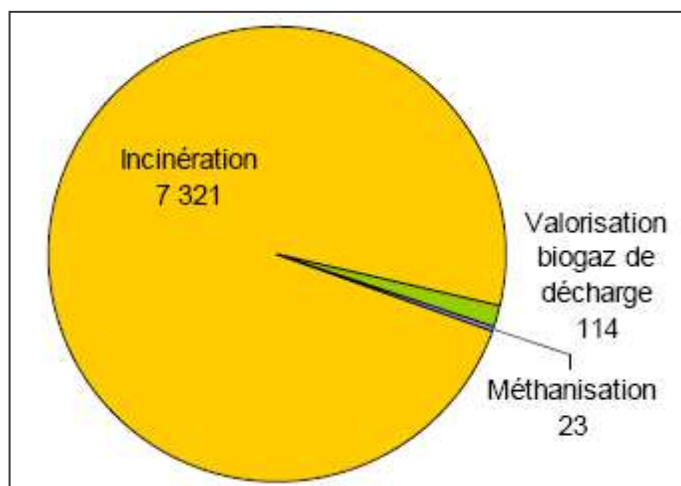
Entre autre, les résultats de l'enquête réalisée par l'association « Clim'Info » en 2006 sur les appareils de climatisation mis sur le marché français, font apparaître une croissance soutenue des ventes d'appareils individuels destinés au marché résidentiel et au petit tertiaire, de l'ordre de 24% et ce depuis 2002. Les systèmes de climatisation à débit de réfrigérant variable (DRV), qui sont de plus en plus utilisés dans l'immobilier de bureaux, affichent une progression des ventes de 28% en 2006 par rapport à 2005. Le marché des systèmes centralisés aux bâtiments, destinés généralement au grand tertiaire et à l'industrie (pour les fortes puissances) affiche une quasi stabilité des volumes de ventes depuis 2002, néanmoins les systèmes centralisés de petite puissance (>17.5kW) enregistrent une progression fulgurante approchant +200% en 2006 par rapport à 2005 fortement influencée par le crédit d'impôt.

Au final, la demande en climatisation en France augmente, mais avec un contexte qui n'est pas forcément en faveur de la distribution du froid par réseau de chaleur, puisque l'on constate une forte demande sur les produits individuels réversibles avec une stabilité de la demande en systèmes centralisés de fortes puissances.

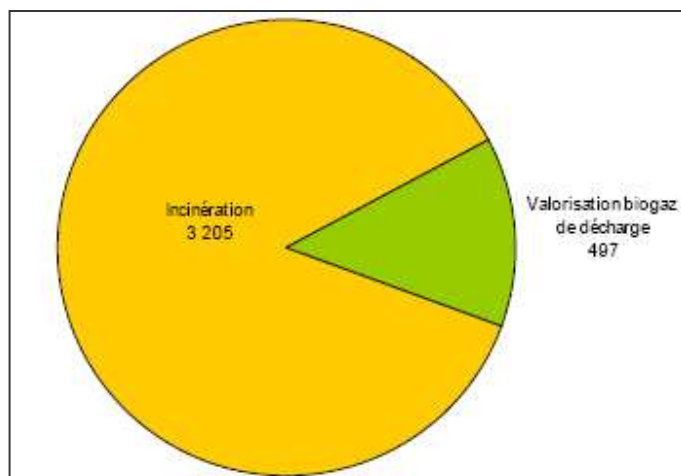
### 3.2 Potentiel de production du froid des réseaux de chaleur en France :

Le projet Summerheat s'appuie sur le principe de la valorisation de la chaleur résiduelle produite pendant l'été par des installations thermiques. Par conséquent les premières installations qui méritent d'être étudiées sont les Usines d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) ou récemment nommés Unités de Valorisation Energétique des Déchets. Les UIOM représentent la deuxième source d'électricité d'origine renouvelable après l'hydraulique en France et la deuxième source de chaleur renouvelable après le bois [Source DGEMP-DIDEME].

Les résultats de l'enquête ITOM 2006 publiés par l'ADEME en Juillet 2008, font état de 110 unités de valorisation énergétique des déchets, avec 12 372 kT de déchets traités, elles ont produite 7460 GWh thermiques et 3700 GWh électriques en 2006. Les graphiques (09) et (10) illustrent la répartition de ces productions.



Graphique (09) : Production thermique par les UIOM en 2006 (en GWh). Source ITOM 2006



Graphique (10) : Production électrique par les UIOM en 2006 (en GWh). Source ITOM 2006

Par ailleurs les installations de cogénération représentent le deuxième type d'installations thermiques à étudier. Sur les 450 réseaux de chaleur français, 157 sont munis d'unité de cogénération outre les UIOM. Ces unités de cogénération représentent une puissance électrique installée de 1300 MW et une puissance thermique maximale installée de 3585 MW [Catalogue Euro Heat & Power 2005]. Compte tenu du tarif d'achat de l'électricité produite par ces cogénérations, leur fonctionnement se limite à la période d'hiver EDF (soit du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars). Un scénario peut être envisagé

dans lequel ces installations ne seront plus limitées à cette période et pourront produire de la chaleur pendant l'été entre autre pour faire du froid.

La Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG), qui gère le deuxième plus important réseau de chauffage urbain en France après celui de Paris, et qui est partenaire du projet « SummerHeat », estime le ratio moyen de la chaleur issue de son UIOM, qui n'est pas valorisée en été, à 20% de la quantité de chaleur totale produite. A défaut de données propres à chaque réseau de chauffage et à des fins d'estimation approximative, nous allons prendre ce ratio pour évaluer la quantité de chaleur non valorisée par les UIOM existants.

Afin d'estimer la surface totale qui pourrait être climatisée en utilisant « SummerHeat », nous avons adopté les hypothèses suivantes :

- Le COP moyen d'une machine à absorption simple effet est pris égal à **0,7**.
- Les besoins frigorifiques dans le secteur tertiaire sont évalués à **150KWh/m<sup>2</sup>/an**. (Valeur moyenne parmi les valeurs trouvées dans la documentation disponible).
- La part de chaleur non valorisée dans les UIOM prise est égale à **20%** de la quantité de chaleur totale produite par cette UIOM. (Valeur propre au réseau de chauffage de Grenoble, mais à défaut de données de chaque réseau de chauffage, nous l'avons adoptée).

Tableau 02 : Estimation des surfaces pouvant être climatisées par Summerheat

Désignation	Unité	Quantités
Energie totale fournie par les UIOM	GWh	7300
Ration de l'énergie non valorisée en été	%	20
Total énergie disponible issue des UIOM	GWh	1460
Puissance thermique maximale installée des unités de cogénération des réseaux de chauffage	MW	3600
Temps de fonctionnement pendant l'été (Juillet/Août et 10h/jour)	heures	620
Total énergie disponible issue des cogénérations	GWh	2230
COP machine à absorption simple effet	....	0,7
Besoins en rafraîchissement des espaces de bureaux	kWh/m <sup>2</sup>	150
<b>Surfaces pouvant être climatisées UIOM seuls</b>	<b>Million de m<sup>2</sup></b>	<b>6,81</b>
<b>Surfaces pouvant être climatisées UIOM + Cogénérations</b>	<b>Million de m<sup>2</sup></b>	<b>17,22</b>

**NOTE** : L'estimation que l'on vient de faire est juste à titre indicatif. Elle prend comme base les données disponibles actuellement, et n'a pas pris en considération les éventuelles pertes dans les réseaux de distribution, les pertes de conversions. Ainsi elle n'a pas pris en considération les recommandations de la nouvelle réglementation thermique RT 2005 concernant les consommations unitaires.

Cette étape nous permet de conclure que les réseaux de chauffage urbains peuvent rafraîchir une surface totale d'environ 6 800 000 de m<sup>2</sup> en utilisant la chaleur résiduelle des UIOM seulement ou environ 17 millions de m<sup>2</sup> en associant les cogénérations aux UIOM.

### 3.3 Potentiel de production de froid du réseau de chaleur de l'agglomération Grenobloise (CCIAG):

La part de la valorisation des déchets représente 27.3% du total de la consommation énergétique des six centrales thermiques de la CCIAG. C'est l'usine d'incinération des ordures ménagères d'Athador implantée sur le site de la Tronche qui assure la valorisation énergétique des déchets ménagers et assimilés. Avec une capacité de traitement de 180 000 tonnes par an, elle fournit environ 15% de la chaleur au réseau de chauffage urbain en hiver et couvre la totalité des besoins en été et permet ainsi d'arrêter les cinq autres centrales thermiques d'avril à octobre. Le tableau (03) présente le bilan énergétique 2006 et 2007 de l'UIOM. Il en ressort qu'une moyenne de 50 GWh de chaleur par an est non valorisée en été et doit être évacuée vers l'atmosphère.

Tableau (03) : Bilan énergétique de l'unité de traitement et de valorisation des déchets d'Athador.

Bilan énergétique (MWH)	2006	2007	Variation 2006 / 2007
<b>Chaleur produite</b>	<b>337 022</b>	<b>385 316</b>	<b>14%</b>
Valorisation réseau	256 059	300 971	18%
Turboalternateur (A)	22 759	37 627	65%
Aéroréfrigérant	58 204	50 087	-14%
<b>Electricité produite (A x 0,9)</b>	<b>20 483</b>	<b>33 864</b>	<b>65%</b>
Utilisée en interne	14 006	17 050	22%
Vente réseau EDF	6 477	16 814	160%

Source : Bilan d'activité de l'usine d'Athador 2006/2007

Pour évaluer la surface qui pourrait être climatisée par cette ressource, nous avons adopté les mêmes hypothèses que celles adoptées lors de l'estimation du potentiel de l'ensemble des réseaux de chaleur. Il en ressort qu'environ **230 000m<sup>2</sup>** pourront être couverts par ce service.

Afin de situer ce potentiel dans le contexte de l'agglomération grenobloise, nous avons extrapolé les données du rapport du CEREN 2003 sur la dynamique des parcs tertiaires climatisés. Cette étude a recensé les surfaces chauffées et les surfaces climatisées dans le secteur tertiaire à l'échelle nationale et régionale. L'extrapolation de ces données sur le plan local est effectuée au prorata du nombre d'habitant.

Le principal biais à cette méthode provient du fait que la région grenobloise concentre une activité tertiaire supérieure à la moyenne du département. Les chiffres ainsi obtenus sous-estiment très certainement la réalité.

Tableau (04) : Estimation surfaces climatisées sur le territoire desservi par la CCIAG.

	Population	surfaces climatisées (milliers de m <sup>2</sup> )			
		1995	1999	2003	2007*
Rhône-Alpes	6 004 000,00	12 124,00	14 827,00	17 391,00	<b>20 024,50</b>
Isère	1 093 786,00	2 208,70	2 701,13	3 168,23	<b>3 647,99</b>
Agglomération	396 000,00	799,65	977,93	1 147,04	<b>1 320,74</b>
Réseaux de chaleur sur 7 communes	253 000,00	510,89	624,79	732,83	<b>843,80</b>

\* : Les données de l'année 2007 sont extrapolées à partir de la croissance 1995/2003.

Le résultat est que la chaleur fatale non valorisée actuellement par la CCIAG représente environ 25% de la surface totale climatisée sur le territoire des sept communes desservies par le réseau de la CCIAG.

### 3.4 Eléments pour situer Summerheat dans le contexte du marché de climatisation:

Plusieurs approches peuvent être menées afin de décrire le contexte du marché pour le service de rafraîchissement. Une approche se limite au réseau de chauffage urbain existant où deux cas de figure peuvent être principalement identifiés :

- bâtiments déjà connectés au réseau de chauffage urbain
- nouveaux bâtiments ou nouveaux quartiers ou nouvelles zones d'activités

Dans le premier cas, les besoins en rafraîchissement des bâtiments connectés sont couverts par des systèmes déjà en place (ex système split, détente directe ou réseau d'eau glacée). Pour la fourniture du service rafraîchissement par réseau de chaleur, les bâtiments équipés par un système centralisé de production d'eau glacée conviennent le mieux. Dans les autres cas, l'installation d'un réseau complet de distribution d'eau glacée dans le bâtiment serait nécessaire. Au moment de moderniser l'installation de climatisation ou de rafraîchissement, il sera opportun de proposer le nouveau service. Un investissement majeur par le propriétaire du bâtiment pourra éventuellement être évité et assumé par le gestionnaire du réseau de chaleur.

Dans le second cas des nouveaux bâtiments, le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre a en général le choix entre plusieurs techniques de chauffage et de climatisation comme par exemple le chauffage au gaz ou au fioul et les machines à compression ou, très en vogue ces dernières années, la pompe à chaleur réversible. Cette dernière solution technique en particulier semble être le plus grand concurrent du service de rafraîchissement et du chauffage urbain dans le secteur des bâtiments tertiaires. Comme la pompe à chaleur réversible peut fournir les deux services, le gestionnaire du chauffage urbain pourra être obligé d'offrir aussi des services de rafraîchissement au secteur tertiaire afin d'être compétitif pour l'approvisionnement en chauffage également.

Une autre approche du marché considère, du côté approvisionnement, les coûts pour la production de refroidissement urbain et, du côté de la demande, la disposition des consommateurs potentiels de refroidissement urbain à payer pour un tel service. Les études menées au cours du projet Summerheat montrent une large gamme de ces prix de revient relatifs au froid fourni selon le contexte spécifique du pays et les structures de coûts.

Exprimé en €/MWh froid	Système central avec absorption	Système central avec central compression	Système décentralisé avec absorption	Système décentralisé avec compression
Max	111	86	271	192
Min	77	48	84	59
Moyen	91	66	161	95

Source : résultats des études menées dans le cadre du projet Summerheat

Un aspect plutôt important dans ce calcul des coûts concerne la valeur donnée à la chaleur utilisée en été pour la production de froid. Cette valeur est-elle considérée comme marginale ou le tarif de chauffage public s'applique-t-il ?

Il a été déjà énoncé que le consommateur n'a en général pas d'idée précise sur le coût de sa production de froid : « l'investissement a été fait il y a des années, la consommation électrique est connue uniquement pour toutes les utilisations (éclairage, ordinateur, etc.). Cela vaut également pour la consommation d'eau et les coûts de maintenance parce que le compresseur et la tour aéroréfrigérante font partie d'un pack global de maintenance ». Afin de simplifier l'aspect coût pour le client potentiel, le rapport du coût de refroidissement par mètre carré par an (par mois) a été retenu. Ce rapport semble plus facile à manier car il peut être comparé aux charges locatives et de service pour un bâtiment de bureaux par exemple. Les études de marché menées au cours du projet Summerheat indiquent également une assez grande palette de charges « acceptables » pour l'approvisionnement en froid. L'exemple du Danemark donne un prix acceptable pour le refroidissement de 190€/MWh. Converti en rapport par mètre carré, cela donne des charges de service pour le refroidissement de 9€/m<sup>2</sup>/an. Ce qui représente 8 à 12% de la moyenne danoise des locations de bureaux. Un autre résultat intéressant est donné par les villes de Berlin et Hambourg en Allemagne : les consommateurs interrogés sont prêts à payer entre 0.3 à 0.6€/m<sup>2</sup>/mois pour des services de refroidissement. Cela représente entre 10 et 25% des charges de service pour les bureaux de ces villes.

## 4 Attente des clients

Dans le cadre de ce projet Rhôneénergie-Environnement a souhaité étudier conjointement avec la Compagnie de Chauffage de Grenoble sur un périmètre donné la position et l'intérêt de ce nouveau service de livraison de rafraîchissement pour les gestionnaires des bâtiments. Un questionnaire a été diffusé auprès des clients du secteur tertiaire alimenté par le réseau de chaleur. Le contenu du questionnaire était décomposé en :

- Renseignements généraux (nom, adresse, type d'entreprise/établissement...)
- Données sur le bâtiment (usage du bâti, surface (climatisée))
- Equipements de climatisation existants
- Projet de climatisation
- Attente et exigences concernant un nouveau service de fourniture de l'eau glacée (incluant aussi le prix).

L'enquête fait ressortir les points suivants (une version complète de l'étude se trouve sur le site [www.chaleurfraicheur.org](http://www.chaleurfraicheur.org)) :

- La demande en rafraîchissement des bâtiments pendant la saison estivale, augmente d'année en année et plus particulièrement pour le tertiaire ;
- Les usagers disposants d'une installation de rafraîchissement sont généralement satisfaits de leurs installations. Nous avons constaté que peu d'usagers connaissent leurs dépenses réelles pour un service de rafraîchissement. Généralement seul le coût de l'acquisition du matériel est connu (si l'acquisition est récente), sinon les coûts de fonctionnement (tels que les consommations énergétiques liées à ce poste) sont noyés dans la facture globale d'électricité ;
- Les systèmes de rafraîchissement actuels sont en général bien appréciés, pour leur bon rendement, la disponibilité des équipements et du service après vente. Il en résulte une réticence de la part de certains services de maintenance et certains gestionnaires de patrimoines interrogés à abandonner les systèmes actuels pour des systèmes relativement inconnus ;
- Le nouveau service de fourniture de froid par les réseaux de chaleur est par contre généralement bien perçu, pour ses qualités environnementales (absence de fluides frigorigènes), et l'opportunité d'une offre de fourniture de froid complète avec garanties. Cette offre est particulièrement bien appréciée parce qu'elle permet une continuité du service de rafraîchissement sans se préoccuper de la maintenance des équipements thermiques ;
- Les principaux obstacles identifiés à l'issue de l'étude de marché sont en premier lieu la compétitivité financière du nouveau service vis-à-vis de l'offre actuelle, et en second lieu le manque d'information sur les technologies de production de froid à partir de sources de chaleur. En effet la majeure partie de la population interrogée n'est pas bien informée sur ces techniques.

Au final, on peut conclure que le développement d'un tel service est subordonné à une forte implication des autorités locales (généralement propriétaires des réseaux de chauffage urbain) et du concessionnaire ou le fermier, pour proposer aux clients un

service vertueux en matière de protection de l'environnement sans que l'impact financier soit totalement répercuté sur ces derniers.

# 5 Conclusions et perspectives de développement

## 5.1 Les arguments en faveur selon trois points de vue

### 5.1.1 Rôle dans une stratégie d'économie d'énergie primaire et de réduction des GES

- Système de référence: compression avec électricité
- Utilisation chaleur non valorisée issue UIOM gain d'énergie primaire important
- Substitution d'énergie primaire importée par énergie fatale et énergies renouvelables
- Réduction des GES, même avec spécificité du parc production d'électricité français (essentiellement nucléaire et hydroélectricité). Discussion actuelle sur facteur CO<sub>2</sub> à appliquer.
- Meilleure utilisation de l'infrastructure des réseaux de chaleur
- Réduction de la consommation des réfrigérants (potentiel GES important)
- Réduction des pointes d'électricité l'été

### 5.1.2 L'intérêt pour le gestionnaire du réseau de chaleur

- Développement d'une nouvelle activité avec technologie simple et fiable
- Pouvoir proposer aux clients du secteur tertiaire les mêmes services qu'une pompe à chaleur réversible
- Valorisation de la chaleur d'été venant d'un UIOM ou des ENR ou de la cogénération (si nouveau tarif d'achat)
- Participer aux objectifs des collectivités fixés dans les plans climat énergie territoriaux
- Exemples: Montpellier, Grenoble, Monaco, Corte etc.

### 5.1.3 Les avantages pour le client du nouveau service

- Elimination des systèmes de production de froid et de refroidissement du client → libération de place, influence positive sur l'architecture
- Conduite et maintenance par des professionnels ou une équipe spécialisée
- Besoin de main d'œuvre moindre pour l'entretien des équipements
- Fiabilité et confort → ces paramètres deviennent de plus en plus importants
- Elimination de l'investissement dans des unités de froid de la part du client → avantageux pour la détermination des loyers dans un marché de biens immobiliers très compétitif
- Pointe de demande électrique moindre
- Pas de CFC, HCFC et d'impacts environnementaux liés
- Coûts transparents et calculables pour la consommation de froid
- Intégration facilitée de différentes solutions techniques de froid → free cooling

## 5.2 Les freins au développement et les opportunités

### 5.2.1 Les freins au développement

Les obstacles et barrières qui freinent un meilleur développement de la production de froid à partir des réseaux de chaleur peuvent se résumer selon les deux groupes d'intervenants principaux (fournisseurs et clients) et selon la grille de lecture suivante :

#### Côté offre : production de froid, offre du nouveau service

Politique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un faible soutien politique du gouvernement national à l'outil « réseau de chaleur »</li> <li>➤ Positionnement souvent ambigu des collectivités par rapport aux réseaux de chaleur: « Oui, c'est bien en principe, mais la fourniture de chaleur fait partie d'un marché concurrentiel, pourquoi la collectivité devrait-elle se positionner sur ce marché ? »</li> </ul>
Economique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Production de froid avec chaleur (machine à absorption) aujourd'hui seulement compétitif pour des grosses installations (minimum 300 kWfroid)</li> <li>➤ Performance économique du service dépend entre autres du prix alloué à la chaleur produisant du froid</li> <li>➤ Prix d'électricité d'été relativement faible</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Grande méconnaissance de cette technologie aussi bien auprès des élus, que des gestionnaires de bâtiments climatisés</li> </ul>
Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Contraintes dans la gestion du réseau de chaleur</li> <li>➤ Réglementation thermique 2005 ne prend pas suffisamment en compte ce système de production de froid : ex. performance énergétique des machines à absorption alimentées par réseau de chaleur ne sont pas identifiées dans la référence</li> </ul>
Environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Les performances des réseaux de chaleur en ressources primaires et en émission CO<sub>2</sub> ne sont pas suffisamment prises en compte (voir DPE ou RT 2005)</li> <li>➤ Augmentation du volume de chaleur à évacuer par tour aéroréfrigérante ou par nappe phréatique/rivière</li> </ul>
Légal	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Difficulté possible d'intégration d'un nouveau service dans les contrats de concession ou d'affermage pour les gestionnaires des réseaux de chaleur</li> </ul>

**Côté demande : rôles et attentes des futurs clients**

Economique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Clients n'ont pas une vision précise du coût global de la production de froid, ni en €/MWh<sub>froid</sub> ni en €/m<sup>2</sup> de surface climatisée</li> <li>➤ Nouveau service doit être compétitif par rapport à la situation existante ou à une solution dans le neuf (ex. pompe à chaleur réversible)</li> <li>➤ Evolution des prix d'énergie difficile à anticiper</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Méfiance des occupants par rapport à cette technique</li> </ul>
Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Obligation d'une distribution en eau glacée à l'intérieur du bâtiment visé ou traitement d'air centralisé</li> </ul>
Environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Acceptabilité des composantes pour le refroidissement des machines à absorption (tours aéroréfrigérantes ou échangeur sur nappe/rivière)</li> </ul>
Légal	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Type de contrat proposé par le gestionnaire du RDC (surtout durée du contrat et indexation du prix)</li> </ul>

## 5.2.2 Les opportunités

Plusieurs évolutions sont en cours. Ce sont de véritables opportunités donnant un avantage à la fourniture de rafraîchissement par un réseau de chaleur.

Politique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Grenelle de l'environnement et son impact sur les objectifs des bâtis plus performants</li> <li>➤ Soutien de plus en plus fort au développement des réseaux de chaleur en général (voir aussi le Grenelle de l'environnement)</li> <li>➤ Meilleure prise de conscience par les collectivités avec réseaux de chaleur de l'intérêt de développer cet outil d'infrastructure</li> </ul>
Economique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evolution du prix d'électricité d'été à observer</li> <li>➤ Création d'activité économique supplémentaire sur le territoire du réseau de chaleur</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Meilleure prise en compte côté clients des aspects environnementaux et de service des solutions proposées</li> </ul>
Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Travail constant des constructeurs des machines à absorption pour améliorer leur performance</li> </ul>
Environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bonne performance en terme de réduction des GES et des consommations en énergie primaire</li> </ul>
Légal	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Obligation de changer les gaz frigorigènes et exigences fortes concernant leur maniement et l'entretien des installations (certification du personnel et des entreprises en charge)</li> <li>➤ Obligation prochainement de faire un bilan complet des installations de production de froid et d'une obligation de maintenance renforcée</li> </ul>

## 5.3 Les mesures de soutien proposées

Suite aux constats, des mesures de soutien au niveau national sont proposées. Elles sont présentées selon les différentes thématiques concernées.

### 5.3.1 Promouvoir les énergies renouvelables et la cogénération

#### Aide à l'investissement aux extensions des réseaux de chaleur et de froid

Dans le cadre de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement un fonds chaleur renouvelables se mettra en place. Il soutiendra entre autres le développement des réseaux de chaleur alimentés majoritairement par des énergies renouvelables ou par des UIOM. Une des conditions pour l'obtention de ces subventions accordées à ce développement, est qu'il est nécessaire d'intégrer aussi, comme investissement éligible,

la production décentralisée de froid par un réseau de chaleur vertueux. Le soutien à l'investissement dans des réseaux de distribution de froid, alimenté majoritairement par des machines à absorption par un réseau de chaleur vertueux, devrait être aussi intégré.

### **Amélioration du cadre de soutien pour la cogénération**

La cogénération a de nombreux avantages qui ont permis son développement entre 1998 et 2001 dans le cadre d'un tarif d'achat garanti. Un certain nombre de ces contrats d'achat de la production d'électricité arrivent bientôt à échéance et certains sont associés à des réseaux de chaleur. Une révision du système de soutien avec une flexibilité accrue du fonctionnement de la cogénération sur une durée plus longue dans l'année est nécessaire. Ceci pourrait apporter de la chaleur supplémentaire sur les réseaux de chaleur en été afin de produire du rafraîchissement.

#### **5.3.2 Soutenir le développement de cette nouvelle « filière » pour les réseaux de chaleur**

##### **Au niveau national : intégrer cette solution dans le bouquet des technologies à soutenir**

Compte tenu de la nouveauté de ce service, il est nécessaire que l'utilisation de la chaleur résiduelle pour la production de froid soit officiellement reconnue comme un moyen intéressant afin de réduire les besoins en énergie primaire, ainsi que les émissions des GES.

##### **Mettre en place un programme de soutien spécifique pour faire démarrer la « filière »**

Au-delà de la mise en place du Fonds Chaleur Renouvelables dans la suite du Grenelle de l'environnement, qui peut aider sur certains aspects la « filière » il est crucial de mettre en place un programme de soutien spécifique qui pourrait comprendre les aspects suivants :

- Soutenir l'amélioration de la performance énergétique des machines à absorption dans différentes configurations de fonctionnement
- Faciliter l'introduction des petites machines à absorption (puissance frigorifique < 100 kW) sur le marché ; ces machines seront aussi intéressantes pour la filière de rafraîchissement solaire
- Aide aux études de marché pour préparer la décision de créer ce nouveau service par les gestionnaires des réseaux ou par la collectivité propriétaire du réseau et aide aux études de faisabilité pour des projets précis (dans la phase du démarrage de la filière)

##### **Mise en place de facilitateurs afin d'améliorer l'information et la sensibilisation**

L'utilisation de la chaleur résiduelle l'été pour produire du froid n'est pas encore très connue par les collectivités propriétaires des réseaux de chaleur, les gestionnaires des

réseaux ou par les bureaux d'études techniques. Plus d'informations et de sensibilisation des gestionnaires des bâtiments et des propriétaires sont nécessaires dans les territoires alimentés par un réseau de chaleur. La mise en place de facilitateurs par grande région pourrait permettre de mettre en place des organismes compétents aussi bien au niveau technique, que pour le montage d'une opération. Des actions très ciblées d'informations et de sensibilisation pourront être menées par de tels facilitateurs, qui connaissent bien le territoire couvert. Ils pourraient aussi apporter un soutien dans la phase d'étude de marché ou dans le montage d'opérations concrètes. Des actions marketing pour un tel service sont très importants pour convaincre les clients potentiels. Les facilitateurs en coopération avec l'association « via sèva » (association pour la promotion des réseaux de chaleur et de froid) pourront préparer des argumentaires standards et des documents de support pour la commercialisation.

#### **5.4 Améliorer le cadre économique et juridique**

L'évolution du cadre économique devrait être observée afin de pouvoir rectifier les mesures de soutien mises au point.

##### **Quel est le prix juste de la chaleur entrante?**

Pour les réseaux de chaleur avec une UIOM la question du prix alloué à la chaleur venant de cette UIOM est cruciale. Le prix moyen d'aujourd'hui se situe autour de 20 €/MWh chaleur livrée. Dans un souci d'une meilleure valorisation de la chaleur non utilisée le prix moyen ne semble pas adapté. Il faudrait s'orienter vers une tarification incitative, par conséquent un prix dégressif par rapport à la valorisation supplémentaire de chaleur. L'étude technico-économique a montré qu'un prix objectif de 7 €/MWh a un impact fort sur l'amélioration de la compétitivité d'une machine à absorption.

##### **Rapprochement des tarifs d'électricité d'hiver et d'été**

La différenciation entre tarif d'électricité d'hiver et d'été est très particulière en France. Dans le projet Summerheat nous avons eu la possibilité de connaître les prix d'électricité pratiqués dans les autres pays présents dans le projet. C'est en France que le facteur entre été et hiver est le plus fort. Ceci peut s'expliquer par la spécificité du parc français de production d'électricité, mais ne reflète probablement pas la qualité de l'électricité en été et le coût qui va avec. L'ouverture complète du marché d'électricité en France rapprochera probablement les prix saisonniers de l'électricité.

##### **5.4.1 Le rôle de l'urbanisme est crucial pour le développement des réseaux de chaleur et de froid**

Comme les réseaux de chauffage et de froid urbain représentent des infrastructures très coûteuses et avec une durée de vie longue, une coopération étroite entre le gestionnaire du réseau de chauffage urbain et le service d'urbanisme de la ville est obligatoire. En particulier pour les nouveaux bâtiments et dans les zones urbaines de développement,

une implication très en amont des services concernés, comme le service de développement urbain ou celui de l'urbanisme, est nécessaire en ce qui concerne la planification et la conception de ces réseaux d'approvisionnement. Ainsi, les conditions favorables pour une telle infrastructure peuvent déjà être créées à un stade très amont. Le soutien politique par les autorités locales et, en particulier par les conseillers municipaux, créera les conditions pour que les promoteurs publics ou privés acceptent le raccordement au réseau de chauffage et de froid urbain. Ceci apparaîtra comme une opportunité et dans une certaine mesure comme une obligation surtout si la collectivité a pu classer le réseau et le raccordement devient obligatoire.

#### **5.4.2 Améliorer le cadre de la réglementation**

Les réglementations actuelles en vigueur touchant de près ou de loin ce nouveau service ne sont pas forcément adaptées et ne prennent pas bien compte les contraintes et exigences d'une telle technologie.

##### **Meilleure prise en compte par la réglementation thermique des machines à absorption**

La réglementation thermique (la dernière date de 2005) devrait prendre mieux en compte les contraintes et avantages des réseaux de chaleur et le point de livraison « la sous-station ». Les sous-stations sont à considérer comme des chaudières très performantes. Les pertes d'une sous-station sont très faibles en raison de la bonne isolation des tous les éléments d'une sous-station (ex. tuyauterie, échangeurs etc.).

Les machines à absorption sont référencées dans cette version dans la section des appareils de climatisation. Seul les machines à absorption avec combustion directe sont prises en compte. La référence pour ces machines en matière de performance s'établit à un COP de 0,7 jusqu'au 31/12/08. A partir de 2009 la référence dans le calcul des besoins de climatisation prend une valeur de 0,95. Une telle augmentation est envisageable pour des machines à absorption avec combustion directe, mais pas du tout applicable aux machines alimentées indirectement par des sources chaudes, comme par exemple un réseau de chaleur ou des capteurs solaires thermiques. Une différenciation est nécessaire selon la source de chaleur alimentant la machine à absorption. C'est seulement dans le cas d'un réseau de chaleur avec eau surchauffée (ex. 130 °C) ou avec vapeur que pourront être mise en œuvre des machines à absorption à double effet et donc avec un COP de 1,1 à 1,2.

##### **Meilleure prise en compte de la performance énergétique et environnementale des réseaux de chaleur pour la production de froid**

Selon la réglementation appliquée, pour le neuf, la RT 2005 et pour les bâtiments existants le diagnostic de performance énergétique, les réseaux de chaleur ne peuvent pas mettre en avant leurs atouts, comme la valorisation de la chaleur fatale issue d'une UIOM. Pour l'énergie primaire ou la ressource primaire, certains réseaux ont un facteur en dessous de 1 compte tenu d'une valorisation de chaleur fatale ou produite par une cogénération. Il existe actuellement une méthodologie élaborée au niveau européen, la

prénorme prEN 15316-4-5 :2005, qui permet de calculer pour chaque réseau de chaleur son facteur en énergie primaire, en ressource primaire et en émissions GES. Cette prénorme a été appliquée pour le calcul des facteurs présentés dans le cadre du projet Summerheat. Par ailleurs une uniformisation entre la RT 2005 et les diagnostics de performance énergétique semble utile et nécessaire surtout pour les propriétaires des bâtiments.

### **Mesures de soutien de nature fiscale ou d'urbanisme aux réseaux de chaleur à étendre à la production de froid**

Il existe un certain nombre de mesures de soutien aux réseaux de chaleur qui peuvent être résumées de la manière suivante :

- Mesures fiscales : les collectivités ont la possibilité par exemple d'exonérer les propriétaires des bâtiments neufs de la taxe foncière, s'ils se sont raccordé à un réseau de chaleur vertueux
- Mesures d'urbanisme : selon le code de l'urbanisme les collectivités ont aussi la possibilité d'augmenter le facteur COS (coefficient d'occupation de sol), si le propriétaire d'un bâtiment se raccorde à un réseaux de chaleur vertueux.

Ce type de mesure de soutien devrait s'appliquer aussi en cas de raccordement à un réseau de froid sur lequel le froid est produit en majorité par des énergies/chaleur fatales ou pour une production de froid décentralisée au bas de l'immeuble. Il serait même souhaitable d'augmenter le dépassement du COS en cas de production décentralisée, parce que la demande d'espace supplémentaire est importante.

Les réseaux de chaleur alimentés majoritairement par des énergies renouvelables ont la possibilité de réduire la TVA sur l'abonnement et la vente de chaleur à un taux de 5,5%. Gardant la même logique le froid produit à partir d'un tel réseau de chaleur devrait aussi être habilité à facturer la livraison ainsi que l'abonnement au taux de 5,5%.

### **Réglementation des fluides réfrigérants**

Les réglementations européennes demandent de plus en plus un suivi précis des installations comprenant des fluides frigorigènes et le remplacements successif par des fluides avec des impacts moindre sur l'effet de serre. Les études obligatoires sur la modernisation de ces installations devraient comprendre aussi une approche par machine à absorption, si un réseau de chaleur se trouve à une distance raisonnable.

### **Classement des réseaux de chaleur**

La loi du Grenelle de l'environnement n° Il facilitera le classement des réseaux de chaleur, car cette procédure sera entièrement menée par la collectivités ayant un réseau de chaleur. Il est souhaitable que la possibilité de fournir un nouveau service de rafraîchissement par le réseau de chaleur visé peut être inclus dans cette démarche de classement. Selon la configuration et le contexte du réseau l'inclusion permettra de conforter le réseau de chaleur et de créer des nouveaux débouchés pour ce réseau.

## **Faciliter l'intégration d'un service livraison de froid dans une DSP en cours**

La délégation de service publique (DSP) pour les réseaux de chaleur peut être contraignante par rapport à la création d'un nouveau service de livraison de froid. Compte tenu de la durée des DSP (souvent plus de 20 ans) une modification devrait être facilitée sans pour autant modifier de fond en comble le contrat de DSP. Sans l'implication du gestionnaire du réseau de chaleur, une telle extension n'est pas envisageable. Il faudrait donc prévoir une possibilité d'élargissement d'un DSP par un avenant à négocier entre la collectivité et son prestataire. Cette négociation peut et devrait être encadrée afin d'éviter par exemple des prolongations non justifiables de la durée de la DSP.

Un autre obstacle lié aux contraintes de la DSP est l'investissement et son amortissement sur le reste de la durée de la DSP. La construction d'un réseau de distribution (chaleur ou froid) est conçu pour une durée de vie technique de 30 à 40 ans. Si la durée de la concession est seulement de 15 ans l'amortissement pourrait être raccourci aussi à cette période. Mais un amortissement sur 15 ans pèse beaucoup plus comparé avec un amortissement sur 40 ans. Il faudrait donc trouver un moyen de reporter l'investissement sur la prochaine période de la DSP, afin d'alléger les charges et rendre la solution réseau de chaleur et de froid plus attractive.

## **Exigences techniques de refroidissement à prendre en compte par les autorités compétentes**

Les machines à absorption doivent refroidir une quantité de chaleur importante venant de la chaleur pour son fonctionnement ainsi que la chaleur extraite pour refroidir. En général il existe deux voies pour évacuer cette chaleur : ou par tour aérorefrigérante ou par nappe phréatique. La tour aérorefrigérante est actuellement très surveillée (risque de légionellose) et peut être un obstacle dans le cas d'une nouvelle installation soumise à autorisation. La réglementation en vigueur exige un suivi précis et exigeant afin de réduire les risques. Une prise en charge de la maintenance d'une installation complète par des professionnels de la gestion des réseaux de chaleur est un gage pour que cette réglementation soit bien respectée. Les entreprises gestionnaires de réseaux de chaleur couvrent dans la majorité des cas aussi la compétence de maintenance des installations de climatisation. Une interprétation très restrictive de la réglementation aboutissant à une quasi interdiction des tours aérorefrigérantes signifiera la fin d'un tel service innovant.

## 6 Sources

A. Vadrot & J. Delbes. (1996) *District Cooling Handbook*. European Marketing Group District Heating and Cooling.

ADEME (01/2005) NOTE DE CADRAGE SUR LE CONTENU CO<sub>2</sub> DU KWh PAR USAGE EN FRANCE. Online version. Available online :  
[http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=NoteCO2\\_Internet\\_61BEFC3375256157DCFC43C67943DFBD1107536401008.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=NoteCO2_Internet_61BEFC3375256157DCFC43C67943DFBD1107536401008.pdf)

ADEME. (02/2005) FICHE OX « CLIMATISATION A ABSORPTION ». Online Version. Available online :  
[www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=A9A4CB9393DF6E236CEEB16C8E6C7BBB1134054860578.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=A9A4CB9393DF6E236CEEB16C8E6C7BBB1134054860578.pdf) [April 16th, 2007]

ADEME (04/2005) FACTEURS D'ÉMISSION DE DIOXYDE DE CARBONE POUR LES COMBUSTIBLES LES CHIFFRES ADEME À UTILISER. Online version. Available online :  
<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=2F43E80DCE0CD543BDA32CC6BB8652A11150121764346.pdf> [April 16th, 2007]

ADEME : Chiffres clés bâtiments énergie **[en ligne]**. Disponible sur :  
[www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=DFEA975D95D32145D8C56FFDA3AA8AED1131115289191.doc](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=DFEA975D95D32145D8C56FFDA3AA8AED1131115289191.doc) (consulté le 04.06.2008).

ADEME : Enquête sur les installations de traitement des ordures ménagères, résultats 2006 **[en ligne]**. Disponible sur :  
[www.clubinternational.ademe.fr/servlet/getBin?name=6F4645AD193F7FE928435A44E8EFAC4E1215696980032.pdf](http://www.clubinternational.ademe.fr/servlet/getBin?name=6F4645AD193F7FE928435A44E8EFAC4E1215696980032.pdf) (consulté le 21.07.2008).

ADEME : Note de synthèse sur la climatisation solaire **[en ligne]**. Disponible sur :  
[www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=B4208BF8376E71206A7AB4A51DE849EF1184221697685.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=B4208BF8376E71206A7AB4A51DE849EF1184221697685.pdf) (consulté le 06.05.2008).

ADEME : Utilisation rationnelle de l'énergie **[en ligne]**. Disponible sur :  
<http://www.ademe.fr/htdocs/publications/rapportactivite/rapport2001/pdf/missions-programmes/utilisation-energie/utilisation-energie.pdf> (consulté le 04.06.2008).

Altener Project (2002) *Promoting solar air conditioning Technical overview of active techniques*. Online version. Available online:  
[http://raee.org/climatisationsolaire/doc/technical\\_overview\\_of\\_active\\_techniques.pdf](http://raee.org/climatisationsolaire/doc/technical_overview_of_active_techniques.pdf) [April 16th, 2007]

AMORCE : RCE 06 : Prix de vente de la chaleur en 2006 **[en ligne]**. Disponible sur :  
[http://www.amorce.asso.fr/adherents/article.php?id\\_article=114](http://www.amorce.asso.fr/adherents/article.php?id_article=114) (consulté en Mai 2008).

AMORCE : RCT 04 : La cogénération et les réseaux de chaleur **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.amorce.asso.fr/adherents/article.php3?id\\_article=55](http://www.amorce.asso.fr/adherents/article.php3?id_article=55) (consulté en Mai 2008).

AMORCE RXX (2008). Réseaux de froid et production de froid sur les réseaux de chaleur

C. Terrier : Cours mathématiques financières **[en ligne]**. Disponible sur : <http://www.cterrier.com> (consulté en Juillet 2008).

CENERG. ENSMP : Rapport sur l'Efficacité Energétique et Certification des Systèmes de Conditionnement d'Air Centralisés **[en ligne]**. Disponible sur : <http://www-cep.ensmp.fr/english/themes/mde/pdf/EECCACfinalvol1.pdf> (consulté en Mai 2008).

CLIM'INFO. La climatisation, les chiffres du marché Français de Janvier à Août 2006 **[en ligne]**. Disponible sur : <http://www.climinfo.fr/index.php#> (consulté en Mai 2008).

ECOHEATCOOL (2005). *Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling systems*. Work Package 3, ECOHEATCOOL Project, EuroHeat & Power, Brussels. Available online:

<http://www.euroheat.org/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool%20WP3%20Web.pdf>  
[March 4<sup>th</sup>, 2007]

ENERTECH. Cabinet SIDLER : Etude des paramètres influant sur les consommations de climatisation dans les immeubles de bureaux **[en ligne]**. Disponible sur : <http://www.enertech.fr/Clim.html> (consulté en Mai 2008).

Jack FORGET. Maximiser les revenus des investissements. **In** : Financement et rentabilité des investissements **[en ligne]** Edition d'Organisation, 2005 (Collection les mémentos de la finance dirigée par Jack FORGET). Disponible sur : [www.editions-eyrolles.com/Chapitres/9782708132528/intro\\_Forget.pdf?xd=0be445eb0a1932cf1b4480c795e86aaa](http://www.editions-eyrolles.com/Chapitres/9782708132528/intro_Forget.pdf?xd=0be445eb0a1932cf1b4480c795e86aaa) (consulté en Juin 2008).

Jean Castaign-Lasvignottes : Aspects thermodynamiques et technico-économique des système à absorption liquide **[en ligne]**. Disponible sur : <http://jc.castaign.free.fr/> (consulté en Juin 2008).

Jean-Claude ANDREANI : Méthode d'analyse et d'interprétation des données des études qualitatives : état de l'art en marketing **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.escp-eap.net/conferences/marketing/2005\\_cp/Materiali/Paper/Fr/ANDREANI\\_CONCHON.pdf](http://www.escp-eap.net/conferences/marketing/2005_cp/Materiali/Paper/Fr/ANDREANI_CONCHON.pdf) (consulté en Juillet 2008).

Le réseau de climatisation de Paris. CVC, 2007, N°850, pp.34-40.

Les centrales frigorifiques urbaines. CVC, 2007, N°850, pp.30-34.

MINEFI, Conseil général des mines : Les réseaux de chaleur **[en ligne]**. Disponible sur : <http://www.industrie.gouv.fr/energie/publi/pdf/rapport-prevot.pdf> (consulté en Avril 2008).

RAEE : projet européen summerheat, cadre légal **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070910\\_Country\\_report\\_template\\_4\\_partners\\_2.pdf](http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070910_Country_report_template_4_partners_2.pdf) (consulté en Avril 2008).

RAEE : projet européen summerheat, étude technico-économique de différents systèmes de production de froid **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070711A7981RapInd1\\_47.pdf](http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070711A7981RapInd1_47.pdf) (consulté en Avril 2008).

RAEE : projet européen summerheat, rapport technique **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070718\\_Technologyreport\\_21.pdf](http://www.chaleurfraicheur.org/dump/070718_Technologyreport_21.pdf) (consulté en Avril 2008).

RAEE. Cool region efficacité énergétique et climatisation **[en ligne]**. Disponible sur : [http://www.coolregion.fr/documents\\_de\\_reference.php](http://www.coolregion.fr/documents_de_reference.php) (consulté en Avril 2008).

Regus : Livre blanc sur les coûts cachés des espaces de travail 2006 **[en ligne]**. Disponible sur : [www.pilotimmobilier.com/upload/pdf/Reguslivreblancnov2006.pdf](http://www.pilotimmobilier.com/upload/pdf/Reguslivreblancnov2006.pdf) (consulté en Juin 2008).

RTE : Bilan prévisionnel de l'équilibre offre demande d'électricité en France **[en ligne]**. Disponible sur : [www.rte-france.com/htm/fr/mediatheque/telecharge/bilan\\_complet\\_2007.pdf](http://www.rte-france.com/htm/fr/mediatheque/telecharge/bilan_complet_2007.pdf) (consulté en Juin 2008).

Stéphane NUSS. Les consommations d'énergie des bâtiments existants : Projet de fin d'étude d'ingénieur. Strasbourg. ENSAI-sTRASBOURG.2002.42p.

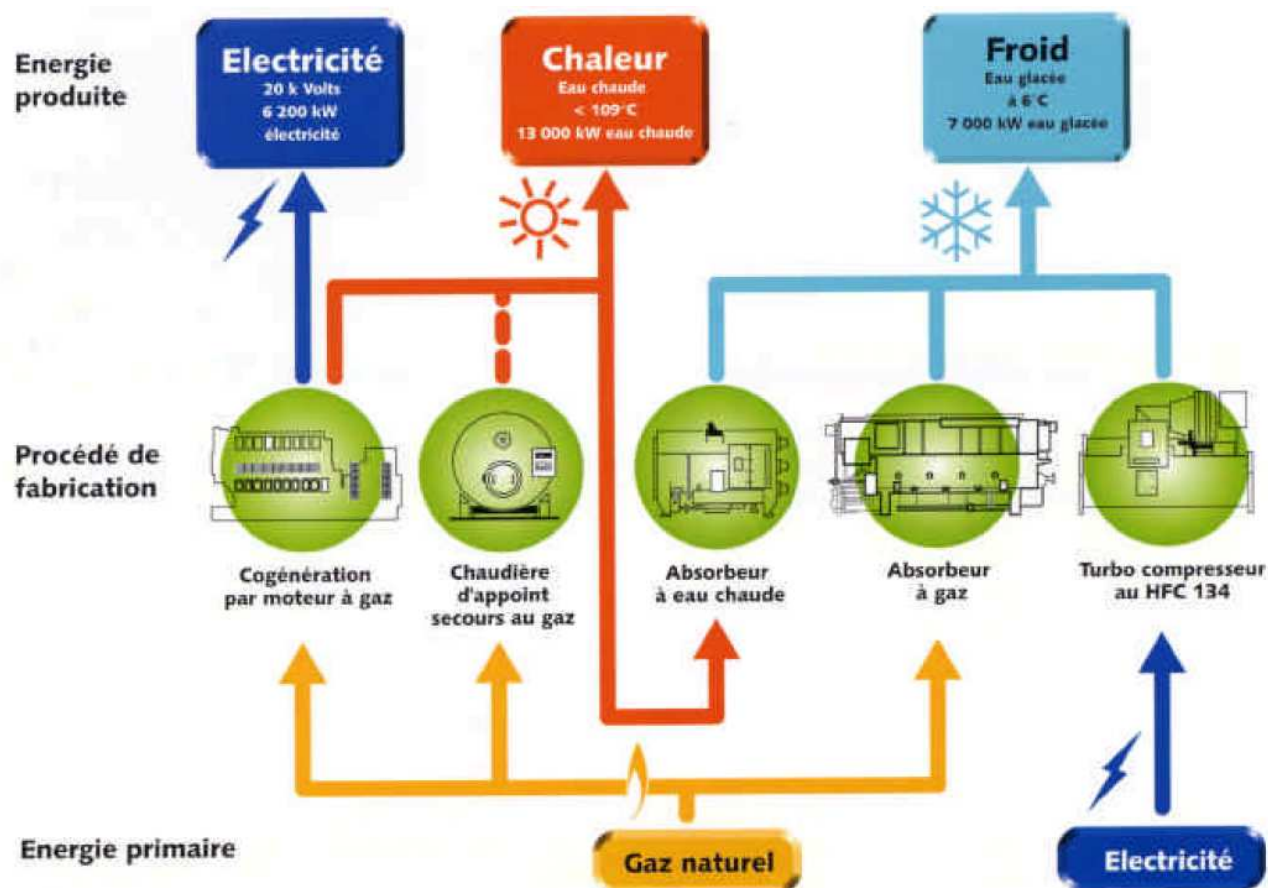
Rhône-Alpes-Environnement (septembre 2004) *Climasol, la climatisation solaire*. Online version. Available online : [http://raee.org/climatisationsolaire/doc/clim\\_solaire.pdf](http://raee.org/climatisationsolaire/doc/clim_solaire.pdf) [April 16th, 2007]

## 7 Annexes : exemples de production de froid par machine à absorption sur réseaux de chaleur ou réseaux de froid

### 7.1 Réseau de chaleur et de froid de Montpellier (SERM)

#### Description

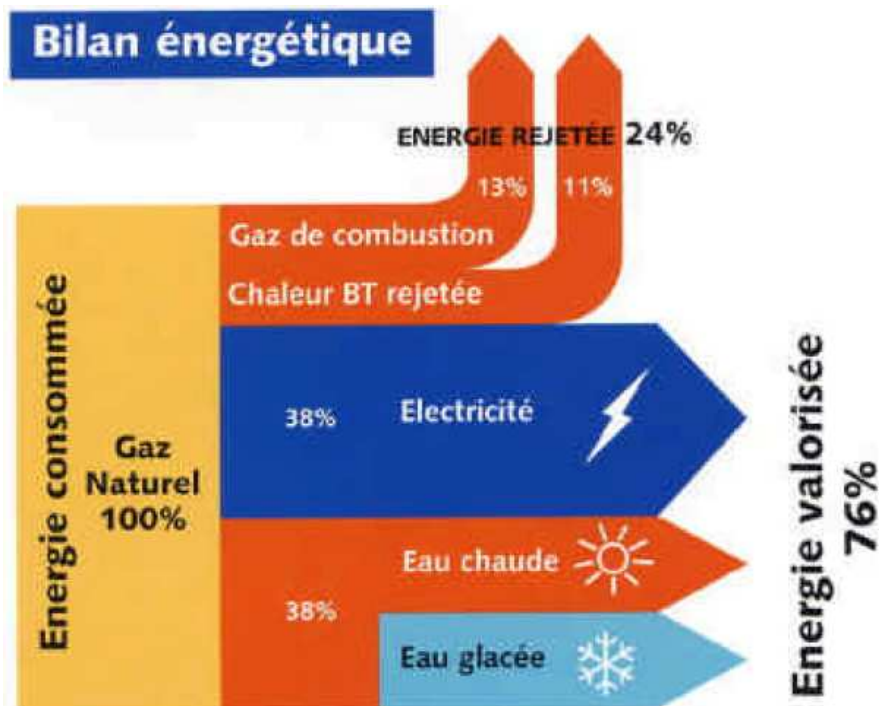
Une trigénération a été mise en service à Montpellier en décembre 2000 dans le cadre de la rénovation de la chaufferie et est intégrée à la mairie de Montpellier. Elle est la seule en France à être reliée à un réseau de chaleur urbain. Ce réseau alimente 250 000 m<sup>2</sup> de bureau, 7 000 équivalent logement ainsi que de nombreux éléments du patrimoine bâti de la ville. L'installation est composée de deux moteurs à gaz couplés à des alternateurs. Une partie de la chaleur produite alimente l'absorbeur à eau chaude. Dès lors la capacité totale est de 6,2 Mwe, 13,3 MW de chaleur et 11,1 MW de froid. L'installation bénéficie du tarif de rachat de l'électricité 97-1. Cette installation regroupe deux types de machines à absorption, l'une alimentée par la chaleur et l'autre directement sur gaz.



## Aspects financiers

Le coût de l'opération a été de 6,45 millions d'euros. L'ADEME a accordé 70 000 € de subvention équivalente à 20% du surcoût lié à la production de froid par absorption. Les économies d'exploitation et d'entretien permettent d'envisager un temps de retour de 6 à 8 ans. Cette durée est inférieure à la durée du contrat de rachat de l'électricité qui est de 12 ans.

## Aspects énergétiques et environnementaux



Le rendement global de l'installation est de 76 % sur la saison de chauffe 2001-2002, en conformité avec les prévisions initiales. La diminution de la consommation d'énergie induit une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> de 7000 t/an. L'utilisation de machine à absorption permet de diminuer le recours aux fluides frigorigènes de type CFC. La diminution des fuites, de l'ordre de 0,25 t/an de ce puissant gaz à effet de serre – pouvoir de réchauffement de 1500 – permet de diminuer l'impact sur les changements climatiques et de participer à réduire les impacts sur la couche d'ozone.

Contact:

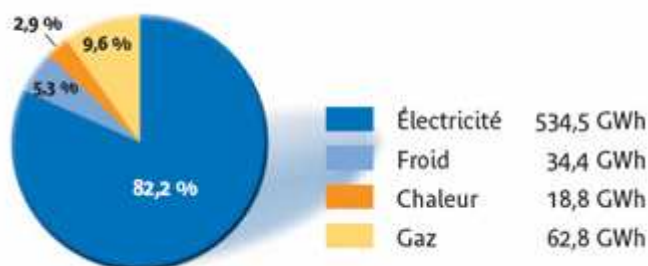
SERM Montpellier : 04 67 13 63 00

Site Internet : [www.serm-montpellier.fr](http://www.serm-montpellier.fr)

## 7.2 Réseau de froid de Monaco (SMEG)

Avec ces 195 ha (1.95 km<sup>2</sup>), la principauté de Monaco, représente le plus petit Etat européen et le 183<sup>e</sup> membre à part entière de l'Organisation des Nations Unies, bien que dépourvue de ressources naturelles, la principauté connaît depuis une trentaine d'années un essor économique aussi constant qu'exceptionnel, en bâtissant à partir des années 70 le nouveau quartier de Fontvieille réalisé sur 22 ha et qui a la particularité d'être aussi bien une zone résidentielle, qu'un quartier industriel abritant une centaine d'entreprises couvrant de multiples domaines, la totalité des besoins en chaleur et en rafraîchissement de ce quartier, est assuré par un réseau urbain exploité par la SMEG (Société Monégasque d'Electricité et de Gaz).

La SMEG, qui assure depuis plus de 100 ans la distribution du gaz et de l'électricité à l'ensemble de la principauté, et depuis 1987 exploite la centrale thermo frigorifique qui alimente ce réseau urbain en chaleur et en froid (voir graphique ci-joint sur la vente d'électricité, de froid, de chaleur et de gaz en 2006).



### CONTEXTE GENERAL :

Le contexte méditerranéen de la ville de Monaco implique des besoins en climatisation aussi important qu'en chauffage.

Cette considération augmente l'intérêt de produire une troisième énergie, le froid. La production de froid est assurée depuis 1983 par deux machines à absorption de marque TRANE valorisant la chaleur issue de l'usine d'incinération de la Principauté et utilisant l'eau comme frigorigène et a été renforcée en 2000/2001 par des machines à compression.

#### Contact :

Société Monégasque de l'Electricité et du Gaz (SMEG<sup>o</sup>)

BP 633, 98013 MONACO Cedex

T : +377 92 05 05 00 F : + 378 92 05 05 92

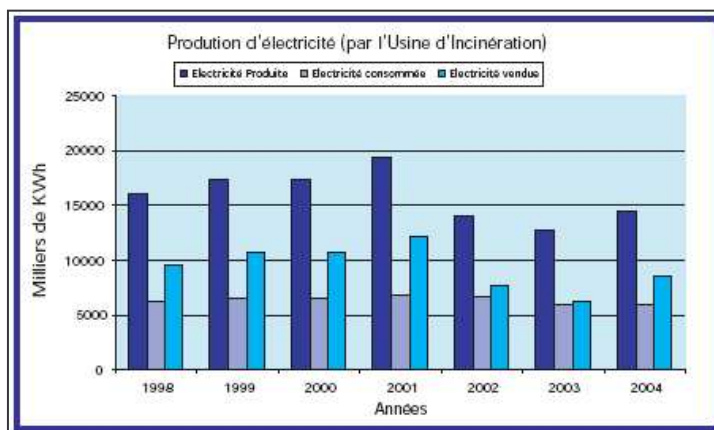
Site web : [www.smeg.mc](http://www.smeg.mc), Courriel: [smeg@smeg.mc](mailto:smeg@smeg.mc)

## DONNEES TECHNIQUES DU RESEAU :

L'usine d'incinération de Monaco traite les déchets urbains de la Principauté ainsi que ceux de plusieurs communes françaises limitrophes et valorise l'énergie sous forme d'électricité ainsi que de vapeur qui alimente une centrale de production de chaleur et de froid. Equipée de trois fours chaudières, elle peut incinérer jusqu'à 10 tonnes par heure de déchets ménagers. Entièrement intégrée à l'architecture du centre ville monégasque, elle est dotée d'un traitement de fumées performant depuis 4 ans et respecte ainsi les normes européennes en matière d'environnement.

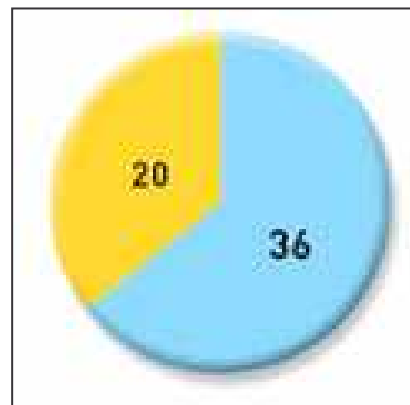
La vapeur produite est utilisée en premier lieu pour alimenter un turboalternateur de 3 MWe raccordé au réseau de la Société Monégasque de l'Electricité et du Gaz. La vapeur résiduelle alimente trois échangeurs de chaleur d'une puissance totale de 20,2 MW et deux machines à absorption de marque TRANE de 2 MW chacune, la centrale comporte aussi 11 MW de groupe de froid traditionnel à compression, l'ensemble alimente un réseau de chaleur (95°C) d'une longueur de 2.5 km et un réseau de froid (6°C) d'une longueur identique (2.5km), assurant ainsi la fourniture de chaleur et de froid au quartier de Fontvieille qui s'étend sur 22 ha, via 27 sous stations.

La production d'électricité de l'usine d'incinération pour les années 1998 à 2004 est illustrée sur le graphe ci-contre ce qui montre que généralement 30% de la production électrique est autoconsommée, le reste est revendu sur la base du tarif Vert haute tension.



En matière de production de froid et de chaleur en 2006, 56 GWh ont été produits et distribués répartis comme suit :

- 36 GWh froid → 64.3%
- 20 GWh chaleur → 35.7%



## EVALUATION:

Les données financières de ce réseau ne sont pas connues, néanmoins la SMEG affirme que les machines à absorption depuis leur installation (bientôt 25 ans de fonctionnement), fonctionnent normalement et ne nécessitent pas beaucoup de tâches de maintenance, mais ils nécessitent une surveillance de très prêt pour éviter les pannes.

### 7.3 Production décentralisée de froid sur réseaux de chaleur : nouveau service en préparation à Grenoble (CCIAG)

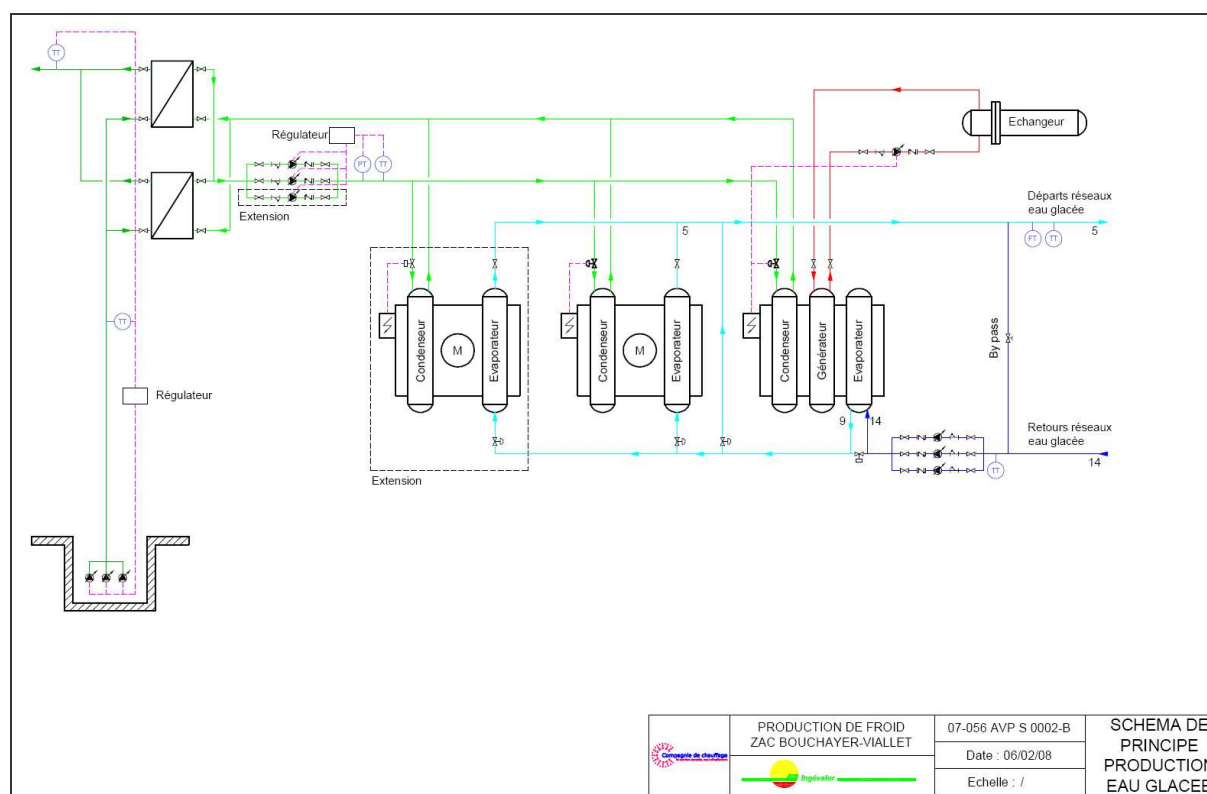
#### Descriptif du site :

Le « site CEMOI » est une ancienne chocolaterie construite en 1920, qui a cessé son activité au début des années 1970. Cet ensemble immobilier de 13 000 m<sup>2</sup>, représentatif du patrimoine industriel grenoblois, a été racheté par la Ville de Grenoble et reconverti en 1979 en Centre d'Entreprises : bureaux, ateliers, entrepôts de stockage. Dans le cadre de l'aménagement du quartier Bouchayer-Viallet en cours de réalisation, la Ville de Grenoble a entrepris une opération importante de requalification des bâtiments afin d'accueillir des entreprises des secteurs du Multimédia et du Logiciel. Le bâtiment concerné par l'opération de fourniture de rafraîchissement concerne une surface d'environ 7 500 m<sup>2</sup>.



La Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG), dont le réseau de chaleur dessert le quartier Bouchayer-Viallet, assurera la fourniture de chaleur pour les besoins de chauffage et la fourniture d'eau glacée pour les besoins de rafraîchissement et de climatisation du « site CEMOI ».

#### Conception technique de la production de froid :



La centrale de production d'eau glacée, située dans un local technique du bâtiment, est constituée :

- En première phase d'un groupe à absorption de 300 kW et d'un groupe à compression de 200 kW (livraison des locaux de la première tranche, programmée en janvier 2010).
- A terme et selon l'évolution de la demande, il est prévu une extension de la puissance frigorifique installée, avec un deuxième groupe à absorption, d'une puissance de 300 à 500 kW.

Le refroidissement des condenseurs des machines frigorifiques (absorption et compression) est réalisé avec l'eau de la nappe phréatique présente entre 3,50 et 4,00m de profondeur.

### **Bilan environnemental et énergétique de l'opération :**

La production de froid par absorption permet de valoriser la chaleur excédentaire issue de l'incinération des ordures ménagères à Grenoble (UIOM Athanor) pendant la période d'été. L'énergie frigorifique annuelle nécessaire pour satisfaire les besoins du site, a été estimée à 680 MWh, dont 450MWh pour la période estivale (de mai à septembre) et 230 MWh pour la période hivernale. Cela représente une consommation de 690 MWh de chaleur et 75 MWh électrique (hors fonctionnement des équipements auxiliaires).

Les impacts environnementaux (exprimés en gaz à effet de serre et énergie primaire) de cette opération ont été évalués en utilisant les facteurs de ressource primaire (PRF) et les facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> définis par le projet européen Ecoheatcool et la norme européenne EN 15316-4-5. Il en ressort les résultats présentés du tableau suivant :

Mode de production de froid	PRF (facteur ressource primaire)	Facteur CO <sub>2</sub> gCO <sub>2</sub> /kWh froid	Energie primaire consommée MWh/par an	Emissions CO <sub>2</sub> t/par an
Machine à compression (COP de 3)	0.86	13	585	8,8
Machine à absorption sur le réseau de chaleur de Grenoble en été	0.073	5	50	3,4
67% absorption et 33% compression	0.332	7,6	226	5,2
Gains (énergie primaire ou CO <sub>2</sub> )			359	3,6

Les deux critères pris en compte (utilisation de la ressource primaire et les émissions CO<sub>2</sub>) montrent l'avantage de la production de froid à partir du réseau de chaleur de Grenoble (alimenté par l'UIOM). En effet l'exploitation de la future installation permettra une économie en énergie primaire de l'ordre de 359 MWh/an (- 61%) et environ 3,6 tonnes de CO<sub>2</sub> évités par an (- 42%).

### **L'offre pour les utilisateurs :**

L'énergie frigorifique consommée par chaque utilisateur est mesurée par un compteur d'énergie à l'entrée de chaque lot et sert de base à la facturation. Le tarif comprend deux termes : une prime fixe proportionnelle à la puissance souscrite et une partie proportionnelle à l'énergie frigorifique consommée. Le coût du rafraîchissement des locaux tertiaires pour le « site CEMOI » est estimé de 10 à 12€ HT/m<sup>2</sup> et par an (valeur juin 2008 sur la base d'une consommation de 100 kWh / m<sup>2</sup> et par an).

Ce coût comprend l'investissement correspondant à la centrale de production d'eau glacée réalisé par la Compagnie de Chauffage, l'énergie (chaleur et électricité) nécessaire à la production de froid, la conduite, la maintenance, les réparations et le renouvellement des équipements. L'utilisateur dispose ainsi d'eau glacée sans investissement ni coût de maintenance liés à la production frigorifique.

Ce coût est tout à fait comparable à des solutions de production de froid avec des groupes à compression (en coût global, intégrant l'investissement et le fonctionnement des installations).

**Evaluation:**

Acteur de l'aménagement urbain depuis près de 50 ans, la Compagnie de Chauffage met en œuvre des solutions toujours plus performantes sur le plan énergétique et environnemental.

Cette opération d'offre globale de fourniture de chaleur et de froid s'inscrit dans cette démarche et permet un retour d'expérience dans le contexte énergétique français.

**Contact :** Compagnie de Chauffage Intercommunale de l'Agglomération Grenobloise (CCIAG), 25, Avenue de Constantine - BP 2606 - 38036 GRENOBLE CEDEX 2

**Tél.** 04 76 33 23 60 – **Fax.** 04 76 33 56 46 – **Web:**<http://www.cciag.fr/>