
**Projet pilote et démonstration
Domaine chaleur ambiante, CCF**

Utilisation optimale de l'énergie primaire et réduction de CO₂ au moyen de systèmes combinés pompes à chaleur – couplages chaleur-force

Préparé par le bureau
CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA
17, quai de Versoix – CP 428
CH - 1290 VERSOIX

Sur mandat de
l'Office fédéral de l'énergie

Janvier 2002

Rapport final

Utilisation optimale de l'énergie primaire et réduction de CO₂ au moyen de systèmes combinés pompes à chaleur – couplages chaleur-force

Détermination de la potentialité
du principe dans les cantons
de Genève et de Neuchâtel.

Stratégie de réalisation
des systèmes combinés
dans les cantons.

Effectué sur mandat de

l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
M. F. Rognon

Un projet du bureau

CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA
17, quai de Versoix – CP 428
1290 VERSOIX
e-mail : e.conti@conti-ingenergy.ch
MM. E. Conti, P. Barbey

mené en collaboration avec

Le ScanE
Service cantonal de l'énergie de Genève
Rue du Puits-Saint-Pierre 4
1211 Genève 3
M. R. Beck

et

L'Office cantonal de l'énergie de Neuchâtel
Tivoli 16
2000 Neuchâtel
M. P.-S. Porret

Table des matières

1. PREAMBULE	1
2. OBJECTIFS DE POLITIQUE ENERGETIQUE	2
2.1 POLITIQUE ENERGETIQUE INTERNATIONALE	2
2.2 POLITIQUE ENERGETIQUE SUISSE	3
3. INTRODUCTION	4
4. DESCRIPTIF DES SYSTEMES COMBINES PAC-CCF	5
4.1 L'ETAT DE LA TECHNOLOGIE	5
4.2 LES SYSTEMES SIMPLES	6
4.3 LES SYSTEMES COMBINES PAC-CCF	7
5. POTENTIEL DES SYSTEMES PAC-CCF	10
5.1 MODELE D'EVALUATION DU POTENTIEL	10
5.1.1 Conditions initiales et hypothèses de calculs	10
5.1.2 Facteur de potentialité technique	12
6. MESURES ENVISAGEABLES POUR ASSURER LE DEVELOPPEMENT PAC-CCF	13
6.1 BASES DE REALISATION	13
6.2 DIRECTIVES ET AIDE PRATIQUE AUX CANTONS	14
6.3 ASPECTS LEGAUX	14
6.4 MESURES D'ENCOURAGEMENT, DE PERSUASION ET DE CONTRAINTES	14
6.5 ASPECTS ELECTRIQUES	15
7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	16
8. CANTON DE GENEVE	17
8.1 POLITIQUE ENERGETIQUE	17
8.2 INVENTAIRE ET STATISTIQUES	18
8.3 RESULTATS	19
8.4 EXEMPLES D'APPLICATION	25
8.4.1 Champ-Manon à Genève	25
8.4.2 Périmètre d'aménagement concerté (application globale pour Genève)	27
9. CANTON DE NEUCHATEL	29
9.1 POLITIQUE ENERGETIQUE	29
9.2 INVENTAIRE ET STATISTIQUES	30
9.3 RESULTATS	31
10. ANALYSE DES RESULTATS ET COMMENTAIRES	37
11. REMERCIEMENTS	38
12. BIBLIOGRAPHIE	39
13. LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES	40
14. ANNEXES	42

1. PRÉAMBULE

L'idée de rechercher pour la Suisse des systèmes de chauffage thermodynamiquement plus efficaces et écologiquement plus restrictifs est parfaitement louable, encore faut-il avoir les moyens logistiques de les appliquer efficacement.

L'objectif fixé dans le cadre du programme Suisse Energie est d'utiliser l'énergie renouvelable de l'environnement au moyen de pompes à chaleur. Il en résultera une production de chaleur utile supplémentaire importante en 2010 par rapport à l'état fin 2000.

L'accroissement correspondant de consommation d'électricité s'élèvera à quelques 700 GWh/a.

Afin de ne pas préteriter les objectifs de SuisseEnergie, elle proviendrait, par ordre de priorité,

- pour 150 GWh/an de l'incinération des ordures (part non renouvelable),
- pour 300 GWh/an du remplacement des chauffages électriques et
- pour 600 GWh/an des installations de CCF à combustibles fossiles.

L'objectif ainsi posé pour les CCF fossiles est raisonnable. En effet, elles ont accru leur production d'électricité de 861 GWh entre 1990 et 1999. Dans le même temps, les PAC électriques consommaient 131 GWh d'électricité supplémentaires.

Le principe d'application du couplage chaleur-force peut être assuré par différents systèmes combinés entre moteur, turbine, cycle combiné et pompe à chaleur.

Actuellement, le potentiel d'application des différents systèmes possibles est encore inconnu. Il est difficile, voire impossible, en l'état, de savoir quel système est le mieux adapté pour quelle région ou quel canton. A première vue, chaque système peut être appliqué dans chaque canton en fonction du potentiel et de la volonté politique.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a donc mandaté le bureau d'ingénieurs CONTI & ASSOCIES Ingénieurs SA pour une étude portant sur la potentialité de l'utilisation optimale de l'énergie primaire et de la réduction du CO₂ au moyen de systèmes combinés chaleur-force et pompe à chaleur.

Dans une première phase, l'étude porte sur deux cantons suisses présentant des caractéristiques différentes, à savoir Genève et Neuchâtel. Dans ce cadre, il est nécessaire de présenter aux cantons l'enjeu de l'étude. Par la suite, cette étude pourrait s'étendre à l'ensemble des régions de Suisse et donner aux autorités et investisseurs privés les conseils et les moyens de réaliser ces systèmes.

Les objectifs sont triples, ils visent à :

- une utilisation efficace de l'énergie,
- une stabilisation de la consommation en électricité,
- une réduction des émissions de CO₂.

Les résultats de ce travail sont retranscrits dans le présent rapport.

Le but de ce rapport est double,

d'une part, de donner aux cantons de Genève et Neuchâtel un instrument d'application du principe décrit ci-dessus,

et d'autre part, d'inviter les autres cantons à entreprendre des études pour développer la potentialité d'application de ce principe.

2. OBJECTIFS DE POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE

2.1 POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE INTERNATIONALE

Le développement et le renforcement de la politique énergétique nationale des pays industrialisés dépendent de plus en plus de la collaboration internationale. Très peu de pays sont prêts à agir seuls au vu du débat encore actuel sur le climat, lequel pourrait toucher à leur capacité concurrentielle (p. ex. par des normes concernant la consommation d'énergie et des taxes sur l'énergie). Cela est spécialement valable pour la Suisse, pays aux ramifications internationales multiples. C'est pourquoi la Suisse insiste depuis des années pour un renforcement de la coordination et de l'harmonisation des mesures de politique énergétique au niveau international.

Lors de la conférence de La Haye en novembre 2000, des pays comme les États-Unis, le Canada et l'Australie ont essayé de dénaturer le Protocole de Kyoto de novembre 1997, un traité vital qui engage les pays industrialisés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2 % en moyenne (Europe -8%, USA -7%, Japon -6%, Australie +1%, Russie 0%, etc.) d'ici à 2008-2012 par rapport à leur niveau de 1990. Or, en 1995, les États-Unis dépassaient de 5% leur niveau de 1990, le Canada et le Japon de 8%, la France de 2% seulement !

En pratique, le protocole se heurte à des disparités au niveau des engagements entre les différents États, notamment entre les États-Unis et l'Europe ainsi qu'entre les pays développés et en développement. Les négociateurs politiques ont tout fait pour éviter d'avoir à réduire les émissions dans leurs propres pays. Ils ont donc cherché à se mettre d'accord sur des "mécanismes de flexibilité", remplis d'échappatoires :

- Permis d'Émission Négociables : Permet d'échanger entre pays des Permis d'Émission sur un marché supposé additionnel aux mesures domestiques.
- Application conjointe : Permet de constituer une "Bulle" (plusieurs pays se regroupent, le meilleur exemple étant l'Europe), mutualisant les investissements et les résultats.
- Mécanisme de Développement Propre : Consiste à récupérer les droits d'émissions gagnées par des investissements dans les pays pauvres pour réduire les émissions de gaz.

La proposition concernant l'une des mesures clés au niveau communautaire, une taxe énergie/carbone, n'a pas encore été adoptée, mais certains pays d'Europe occidentale (Autriche, Danemark, Finlande, Pays-Bas, Norvège et Suède) ont déjà introduit ce type de taxe. En outre, il existe un potentiel pour d'autres types de mesures visant à réduire les émissions de CO₂, certaines étant actuellement adoptées par divers pays européens et l'UE. Elles incluent des programmes de rendement énergétique, des centrales à production combinée, le passage du charbon au gaz naturel et/ou au bois, les mesures visant à modifier la répartition entre modes de transport et celles destinées à absorber le carbone (augmentation du puits de carbone) par l'intermédiaire du reboisement.

Pour l'instant, cette conférence n'a pas permis d'établir les mécanismes de contrôle et de sanction, ce qu'on appelle "l'observance" et qui est, bien sûr, fondamental. Si ces échappatoires avaient été acceptées à La Haye, les pays industrialisés risquaient de pouvoir accroître leurs émissions au lieu d'avoir à les réduire.

Les 180 pays qui se sont rencontrés ne sont pas parvenus à un accord, notamment sur l'utilisation des mécanismes de flexibilité permettant entre autres le commerce des droits d'émission des gaz à effet de serre, et l'utilisation des forêts et autres milieux naturels pour la fixation de carbone. La conférence a repris en mai 2001. Ses résultats ne sont pas retranscrits dans le présent rapport.

2.2 POLITIQUE ENERGETIQUE SUISSE

Comparée aux principaux pays émetteurs de gaz carbonique, la Suisse se place dans la moyenne avec ses quelque six tonnes par habitant et par an.

La capacité naturelle d'absorption du CO₂, principal gaz à effet de serre, est de une à deux tonnes par an et par habitant.

La Suisse considère que l'échec des négociations de La Haye retarde mais ne remet pas en cause les efforts pour la protection du climat sur le plan international. Au plan national, la Suisse met déjà en oeuvre le Protocole de Kyoto avant même de l'avoir ratifié. En effet, la loi sur le CO₂ qui a été votée et acceptée en mai 2000, mais qui n'entrera en vigueur qu'en 2004 à la condition que Kyoto ne soit pas respecté, a pour objectif de réduire les émissions de 10 % en 2010 par rapport au niveau de 1990, soit l'équivalent des réductions de gaz à effet de serre que le protocole fixe pour la Suisse. Par conséquence, le présent rapport prend les frontières nationales comme limite physique.

Pour mémoire, le chef du DETEC avait tiré, du dialogue énergétique en 2000, dix conclusions, sorte de glissières de sécurité pour évoluer vers la future politique de l'énergie. L'une d'elles formulée comme suit, nous intéresse en particulier :

"Il faut recourir davantage au *couplage chaleur-force* (CCF) *décentralisé*, l'électricité devant servir de préférence à alimenter des *pompes à chaleur*. Il reste à préciser les possibilités exactes de promotion de ces systèmes. Pour le reste, on se tournera au besoin vers les centrales à cycle combiné alimentées au gaz, en prenant soin d'étudier la récupération de leurs rejets de chaleur".

Pour cela, les milieux intéressés ont étudié quels pourraient être la nature et le déroulement, dans le temps, de l'encouragement de la cogénération décentralisée et de la pompe à chaleur. Il reste toujours à élucider notamment les problèmes des investisseurs et du financement, de l'exploitation et de l'entretien des installations (p. ex. par contracting) de la sécurité d'approvisionnement, de l'environnement (surtout à cause des rejets de CO₂) et des effets sur le réseau électrique.

Le débat sur la libéralisation du marché de l'électricité, engagé à la même époque, semble avoir occulté l'intérêt de la cogénération couplée à la pompe à chaleur. De plus, les distributeurs d'électricité, poussés par le souci de fidélisation des gros clients, ont entamé la libéralisation bien avant sa mise en vigueur. Ils se livrent une concurrence effrénée entre eux qui se solde par des rabais inconsidérés, appuyés bien entendu par des contrats en cascade à long terme.

Les nouveaux niveaux des prix des gros consommateurs ont considérablement compromis la rentabilité de la cogénération dans son ensemble de sorte que plusieurs installations ont été mises hors service et plusieurs projets ont été abandonnés en Suisse.

On oublie systématiquement l'aspect écologique dans cette marche effrénée vers la concurrence. Les conclusions du présent rapport devront montrer qu'il existe de nombreuses autres voies pour arriver au même résultat tout en respectant l'environnement.

3. INTRODUCTION

Les buts de cette étude sont :

- d'une part de déterminer la potentialité du principe dans deux cantons (Genève et Neuchâtel),
- d'autre part d'établir une stratégie de réalisation dans ces cantons, afin de leur donner des directives et une aide à la décision pour la mise en place des systèmes combinés PAC-CCF dans le cadre de leur politique énergétique à venir.

En effet, chaque canton a ses particularités énergétiques et cadastrales qui lui sont propres et le choix possible des systèmes combinés PAC-CCF est vaste.

Les quelques exemples ci-dessous illustrent l'idée des combinaisons de systèmes :

- PAC et CCF décentralisées avec un seul utilisateur.
- PAC et CCF décentralisées avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur.
- PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF décentralisée avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur.
- PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur, chaleur CC récupérée partiellement.
- PACs décentralisées et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs, chaleur CC non récupérée.

Dans tous les cas cités, l'électricité est transformée partiellement ou totalement en chaleur.

Les critères d'applicabilité dépendront du genre de lieu et de ses aménagements. Une étude globale sur la base des éléments statistiques (plans directeurs, cadastres de chaleur, projets de potentialité existants, autres statistiques sur les PAC et/ou les CCF, etc...) est nécessaire dans les cantons concernés.

Chaque région ou quartier aura ses propres critères d'applicabilité de la combinaison PAC-CCF. Ils dépendent principalement de la grandeur de l'ensemble, des possibilités de créer des CAD ou d'utiliser les CAD existants, des possibilités de sources froides et du niveau de température applicable au système.

L'applicabilité des différents systèmes possibles aux autres cantons peut dépendre directement des résultats des deux cantons cibles. La définition des systèmes sera basée sur le genre de concepts appliqués dans les deux cantons et pourra être reportée aux autres cantons avec les adaptations propres à chaque entité.

PAC : pompe à chaleur

CCF : couplage chaleur-force

CC : centrale à cycle combiné

4. DESCRIPTIF DES SYSTÈMES COMBINÉS PAC-CCF

4.1 L'ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE

(Extraits de [1])

La mise en œuvre des systèmes combinés PAC-CCF est techniquement possible. Les composants nécessaires se trouvent sur le marché (pas de prototype et pas de pièce unique). Les tableaux 4.1-1 et 4.1-2 donnent un aperçu de l'état de la technique des groupes chaleur-force et des pompes à chaleur par catégorie de puissance.

	Mini	Petit	Moyen	Grand	Très grand
Puissance électrique :	1 à 7 kW	7 à 50 kW	50 à 500 kW	500 à 2000 kW	> 2000 kW
Rendement électrique :					
• Moteur à gaz	15 à 28%	25 à 35%	30 à 45%	40 à 50%	-
• Pile à combustible	env. 35%	env. 35%	35 à 65%	-	-
• Micro-turbines	-	25 à 30%	25 à 30%	-	-
• Turbines à gaz et à vapeur combinées	-	-	-	35 à 55%	40 à 60%
Combustibles principaux :	gaz / maz	gaz	gaz / mazout	gaz / mazout	gaz / mazout
Composants standardisés :	oui	oui	oui	oui	oui

Tableau 4.1-1 : état de la technique des groupes chaleur-force existants, par catégories de puissance.

	Petit	Moyen	Grand	Très grand
Puissance thermique :	< 20 kW	< 50 kW	> 50 kW	> 200 kW
Source de chaleur adaptée :	toute	toute	Sondes nappe phréatique	nappe phréatique eau de surface rejets de chaleur
COP annuel	2 à 5	3 à 5	3 à 5	3 à 5
Composants standardisés :	oui	oui	non	non

Tableau 4.1-2 : état de la technique des pompe à chaleur existantes, par catégories de puissance.

Malgré les limitations inhérentes aux différents systèmes, il existe un large domaine de puissances dans lequel les deux technologies disposent actuellement de composants standardisés et de réelles perspectives d'application à grande échelle. Il s'agit notamment du couplage chaleur-force de quelques kilowatts à 500 kilowatts de puissance électrique, et de pompes à chaleur d'une puissance thermique inférieure à 50 kilowatts.

Actuellement, la pompe à chaleur est surtout adaptée au marché de l'habitat individuel, du petit immeuble locatif, des restaurants et des petites entreprises. Les groupes chaleur-force, eux, couvrent un large éventail de puissances, de la villa individuelle à l'industrie en passant par l'habitat collectif, les immeubles de bureaux, les hôpitaux ou l'hôtellerie.

4.2 LES SYSTEMES SIMPLES

(Extraits de [1])

La plus grande partie de l'énergie utile consommée dans le chauffage des locaux en Suisse est obtenue par dégradation d'énergie primaire, principalement par combustion dans les chaudières (Figure 4.2-1).

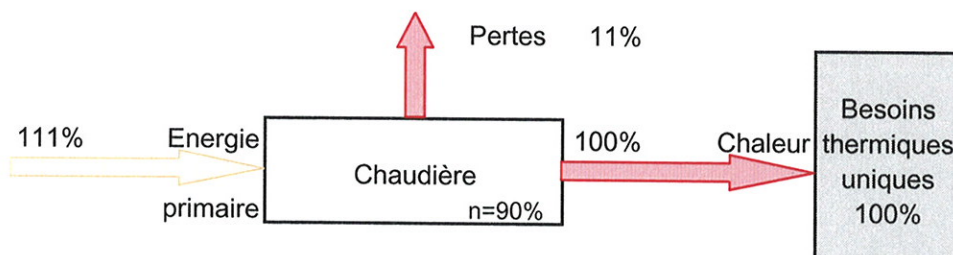


Figure 4.2-1 : Flux énergétique d'un chauffage à combustion traditionnel.

La pompe à chaleur est un système de chauffage qui amplifie l'énergie consommée. La pompe à chaleur prélève des calories à basse température dans l'environnement naturel – l'air, l'eau ou le sol – et les restitue à une température suffisamment élevée pour alimenter des radiateurs ou du chauffage par le sol. Le principal atout de ce système réside dans le fait que la pompe à chaleur, dans l'état actuel de la technique, produit deux à cinq fois plus de chaleur qu'elle ne consomme d'énergie électrique d'entraînement (Figure 4.2-2).

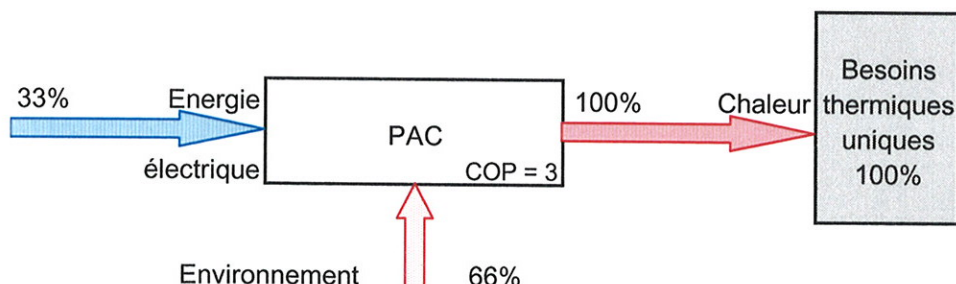


Figure 4.2-2 : Flux énergétique d'une pompe à chaleur à compression.

L'énergie d'entraînement de la pompe à chaleur peut être fournie par une génératrice alimentée par un moteur thermique. Comme il s'agit de chauffer des locaux en hiver, nous partons de l'idée que la chaleur captée sur le circuit de refroidissement du moteur et sur les gaz d'échappement est également récupérée. Et l'on retrouve ainsi le système bien connu du couplage chaleur-force, également appelé cogénération (Figure 4.2-3).

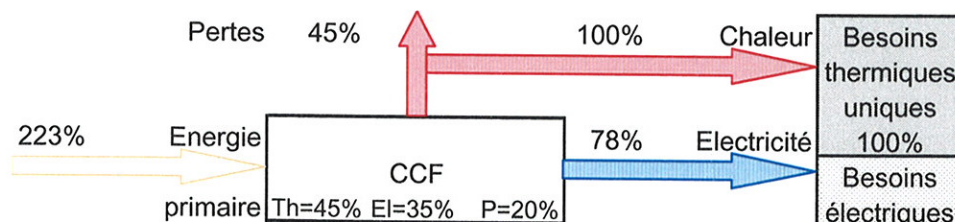


Figure 4.2-3 : Flux énergétique d'un couplage chaleur-force.

4.3 LES SYSTEMES COMBINES PAC-CCF

La combinaison des deux systèmes PAC et CCF permet de produire une fois et demie à deux fois plus de chaleur qu'elle ne consomme d'énergie primaire. **Autrement dit, l'énergie primaire est valorisée au lieu d'être dégradée**, grâce au prélèvement d'énergie de l'environnement par la PAC.

Les systèmes combinés PAC-CCF sont multiples par la combinaison entre des PACs décentralisées ou non et des CCFs centralisés ou décentralisés.

Nous allons ici décrire les différentes combinaisons possibles que nous avons envisagées et représenter schématiquement le diagramme des flux énergétiques pour des besoins de 100%.

- PAC et CCF décentralisées avec un seul utilisateur.

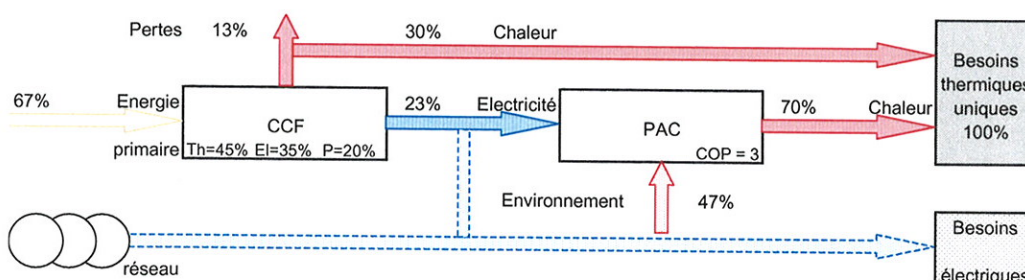


Figure 4.3-1 : Flux énergétique PAC et CCF décentralisées avec un seul utilisateur.

- PAC et CCF décentralisées avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur.

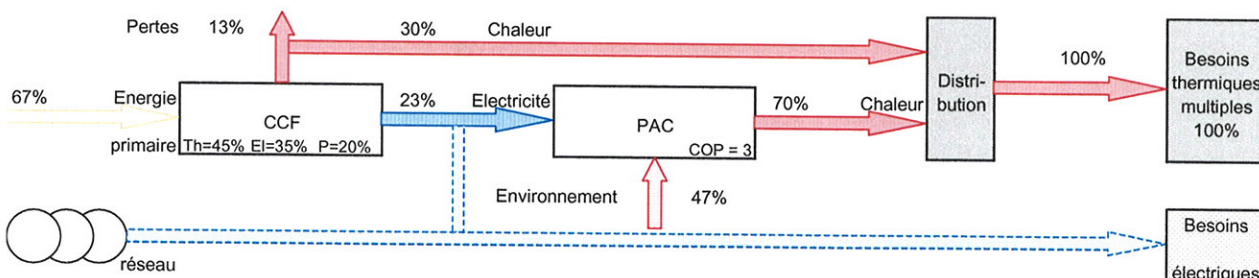


Figure 4.3-2 : Flux énergétique PAC et CCF décentralisées avec plusieurs utilisateurs.

- **PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF décentralisée avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur.**

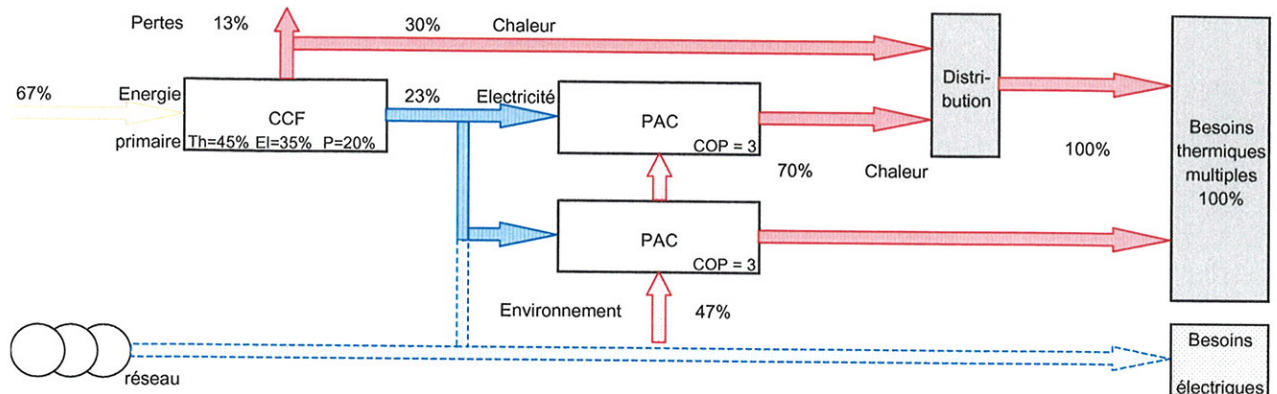


Figure 4.3-3 : Flux énergétique PAC(s) décentralisées ou non et CCF décentralisée avec plusieurs utilisateurs.

- **PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs, distribution de chaleur, chaleur CC récupérée partiellement.**

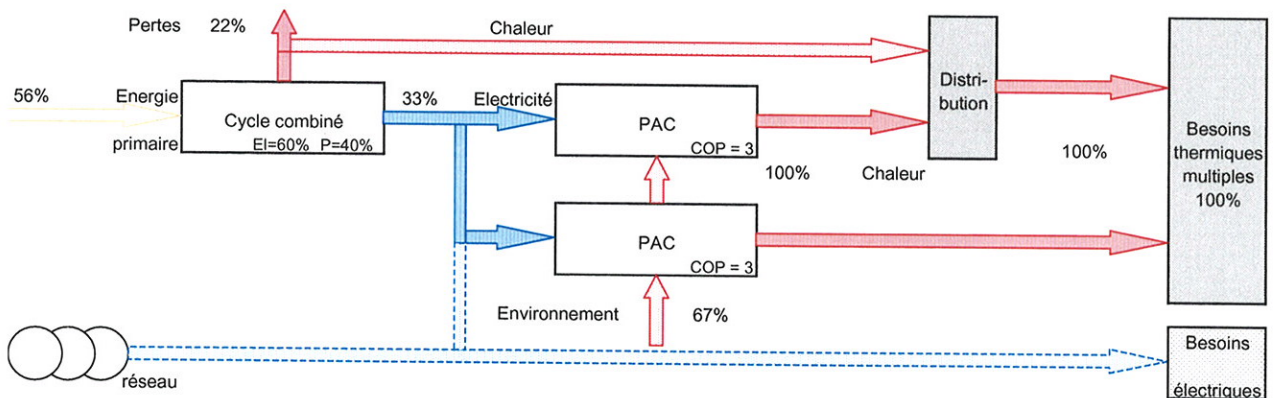


Figure 4.3-4 : Flux énergétique PAC(s) décentralisées ou non et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs.

- **PACs décentralisées et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs, chaleur CC non récupérée.**

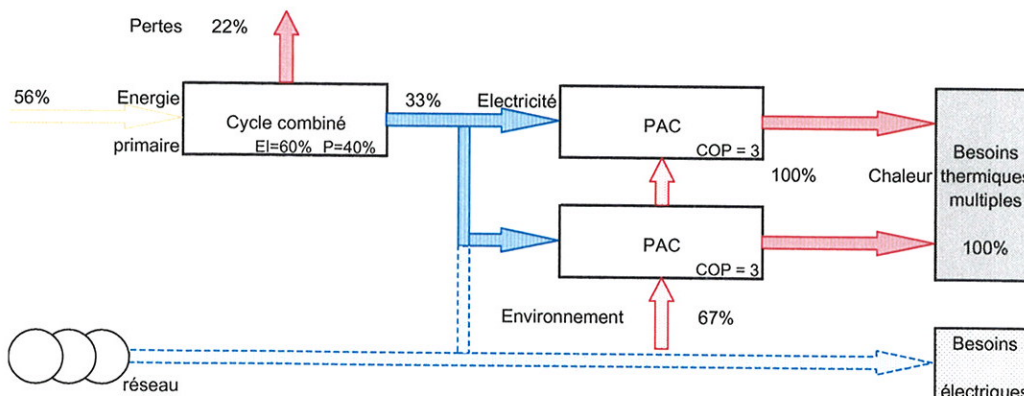


Figure 4.3-5 : Flux énergétique PACs décentralisées et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs.

Remarque importante :

Dans tous les cas de figure des systèmes combinés PAC-CCF précédemment décrits, la production électrique de la cogénération est utilisée à 100% par les pompes à chaleur pour être totalement transformée en chaleur. Il en résulte un bilan électrique neutre ; c'est comme si on utilisait des PACs à énergie d'entraînement thermique. Les autres besoins électriques sont alors assurés par le réseau.

Aux vues des différents systèmes combinés PAC-CCF, il ressort deux principes. Soit le système fonctionne avec des groupes chaleur-force (CCF), soit il fonctionne avec des centrales à cycle combiné (CC).

Les deux derniers systèmes combinés PAC-CCF présentés, fonctionnant avec des centrales à cycle combiné, dépendent essentiellement de la volonté politique d'aller dans ce sens. Les centrales à cycle combiné sont de grandes unités de production d'énergie électrique décentralisées. Les services industriels sont donc les premiers concernés pour un renforcement de leur production propre.

Dans la suite de l'étude et dans un but de simplification et de vulgarisation de la méthode, nous nous bornerons à étudier la potentialité des systèmes selon les **deux principes précités** :

- PACs et CCFs décentralisées (selon les figures 4.3-1 à 4.3-3),
- PACs décentralisées et CC centralisé (selon les figures 4.3-4 à 4.3-5).

Les rapports en pourcentage présentés dans les figures ci-dessus seront utilisés dans la suite des calculs. Ces rendements sont conservateurs et se situent plutôt du côté de l'exploitant.

5. POTENTIEL DES SYSTÈMES PAC-CCF

La détermination du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF doit permettre de se faire une idée du développement que cette solution peut suivre et du rôle qu'elle peut jouer sur la scène énergétique, financière, écologique, juridique et politique.

La réflexion doit en particulier apporter des éléments de réponse sur les critères d'applicabilité énergétique des différents systèmes combinés possibles ainsi que sur les cibles potentielles dans le cadre de cette étude. Les autres critères (financiers, écologiques, juridiques et politiques) d'applicabilité feront partie d'une seconde phase d'étude.

Les systèmes combinés PAC-CCF applicables ont été décrits au chapitre 3. On ne retiendra ici que les deux principes suivants :

- PACs et CCF décentralisées,
- PACs décentralisées et CC centralisé.

5.1 MODELE D'EVALUATION DU POTENTIEL

Le modèle d'évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF se base sur un modèle largement utilisé et éprouvé dans plusieurs études de potentialité (voir [20] et [6]).

Il traite uniquement des critères techniques. Ce modèle détermine donc la part des installations techniquement réalisables sur la base des statistiques énergétiques cantonales de chauffage à notre disposition. Nous n'avons pas pris en compte les critères écologique et politique, le premier devant faire partie de la seconde phase de l'étude et le deuxième étant difficilement modélisable.

5.1.1 Conditions initiales et hypothèses de calculs

Les conditions initiales du modèle d'évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF sont extraites des statistiques cantonales de chauffage respectives de 1999 pour Genève ([9]) et de 2000 pour Neuchâtel ([16]).

Le modèle d'évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF s'applique à partir des agents énergétiques de chauffage, à savoir les consommations de mazout, de gaz, d'électricité, de chauffage à distance, ainsi que du recensement des PACs et chauffage électrique direct.

Sur cette base, nous avons subdivisé chaque agent énergétique en catégorie par gamme de puissance. Cette division n'est pas arbitraire, mais est prévue pour correspondre aux gammes de puissance des unités de cogénération et de pompe à chaleur disponible sur le marché.

En multipliant alors les consommations de chaque catégorie par un facteur de potentialité technique, nous obtenons la consommation potentielle techniquement substituable.

De là, nous avons alors recalculé les besoins en énergie primaire pour le chauffage, la production des systèmes combinés PAC-CCF et la réduction des émissions de CO₂. Les rapports entre les différents besoins, parts et production, sont ceux utilisés dans les figures du chapitre 4.3 (pages 7 et 8). Pour la réduction des émissions de CO₂, les facteurs utilisés sont donnés par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et sur le site internet <http://lepari.citeweb.net/>.

Le tableau ci-dessous donne les facteurs de conversion des émissions de CO₂ pour les différents agents énergétiques.

chauffage	unité	pouvoir calorifique [kWh]	émissions de CO₂ [kg/kWh]	émissions de CO₂ par unité
gaz naturel	1 m ³	10,0	0,28	2,80
propane/butane	1 kg	12,9	0,30	3,87
fuel	1 l	9,7	0,31	3,01
houille-brique	1 kg	8,7	0,36	3,14
houille-coke	1 kg	8,0	0,36	2,89
chauffage urbain	1 MWh	1000,0	0,30	300,00

courant électrique	consommation	émissions de CO₂ [kg]
Mix Suisse	1 kWh	0,0206

Tableau 5.1.1-1 : Facteurs de conversion des émissions de CO₂ pour les différents agents énergétiques

5.1.2 Facteur de potentialité technique

Nous avons déterminé, pour chaque catégorie des agents énergétiques de chauffage, un facteur de **potentialité** technique des deux principes retenus des systèmes combinés PAC-CCF tenant compte des critères suivants :

- besoins énergétiques du site,
- réfection des installations existantes,
- place à disposition,
- températures aller-retour des réseaux,
- technologies des PAC et des CCF actuelles.

Il est possible d'estimer les chances de réalisation techniques des systèmes combinés PAC-CCF suivant les agents énergétiques et les catégories dans lesquels ils se trouvent. On les exprime par un facteur de potentialité technique en pourcentage qui vaut 0% s'il n'y a aucune chance de réalisation et 100% si la réalisation, d'un point de vue technique, est garantie.

Les valeurs des facteurs de potentialité technique que nous avons admises figurent dans les tableaux ci-dessous pour les deux principes retenus.

Agent		Mazout, gaz naturel		Electricité	
		Chauffage	CAD	Direct	PAC
Energie	Puissance				
< 80 MWh/an	< 35 kW	30%		100%	30%
80-200 MWh/an	35-85 kW	30%			50%
0,2-2 GWh/an	85-850 kW	50%			
> 2 GWh/an	> 850 kW	50%	20%		

Tableau 5.1.2-2 : Facteur de potentiel technique PACs et CCFs décentralisées

Agent		Mazout, gaz naturel		Electricité	
		Chauffage	CAD	Direct	PAC
Energie	Puissance				
< 80 MWh/an	< 35 kW	75%		100%	100%
80-200 MWh/an	35-85 kW	75%			100%
0,2-2 GWh/an	85-850 kW	75%			
> 2 GWh/an	> 850 kW	75%	10%		

Tableau 5.1.2-3 : Facteur de potentiel technique PACs décentralisées et CC centralisé

Par exemple, la potentialité technique de remplacer des PACs existantes par un système combiné PAC-CCF pour de petites puissances (< 80 MWh/an) est estimée à 30% dans le cas où la PAC et la CCF sont décentralisées et de 100% dans le cas où la PAC est décentralisée et le CC centralisé.

En effet, la possibilité de remplacer une petite PAC par un système PAC-CCF individuel n'est pas toujours évident selon l'état de la technique actuelle, en revanche une petite PAC peut toujours être remplacée par une petite PAC.

6. MESURES ENVISAGEABLES POUR ASSURER LE DÉVELOPPEMENT PAC-CCF

6.1 BASES DE REALISATION

Un système PAC-CCF peut se classer parmi les principes de décentralisation de la production d'électricité.

Par conséquent, la planification à long terme de l'utilisation de la chaleur est la condition première pour que la décentralisation présente un avantage indéniable sur la production d'électricité. Cette planification n'est pas évidente et ne peut que se réaliser avec l'aide de décisions de politique énergétique.

Plus le système recouvre un grand territoire, plus sa puissance sera élevée et plus la planification devra se faire longtemps à l'avance.

Un concept énergétique au niveau d'un plan localisé de quartier (PLQ) impliquera obligatoirement une réalisation par étapes, une coordination énergétique entre les différents propriétaires et probablement une aide à l'investissement pour assurer la transition entre la première et la dernière construction du PLQ.

Les exemples d'application ne manquent pas. Ils peuvent être classifiés d'emblée en deux catégories distinctes :

1. les ensembles d'immeubles et de villas existants
2. les nouveaux ensembles définis par un PLQ

Dans les immeubles existants, on peut distinguer quelques exemples typiques, tels que :

- ensemble de villas reliées par un garage souterrain et chauffé à l'électricité ou au mazout,
- ensemble combiné immeubles/villas chauffé à l'électricité ou au mazout (Champ-Manon sous chapitre 8.4.1),
- groupe d'immeubles reliés par un chauffage à distance (CAD) et relevant d'un surdimensionnement important,
- en général, tous les immeubles ou ensembles de villas chauffés à l'électricité ou au mazout et susceptible de recevoir une PAC.

Dans les nouveaux projets, chaque PLQ mis à l'enquête contient un potentiel pour une combinaison PAC-CCF.

La difficulté principale d'applicabilité réside dans la recherche et la détermination de ces potentiels décrits. Il est nécessaire de créer des cadastres :

- des chaufferies à rénover,
- des chauffages électriques,
- du réseau gaz,
- des réseaux de chauffage à distance,
- des nouvelles zones,
- des zones de développement.

Ensuite, il s'agit d'évaluer les combinaisons possibles pour l'application des systèmes combinés PAC-CCF.

6.2 DIRECTIVES ET AIDE PRATIQUE AUX CANTONS

Pour les deux cantons étudiés, il existe des conceptions cantonales de l'énergie contenant des directives pour la mise en place d'actions tendant à aider au développement d'un système énergétique ou d'économies d'énergie.

Le développement d'une action, de son élaboration à la production des effets voulus, passe par des étapes caractérisées par des délais, des coûts, des collaborations associées, des décisions, etc.

Chacune des actions est représentée selon un schéma en trois phases :

- phase **élaboration** caractérisée par la définition de l'action, son analyse de faisabilité, sa structure de mise en œuvre,
- phase **expérimentale** caractérisée par l'évaluation ou la mesure de l'efficacité de l'action sur une période ou un échantillonnage restreint,
- phase **production** caractérisée par la contribution effective de l'action à la réalisation des objectifs.

(alinéa tiré du plan directeur cantonal, Genève)

6.3 ASPECTS LEGAUX

Il faut, une fois pour tout et radicalement, proposer des solutions pour la répercussion de l'amortissement sur les loyers. Le contracting, par exemple, pourrait être une solution, ceci à double titre, d'abord parce que la liaison entre les propriétaires et les locataires est écartée, ensuite parce que le propriétaire n'est plus l'investisseur.

6.4 MESURES D'ENCOURAGEMENT, DE PERSUASION ET DE CONTRAINTES

Il est difficile en l'état de savoir quelles mesures seront encourageantes, persuasives ou contraignantes. C'est une certaine logique de raisonnement qui doit déterminer la démarche.

Comme mesures d'encouragement, nous proposons d'intégrer le concept PAC-CCF dans les actions de chaque canton en relation avec l'idée (voir listing en chap. 4.3.1 et 4.3.2).

Comme stipulé dans les plans directeurs cantonaux, chaque action en relation avec le concept PAC ou CCF ou encore en relation avec toutes mesures d'économies d'énergie au niveau des rénovations et nouvelles constructions doit contenir des directives pour étudier l'intégration du système PAC-CCF.

Elles impliquent un contrôle plus déterminé des rénovations de chaudières (cadastre des chaufferies rénovées et à rénover avec date de remplacement), des remplacements des chauffages électriques, des plans localisés de quartier.

Ces directives doivent tenir compte également de la possibilité de réaliser des nouvelles installations ou de reprendre des anciennes avec le principe du "Contracting d'installation".

Des fonds doivent être mis à disposition pour couvrir les "zones d'ombres" de la rentabilité d'une centrale énergie de quartier, sous forme de crédit relais.

Dans le cadre des actions du chapitre 2.4 des fiches techniques d'actions du plan directeur cantonal de Genève, le concept énergétique de zones doit non seulement être appliqué à tout plan localisé de quartier, mais également à toute rénovation de chaufferie. Pour ce dernier point, cela implique de la part de propriétaires, par l'intermédiaire de leur régies, d'annoncer les projets de rénovation des chaufferies.

Cette opération pourrait s'intégrer facilement dans le cadre du contrôle annuel du DIFC et permettrait de tenir une statistique de l'état des chaufferies du canton et évaluer la possibilité d'application de systèmes PAC-CCF.

Le nerf de la persuasion en matière d'immobilier est sans doute possible l'argent. Si cela coûte au propriétaire alors que le locataire en profitera, il ne faut pas compter sur la collaboration du propriétaire.

En revanche, si l'Etat participe financièrement dans le cadre de ses programmes d'encouragement aux économies d'énergie aux concepts énergétiques de plans localisés de quartier et finance des études de faisabilité de quartier pour une rénovation de chaufferies contrôlées et ordonnées avec la possibilité d'intégrer des systèmes PAC-CCF, alors les propriétaires seront certainement disposés à collaborer.

A ce jour, sauf erreur, les rénovations de chaufferies sont soumises à autorisation. Le département de l'aménagement, de l'équipement et du logement (DAEL) à Genève possède donc les statistiques de rénovation des chaufferies. Il suffira donc à l'office cantonal de l'énergie de développer la prospection des prochaines rénovations.

Ces recommandations s'appliquent également au canton de Neuchâtel en tenant compte des concepts de politique énergétique de ce dernier.

6.5 ASPECTS ELECTRIQUES

Le principe d'application de systèmes combinés PAC-CCF a comme premier but de substituer une production de chaleur électrique directe par une production combinée (CCF-PAC-environnement) dont la partie électrique est entièrement transformée en chaleur. Une telle application est cependant théorique et ne tient pas compte des besoins dynamiques des systèmes.

Dans ce cas, le principe n'a aucune influence sur l'approvisionnement en électricité du canton concerné, car la production décentralisée d'électricité ne sert pas le réseau électrique.

L'évolution des études et des applications de tels systèmes pourrait, dans certains cas, faire apparaître un potentiel pour la production décentralisée d'électricité dans le cadre de l'approvisionnement d'électricité de la région et améliorer le degré d'autoproduction.

7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En guise de conclusion, il faut préciser d'emblée que l'estimation du potentiel de substitution pour les deux cantons étudiés est prudente (**voir chapitres 8 et 9**). Elle ne comporte aucune statistique sur les futures constructions. De plus, les caractéristiques techniques (COP des PACs, rendements électrique et thermique des CCFs, etc) utilisées dans les calculs thermiques et les hypothèses de probabilités des deux exemples qui vont suivre sont conservateurs aux vues de l'état actuel de la technologie et de son évolution probable.

Pour atteindre le but fixé, une planification à long terme est nécessaire pour les constructions neuves. Pour les constructions existantes, l'établissement de cadastres des producteurs (chaufferies) faciliterait grandement la mise en œuvre de mesures concrètes.

Sans une intervention ciblée de l'Etat dans la planification à long terme, le but fixé sera difficile à atteindre. Ces interventions peuvent être de trois types :

- contraignantes : bases légales (loi sur l'énergie, aménagement du territoire, ...).
- encourageantes : financements, subventions, conditions-cadres (procédures simplifiées, ...), plans localisés de quartier.
- persuasives : information (politique et technique), formation,

Le principe du contracting énergétique ouvre des perspectives prometteuses, permettrait de dissocier les intérêts des propriétaires et des locataires et éviterait les hésitations des propriétaires de faire des efforts pour les économies d'énergie sans en retirer des bénéfices. Le contracting devrait donc être fortement encouragé.

Les objectifs visés et rappelés dans le préambule, à savoir une utilisation efficace de l'énergie, une stabilisation de la consommation d'électricité et une réduction des émissions de CO₂ sont des objectifs raisonnables dont le but peut être atteint avec une bonne planification avant la réalisation de grands ensembles immobiliers.

Les bases pour cette planification sont en général contenues dans les plans directeurs et les conceptions cantonales de l'énergie. Ces documents doivent être utilisés systématiquement pour la planification et conçus de façon à permettre d'atteindre les buts fixés.

8. CANTON DE GENÈVE

8.1 POLITIQUE ENERGETIQUE

(Extrait de [8])

Depuis le 7 novembre 1987, date de l'entrée en vigueur de la loi cantonale sur l'énergie, Genève a étudié pas moins de trois variantes de conception cantonale de l'énergie. Les changements ont été dictés principalement par des incompétences politiques et ont provoqué un dysfonctionnement dans la mise en œuvre même de cette conception.

En 1999/2000, décision a été prise de commencer par établir un plan directeur de politique énergétique pour mettre en œuvre une nouvelle conception de l'énergie. Le plan directeur présente les composantes d'un plan d'actions mises en œuvre et regroupées par domaine d'influence dont nous ne citerons que ceux qui nous intéressent dans le cadre de cette étude, à savoir :

- domaine de l'électricité,
- domaine des combustibles.

Parmi ces deux domaines, on peut noter les actions pouvant avoir une influence sur le développement des systèmes combinés PAC-CCF, soit (référence au plan directeur) :

- technologies – conversion des chauffages électriques (1.6.1);
- technologies – amélioration de l'efficacité de la PAC (1.6.2);
- développement d'une production locale (1.7);
- centrales chaleur-force – étude de cas – Meyrin (1.9.2);
- construction et rénovation de bâtiments (2.1);
- assainissement du parc immobilier existant (2.2);
- concepts énergétiques de zones (2.4).

Technologies – conversion des chauffages électriques (1.6.1)

Rechercher des alternatives au chauffage électrique existant. Conversion d'installations existantes sur les lotissements. Deux solutions sont examinées en l'état :

1. installation de pompes à chaleur (**opération « Pluviers »**),
2. chauffage au gaz, selon disponibilité du réseau.

Une combinaison PAC/réseau gaz peut conduire à une troisième solution : le système PAC-CCF (**opération « Champ-Manon »**).

Technologies – amélioration de l'efficacité de la PAC (1.6.2)

L'utilisation de la pompe à chaleur peut faire appel à diverses technologies ou procédés, dont certains peuvent affecter considérablement le coefficient de performance de l'installation. Ce type de situation peut être évité par des mesures, des contrôles et des suivis d'installations, voire des modifications apportées sur des installations existantes (**opération « Pluviers suivi »**).

Développement d'une production locale (1.7)

Production locale d'énergie électrique par l'adaptation et le développement de technologies résultant de programme de recherche faisant appel à des sources d'énergies renouvelables.

Centrales chaleur-force – étude de cas – Meyrin (1.9.2)

Une étude étendue à l'ensemble du canton a permis d'inscrire la cité de Meyrin au nombre des sites présentant des caractéristiques favorables à l'implantation de centrales chaleur-force.

Réaliser une étude technico-économique de faisabilité sur la cité en tenant compte des projets d'assainissement, de rénovation, de fouilles pour canalisation, etc

Etudier la faisabilité d'implantation de PAC dans les immeubles.

Construction et rénovation de bâtiments (2.1)

Formulation d'exigences et propositions de mesures incitatives visant à réduire les consommations d'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire dans le secteur « constructions nouvelles ». Dito pour le secteur « rénovation des bâtiments ».

Assainissement du parc immobilier existant (2.2)

Poursuite de l'application du système de dérogations conditionnelles à l'obligation du DIFC dans les bâtiments existants.

Concepts énergétiques de zones (2.4)

Le concept énergétique de zones est l'évaluation des caractéristiques, au niveau d'un plan localisé de quartier, des possibilités d'équipements techniques et de leur mode d'utilisation au service de ses futurs exploitants et permettant d'atteindre des objectifs énergétiques. Il doit tenir compte des spécificités du site et des interactions du plan localisé de quartier avec son environnement et son voisinage et veiller à ce que les solutions retenues se complètent de façon cohérente. Cette nouvelle approche testée jusqu'ici sur des cas particuliers en collaboration avec les architectes et maîtres d'ouvrage concernés va être étendue et systématisée suivant une méthodologie en voie d'élaboration.

Etudier en particulier la solution de « **Contracting d'installation** ».

Cette solution est illustrée par l'application du contracting d'installation dans les périmètres d'aménagements concertés.

8.2 INVENTAIRE ET STATISTIQUES

Après information prise auprès du service cantonal de l'énergie de Genève (ScanE), de l'office cantonal de la statistique et des services industriels de Genève, nous avons répertorié et reconstitué les statistiques des besoins thermiques qui nous intéressent directement.

L'inventaire des installations de cogénération, de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique dans le canton de Genève est présenté en **Annexe I**.

Le canton de Genève possède :

- 26 installations de petite cogénération décentralisées, fonctionnant principalement au gaz naturel, pour une puissance électrique totale de 7'772 kW et une puissance thermique totale de 10'000 kW. Elles produisent environ 38'500 MWh_{él}/an.
- 5 installations de cogénération centralisées, dont l'usine d'incinération des ordures ménagères des Cheneviers, pour une puissance électrique totale de 40,5 MW. Un projet de récupération des rejets thermiques de cette installation pour un chauffage à distance alimentant le quartier d'Onex est en phase d'être réalisé dans un avenir proche pour une puissance thermique d'environ 60 MW.
- 1 chauffage à distance des SIG pour une puissance thermique totale de 120 MW.
- 3'760 chauffages électriques pour une puissance thermique totale de 55'591 kW, consommant annuellement 65'000 MWh_{él}.

8.3 RESULTATS

Les résultats obtenus pour le canton de Genève par agent énergétique de chauffage et par catégorie pour les deux principes de système combiné PAC-CCF sont donnés dans les tableaux ci-dessous. Le détail des calculs intermédiaires est présenté en Annexe III.

La première série de trois tableaux concerne le potentiel technique de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève pour le mazout, le gaz et l'électricité.

	mazout						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	consommation nouvelle part substituable	consommation nouvelle totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	649	195	130	584	-65	45	20 118
80-200 MWh/an	793	238	159	714	-79	56	24 589
0,2 - 2 GWh/an	793	397	317	714	-79	56	24 589
> 2 GWh/an	1 370	685	548	1 233	-137	96	42 472
sous-totaux	3 605	1 514	1 154	3 245	-361	252	111 769
CAD							
< 80 MWh/an							
80-200 MWh/an							
0,2 - 2 GWh/an							
> 2 GWh/an							
sous-totaux							
totaux	3 605	1 514	1 154	3 245	-361	252	111 769

Tableau 8.3.1-1 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

	gaz naturel						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO2
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	26	8	5	24	-3	2	737
80-200 MWh/an	26	8	5	24	-3	2	737
0,2 - 2 GWh/an	18	9	7	16	-2	1	491
> 2 GWh/an	1 684	842	674	1 516	-168	118	47 158
sous-totaux	1 754	867	691	1 579	-175	123	49 123
CAD							
< 80 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	174	35	28	167	-7	5	2 082
sous-totaux	174	35	28	167	-7	5	2 082
totaux	1 928	901	719	1 746	-182	128	51 205

Tableau 8.3.1-2 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

	électricité						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction de émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Direct							
< 80 MWh/an	234	234	156	156	-78	55	1 607
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	234	234	156	156	-78	55	1 607
PAC							
< 80 MWh/an	32	10	6	29	-3	2	66
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	32	10	6	29	-3	2	66
totaux	266	244	162	185	-81	57	1 673

Tableau 8.3.1-3 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

En additionnant les résultats des trois agents énergétiques illustrés par ces trois tableaux, près de 2'650 GWh de la consommation actuelle totale de 5'800 GWh des installations de chauffage pourraient être techniquement substituée par des systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées dans le canton de Genève. La baisse de la consommation qui en résulterait s'élèverait à 625 GWh et la réduction des émissions de CO₂ serait de 165 kilo-tonnes.

La deuxième série de trois tableaux concerne le potentiel technique de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève pour le mazout, le gaz et l'électricité.

	mazout						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	649	487	270	433	-216	162	67 061
80-200 MWh/an	793	595	330	529	-264	198	81 964
0,2 - 2 GWh/an	793	595	436	635	-159	119	49 178
> 2 GWh/an	1 370	1 028	754	1 096	-274	206	84 944
sous-totaux	3 605	2 704	1 791	2 692	-913	685	283 148
CAD							
< 80 MWh/an							
80-200 MWh/an							
0,2 - 2 GWh/an							
> 2 GWh/an							
sous-totaux							
totaux	3 605	2 704	1 791	2 692	-913	685	283 148

Tableau 8.3.1-4 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

	gaz naturel						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO2
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	26	20	11	18	-9	7	2 456
80-200 MWh/an	26	20	11	18	-9	7	2 456
0,2 - 2 GWh/an	18	13	10	14	-4	3	982
> 2 GWh/an	1 684	1 263	926	1 347	-337	253	94 316
sous-totaux	1 754	1 316	958	1 396	-358	268	100 210
CAD							
< 80 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	174	17	13	169	-5	3	1 388
sous-totaux	174	17	13	169	-5	3	1 388
totaux	1 928	1 333	971	1 565	-363	272	101 599

Tableau 8.3.1-5 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

	électricité						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	consommation nouvelle part substituable	consommation nouvelle totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Direct							
< 80 MWh/an	234	234	130	130	-104	78	2 143
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	234	234	130	130	-104	78	2 143
PAC							
< 80 MWh/an	32	32	18	18	-14	11	292
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	32	32	18	18	-14	11	292
totaux	266	266	148	148	-118	89	2 435

Tableau 8.3.1-6 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

En additionnant les résultats des trois agents énergétiques illustrés par ces trois tableaux, près de 4'300 GWh de la consommation actuelle totale de 5'800 GWh des installations de chauffage pourraient être techniquement substituée par des systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé dans le canton de Genève. La baisse de la consommation qui en résulterait s'élèverait à 1'395 GWh et la réduction des émissions de CO₂ serait de 387 kilo-tonnes.

La baisse de la consommation ainsi que la réduction des émissions de CO₂ seraient donc beaucoup plus importantes dans ce cas de figure. Ceci s'explique par le fait que toute la part substituable de chaleur est substituée uniquement par les PACs, toute la chaleur (40% de l'énergie primaire) d'un CC n'étant pas utilisée.

Cette conclusion montre également qu'il faut être prudent avec les systèmes à cycles combinés.

8.4 EXEMPLES D'APPLICATION

8.4.1 Champ-Manon à Genève

Dans le cadre du remplacement d'un chauffage électrique par une PAC dans une villa de l'ensemble du chemin de Champ-Manon à Bernex, Genève, les ingénieurs ont constaté que toutes les villas sont reliées au sous-sol par le parking souterrain et que ce parking dessert également trois immeubles locatifs.

Les 16 villas sont chauffées électriquement (radiateurs directs), les immeubles sont chauffés au mazout, chacun ayant sa propre chaufferie. Deux chaufferies ont été rénovées dernièrement, la troisième le sera l'année prochaine.

Dans le cadre d'une étude commandée par l'OCEN pour déterminer la faisabilité du remplacement de tous les chauffages électriques des villas par des PAC ([4]), un complément d'étude a été proposé pour déterminer la faisabilité d'un système PAC-CCF dans cet ensemble ([5]).

Deux variantes d'application ont été proposées, à savoir :

- Variante A : Raccordement de **plusieurs PACs individuelles à proximité des villas**. Il n'y a pas dans ce cas de distribution de chaleur. Production d'électricité par CCF.
- Variante B : Raccordement d'une **PAC collective avec distribution de chaleur par conduite à distance**. Le transport de chaleur par CAD est facilité par les garages communs. Production d'électricité par CCF.

Besoins thermiques et électriques actuels

	Flux énergétiques du site (immeuble + 8 villas)	
	Besoins pour les immeubles	Besoins pour les 8 villas
Energie primaire	1'300 MWh _{th} (chaleur)	-
Electricité	160 MWh _{el} (communs)	162 MWh _{el} (chauf. électrique direct)

Tableau 8.4-1 : Besoins thermiques et électriques du site

Résultats, consommations et disponibilité énergétiques

Le résultat des nouveaux besoins et de la production pour les deux variantes est identique et est présenté dans le tableau suivant :

	Consommation actuelle	Nouvelle consommation	Baisse de la consommation	Production d'électricité	Réduction émission de CO ₂
	MWh				T
CCF + PACs individuelles					
Mazout/gaz	1'300	1'100	-200		62
Electricité	160		-160		14
Total	1'460	1'100	-360	320	76
CCF + PAC collective					
Mazout/gaz	1'300	1'100	-200		62
Electricité	160		-160		14
Total	1'460	1'100	-360	320	76

Tableau 8.4-2 : Comparaison des consommations énergétiques des variantes

Diagrammes des flux énergétiques (Champ Manon, Genève)

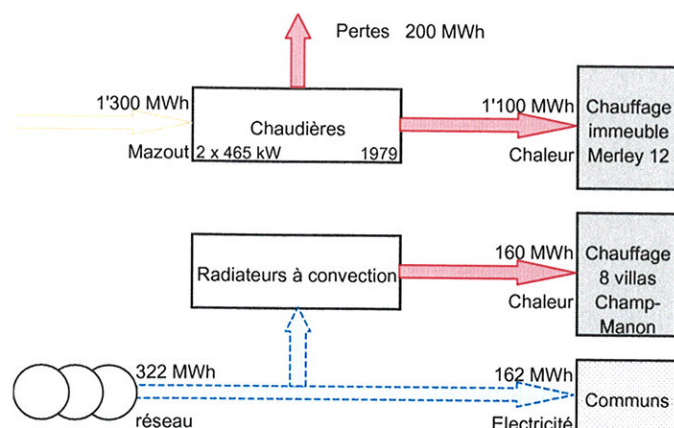


Figure 8.4-1 : Situation actuelle, chaudières à mazout et radiateurs électriques

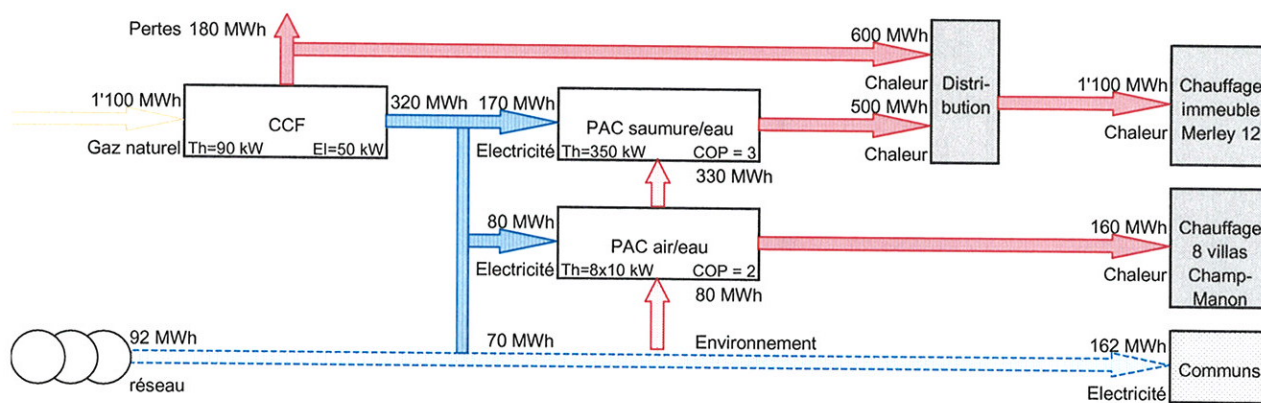


Figure 8.4-2 : Situation future, PACs et CCF décentralisées, variante A

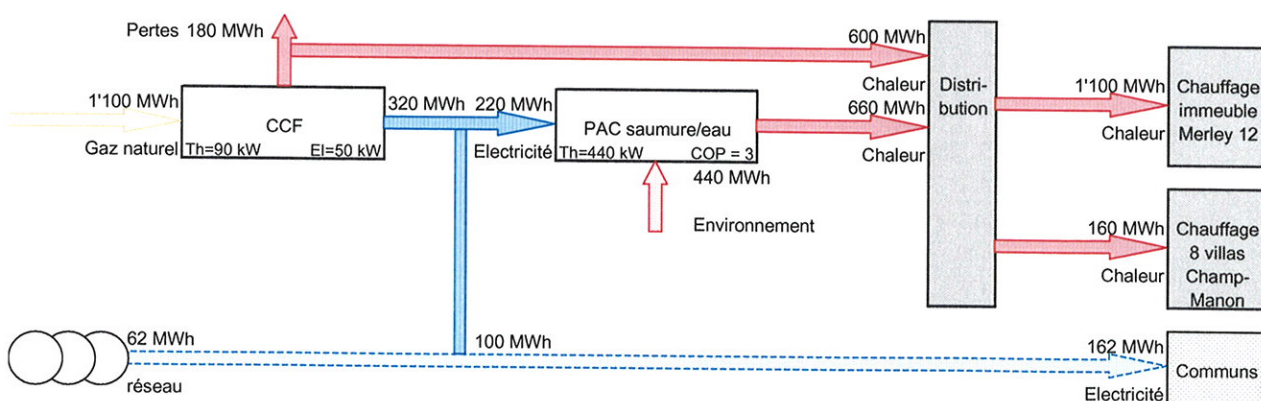


Figure 8.4-3 : Situation future, PACs et CCF décentralisées, variante B

8.4.2 Périmètre d'aménagement concerté (application globale pour Genève)

Il s'agit de l'application globale de la combinaison PAC-CCF à certaines zones définies par le plan directeur 2015 sur Genève. Cela implique une étude énergétique sur la base d'un plan localisé de quartier (PLQ) ou d'un périmètre d'aménagement concerté (PAC) et la définition d'un concept énergétique pour chaque zone.

Le principal obstacle d'un tel projet réside dans la réalisation par étapes sur une période donnée des bâtiments concernés par le PLQ ou le PAC.

Un concept énergétique efficace exige une production centralisée (par rapport à un groupe d'immeubles) et une participation de tous les propriétaires. Ces derniers ne sont pas tous acquis à l'idée d'investir bien avant de rentabiliser.

La solution pourrait se trouver dans la réalisation d'une production de chaleur (et d'électricité) par le « contracting » et la mise à disposition progressive des énergies en fonction de l'avancement du PLQ (exemple CADIOM).

Le contracteur désigné, une fois sa centrale réalisée, aura à disposition à certaines périodes des capacités de production excessives ne lui permettant pas de couvrir ses charges. Le Fonds Energie pourrait dans ce cas servir de relais pour financer à moindre frais cet excès de charges. Ce serait une application typique du but de ce Fonds.

Quant au contracteur, il pourrait être constitué de plusieurs intéressés publics et privés et exploiter la production d'énergie sous forme d'une « société d'économie mixte pour la production décentralisée d'électricité » (SEMPED). Participeraient à cette SEMPED, l'Etat de Genève, les SIG, les communes concernées, des privés (ingénieurs, architectes, propriétaires et autres).

AVANTAGES

- Contrôle de la production énergétique par la SEMPED;
- Système d'exploitation indépendant;
- Constructeur déchargé de l'investissement;
- Loyers moins chers;
- Charges de chauffage moins chers;
- Amortissement de l'investissement transféré sur les charges énergies;
- Production partielle d'électricité à impact neutre sur l'environnement;
- Près de 30% de moins d'énergie primaire pour obtenir le même but;
- Utilisation de l'énergie renouvelable.

INCONVENIENTS

- Investissement supplémentaire important, mais amorti en moins de temps que la durée de vie de l'installation;
- Besoin de **crédit relais** pour couvrir les pertes d'exploitation par manque d'utilisateurs énergétiques pendant une certaine période.

DEMARCHE

1. Définir les zones du plan directeur susceptibles d'être étudiées
2. Déterminer un cahier des charges pour le concept énergétique de la zone
3. Attribuer les études de faisabilité pour les zones sélectionnées
4. Analyser les résultats de ces études
5. Pour chaque zone étudiée et en fonction des conclusions de l'étude de faisabilité
 - décider de la suite des actions
 - continuer les études
 - former une SEMPED pour le contracting
 - mettre en place le financement
 - organiser le mécanisme du contracting
 - déterminer les périodes de constructions (planning du PLQ)
6. Déterminer les coûts d'exploitation excédentaires en fonction de la progression des constructions et de leur besoins énergétiques. Ces coûts proviennent principalement des intérêts et amortissement de l'investissement et de la surcapacité temporaire de l'installation
7. Fournir un crédit relais sans intérêt en complément au crédit leasing bancaire ou en substitution temporaire pour le financement du projet. Mettre au point le mécanisme de ce financement mixte.

BUT

Dans une zone définie pour de futures constructions, assurer une production décentralisée d'électricité pour produire de la chaleur au moyen de pompes à chaleur et utiliser cette chaleur pour le chauffage des bâtiments.

Décharger les promoteurs (constructeurs) de l'investissement pour la production énergétique et assurer cette dernière par une société de contracting de type SEMPED.

Etablir une exploitation énergétique indépendante et contrôlée.

9. CANTON DE NEUCHÂTEL

9.1 POLITIQUE ENERGETIQUE

(Extraits de [20])

Pour lui permettre de formuler les principes directeurs de la politique énergétique cantonale durant la décennie à venir, le Conseil d'Etat a arrêté en 1990 une conception directrice en matière d'énergie comme la loi cantonale sur l'énergie (LCE) l'exige.

Pour cela, il a confié en 1991 à la Commission cantonale de l'énergie (CCE) mandat de lui fournir tous les éléments technico-économiques nécessaires à une juste appréciation de la situation énergétique cantonale et de lui proposer une ligne de conduite claire, présentant des objectifs chiffrés et mesurables.

La loi cantonale sur l'énergie précisant que les objectifs de politique cantonale doivent tenir compte des principes arrêtés au niveau fédéral, la CCE a proposé au Conseil d'Etat de poursuivre les objectifs du programme Energie 2000 de la Confédération, mais en les adaptant pour tenir compte des particularités et des ressources propres au canton de Neuchâtel. Le résultat de ses travaux a fait l'objet d'un compte-rendu détaillé intitulé "Conception directrice cantonale de l'énergie de 1992" [14] qui a servi de base au rapport du Conseil d'Etat présenté en octobre 1993 au Grand Conseil.

La conception directrice cantonale de l'énergie de 1992 ne se limite pas à fixer des objectifs pour les dix années à venir, elle propose des programmes d'actions à mettre en œuvre pour les atteindre, dans l'oublier d'en évaluer les incidences légales (mise en vigueur de nouvelles dispositions) et financières.

S'agissant plus particulièrement de la cogénération, elle n'apparaît pas comme un objectif en tant que tel, mais s'affirme comme un instrument important qui permet d'atteindre certains des objectifs fixés.

L'apport supplémentaire de la cogénération à la couverture des besoins énergétiques du canton pour parvenir aux objectifs est chiffré, de même que le montant approximatif des investissements nécessaires à la réalisation des équipements y relatifs.

En voici le résumé :

	Puissance à installer [MW]		Apport énergétiques [mio kWh/an]		Investissements [mio Frs]		Délai prévisionnel	
	chaleur	électricité	chaleur	électricité	chaleur	électricité	chaleur	électricité
Biogaz de STEP	0,7	0,25	+5,3	+2,0	1,4	1,2	En fonction des projets	
Incineration des ordures et déchets	?	2,7	+29,0	+12,6	acquis		1992, 1995	
CCF dans centrales de chauffage avec CAD*	8	5	-15,0	+12,9	15,5		dès 1995	

(* L'apport de chaleur est compté négativement car ces installations utiliseront du gaz naturel provoquant ainsi une augmentation de la consommation d'agents fossiles qui devra être compensée par un apport supplémentaire d'énergie renouvelable.)

Tableau 9.1-1 : Objectifs cantonaux en matière de cogénération

Si, dans la conception directrice cantonale de l'énergie de 1992, la rentabilité de telles installations est admise pour ce qui est du biogaz de STEP et l'incinération des ordures, elle ne l'est pas à priori pour les centrales de chauffe alimentant des réseaux de CAD et encore moins dans le secteur privé. Il faut ajouter à cette situation qu'il n'existe actuellement pas de dispositions contraignantes ou promotionnelles s'appliquant à la cogénération, ce qui rend la réalisation de ces dernières installations fortement dépendantes de considérations purement économiques. Par contre, la quasi obligation pour les distributeurs publics d'énergie d'accepter les excédents d'électricité tirés d'énergies renouvelables ou de CCF existe aussi dans les dispositions cantonales.

La CCE s'est affairée à la révision de la loi cantonale sur l'énergie qui a été proposée au législatif neuchâtelois après que la loi fédérale ait été définitivement adoptée. De plus elle prépare en parallèle un projet de plan directeur de l'énergie qui s'intégrera dans le projet du nouveau plan directeur de l'aménagement du territoire qui devrait être adopté dans un avenir proche.

Ce survol de la situation nous confirme que celle-ci est complexe et qu'il n'est pas évident de proposer des solutions qui permettent de satisfaire simultanément aux principaux objectifs en matière d'énergie tels que fixés par la Constitution fédérale :

- garantir la prospérité,
- assurer un approvisionnement sûr, suffisant, économique et respectueux de l'environnement,
- encourager les économies d'énergie, la recherche et la substitution.

Les deux derniers volets de ces objectifs présentent un intérêt particulier pour notre étude.

9.2 INVENTAIRE ET STATISTIQUES

Après information prise auprès de l'office cantonal de l'énergie de Neuchâtel, nous avons constaté qu'il existe de nombreuses études ([13], [15] et [20]) dont les statistiques sont directement utilisables pour la présente étude.

L'inventaire des installations de cogénération, de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique dans le canton de Neuchâtel est présenté en **Annexe II**.

Le canton de Neuchâtel possède :

- 36 installations de cogénération décentralisées, fonctionnant principalement au gaz naturel, pour une puissance électrique totale de 1'389 kW et une puissance thermique totale de 2'338 kW. Elles produisent environ 12'900 MWh_{el}/an.
- 7 installations de cogénération centralisées avec trois usines d'incinération des ordures ménagères pour une puissance électrique totale de 62'750 kW.
- 15 chauffages à distance pour une puissance thermique totale de 104,8 MW, produisant environ 142 GWh/an.
- Pour les chauffages électriques, nous n'avons pas pu obtenir de statistique.

9.3 RESULTATS

Les résultats obtenus pour le canton de Neuchâtel par agent énergétique de chauffage et par catégorie pour les deux principes de système combiné PAC-CCF sont donnés dans les tableaux ci-dessous. Le détail des calculs intermédiaires est présenté en Annexe IV.

La première série de trois tableaux concerne le potentiel technique de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel pour le mazout, le gaz et l'électricité.

	mazout						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]						[T/an]
Chauffage							
< 80 MWh/an	182	55	36	164	-18	13	5 648
80-200 MWh/an	442	133	88	398	-44	31	13 717
0,2 - 2 GWh/an	664	332	265	597	-66	46	20 575
> 2 GWh/an	13	7	5	12	-1	1	403
sous-totaux	1 301	526	396	1 171	-130	91	40 343
CAD							
< 80 MWh/an							
80-200 MWh/an							
0,2 - 2 GWh/an							
> 2 GWh/an							
sous-totaux							
totaux	1 301	526	396	1 171	-130	91	40 343

Tableau 9.3.2-1 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

	gaz naturel						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO2
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	78	24	16	71	-8	5	2 195
80-200 MWh/an	216	65	43	194	-22	15	6 035
0,2 - 2 GWh/an	274	137	110	247	-27	19	7 681
> 2 GWh/an	13	7	5	12	-1	1	366
sous-totaux	581	232	174	523	-58	41	16 277
CAD							
< 80 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	81	16	13	77	-3	2	969
sous-totaux	81	16	13	77	-3	2	969
totaux	662	248	187	601	-61	43	17 246

Tableau 9.3.2-2 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

	électricité						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Direct							
< 80 MWh/an	30	30	20	20	-10	7	203
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	30	30	20	20	-10	7	203
PAC							
< 80 MWh/an	3	1	1	2	0	0	5
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	1	0	0	1	0	0	0
sous-totaux	4	1	1	4	0	0	5
totaux	34	30	20	23	-10	7	208

Tableau 9.3.2-3 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

En additionnant les résultats des trois agents énergétiques illustrés par ces trois tableaux, près de 800 GWh de la consommation actuelle totale de 2'000 GWh des installations de chauffage pourraient être techniquement substitués par des systèmes combinés PACs et CCFs décentralisés dans le canton de Neuchâtel. La baisse de la consommation qui en résulterait s'élèverait à 200 GWh et la réduction des émissions de CO₂ serait de 58 kilo-tonnes.

La deuxième série de trois tableaux concerne le potentiel technique de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel pour le mazout, le gaz et l'électricité.

	mazout						
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	réduction émission de CO ₂
	[GWh/an]				[T/an]		
Chauffage							
< 80 MWh/an	182	137	76	121	-61	46	18 827
80-200 MWh/an	442	332	184	295	-147	111	45 722
0,2 - 2 GWh/an	664	498	365	531	-133	100	41 150
> 2 GWh/an	13	10	7	10	-3	2	807
sous-totaux	1 301	976	632	958	-344	258	106 506
CAD							
< 80 MWh/an							
80-200 MWh/an							
0,2 - 2 GWh/an							
> 2 GWh/an							
sous-totaux							
totaux	1 301	976	632	958	-344	258	106 506

Tableau 9.3.2-4 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

	gaz naturel						réduction émission de CO2
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	
	[GWh/an]						[T/an]
Chauffage							
< 80 MWh/an	78	59	33	52	-26	20	7 315
80-200 MWh/an	216	162	90	144	-72	54	20 117
0,2 - 2 GWh/an	274	206	151	219	-55	41	15 362
> 2 GWh/an	13	10	7	10	-3	2	732
sous-totaux	581	436	281	426	-155	117	43 527
CAD							
< 80 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	81	8	6	79	-2	2	646
sous-totaux	81	8	6	79	-2	2	646
totaux	662	444	286	504	-158	118	44 172

Tableau 9.3.2-5 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

	électricité						réduction émission de CO ₂
	consommation actuelle	consommation potentielle substituable	nouvelle consommation de la part substituable	nouvelle consommation totale	baisse de la consommation	production potentielle d'électricité	
	[GWh/an]						[T/an]
Direct							
< 80 MWh/an	30	30	16	16	-13	10	271
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
sous-totaux	30	30	16	16	-13	10	271
PAC							
< 80 MWh/an	3	3	1	1	-1	1	24
80-200 MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
0,2 - 2 GWh/an	0	0	0	0	0	0	0
> 2 GWh/an	1	0	0	1	0	0	0
sous-totaux	4	3	1	3	-1	1	24
totaux	34	32	18	19	-14	11	295

Tableau 9.3.2-6 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

En additionnant les résultats des trois agents énergétiques illustrés par ces trois tableaux, près de 1'450 GWh de la consommation actuelle totale de 2'000 GWh des installations de chauffage pourraient être techniquement substitués par des systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé dans le canton de Neuchâtel. La baisse de la consommation qui en résulterait s'élèverait à 515 GWh et la réduction des émissions de CO₂ serait de 151 kilo-tonnes.

La baisse de la consommation ainsi que la réduction des émissions de CO₂ seraient donc beaucoup plus importantes dans ce cas de figure pour les mêmes raisons que précédemment.

Cette conclusion montre également qu'il faut être prudent avec les systèmes à cycles combinés.

10. ANALYSE DES RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Une analyse trop fine des résultats obtenus n'est pas nécessaire à ce niveau de l'étude, puisque ces résultats ne portent que sur le potentiel technique des systèmes combinés PAC-CCF. Ils méritent cependant quelques commentaires.

Nous pouvons constater dans les deux cantons une baisse importante de la consommation d'énergie primaire et ce quelque soit le principe des systèmes combinés PAC-CCF appliqué. Elle est évidemment plus importante dans les cas des systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé qui permet d'implanter des unités de pompe à chaleur décentralisée, que dans le cas de véritable système combiné décentralisé chaleur-force / pompe à chaleur. En effet, la potentialité technique d'implanter de manière décentralisée, c'est-à-dire directement sur site, uniquement des unités individuelles de pompes à chaleur est plus grande que d'implanter des systèmes combinés. De plus, la consommation des centrales à cycle combiné ne peut pas être prise en compte ici puisque qu'elle n'est pas imputable à la catégorie concernée.

En revanche, et c'est finalement relativement logique, l'aspect environnemental, c'est-à-dire la réduction des émissions de CO₂, est mieux pris en compte dans le cas de véritable système combiné chaleur-force avec pompe à chaleur décentralisée que dans les cas de cycle combiné centralisé avec pompe à chaleur décentralisée. La raison tient essentiellement au fait que le rendement énergétique global est meilleur, puisqu'un cycle combiné a un rendement théorique maximal de 60%.

La volonté politique de pousser l'un ou l'autre des principes de système combiné PAC-CCF va donc avoir une grande influence sur la consommation finale d'énergie primaire et sur la réduction des émissions de CO₂.

11. REMERCIEMENTS

Cette présente étude n'aurait pas pu se faire sans l'aide et le soutien des personnes suivantes que nous tenons particulièrement à remercier:

- Messieurs Rémy Beck et Christian Freudiger, respectivement adjoint au directeur et ingénieur du Service cantonal de l'énergie du canton de Genève,
 - et Messieurs Jean-Luc Juvet et Pierre-Sébastien Porret, respectivement chef du service et ingénieur de l'Office cantonal de l'énergie du canton de Neuchâtel,
- pour leurs nombreux conseils et la mise à disposition des documents.

Nous remercions également Messieurs Rognon et Zogg de l'Office fédéral de l'énergie pour leur disponibilité et leurs nombreuses recommandations.

Versoix, le 17 janvier 2002.

12. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Les noces de la cogénération et de la pompe à chaleur**, F. Rognon, Office fédéral de l'énergie, Cahier de l'électricité N°, 1999.
- [2] **Utilisation maximale de l'énergie primaire et réduction du CO₂ avec les systèmes de chauffage à pompe à chaleur**, M. Zogg, Oberburg, 1998.
- [3] **Pompes à chaleur indirectes à moteur à Gaz, marche à suivre**, Dr. Eicher + Pauli AG, mandat d'étude de l'Office fédéral de l'énergie, 1998.
- [4] **Etude pour le remplacement du chauffage électrique - Champ Manon**, CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA, mandat d'étude de l'Office cantonal de l'énergie de Genève, octobre 2000.
- [5] **Etude pour l'intégration d'un système combiné PAC-CCF - Champ Manon**, CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA, mandat d'étude de l'Office cantonal de l'énergie de Genève, complément, novembre 2000.
- [6] **WKK-Potentialstudie**, Studie im Auftrag des VSG, FOGA – Nr. 0053, Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal, mai 1997.
- [7] **Conception cantonale de l'énergie, Genève**, Office cantonal de l'énergie, septembre 1996.
- [8] **Plan directeur cantonal de l'énergie, Genève**, Office cantonal de l'énergie, février 2000.
- [9] **Annuaire statistique du canton de Genève - 2000, Énergie**, Office cantonal de la statistique, 2000.
- [10] **Concept énergétique pour le plan localisé du Jonc**, AMSTEIN+WALTHERT SA, mandat de l'Office cantonale de l'énergie, de la Commune du Grand-Saconnex et des propriétaires, octobre 1997.
- [11] **Concept énergétique pour le plan localisé de Lancy-Square**, AMSTEIN+WALTHERT SA et ENERGESTION SA, mandat de l'Office cantonale de l'énergie, de la Ville de Lancy et des propriétaires, septembre 1998.
- [12] **Concept énergétique pour le plan localisé de La Tour-le Pommier**, AMSTEIN+WALTHERT SA, mandat de l'Etat de Genève, de la Commune du Grand-Saconnex et des propriétaires, avec l'appui de l'Office cantonal de l'énergie, septembre 1999.
- [13] **Projet de loi cantonale sur l'énergie**, Rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil, République et Canton de Neuchâtel, décembre 1999.
- [14] **Conception directrice cantonale de l'énergie de 1992, bilan intermédiaire 1997**, Commission cantonale de l'énergie, République et Canton de Neuchâtel, mai 1998.
- [15] **Statistique 1998, portant sur la consommation finale d'énergie durant l'année 1998**, Service cantonal de l'énergie Neuchâtel, octobre 1999.
- [16] **Statistique 1999, portant sur la consommation finale d'énergie durant l'année 1999**, Service cantonal de l'énergie Neuchâtel, novembre 2000.
- [17] **Exploitation géothermique à Marin – Étude de faisabilité**, GéoRéponses et PLANAIR, mandat d'étude de l'Office fédéral de l'énergie, mai 1996.
- [18] **Concept énergétique des Jeunes-Rives à Neuchâtel, rapport d'analyse "centrale PAC"**, ENSA et Planair, , mandat d'étude de l'Office fédéral de l'énergie, février 1997.
- [19] **Pompe à chaleur à gaz des Jeunes-Rives, Neuchâtel**, Dr. Eicher + Pauli AG, mandat d'étude de l'Office fédéral de l'énergie, février 1995.
- [20] **Base de décision pour l'intégration de la cogénération dans la politique énergétique du Canton de Neuchâtel**, P.-S. Porret, EPFL, travail de diplôme postgrade, janvier 1998.
- [21] **EnergieSchweiz: WKK-Strategie 2000-2010**, HL Schmid, Tagung vom 11.05.01 der SES.

13. LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Tableaux :

Tableau 4.1-1 : état de la technique des groupes chaleur-force existants, par catégories de puissance.

Tableau 4.1-2 : état de la technique des pompe à chaleur existantes, par catégories de puissance.

Tableau 5.1.1-1 : Facteurs de conversion des émissions de CO₂ pour les différents agents énergétiques

Tableau 5.1.2-2 : Facteur de potentiel technique PACs et CCFs décentralisées

Tableau 5.1.2-3 : Facteur de potentiel technique PACs décentralisées et CC centralisé

Tableau 8.3.1-1 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

Tableau 8.3.1-2 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

Tableau 8.3.1-3 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Genève.

Tableau 8.3.1-4 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

Tableau 8.3.1-5 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

Tableau 8.3.1-6 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Genève.

Tableau 8.4-1 : Besoins thermiques et électriques du site

Tableau 8.4-2 : Comparaison des consommations énergétiques des variantes

Tableau 9.1-1 : Objectifs cantonaux en matière de cogénération

Tableau 9.3.2-1 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

Tableau 9.3.2-2 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

Tableau 9.3.2-3 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs et CCFs décentralisées pour le canton de Neuchâtel.

Tableau 9.3.2-4 : Potentiel technique pour le mazout de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

Tableau 9.3.2-5 : Potentiel technique pour le gaz de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

Tableau 9.3.2-6 : Potentiel technique pour l'électricité de systèmes combinés PACs décentralisées et CC centralisé pour le canton de Neuchâtel.

Figures :

Figure 4.2-1 : Flux énergétique d'un chauffage à combustion traditionnel.

Figure 4.2-2 : Flux énergétique d'une pompe à chaleur à compression.

Figure 4.2-3 : Flux énergétique d'un couplage chaleur-force.

Figure 4.3-1 : Flux énergétique PAC et CCF décentralisées avec un seul utilisateur.

Figure 4.3-2 : Flux énergétique PAC et CCF décentralisées avec plusieurs utilisateurs.

Figure 4.3-3 : Flux énergétique PAC(s) décentralisées ou non et CCF décentralisée avec plusieurs utilisateurs.

Figure 4.3-4 : Flux énergétique PAC(s) décentralisées ou non et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs.

Figure 4.3-5 : Flux énergétique PACs décentralisées et CC centralisé avec plusieurs utilisateurs.

Figure 8.4-1 : Situation actuelle, chaudières à mazout et radiateurs électriques

Figure 8.4-2 : Situation future, PACs et CCF décentralisées, variante A

Figure 8.4-3 : Situation future, PACs et CCF décentralisées, variante B

14. ANNEXES

- Annexe I : ***Inventaire des installations*** de cogénération, de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique dans le **canton de Genève**.
- Annexe II : ***Inventaire des installations*** de cogénération, de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique dans le **canton de Neuchâtel**.
- Annexe III : ***Évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF***, données d'entrée et résultats détaillés pour le **canton de Genève**.
- Annexe IV : ***Évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF***, données d'entrée et résultats détaillés pour le **canton de Neuchâtel**.

Annexe I

Inventaire des installations de cogénération,
de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique
dans le ***canton de Genève***

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Genève

Nom	Adresse	Localité	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation [kW]	Puissance thermique totale [kW]	Puissance électrique totale [kW]	Fonctionnement annuel [heures]	Production annuelle électrique [MWh]	Production annuelle thermique totale [MWh]	Technologie utilisée	Nombre d'agréats	Fournisseur des agréats	Type	Combustible	Date de mise en service
Petits CCF															
En service															
FIAT Charmilles		Genève				24	3'500	84	108		2	Saurer/Fiat	TOTEM	gaz nat.	1979
ETAT GENEVE		HOTEL DE POLICE				1'360	3'500	4'760	6'120		2	AMMANN/Caterpillar		gaz nat.	1994
SIG LE LIGNON		BATIMENT S.I.G.				1'360	3'500	4'760	6'120		2	Bimex (Saurer & Gislin)/WAUKESHA		gaz nat.	1995
SERONO		Plan-Les-Ouates				380	7'500	2'850	3'664		1	AMMANN/Caterpillar		gaz nat.	1995
BROWN-BOVERI		Genève				260	3'500	910	1'170		1	DIMAG/MVM		gaz nat.	1996
CHARMILLES	Av. G. Motta	Genève				1'400	3'500	4'900	6'300		2	AMMANN/Caterpillar		gaz nat.	1996
OFAC		Genève				120	3'500	420	540		1	DIMAG/LIEBHERR		gaz nat.	1996
TPG JONCTION		JONCTION				400	3'500	1'400	1'800		2	Bimex (Saurer & Gislin)/WAUKESHA		gaz nat.	1996
ETAT GENEVE		RUE DU STAND				650	3'500	2'275	2'925		1	DIMAG/MVM		gaz nat.	1997
TPG BACHET		BACHET				350	3'500	1'225	1'575		1	GM/DETROIT-DIESEL		mazout	1998
VILLE DE GENEVE		JARDIN BOTANIQUE				70	6'000	420	540		1	DIMAG/LIEBHERR		gaz nat.	1998
OMM		AV DE LA PAIX				250	3'500	875	1'125		1	Bimex (Saurer & Gislin)/WAUKESHA		gaz nat.	1998
GRAND PASSAGE		RUE DU RHONE				800	5'000	4'000	5'143		2	DIMAG/MVM		gaz nat.	2'000
ORT - ANIERES		ANIERES				120	3'500	420	540		1	DIMAG/LIEBHERR		mazout	2'000
PICTET		Genève				180	3'500	630	810		1	DIMAG/LIEBHERR		gaz nat.	2'000
total				0	0	7'724		29'929	38'480		21				
Projets															
BCG		Genève												gaz nat.	2'002
STADE DE GENEVE		Genève												gaz nat.	2'002
total				0	0	0		0			0				

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Genève

Nom	Adresse	Localité	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation [kW]	Puissance thermique totale [kW]	Puissance électrique totale [kW]	Fonctionnement annuel [heures]	Production annuelle électrique [MWh]	Production thermique annuelle [MWh]	Technologie utilisée	Nombre d'agréats	Fournisseur des agréats	Type	Combustible	Date de mise en service
<u>CCF dans STEP</u>															
<u>Hors service</u>															
STEP		VILLETTE				80						1 DIMAG/MVM		biogaz	1984
total				0	0	80		0			1				
<u>En service</u>															
STEP		NANT D'AVRIL				48	4'000	192	247		4	Saurer/Fiat	TOTEM	biogaz	1989
total				0	0	48		192	247		4				

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Genève

Nom	Adresse	Localité	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation [kW]	Puissance thermique totale [kW]	Puissance électrique totale [kW]	Fonctionnement annuel [heures]	Production annuelle électrique [MWh]	Production annuelle thermique totale [MWh]	Techonologie utilisée	Nombre d'agrégaats	Fournisseur des agrégaats	Type	Combustible	Date de mise en service
UIOM et centrales thermiques															
Hors service															
PAPETERIE		VERSOIX				4'500	8'000	36'000			1	TUMA-TURBOMACH/Solar		mazout	1'997
total				0	0	4'500		36'000			1				
En service															
HOPITAL CANTONAL		GENEVE				6'000	4'000	24'000			2			Vapeur	1'977
UIOM CHENEVIER		PENEY				30'000	8'200	246'000			2	ABB		Vapeur	1'978
CERN MEYRIN		MEYRIN				4'500	3'000	13'500	17'357		1	Solar		gaz nat.	1'996
total				0	0	40'500		283'500	17'357		5				

Unités de pompe à chaleur installées dans le canton de Genève

Type de PAC	Année 1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
eau / eau	0	1	0	1	0	0	0
sol / eau	1	3	1	13	11	8	10
air / eau	5	4	5	2	19	33	45
monofluide	16	13	15	48	20	0	0
Total général	22	21	21	64	50	41	55

Installations de chauffage électrique dans le canton de Genève

	Type de chauffage	Nombre	Puissance installée [kW]	Consommation [MWh]
Villas	Direct	1'525	17'414	23'631
	Accumulation	272	5'284	5'628
	Mixte	690	13'092	12'435
Total villas		2'487	35'790	41'694
Logements dans immeubles	Direct	637	4'463	6'346
	Accumulation	18	538	423
	Mixte	157	1'954	1'836
Total logements dans immeubles		812	6'955	8'605
Bâtiments mixtes	Direct	366	6'991	9'941
	Accumulation	30	4'462	3'509
	Mixte	65	1'393	1'291
Total bâtiments mixtes		461	12'846	14'741
Total général		3'760	55'591	65'040

Annexe II

Inventaire des installations de cogénération,
de pompe à chaleur, de CAD et de chauffage électrique
dans le ***canton de Neuchâtel***

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Neuchâtel

Nom	Adresse	Localité	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation [kW]	Puissance thermique totale [kW]	Puissance électrique totale [kW]	Fonctionnement annuel [heures]	Production annuelle électrique [MWh]	Production annuelle thermique totale [MWh]	Technologie utilisée	Nombre d'agréats	Fournisseurs des agréats	Type	Combustible	Date de mise en service
Petits CCF															
Hors service															
PAC Jeunes-Rives	Espace Louis-Agassiz	Neuchâtel	services/CAD	540	1'100	-	2'000	-	-	PAC-MG	2	DIMAG/Frigorex-Sulzer	TOTEM	gaz nat.	01.05.86
Copropriété Mont-de-Pitié	Ch. des Polonais	Cortailod	résidentiel	56	39	15	3'000	45	117	MG	1	Saurer		gaz nat.	02.01.81
En service															
Salle polyvalente Cortagor	Ch. des Draizes 23	Cortailod	services	56	39	15	3'000	45	117	MG	1	Saurer	TOTEM	gaz nat.	02.01.90
Musée d'Ethnographie	Rue St-Nicolas 4	Neuchâtel	services	56	39	15	4'500	68	176	MG	1	Saurer	TOTEM	gaz nat.	02.01.90
Auberge de Montézillon		Montézillon	services	56	39	15	3'000	45	117	MG	1	Saurer	TOTEM	propane	02.01.90
Transports en commun (Tr. Allée des Défricheurs	La Chaux-de-Fonds		services	200	105	60	2'500	150	263	MG	1	DIMAG	TOTEM	gaz nat.	01.12.94
F. Kneilwolf	Joux-Pélichet 3	Le Lode	industrie	56	39	15	3'000	45	117	MG	1	Saurer	TOTEM	gaz nat.	02.01.94
Collège des Gentianes	Rue des Ormes 3b	La Chaux-de-Fonds	services	56	39	15	3'000	45	117	MG	1	Saurer	TOTEM	gaz nat.	02.01.94
Collège des Coteaux	Rue du Lac 3	Peseux	services	111	70	30	2'500	75	175	MG	1	Saurer	Bibloc	gaz nat.	01.07.95
Centre commercial COOP	Près de la Porte	Couvvet	services	111	70	30	4'000	120	280	MG	1	Saurer	Bibloc	gaz nat.	02.02.97
Restaurant	La Tène	Marin	services	40	25	10	3'000	30	75	MG	2	Saurer Sachs		gaz nat.	01.07.97
ETMN	Av. du Technicum 26	Le Lode	services	540	290	180	3'500	630	1'015	MG	1	AMMAN/Caterpillar		gaz nat.	01.10.97
Hôtel-restaurant Trois-Roi	Rue du Temple 29	Le Lode	services	54	32	16	3'000	48	95	Diesel	3	BHKW (succ. de Saurer Sachs Heizoel	Sachs Heizoel	mazout	03.03.99
Coloral SA	Rue de Beauraigard 24	Neuchâtel	industrie	190	105	65	4'000	260	420	MG	1	Bimex (Saurer & Gisin)	DITOM (MWM-DIM)	gaz nat.	31.10.99

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Neuchâtel

Nom	Adresse	Localité	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation [kW]	Puissance thermique totale [kW]	Puissance électrique totale [kW]	Fonctionnement annuel [heures]	Production annuelle électrique totale [MWh]	Production annuelle thermique totale [MWh]	Technologie utilisée	Nombre d'agréats	Fournisseur des agréats	Type	Combustible	Date de mise en service
<u>CCF dans STEP</u>															
<u>Hors service</u>															
<u>En service</u>															
STEP La Saunerie	Allee du Port 4	Colombier		145	85	42	8'500	300	723	MG	1	DIMAG		biogaz	01.08.90
STEP Marin-Epagnier	Ch. de Maison Rouge	Marin		157	110	45	5'000	225	550	MG	3	Saurer	TOTEM	biogaz	01.11.90
STEP Neuchâtel	q. R.-Comtesse 8	Neuchâtel			315	180	8'000	1'440	2'520	MG	3	DIMAG		biogaz	01.05.98
STEP St-Aubin	CP 122	St-Aubin		20	13	6			0	MG	1	Sachs	5.5 B	biogaz	18.03.00
STEP Haut Val-de-Ruz	Les Quarres	Engollon			100	55	5'000	275	500	MG	1	DIMAG	DITOM	biogaz	01.08.00
STEP La Chaux-de-Fonds	Combe des Moulin 13c	La Chaux-de-Fonds	50'000		240	120	8'000	960	1'920		1				
total				322	863	448		3'200	6'213		10				
<u>Projets</u>															
STEP Le Landeron		Le Landeron			53	30	7'500	225		MG	1			biogaz	2002
total					53	30	7'500	225			1				

Installations de cogénération et de production thermique d'électricité dans le canton de Neuchâtel

UIOM et centrales thermiques

Code	Nom	Adresse	Localité	Coordonnées	Domaine d'utilisation	Puissance d'alimentation	Puissance thermique	Puissance électrique	Fonctionnement annuel moyen	Production annuelle électrique	Technologie utilisée	Nombre d'agréats	Fournisseur des agréats	Combustible	Date de mise en service	Remarques
En service																
R71UIOM	SAIOD	Cottendat	Colombier	555080	202490	CAD		4850	7000	33'950	TAV	1	ABB	ordures (butane)	1971	
R87UIOM	SAIOD	Cottendat	Colombier	555080	202490	CAD		2700	7000	18'900	TAV	1	ABB	ordures (butane)	1987	
R72UIOM	CRIDOR	Rue du Collège 31d	La Chaux-de-Fonds	554200	217550	CAD		2900	4500	13'950	TAV	1	ABB	ordures	1972	
R88CC	FNN		Cornaux	568970	208820	énergie	115000	44000	< 300	5000	TAG+TAV	2	Aishom	gaz nat. (mél EL)	01.12.1988	max. 300 h/an, Opair 86
R95CC	FNN (c/o SAIOD)	Cottendat	Colombier	555080	202490	énergie		4300	7500	32'250	TAG	1	TURBOMACH/Caterpillar	butane	01.11.1996	Opair 92
R39TAG	S.E. Neuchâtel	Max-Peltipierre 4	Neuchâtel	560270	204130	énergie		4000	< 50	120	TAG	1	88C	mazout EL	1939	max. 50 h/an
total									103'270			7				

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Adresse	Lieu	Type_installation	Puiss_évap_k	Puiss_cond_k	Mserv
Allée du Bied	Areuse	nappe aquifère, HEMAIR, capt. hydr./ 80 l./min.	17.0	27.0	7 1987
Rochettes 38	Auernier	sondes vert. 2 x 90 m, NEUCALOR	10.8	11	2 1988
	Les Bayards	sonde 70 m	3.9	1	1988
	Les Bayards	capt. terrestres	0.0		1900
ch. des Sources 5	Bevaix	capt. air-eau/ bi-énergie alternatif	3.7	6.2	10 1986
Rochettes 16	Bevaix	capt. air-eau/ mono-énergie/ STIEBEL	9.0		10 1986
Vignoble 29	Bevaix	capt. terr. NEUCALORA	12.5	8	10 1987
Buchaux 34	Bevaix	capt. air-eau Mantel/ + accumulateur 2'000 l.	5.5		1987
Ch. du Moulin 26	Bevaix	sondes vert. 2 x 80 m/ chauffage/ SHF	9.6		1986
Ch. du Moulin 26	Bevaix	capt. air-eau/ ECS/ SHF	1.5		1986
rue A.-Ribaux 9	Bevaix	capt. terr./ 430 m²	10.8	9	11 1987
Les Maladières 10	Bevaix	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif/ STIEBEL	4.2		10 1986
rue du Jordil 7	Bevaix	sondes vert. 2 x 50 m/ chauffage/ SAPAC	6.0		10 1992
ch. des Pommiers	Bevaix	capt. ?	5.0		1983
rue Alfred-Borel	Bevaix	capt. air-eau	2.5		1983
Vignes-de-Cuard	Bevaix	capt. terr./ 450 m²	11.3		1900
ch. du Moulin 18	Bevaix	capt. air/ 2'000 m³/h.	5.0		1900
ch. Chapons-des-Prés	Bevaix	capt. air-eau	5.0		1900
rue de la Prairie	Bôle	capt. ?	2.5		1982
ch. de Praz 27	Boudry	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif/ MANTEL	5.5		1987
Prés 33	Boudry	capt. air-eau	4.9	7	1988
Pré-des-Praz	Boudry	capt. terr. horizontaux	5.0		1982
Pré-des-Praz	Boudry	capt. terr. horizontaux	0.5		1982
Chemin des Prés	Boudry	capt. terr.	5.0		1979
ch. de Praz 8	Boudry	capt. air-eau	2.5		1983
Pré-des-Praz	Boudry	capt. terr. horizontaux	5.0		1982
Pré-des-Praz	Boudry	capt. terr. horizontaux	5.0		1982
La Sauge	Chambrelieu	Appliftechna, monofluide; 3 installations	16.8	25.8	1989
rue des Prés 44	Boudry	capt. terr./ 260 m²	6.5		1900
Rossets 14	Boudry	capt. terr./ 305 m²	7.6		1900
Vauladray	Les Brenets	sondes terr. 2 x 75 m/ FRIMATHERM	13.0		1994
Vauladray	Les Brenets	capt. air-eau	1.2		1994
chez Guenet	La Brévine	capt. air (récupérateur d'énergie)	5.0		1900
Les Moyats	Brot-Dessous	PAC air-eau - chauff.	9.0		1996

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Champs-Carrés	Le Cernex-Péguignot	capt. air/ 1'150 m ³	5.0	1900
La Sauge	Chambrelieu	capt. air-eau/ ECS + chauff. / AXERGIE	3.8	6 1988
Cerisiers 16	Chambrelieu	Applitechna, monofluide; registre terrestre 162 n	5.6	1989
Serre 14	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 790 m ² / NEUCALORA	19.8	4 1986
Croix-Fédérale 30	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ ECS/ CUENOD	5.5	6 1986
Charrière 125	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 250 m ² / chauff. sol/ NEUCALORA	6.3	9 4 1987
Mont-Jaques 13	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ NEOTEC	23.0	7 1987
rue Abr.-Robert 42	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif/ NEOTEC	2.5	1987
Epargne 12	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 462 m ² / ecs + CHAUFF. / NEUCALORA	11.1	7 1989
Chs-L'Eplattier 24	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 220 m ² / ECS + chauff. / NEUCALORA	5.5	18 4 1989
Cappel 72	La Chaux-de-Fonds	rempl. chauff. él./ chauff. SAPAC SO R7 O5 S	9.9	11 1996
Mont-Jaques 27	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif, AXERGIE	2.8	8 1988
Rocher 15	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif	3.3	1989
Valanvron 40	La Chaux-de-Fonds	Applitechna/ 3 logements	10.0	1989
Cerisiers 3	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 130 m ² / Applitechna	9.7	1990
Charrière 128	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ chauff. / STIEBEL-ELTRON	5.6	11 1991
Av. Ld-Robert 12-14	La Chaux-de-Fonds	capt. air	12.2	1992
Les Foullets 9b	La Chaux-de-Fonds	capt. air-air/ 2'500 m ³ /h	5.0	1900
rue du Collège 50	La Chaux-de-Fonds	capt. air/ par gaines d'air	5.0	1900
Succès 45	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ ECS/ MARKSA	5.0	1900
XXII-Cantons	La Chaux-de-Fonds	capt. air-air	48.0	1900
Bd des Eplatures 62	La Chaux-de-Fonds	PAC air-air réversibles pour clim.	5.0	1900
rue de Biaufond 22	La Chaux-de-Fonds	capt. air-air	10.6	12 1996
Couvent 39	La Chaux-de-Fonds	capt. terr./ 250 m ²	5.0	1980
Av. Ld-Robert 18	La Chaux-de-Fonds	capt. air-eau/ ECS	6.3	1900
Capitaine 7	La Chaux-de-Fonds	piscine prof. 32°/ AXERGIE	5.0	1900
Les Gillottes	La Chaux-du-Milieu	sondes vert. 2 x 50 m/ TERAMEX	0.0	1 1986
La Forge 117	La Chaux-du-Milieu	Störi-Teramex - TX 5171 V - chauff.	6.0	6 1991
Forges 111	La Chaux-du-Milieu	capt. vert.	11.5	11 1993
Ch. du Seu 2	Chézard-St-Martin	capt. air/ 9'200 m ³ /h	6.0	1992
Les Espérides	Chézard-St-Martin	capt. terr./ 238 m ² / NEUCALORA	5.0	1983
Grand'Rue 57	Chézard-St-Martin	capt. terr + atmosph. / 3 x 8,8 kW	5.5	1 1988
ch. des Bouleaux 3	Chézard-St-Martin	capt. ?	26.4	2 11 1990
		capt. air-eau	5.0	1982
			5.0	1900

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Champs Rinier 10	Chézar-d-St-Martin	capt. terr./ 310 m ²	7.8	1981
Champs Rinier 8	Chézar-d-St-Martin	capt. terr./ 310 m ²	7.8	1981
Champs Rinier 6	Chézar-d-St-Martin	capt. terr./ 310 m ²	7.8	1981
	Chézar-d-St-Martin	villa Applitechna	5.0	1900
Cerisiers 23	Gorgier	capt. terr./ NEUCALORA	10.0	11 1987
av. Belvédère 40	Chez-le-Bart	capt. terr/ 350 m ² / NEUCALORA	10.5	1991
Petites-Crosettes 16	La Cibourg	capt. air-eau/ monoénergie/ STIEBEL ELTRON	5.6	17 12 1993
Dîme 5a	Coffrane	sondes vert./ 2 x 40 m	4.8	1994
av. Longueville 11	Colombier	capt. air/ 2'250 m ³ /h./ MARKSA	5.0	7.2 1978
Rives du Lac 42	Colombier	capt. hydr./ 40 l./min.	8.4	1982
Peupliers 3	Bôle	capt. air-eau BBC	4.9	1997
Niclaudes 6	Cormondrèche	capt. air/ 300 m ³ /h.	5.0	1900
Ch. des Nods 32	Corcelles	capt. terr./ 300 m ²	7.5	1900
Ch. Vert 5	Cormondrèche	sondes vert./ 4 x 55 m	13.2	1991
La Pistoule 38	Cormondrèche	sbv refusée, mise en service prématurée	5.0	1994
La Pistoule 6	Cormondrèche	capt. terr./ 400 m ²	10.0	1984
Sous-le-Peu 6	Cornaux	capt. terr./ 280 m ²	7.0	1900
Le Tilleul	Cortaillod	sondes vertic. 5 x 80 m/ NEUCALORA	24.0	23 7 1991
ch. des Polonais	Cortaillod	stockage saisonnier	20.0	1980
	Cortaillod	7 sondes/ stockage/ TOTEM	27.0	1990
Champ-du-Tronc 16	Couvét	NORSEL MYRIAN 7	10.2	9 1991
Grand-Rue 25 b	Fontaines	Applitechna, registre terrestre	7.0	6 1996
Le Châble	Couvét	Applitechna	10.0	1990
rue Ed.-Dubied 3	Couvét	capt. air/	5.0	1900
Chemin des Vergers 13	Cressier	sondes vert. 2 x 80 m/ SHF	9.6	12 1986
En-Bas-le-Port	Cressier	sondes vert. 4 x 90 m	21.6	1988
Ronds-Bossons 1	Cressier	capt. air-eau/ ECS + chauff./ PAXE	3.6	1989
Les Herses 32	Le Crêt-du-Locle	capt. terr./ 250 m ² / NEUCALORA	6.3	10 1986
Les Herses 28	Le Crêt-du-Locle	capt. terr./ 900 m ²	22.5	1900
ch. de l'Orée 1	Dombresson	capt. atm./ ECS +chauff. / AXERGIE	2.7	11 1985
	Dombresson	sondes vert. 3 x 75 m (3 villas)	13.5	1988
Allée des Peupliers 3	Dombresson	capt. air-eau (local compresseur)	5.0	1900
Crêt-du-Feu	Enges	capt. terr./ NEUCALORA	5.5	11 1987
Brise-Cou	Enges	capt. ?	5.0	1982
Les Graverreules	Enges	chauff. + ECS/ AXERGIE Paxe 28 R. v. G.	25.0 10	4 1997

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

La Campagnière	Lignières	capt. hydr./ 67 l/min	9.0	1988
Jolimont 27	Le Locle	capt. atm./ AXERGIE	1.8	12 1985
Grand-Rue 22	Le Locle	sondes vert. 2 x 60 m/ MANTEL	7.2	10 1989
rue du Temple 7	Le Locle	sondes vert. 120 m/ 2 x 60 m + air-eau ECS	7.2	2 1990
La Jaluse	Le Locle	capt. air/ par gaines d'air	5.0	1900
Av. du Technicum 37	Le Locle	capt. air/ rejet à l'extérieur	5.0	1900
Les Replattes 6	Le Locle	capt. air/ radiateurs	5.0	1900
Fougères 24	Le Locle	air-eau/ capsoil/ bois/ serre	4.5	1983
Monts-Orientaux 4	Le Locle	capt. air/ ferme 870 m ² (ventilo-convecteurs)	5.0	1900
ch. Malakoff 21	Le Locle	capt. air-eau	5.0	1900
La Jaluse 4c	Le Locle	capt. air/ par gaines d'air	5.0	1900
Grand-Rue 24	Le Locle	chauffage P 80/ AXERGIE	0.0	7 1986
rue Louis-de-Meuron 11	Marin-Epagnier	capt. hydr./ 100 l/min	21.0	1900
Les Pommerets	Montezillon	SOFATH/ Applitechna - chauff.	17.6	10 1993
	Montmollin	sondes vert. 2 x 80 m	9.6	4 1987
Sous-la-Roche	Montezillon	chauff./ PAC eau/eau (remplacement chauff ma	11.6	1995
Grand-Rue	Môtiers	capt. terr./ NEUCALORA	5.8	9 1986
Brandards 50	Neuchâtel	capt. air-eau/ bi-énergie alternatif/ NEUCALORA/	7.9	22 1 1987
Ste-Hélène 1	Neuchâtel	capt. air-eau/ ELCO	1.7	1987
rue J.-J. Lallemand 1	Neuchâtel	1 sonde vert. 85 m/ NEUCALORA	5.1	5 11 1987
Petit-Pontarlier 4	Neuchâtel	sondes vert. 2 x 70 m	8.4	22 2 1989
Pierre-à-Bot 24	Neuchâtel	gaz à absorption/ sondes verticales 2 x 80 m	11.4	1991
ite des Falaises 30	Neuchâtel	capt. air vicié	110.0	1990
Pierre-à-Bot 24	Neuchâtel	PAC à absorption 23.5 kW	6.0	1997
Evoile 104	Neuchâtel	capt. air/ 660 m ² /h	5.0	1900
Jeunes-Rives	Neuchâtel	capt. eau-eau/ PAC à gaz	1'000.0	
Champ-de-la-Pierre	Noiraigue	capt. terr./ 260 m ² / ECS + chauff./ NEUCALORA/	8.4	1991
Rue du Lac 3	Peseux	36 sondes verticales de 50 m + stockage/ P+D	48.0	24 12 1996
Prairie 15	Les Ponts-de-Martel	capt. terr./ 320 m ² / ECS + chauff./ NEUCALORA/	8.0	1989
Grand-Rue 22	Les Ponts-de-Martel	capt. terr./ 390 m ² / ECS + chauff./ NEUCALORA/	9.8	30 3 1990
Bugnon 9	Les Ponts-de-Martel	SOFATH/ Applitechna - chauff.	10.6	11 1993
Grand'Rue 24	Les Ponts-de-Martel	Chauff./ 2 PAC 2 x 3.43 kW	6.9	1994
Bugnon 1	Les Ponts-de-Martel	capt. terr./ Applitechna	5.0	1992
Les Grattes	Rochefort	capt. SAPAC STIEBEL ELTRON - air/eau	15.0	1991
Crêt 57	La Sagne	ECUBE, type 18,7/ ECS + Ch	18.7	7 1997

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Le Bied	Fenin	air-eau/ monoénergie/ SAPAC/ chauff. sol	3.2	1989
Zone des Perveuils	Colombier	Sapac eau-eau	3.3	1996
Ch. de l'Orée	Marin-Epagnier	PAC air-air réversibles pour clim.	10.6	1996
Acacias 10	Fleurier	capt. terr./ 320 m²/ ECS + chauff. sol/ NEUCALC	8.0	1987
Ch. de l'Orée	Fleurier	NEUCALORA - 65 2040 - chauff.	15.7	1994
Acacias 10	Fleurier	capt. terr./ 340 m²	8.5	1990
Ch. de l'Orée	Fontainemelon	capt. terr.	5.0	1983
Acacias 10	Fontainemelon	ECS + chauff./ AXERGIE	0.0	1988
Ch. de l'Orée	Fontaines	capt. terr.	13.2	1990
Ch. de l'Orée	Fontaines	Paxe 28 RVG (28 m² CST)	14.0	1994
Ch. de l'Orée	Fontaines	Applitechna, registre terrestre	7.0	1996
Ch. de l'Orée	Fontaines	capt. air/ 300 m³/h	5.0	1990
Ch. de l'Orée	Fontaines	capt. air/ 1'400 m³	5.0	1980
Ch. de l'Orée	Les Geneveys-sur-Coffr. ?	sondes vert. 3 x 50 m	9.0	1988
Ch. de l'Orée	Gorgier	capt. air-eau	2.5	1982
Ch. de l'Orée	Gorgier	sondes vert. 2 x 70 m	10.8	1983
Ch. de l'Orée	Gorgier	capt. terr./ 680 m²	17.0	1982
Ch. de l'Orée	Gorgier	capt. hydr./ 80 l./min	16.8	1990
Ch. de l'Orée	Hauterive	capt. terr. 250 m²/ NEUCALORA	6.3	1986
Ch. de l'Orée	Hauterive	capt. terr./ 1'000 m²/ 3'000 m tubes	25.0	1980
Ch. de l'Orée	Les Hauts-Geneveys	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif/ PAXE	2.5	1986
Ch. de l'Orée	Les Hauts-Geneveys	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif	2.8	1988
Ch. de l'Orée	Les Hauts-Geneveys	Marksa EEE 1800 sol/eau	9.6	1996
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. air-eau/ bi-énergie, alternatif	3.5	1987
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. air-eau/ 3'100 m³/h/ SIEBEL ELTRON	4.8	1987
Ch. de l'Orée	Le Landeron	SIX MADUN air-eau SML 50 - chauff.	2.4	1995
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. air-eau	5.0	1984
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. air	2.5	1984
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. terr.	5.0	1980
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. ?	5.0	1981
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. ?	5.0	1980
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. air/ par gaines d'air	5.0	1990
Ch. de l'Orée	Le Landeron	sondes vert. ?	9.0	1980
Ch. de l'Orée	Le Landeron	capt. terr./ 225 m²	5.6	1990

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

L'Eglise	La Sagne	capt. terr.	5.0	1981
Clos-à-Bec 6	La Sagne	capt. terr./ 250 m²	6.3	1983
	Saules	capt. terr.	3.9	21 7 1989
	Saules	capt. terr./ ECS + chauff.	8.0	10 6 1992
	Saules	capt. ? maison familiale	5.0	1985
	Saules	capt. terr.	3.9	1980
	Saules	capt. atm./ Axergie Paxe 14	6.1	1996
	Saules	capt. ?, maison familiale	5.0	1985
Résidence de l'Erable	Savagnier	capt. air-eau 9 kW + terr. 513 m²	21.8	4 1990
rue des Corbes 2	Savagnier	air-air/ séchage de foin	15.0	1988
Les Venelles 2	Savagnier	capt. _ ?	5.0	1980
Av. du Lac 55	Saint-Aubin	capt. air-eau, fontaine ECS + chauff.	17.0	3 1989
Sauges	Saint-Aubin	capt. terr.	4.0	1985
ch. Chair-d'Ane	Saint-Blaise	cap. air-eau SIX MADUN SML64	8.1	10 1993
rue de Neuchâtel 19	Saint-Blaise	capt. hydr./ 28 l/min	5.9	1981
rue Dardel 3	Saint-Blaise	capt. air-eau/ 3'700 m³/h	5.0	1900
Les Ouches 6a	Saint-Blaise	capt. terr. 204 m²/ capt. atm. 57 m²	6.0	1900
Les Tilleuls	Saint-Martin	capt. terr./ 445 m²/ ECS + chauff./ HEMAIR	11.1	1986
Blu 2	Saint-Martin	capt. terr./ APPLITECHNA	29.4	1988
Les Broillets 48	Thielle-Wavre	capt. terr. 250 m²/ évapor. directe/ FRIMATHER	6.3	1991
	Travers	sonde vert. 85 m	5.1	1987
Champ-de-la-Pierre	Travers	capt. air	2.0	1980
Mont-de-Travers	Travers	Applitechna, registre terrestre	5.0	1900
Bois-Monney	Vaumarçus	capt. air-eau/ NORSEL VP O 75	5.0	1984
Grand-Bourgeau 117	Les Verrières	sondes vert. 3 x 70 m	12.6	1900
rue des Moulins 7	Saint-Blaise	sondes vert./ NEUCALORA	15.0	1990
ch. de la Citadelle 23	Les Ponts-de-Martel	2 PAC-radiateur Hegnertherm 160	0.9	
Crêt-du-Châble 5	Villiers	sol-eau SAPAC S0R704s	2.7	
Montagnons 13	La Chaux-de-Fonds	PAC_rad - LB 160 (2 pièces)	10.4 16	5 1997
Grand-Rue 25 b	Fontaines	Applitechna, registre terrestre	2.7 14	5 1998
En Galilée 6	Bevaix	SAPAC S0R703P	10.4	6 1996
F.-W. Dubois 9	Le Locle	PAC-radiateur	8.9	
Grand-Rue 53	Corcelles	PAC-radiateur LB130	0.9	1997
	Montezillon	PAC-radiateur LB160	1.2	1997
Petit-Bois 1	Les Ponts-de-Martel	Siemens SI-9 sol-eau / sonde 1 x 100 m	8.1 30	1 1997

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Aux Corbes parcelle 10 Savagnier	SAPAC ERSET Type PCO M40/20 mod. SO RF	6.0			
parcelle n° 5608	SAPAC 50 R7.04.S	6.4			
Saules 6	Stibel Eltron CURW 08E.12E	3.3			
La Jonchère	SAPAC Type 50 R7.04S	7.0			
ch. du Collège 5	SAPAC 50 R7 04S	7.5			
Les Combettes	SAPAC	18.1			
rue de l'Helvétie 41	HEIM LW 1500 / air-eau	7.1			
Robella 8	Sapac Amazone 40 / monovalent	8.8			
Aux Limons	SAPAC sondes verticales sol-eau	5.9			
Petit-Martel	SOFATH	8.0			
Charrière 21 a	PAC_radiateur, 1 x LB 160	0.6			
Le Breuil	PAC électr.	7.9			
Colline 17	sondes géothermiques 2x70 m	5.0			
Recome 24B	PAC - radiateurs 3 pces	1.0			
Rue F.-W. Dubois 9	PAC - radiateurs	0.3			
Rue du Temple 16	PAC, sondes SAPAC SOR705P	9.9			
	Hegnetherm LB 160	0.4			
Le Cachot 34	SAPAC SOR704, sondes	6.9			
Fermes des Combettes	SAPAC SOR711S, sonde	18.0			
La Pistoule 2	SAPAC SOR707, sonde	11.8			
Les Corbes	SAPAC - Sondes	6.8			
	SAPAC SOR704, sonde	6.9			
Allouette 7	E2SCUP115ODBE, sonde	14.2			
Naefels 34	Hegnetherm / Ecube SA LB100, Luft	0.2			
Rue des Montagnons 3	PAC Hegnertherm / Ecube SA 1 x LB100, 130,	0.9			
Pomologie 1	Ecube SA LB130, luft	0.3			
La Carrée Bourgonde	SAPAC SOR712S, sonde	22.6			
Esserts 23	SAPAC SOR/06, Erdkollektor	10.2			
rue de la Cure 10	Ecube SA LB160, Wärmequelle	1.8			
te des Bosses 1d	SAPAC SOR7035, sonde	5.9			
Charles-L'Eplattenier 6	2xLB130, 2xLB160	1.4			
Littoral 13		0.0			
Ch. des Virettes 8		0.0			
Vanel-Dessus	Les Geneveys-sur-Coffr. Pompe à chaleur radiateur (3 pièces à 1350 W).	2.1			
Grand-rue 63		0.0			

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

Chasselas 11	Neuchâtel		0.0				1997
Tête de Ran	Les Hauts-Geneveys	SOR702	5.2		7.8	11	1997
Aux Grands Vignes	Vaumarcus	SAPAC	9.3		14.0	10	1998
Les Essorbiers	Bevaix	SAPAC	7.9		10.4	10	1998
	Montmollin		0.0			10	1998
rue des Olives 6b	La Chaux-de-Fonds	Sixmadum, sondes - combiné avec solaire (mêr	8.0		10.4		
ch. de Bayard 17	Saint-Aubin	Hegnetherm	0.0		47.0		1900
Loclat 25	Colombier	RVG	7.1		11.9		1900
Vieux Patriotes 60-62	La Chaux-de-Fonds	PAC, collecteur terrestre	14.0		18.7		
Chapelle 11	La Chaux-de-Fonds	PAC-radiateur, 3 fois LB 100	0.6		1.8	1	7 1998
Rue de la Gaine 1	Chez-le-Bart	PAC - sondes / SAPAC	7.9		10.4		
Perreuses 11	Neuchâtel	SAPAC - sondes	27.0		19.6		
Les Loges	La Vue-des-Alpes	SAPAC SOR703P - sondes	6.8		8.9		
La Cape	Coffrane	SAPAC SOR7045, électrique	8.3		9.5	8	1 1999
Gaine 1	Chez-le-Bart	Siemens - WI (eau souterraine) = capteurs d'eau	12.0		15.0	30	8 1998
Chambrellen	Rocheport	SAPAC SOR702	4.3		6.5	7	7 1998
Praz 12	Boudry	Autoterm Golf 2	2.0		6.0		
Chemin du Rosy	Colombier	Sofath SO-120	8.2		10.9		
	Le Prévoux	PAC Electrique - Hegnetherm LB160			15	11	1998
Les Rochettes	Bevaix	Novelan SI 8P	6.4		8.1		
Rue des Cerisiers 14	Gorgier		7.6		9.8		
ch. des Vignettes 11	Cressier	Sapac SOR 703	4.2		8.9		1997
ch. Deleynes 19	St-Blaise	SAPAC R7 06 5	10.8		3.8		1997
	Vilars	SIXMADUN	13.4		16.9		
Petites Vignes 30	Sauges	SAPAC SOR710	13.1		20.6		
Rue du Lac	Le Landeron	PAC électrique Hegnetherm air/air	3.2		6.8		
ch. des Argilles	Cressier	SAPAC	6.0		7.8		
Le Camp	Vaumarcus	LB 160 ECUBE	2.6		13.5		
Rue des Usines 90	Neuchâtel		120.0		180.0		1900
La Combe	Chézard-St-Martin	SOPAC ETNA 40	7.5		9.5		
Voisinage 7	Le Locle	SOLO Z49-10.4	8.4		10.8		
Trois-Rods 2a	Boudry	capt. terr. 270 m2	6.8				1900
Ch. des Vignes Perdues	Bevaix	SAPAC Eina 40 - Sondes verticales	7.5		9.5		
St-Hélène 37	Neuchâtel	SixMadun SMW cz HE - sondes verticales	5.4		7.1		
Champs Carrés/pré cha Rocheport		Heliotherm - type H01L	8.2		10.7		

Unités de pompe à chaleur dans le canton de Neuchâtel

La Tour	Le Landeron	Heim SW 1-85	6.3	8.1
Ch. du Belvedere	Gorgier	Novelan R407C	2.7	11.8
Pommiers 23	Bevaix	Stiebel Eltron WPWE 14 kW - sondes verticales	11.1	14.4
Les Petits Bayards	Les Bayards	SAPAC Etna 34	6.4	8.1
Courte Creye	Boveresse	SAPAC Etna 22	4.2	5.3
			3'388.5	4'151.0
			11.9	

Réseaux de chauffage à distance dans le canton de Neuchâtel

Combustibles	Nombre de bâtiments raccordés	Puissance thermique installée [MW]	Energie annuelle consommée [MWh]	Coordonnées
Troncs 12, Serrières	5	2	3'500	558'890 203'670
Maladière, Neuchâtel	37	17	19'200	562'470 205'230
Terreaux, Neuchâtel	26	7	6'190	561'400 204'750
Mail, Neuchâtel	5	6	5'200	563'010 205'640
CADEM, Neuchâtel	2	0.6	705	561'120 204'820
Recorne, La Chaux-de-Fonds	16	2	4'500	552'150 216'590
Numa-Droz, La Chaux-de-Fonds	60	6.4	11'500	552'560 216'310
SCCU, La Chaux-de-Fonds	110	27.1	48'000	554'130 217'610
CADBAR	59	12	13'500	555'070 202'490
CAD, Le Locle	38	16	14'450	547'300 211'750
Burgat, St-Aubin	15	2 + 0.85	4'500	549'090 193'980
Les Bayards	11	0.7 + 0.12	1'020	530'170 196'710
Chéizard-St.-Martin	7	0.8 + 0.4	820	561'070 212'630
Z.I., Cormaux	6	0.45 + 0.25	1'000	568'060 209'390
Hôpital psychiatrique cantonal,				
Perreux	14 + 5	2.91 + 0.22	8'000	552'770 199'770
totaux		104.8	142'085	

Jeunes-Rives* chaleur ambiante+électr. 562'210 204'860

* centrale hors service, chaleur fournie par CUM

Annexe III

***Évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF,
données d'entrée et résultats détaillés
pour le *canton de Genève****

Potentiel technique

Gaz consommation actuelle : 1'928 GWh/an

secteur chauffage

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation actuelle [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituée par CCF [GWh/an]	part substituée par PAC [GWh/an]	consommation = par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation = par chaudière [GWh/an]	d'appoint nouvelle consommation [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituée [GWh/an]	nouvelle consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de l'émission de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)														
	91%													
< 80 MWh/an		2%	26	30%	8	30%	2	70%	6	67%	5	24	23%	2
80 - 200 MWh/an		2%	26	30%	8	30%	2	70%	6	67%	5	24	23%	2
0,2 - 2 GWh/an		1%	18	50%	9	18%	2	42%	4	40%	7	16	14%	1
> 2 GWh/an		96%	1'684	50%	842	18%	152	42%	354	337	674	1'516	14%	118
total		100%	1'754		867	158	158	368	351	340	691	1'579	123	49'123
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé														
	91%													
< 80 MWh/an		2%	26	75%	20	0%	0	100%	20	56%	11	18	33%	7
80 - 200 MWh/an		2%	26	75%	20	0%	0	100%	20	56%	11	18	33%	7
0,2 - 2 GWh/an		1%	18	75%	13	0%	0	60%	8	73%	10	14	20%	3
> 2 GWh/an		96%	1'684	75%	1'263	0%	0	60%	758	505	926	1'347	20%	253
total		100%	1'754		1'316	0	0	805	447	511	958	1'396	268	100'210

Potentiel technique

Gaz

consommation actuelle : 1'928 GWh/an

secteur CAD

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation actuelle [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentiellement substituable [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituable par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation par chaudière par appoint [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituable [GWh/an]	nouvelle consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de l'émission de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)													
	9%												
< 80 MWh/an		0%	0	0%	0	30%	0	67%	0	67%	0	23%	0
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	30%	0	67%	0	67%	0	23%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	18%	0	40%	0	40%	0	14%	0
> 2 GWh/an		100%	174	20%	35	18%	6	40%	14	80%	167	5	2'082
total		100%	174		35		6	14	14	28	167	5	2'082
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé													
	9%												
< 80 MWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	56%	0	56%	0	33%	0
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	56%	0	56%	0	33%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	33%	0	73%	0	20%	0
> 2 GWh/an		100%	174	10%	17	0%	10	33%	7	73%	169	3	1'388
total		100%	174		17	0	10	6	7	13	169	3	1'388

Potentiel technique

Electricité

consommation actuelle : 266 GWh/an

secteur chauffage

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation technique [GWh/an]	PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)										consommation totale [GWh/an]				production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de CO2 [t/an]
	88%																		
< 80 MWh/an	100%		234	100%	234	30%	70	164	67%	156	0%	0	67%	156	156	23%	55	0.02	1'607
80 - 200 MWh/an	0%		0	0%	0	30%	0	0	67%	0	0%	0	67%	0	0	23%	0	0.02	0
0,2 - 2 GWh/an	0%		0	0%	0	18%	0	0	40%	0	40%	0	80%	0	0	14%	0	0.02	0
> 2 GWh/an	0%		0	0%	0	18%	0	0	40%	0	40%	0	80%	0	0	14%	0	0.02	0
total	100%		234		234	70	164	156	0	156	156	0	156	156	156	55	1'607		
	88%																		
< 80 MWh/an	100%		234	100%	234	0%	0	234	56%	130	0%	0	56%	130	130	33%	78	0.02	2'143
80 - 200 MWh/an	0%		0	0%	0	0%	0	0	56%	0	0%	0	56%	0	0	33%	0	0.02	0
0,2 - 2 GWh/an	0%		0	0%	0	0%	0	0	33%	0	40%	0	73%	0	0	20%	0	0.02	0
> 2 GWh/an	0%		0	0%	0	0%	0	0	33%	0	40%	0	73%	0	0	20%	0	0.02	0
total	100%		234		234	0	234	130	0	130	130	0	130	130	130	78	2'143		

Potentiel technique

Electricité

consommation actuelle : 266 GWh/an

secteur PAC

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituable par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation par chaudière [GWh/an]	d'appoint [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituable [GWh/an]	nouvelle consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de l'émission de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)															
	12%														
< 80 MWh/an		100%	32	30%		10	30%	7	67%	6	0	67%	29	23%	2
80 - 200 MWh/an		0%	0	50%		0	30%	0	67%	0	0	67%	0	23%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%		0	18%	0	40%	0	40%	80%	0	14%	0
> 2 GWh/an		0%	0	0%		0	18%	0	40%	0	40%	80%	0	14%	0
total		100%	32			10		7	6	6	0	6	29		66
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé															
	12%														
< 80 MWh/an		100%	32	100%		32	0%	32	56%	18	0	56%	18	33%	11
80 - 200 MWh/an		0%	0	100%		0	0%	0	56%	0	0	56%	0	33%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%		0	0%	0	33%	0	40%	73%	0	20%	0
> 2 GWh/an		0%	0	0%		0	0%	0	33%	0	40%	73%	0	20%	0
total		100%	32			32		32	18	18	0	18	18		292

Annexe IV

***Évaluation du potentiel des systèmes combinés PAC-CCF,
données d'entrée et résultats détaillés
pour le *canton de Neuchâtel****

Potentiel technique

mazout

consommation actuelle : 1'301 GWh/an

secteur chauffage

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation actuelle [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituée par CCF [GWh/an]	part substituée par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	consommation nouvelle par chaudière [GWh/an]	d'appoint [GWh/an]	consommation nouvelle de la part substituée [GWh/an]	consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de l'émission de CO2 [t/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)														
< 80 MWh/an	100%	14%	182	30%	55	30%	16	70%	38	67%	36	164	23%	13
80 - 200 MWh/an		34%	442	30%	133	30%	40	70%	93	67%	88	398	23%	31
0,2 - 2 GWh/an		51%	664	50%	332	18%	60	42%	139	40%	265	597	14%	46
> 2 GWh/an		1%	13	50%	7	18%	1	42%	3	40%	5	12	14%	1
total		100%	1'301		526		117		273		396	1'171		91
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé														
< 80 MWh/an	100%	14%	182	75%	137	0%	0	100%	137	56%	76	121	33%	46
80 - 200 MWh/an		34%	442	75%	332	0%	0	100%	332	56%	184	295	33%	111
0,2 - 2 GWh/an		51%	664	75%	498	0%	0	60%	299	33%	365	531	20%	100
> 2 GWh/an		1%	13	75%	10	0%	0	60%	6	33%	7	10	20%	2
total		100%	1'301		976		0		773		632	958		258
													106'506	

Potentiel technique

Gaz consommation actuelle : 734 GWh/an

secteur chauffage

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation actuelle [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituée par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation par chaudière d'appoint [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituable [GWh/an]	consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)													
	89%												
< 80 MWh/an		12%	78	30%	24	30%	7	67%	0	67%	71	23%	5
80 - 200 MWh/an		33%	216	30%	65	30%	19	67%	0	67%	194	23%	15
0,2 - 2 GWh/an		42%	274	50%	137	18%	25	40%	55	80%	247	14%	19
> 2 GWh/an		2%	13	50%	7	18%	1	40%	3	80%	12	14%	1
total		100%	581		232		52		57		523		41
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé													
	89%												
< 80 MWh/an		12%	78	75%	59	0%	0	56%	0	56%	52	33%	20
80 - 200 MWh/an		33%	216	75%	162	0%	0	56%	0	56%	144	33%	54
0,2 - 2 GWh/an		42%	274	75%	206	0%	0	33%	82	73%	219	20%	41
> 2 GWh/an		2%	13	75%	10	0%	0	33%	4	73%	10	20%	2
total		100%	581		436		0		86		426		117
													43'527

Potentiel technique

Gaz

consommation actuelle : 734 GWh/an

secteur CAD

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation actuelle [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituable par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation par chaudière d'appoint [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituable [GWh/an]	consommation nouvelle totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)													
	11%												
< 80 MWh/an		0%	0	0%	0	30%	0	67%	0	67%	0	23%	0
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	30%	0	67%	0	67%	0	23%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	18%	0	40%	0	80%	0	14%	0
> 2 GWh/an		100%	81	20%	16	18%	3	40%	6	80%	13	14%	2
total		100%	81		16		3		6		77		969
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé													
	11%												
< 80 MWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	56%	0	56%	0	33%	0
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	56%	0	56%	0	33%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	33%	0	73%	0	20%	0
> 2 GWh/an		100%	81	10%	8	0%	5	33%	3	73%	6	20%	2
total		100%	81		8		0		3		79		646

Potentiel technique

Electricité

consommation actuelle :

34 GWh/an

secteur chauffage

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituable par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	nouvelle consommation par chaudière d'appoint [GWh/an]	nouvelle consommation de la part substituable [GWh/an]	nouvelle consommation totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)													
	88%	100%	30	100%	30	30%	9	70%	21	67%	20	0	0
< 80 MWh/an													
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	30%	0	70%	0	67%	0	23%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	18%	0	42%	0	80%	0	14%	0
> 2 GWh/an		0%	0	0%	0	18%	0	42%	0	80%	0	14%	0
total		100%	30		30		9		20		20	7	203
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé													
	88%	100%	30	100%	30	0%	0	100%	30	56%	16	0	0
< 80 MWh/an													
80 - 200 MWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	100%	0	56%	0	33%	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	60%	0	73%	0	20%	0
> 2 GWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	60%	0	73%	0	20%	0
total		100%	30		30		0		16		16	10	271

Potentiel technique

Electricité

consommation actuelle : 34 GWh/an

secteur PAC

catégories	part du secteur	part dans le secteur	consommation [GWh/an]	potentiel technique [GWh/an]	consommation potentielle [GWh/an]	part substituable [GWh/an]	part substituable par CCF [GWh/an]	part substituable par PAC [GWh/an]	consommation par CCF [GWh/an]	consommation nouvelle par chaudière d'appoint [GWh/an]	consommation nouvelle de la part substituable [GWh/an]	consommation nouvelle totale [GWh/an]	production potentielle d'électricité [GWh/an]	réduction d'émission de CO2 [T/an]
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CCF(s) décentralisée(s)														
	12%													
< 80 MWh/an		66%	3	30%	1	30%	0	70%	1	0%	0	67%	1	2
80 - 200 MWh/an		0%	0	50%	0	30%	0	70%	0	0%	0	67%	0	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	18%	0	42%	0	40%	0	80%	0	0
> 2 GWh/an		34%	1	0%	0	18%	0	42%	0	40%	0	80%	1	0
total		100%	4		1		0	1	1	0	1	4	0	5
PAC(s) décentralisée(s) ou non et CC centralisé														
	12%													
< 80 MWh/an		66%	3	100%	3	0%	0	100%	3	56%	1	0%	0	1
80 - 200 MWh/an		0%	0	100%	0	0%	0	100%	0	56%	0	0%	0	0
0,2 - 2 GWh/an		0%	0	0%	0	0%	0	60%	0	33%	0	40%	0	0
> 2 GWh/an		34%	1	0%	0	0%	0	60%	0	33%	0	40%	1	0
total		100%	4		3		0	3	1	0	1	3	1	24