



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

RAPPORT DE STAGE

Soutenance le 4 septembre 2012

Analyse comparative technico-économique des solutions de chauffage de bâtiments tertiaires ou d'habitations de plus de 1000 mètres carrés

Détermination des caractéristiques des bâtiments particulièrement adaptés à un raccordement aux réseaux de chauffage urbain



Tuteur : Hervé BECKER, *Directeur d'agence*

15 allée de l'Épinette ZAC de la Solère
54420 SAULXURES-LÈS-NANCY

Sommaire

→ ABREVIATIONS UTILISEES	2
I) Introduction	3
1) Présentation du sujet et du travail de stage	3
2) L'entreprise Dalkia	4
II) Le chauffage dans le collectif	6
1) Les réseaux de chauffage urbain.....	6
a) Les chaufferies	7
b) Les sous stations.....	11
c) La plateforme biomasse.....	12
d) La biomasse.....	13
2) Les autres modes de chauffage	15
a) Le chauffage collectif	15
b) Le chauffage individuel dans le collectif.....	16
III) Hypothèses et paramètres principaux.....	16
1) Logement type et niveaux de consommation	17
2) Modes de chauffage	18
a) Rendements, pertes et unité de facturation	19
b) Abonnements	20
IV) Méthodologie.....	22
1) Comparaison économique.....	22
a) Méthodologie pour le bilan économique.....	24
b) Calcul du coût de l'abonnement	24
c) Calcul du coût de la consommation énergétique.....	26
d) Estimation du coût de l'entretien.....	28
e) Estimation de l'amortissement annuel des installations	28
f) Aides et subventions.....	29
2) Comparaison écologique	30
3) Comparaison énergétique.....	32
V) Comparaison des modes de chauffage	34
1) Bilan économique.....	34
a) Comparaison selon le niveau de consommation.....	34
b) Comparaison selon la taille du logement	37
c) Part fixe et part variable.....	38
d) Evolution des coûts.....	40
2) Bilan écologique	40
3) Bilan énergétique.....	42
4) Classement indicatif des modes de chauffage	45
VI) Conclusion et bilan du stage	46
VII) Résumé et mots clés.....	47
→ LISTE DES DESSINS ET PHOTOS	48
→ LISTE DES TABLEAUX.....	48
→ LISTE DES GRAPHIQUES	48
VIII) Annexes.....	49
1) Références bibliographiques.....	49
2) Amortissement annuel des installations	50
3) Résultats pour le logement type	51

→ ABREVIATIONS UTILISEES

SeeV	<i>Services Energétiques et Environnementaux de Vandoeuvre</i>
MMH	<i>Meurthe & Moselle Habitat</i>
UIOM	<i>Usine d'Incinération des Ordures Ménagères</i>
GN	<i>Gaz Naturel</i>
FOD	<i>Fioul Oil Domestique</i>
kVA	<i>Kilo Volt Ampère (~kW)</i>
PCI	<i>Pouvoir Calorifique Inférieur</i>
PCS	<i>Pouvoir Calorifique Supérieur</i>
UFIP	<i>Union Française des Industries Pétrolières</i>
PRF	<i>Primary Resource Factor</i>
PAC	<i>Pompe à chaleur</i>
GES	<i>Gaz à Effet de Serre</i>
DRIRE	<i>Direction Régionale de l'Industrie, la Recherche et l'Environnement</i>

I) Introduction

1) Présentation du sujet et du travail de stage

Le sujet de ce rapport est une analyse comparative technico-économique des solutions de chauffage d'un bâtiment de plus de 1000 mètres carrés ainsi que la détermination des caractéristiques des bâtiments particulièrement adaptés à un raccordement aux réseaux de chauffage urbain.

Ce sujet est vaste et il est nécessaire de détailler en quoi il consiste :

- Une comparaison économique, qui détermine le coût des différents moyens de chauffage selon plusieurs critères.
- Une comparaison écologique, qui détermine la quantité de gaz à effet de serre rejetée selon chaque type de chauffage.
- Une comparaison énergétique, qui détermine la quantité d'énergie primaire utilisée par ces mêmes modes de chauffage.

Les résultats de ces différentes comparaisons dépendent de nombreux paramètres comme :

- la taille du bâtiment
- son isolation
- les habitudes de consommation
- la période

La principale difficulté consiste à identifier ces paramètres, à en mesurer l'impact, et à en tenir compte ou non dans les calculs.

Le travail effectué lors de ce stage peut se décomposer selon les étapes suivantes :

- Etude générale sur le terrain puis théorique sur les réseaux de chaleur et la façon dont ils sont exploités.
- Recherche bibliographique globale pour avoir une idée de ce qui a été fait dans le domaine, des différents moyens de chauffage adaptés, des méthodes utilisées et des résultats obtenus.
- Etablissement du plan pour le rapport et pour constituer un planning de travail.
- Récolte des données nécessaires aux différents calculs et estimations.
- Rédaction du rapport en parallèle de la feuille Excel pour expliquer les hypothèses et les méthodes de calculs qui en découlent.
- Exploitation des résultats.

2) L'entreprise Dalkia

Leader européen des services et de la production énergétique depuis 2002, cette entreprise filiale de Veolia Environnement à 66% et d'EDF à 34% a connu un développement exponentiel depuis sa naissance en 1998, résultat de la fusion de la CGC (Compagnie Générale de Chauffe) et de la société Esys Montenay :

- 50000 collaborateurs dans plus de 40 pays
- 6 millions de logements collectifs
- 25000 établissements pour l'éducation, les loisirs et le sport
- 6000 établissements de soins
- 4000 sites industriels

L'entreprise Dalkia conçoit et exploite des infrastructures énergétiques, mais elle s'occupe également de maîtriser la consommation de ses clients grâce à l'optimisation et la maintenance des installations de production, de distribution et d'utilisation de l'énergie.

« Dalkia est résolument centré sur son cœur de métier : l'efficacité énergétique »

Olivier Barbaroux, ex-PDG de Dalkia

En France, le groupe est divisé en 5 entités régionales autonomes dont Dalkia Est, qui est présent sur 18 départements et composé de 6 agences, dont celle de Nancy, située à Saulxures, dans laquelle j'ai réalisé mon stage :

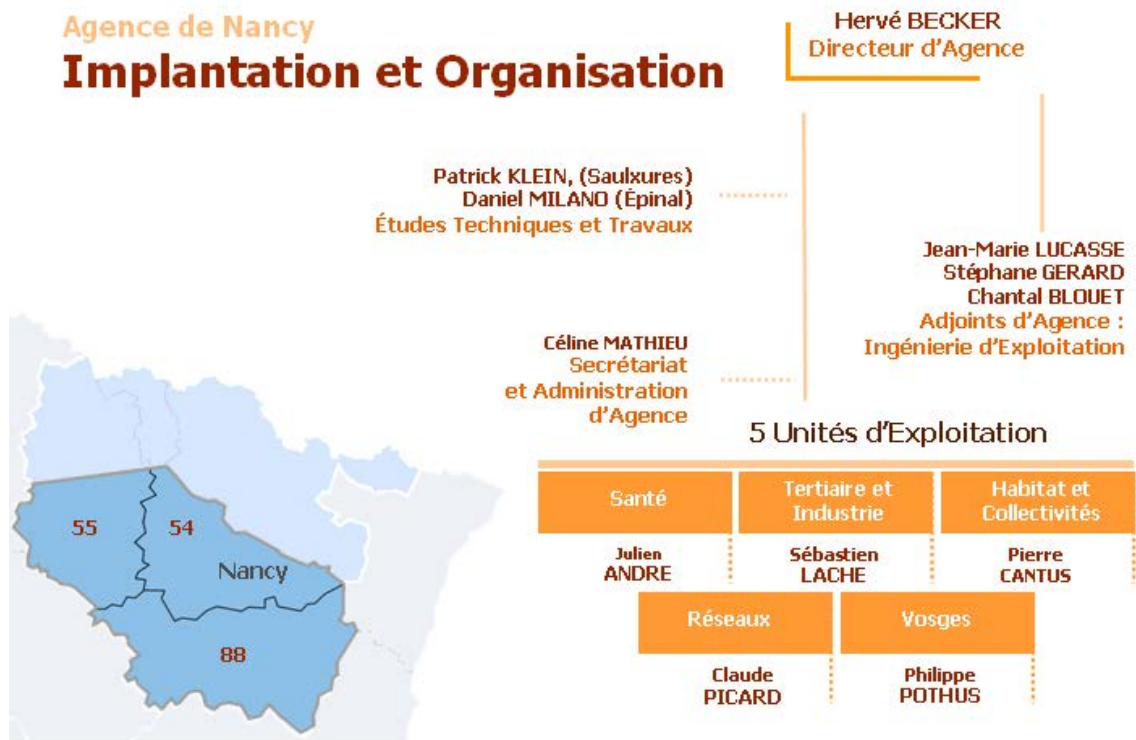


Figure 1 - Organisation de l'Agence de Nancy - décembre 2011

Au sein de l'agence de Nancy, plus de 160 collaborateurs gèrent un bon millier installations dont 8 réseaux de chaleur, 12 chaufferies bois, 12 établissements de soins, 15 sites industriels, 11 cogénérations, et plus de 23000 logements collectifs pour un total de 65M€ de chiffre d'affaires en 2011.



Figure 2 - Agence Dalkia de Nancy - ZAC de la Solère - Saulxures-lès-Nancy

II) Le chauffage dans le collectif

1) Les réseaux de chauffage urbain

Un réseau de chauffage urbain est comparable un chauffage individuel classique mais à l'échelle d'une ville. Il distribue de la chaleur aux bâtiments qui lui sont raccordés. Son principe de fonctionnement est simple : la chaleur, produite par une chaufferie, est transportée par un fluide caloporteur par l'intermédiaire d'un réseau constitué d'une double canalisation : l'une pour conduire le fluide vers les lieux de consommation, l'autre assure son retour vers la centrale de production :

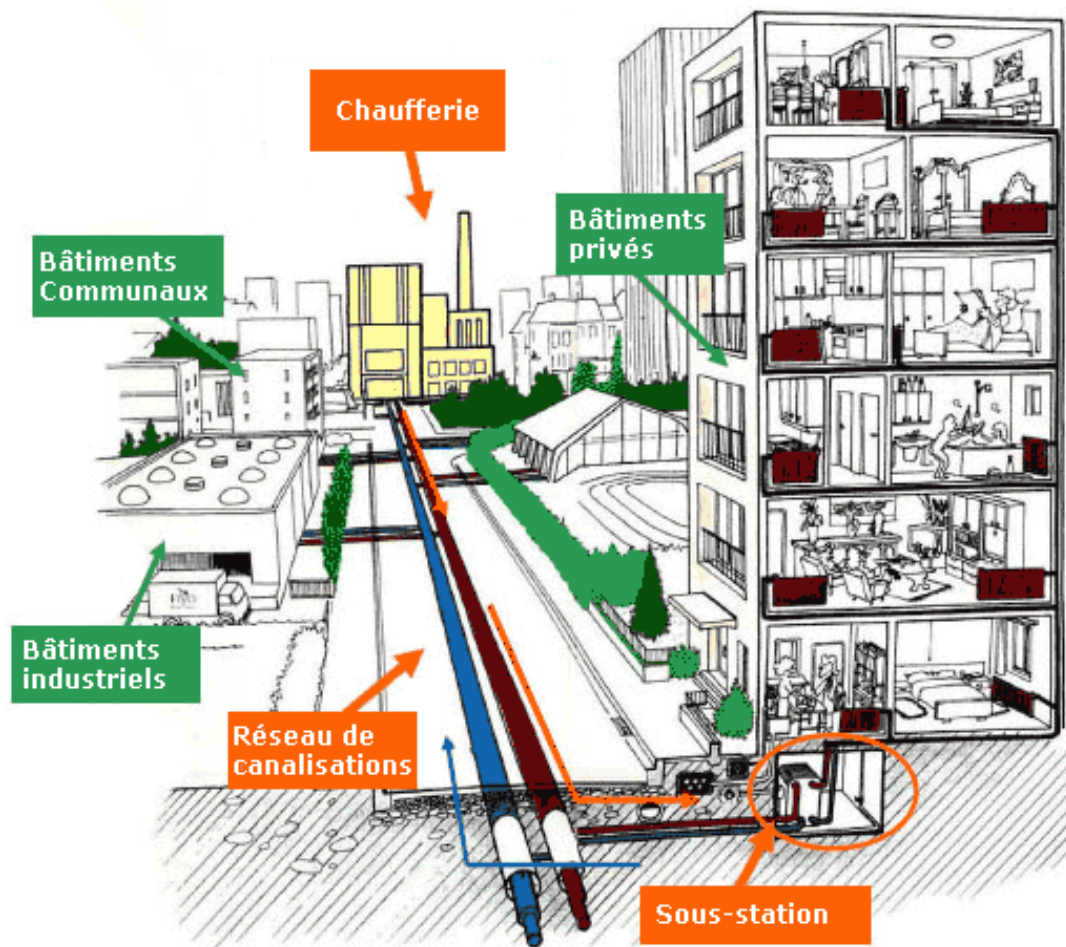


Figure 3 - Illustration d'un réseau de chaleur urbain

Le Grand Nancy compte trois réseaux de chaleur utilisant la biomasse qui ont pour but de fournir le chauffage et l'eau chaude sanitaire à leurs clients :

Le plus étendu se trouve à Vandœuvre, il chauffe actuellement l'équivalent de 13000 logements, pour la plupart des logements collectifs et des bâtiments tertiaires, dont la faculté des Sciences. Plus petits mais en pleine expansion, deux autres réseaux de chaleur sont à l'œuvre à Nancy : celui du centre ville chauffe les bâtiments comme la gare, l'hôpital, la piscine et beaucoup d'autres ; et celui du Haut-du-Lièvre qui chauffe principalement des logements collectifs.

a) Les chaufferies

→ VANDŒUVRE : SEEV

La chaufferie de Vandœuvre est de loin la plus intéressante, elle fonctionne pour 80% aux énergies renouvelables, avec un objectif de 84% pour l'année 2012. D'une puissance totale de 106 MW, 62% de l'énergie provient de la chaleur récupérée auprès de l'Usine d'Incinération des Ordures Ménagères de Ludres (UIOM) et 22% du bois-énergie alimenté par la plateforme biomasse de la forêt de Haye.

Puissance installée :

- UIOM → 18 MW
- 4 chaudières mixtes GN/FOD → 4x20 MW = 80 MW
- Chaudière biomasse → 8 MW

Ce qui représente les besoins avec une surpuissance de 30%.

Elle possède également, sur sa toiture végétale, 260m² de panneaux photovoltaïques à titre expérimental dont l'énergie électrique est intégralement revendue à EDF (voir photo de couverture). Cette toiture de 500m² abrite également 3 ruches dont le miel est récolté chaque année par une association. [1]

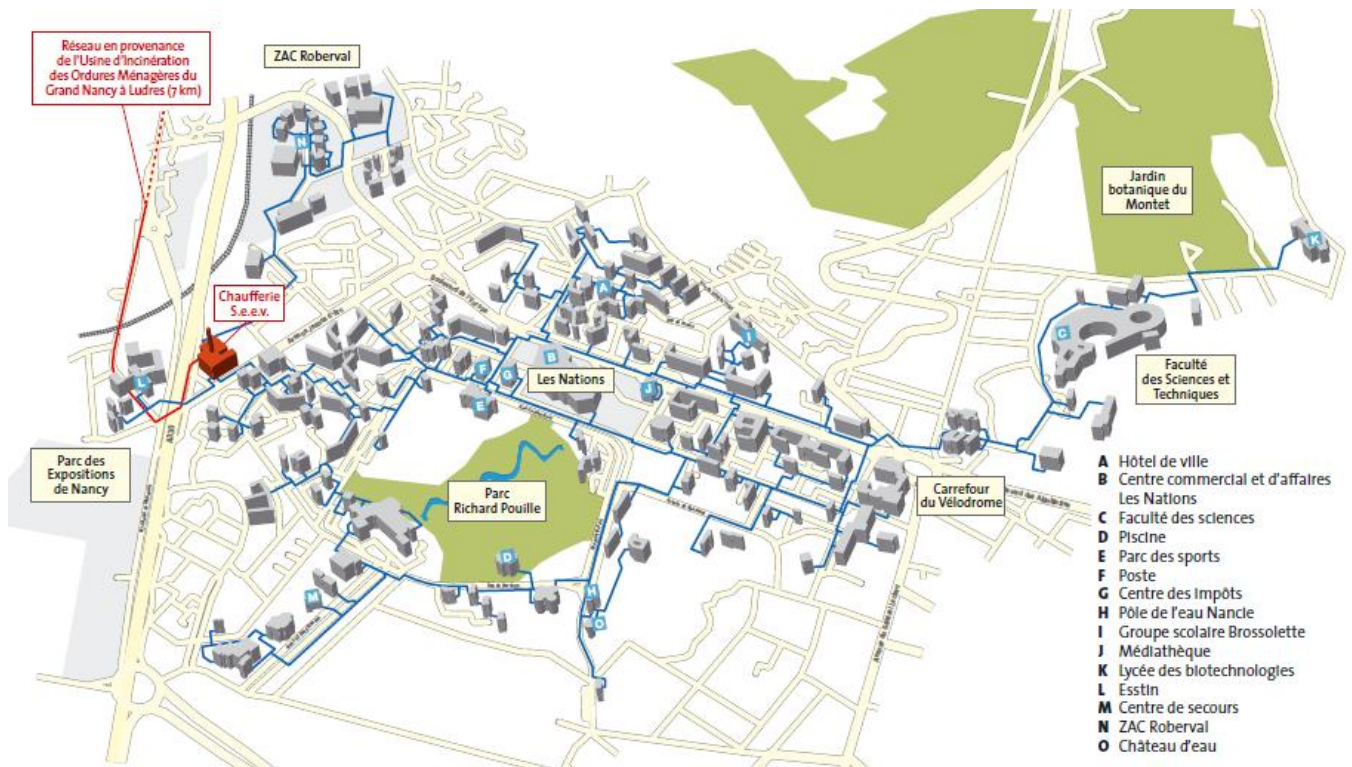


Figure 4 - Plan du réseau urbain - Vandoeuvre

→ VICTOR ET FLORENTIN : NANCY ENERGIE

La chaufferie biomasse Victor, proche du canal, est équipée de 2 chaudières bois de 4MW unitaire équipées chacune d'un économiseur de 1MW, elles couvrent en moyenne 50% des besoins énergétiques annuels du réseau de Nancy centre. Une chaudière fioul domestique de 9MW est également disponible en secours.



Figure 5 - Chaufferie biomasse Victor

Le reste est assuré grâce à la chaufferie Florentin, située juste en face, équipée d'une chaudière gaz de 13 MW, d'une chaudière mixte gaz/fioul de 13 MW et d'une turbine à gaz de 5MW électrique par cogénération et qui génère également 8MW thermique grâce à sa chaudière de récupération.

Une particularité mérite cependant de s'attarder sur cette « double chaufferie », une 3^{ème} chaudière mixte gaz/Lipofit de 4 MW est utilisée à Florentin :

Le Lipofit est un concentré de matières grasses végétales et animales dépourvu d'eau. Considéré comme une énergie renouvelable, il est issu du traitement et de la valorisation de déchets gras d'origines alimentaire (bacs à graisse de la restauration, déshuileurs de stations d'épuration, industries agroalimentaires et cosmétiques...) et il possède des caractéristiques proches de celles du fioul lourd, avec cependant une teneur en soufre, azote et métaux lourds nettement plus faible. [2]



Figure 6 - Chaufferie Florentin (située entre le canal et la chaufferie Victor)

Ces deux chaufferies utilisent plus de 60% d'énergies renouvelables, elles couvrent les besoins en chauffage d'environ 5000 équivalents-logements et permettent une économie de 8000 tonnes de CO2 rejetées dans l'atmosphère, soit 3500 véhicules retirés de la circulation chaque année.

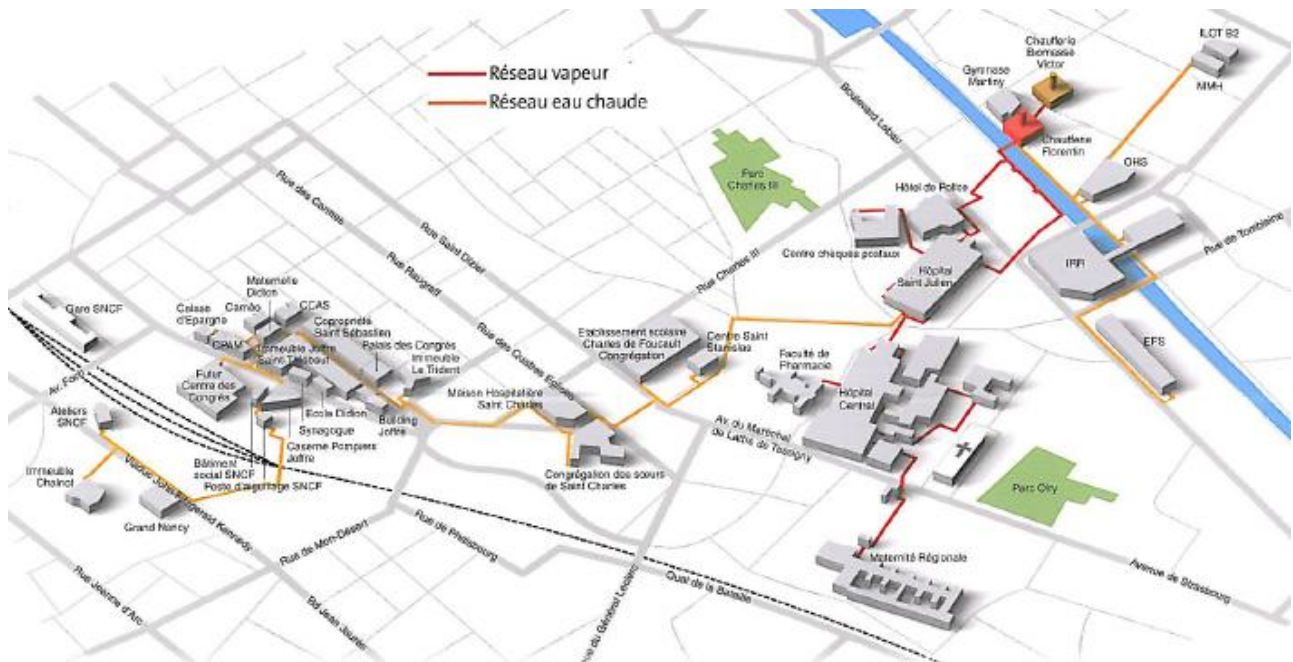


Figure 7 - Plan du réseau urbain - Nancy

Le réseau de chaleur de Nancy Centre est long de 11 kilomètres et alimente en vapeur, eau chaude et chauffage de nombreux bâtiments comme le CHU de Nancy, l'Hôtel de Police, le Centre de Chèques Postaux, la Faculté de Pharmacie, le Centre Saint-Sébastien parmi bien d'autres, et prochainement le nouveau Palais des Congrès ainsi que l'éco-quartier Nancy Grand Cœur à proximité de la Gare.

→ HAUT-DU-LIEVRE

Située juste en contrebas de la barre du Tilleul argenté, la centrale biomasse du Haut-du-Lièvre est la plus petite installation en puissance (5 MW) mais elle est selon moi, la plus impressionnante de part le volume disproportionné et totalement enterré de la partie chaufferie gaz. Elle utilise à 60% le bois-énergie et à 40% le gaz pour chauffer l'équivalent de 3000 logements, ce qui permet d'éviter le rejet de 1000 tonnes de CO2 dans l'atmosphère chaque année.



Figure 8 - Chauffage biomasse - Haut-du-Lièvre

b) Les sous stations

Appelées également stations de transfert de chaleur, elles ont pour objectif de transférer la chaleur du réseau primaire vers le réseau secondaire au moyen d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur. Le réseau secondaire propre à chaque bâtiment, alimente les radiateurs. La limite de prestation qui sépare le réseau primaire du réseau secondaire est, dans le cas du réseau urbain de Nancy, située en sortie d'échangeur, du côté secondaire :

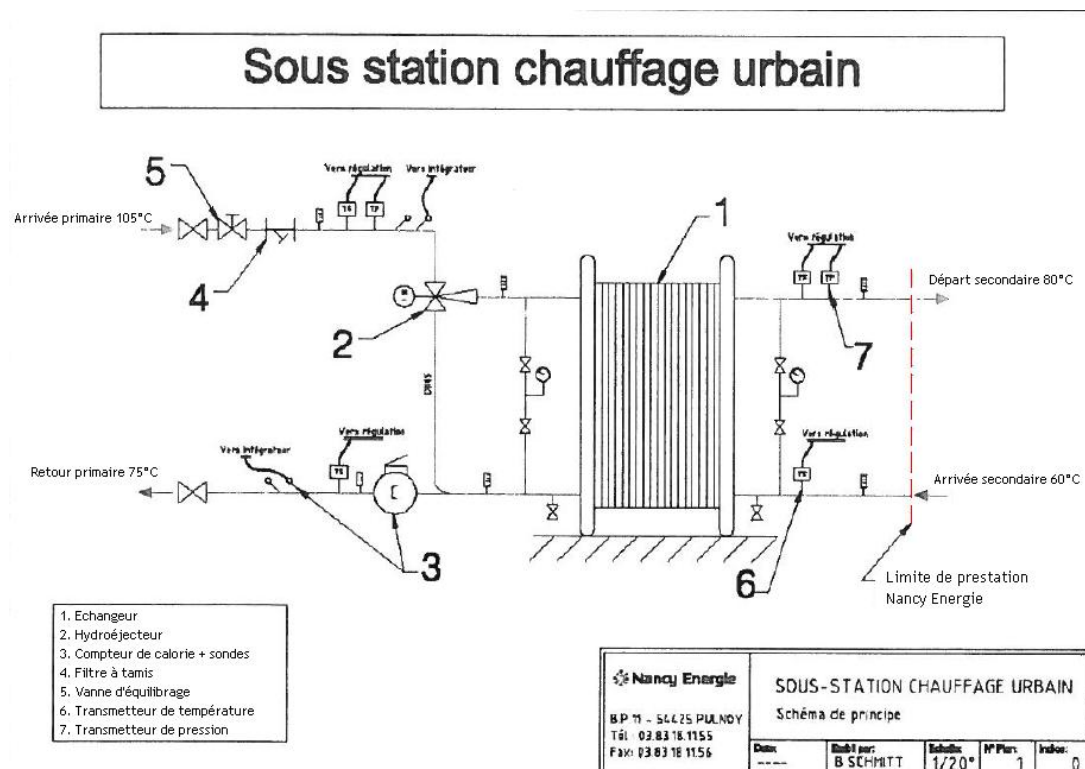


Figure 9 - Schéma de principe d'une sous-station (réseau de Nancy Energie)

L'hydroéjecteur représenté sur ce schéma est installé depuis peu par Dalkia dans ses sous-stations, surtout utilisé dans l'industrie pour réguler la température, il remplace la vanne trois voies et évite l'utilisation d'une pompe, coûteuse et consommatrice d'électricité.



Figure 10 - Photographie des hydroéjecteurs de la sous-station Fac des Sciences

c) La plateforme biomasse

Située à Velaine-en-Haye, cette plateforme inaugurée fin 2008 permet de regrouper les différents types de ressources locales (ressources forestières, sous-produits et connexes issus de l'industrie du bois, bois de récupération), de les préparer, les contrôler et les stocker avant livraison en chaufferie.



Figure 11 - Plateforme biomasse - Velaine-en-Haye

D'une superficie de 21000m², la plateforme est dimensionnée pour préparer annuellement 80 000 tonnes de biomasse, elle peut recevoir jusqu'à 40 camions par jour et elle permet une économie de CO₂ dans les chaufferies biomasse de 32000 tonnes par an.

d) La biomasse

Le développement durable « répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Utiliser le bois-énergie pour se chauffer, c'est avancer dans le sens du développement durable et progresser dans les trois sphères qui le compose : sociale, économique et environnementale :

→ AVANTAGES AU NIVEAU ENVIRONNEMENTAL

Le bilan carbone du bois est neutre : il dégage une quantité de CO₂ lors de sa combustion qui est comparable à celle dégagee lors de sa décomposition naturelle, et ce CO₂ est au départ, capté dans l'air au cours de la croissance de l'arbre.

De plus les cendres issues de sa combustion, sont riches en éléments minéraux et peuvent être valorisées comme fertilisant dans l'agriculture ou utilisées dans l'industrie chimique.

Et rappelons qu'en France, la surface des forêts augmente chaque année et que le prélèvement de bois est de l'ordre de 60 millions de m³ ; quantité qui peut être largement augmentée avec une bonne gestion forestière.

→ AVANTAGES AU NIVEAU SOCIAL

L'ADEME estime que 1000 tonnes de bois consommées correspondent à un emploi à temps plein, soit 3 à 4 fois plus que dans les filières fossiles, ce qui s'explique avec la nécessité de :

- mobiliser et collecter le bois qui n'est pas valorisé,
- le transformer en combustible,
- le livrer en chaufferie.

La plateforme de Velaine-en-Haye en est le parfait exemple avec plus de 50 emplois directs et indirects créés, ce qui fait d'elle une première en Lorraine et une référence incontournable en France pour la filière bois-énergie.

→ AVANTAGES AU NIVEAU ECONOMIQUE

Le PCI du bois est certes moins avantageux que ceux des autres énergies fossiles, mais il est tout aussi efficace, et le renouvellement des forêts fait de lui, l'énergie la moins chère du marché.

Puisqu'il s'agit d'une énergie renouvelable, non seulement la facture du client baisse car il bénéficie d'une TVA réduite à 5,5% (plus de 50% d'utilisation d'EnR), mais les principaux avantages de son utilisation est l'augmentation de l'autonomie énergétique et l'assurance d'un tarif stable, contrairement aux énergies fossiles traditionnelles dont les prix sont sans cesse en augmentation, la faute à leur raréfaction et à des facteurs géopolitiques. [3]

2) Les autres modes de chauffage

Mis à part le chauffage urbain dont fait l'objet la partie précédente, d'autres mode de chauffage plus ou moins répandus sont utilisé dans le collectif. Voici une brève présentation de ceux qui feront l'objet de cette étude :

a) Le chauffage collectif

→ CHAUDIERE COLLECTIVE GAZ

Pour les immeubles gérés par une copropriété, ce mode de chauffage est assez courant. Généralement plusieurs chaudières sont utilisées en séries, d'une part pour ne pas être dépendant d'une unique chaudière et d'autre part pour optimiser leurs performances grâce à un système de mise en cascade.

Situées dans une chaufferie en pied d'immeuble ou en terrasse, ces chaudières sont reliées à une armoire électrique qui contient le régulateur, à une vanne trois voies ou un hydroéjecteur qui permet de mélanger l'eau très chaude venant de la chaudière à celle qui revient des appartements, et à un conduit d'évacuation des fumées pour les gaz de combustion.

→ CHAUDIERE COLLECTIVE AU FIOUL

Le principe est le même que pour la chaudière collective au gaz, seul le combustible et son approvisionnement changent. En effet, pour le gaz, la chaudière est reliée au réseau de GDF et pour le fioul, la copropriété le fait livrer par un fournisseur dans une cuve située à proximité de la chaudière.

→ POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE EAU/EAU

Qualifiées également de pompes à chaleur aquathermiques, elles prélèvent la chaleur dans une nappe phréatique, un lac, une réserve d'eau ou bien un cours d'eau. Avec un COP souvent proche de 7, elles sont très performantes quelque que soit la température hivernale.

Elles sont par contre chères à l'installation et il faut avoir une autorisation de la DRIRE pour réaliser le forage. C'est la classe de pompe à chaleur la plus performante et c'est pour cela qu'elle est choisie.

b) Le chauffage individuel dans le collectif

L'avantage principal de ce type de chauffage est que l'utilisateur pilote lui-même ses besoins en chaleur. En contrepartie, il assume seul le coût et l'entretien du système.

→ CHAUDIERE MURALE

De plus en plus d'appartements utilisent une chaudière murale individuelle à gaz, à condensation ou non. Leger et peu encombrant, ce mode de chauffage d'une puissance de 8 à 25kW en moyenne est particulièrement adapté aux appartements.

→ ELECTRICITE

Mode de chauffage très répandu dans les logements collectifs puisqu'il est pratique, peu encombrant et peu coûteux à l'installation dans le cas des simples convecteurs.

→ POMPE A CHALEUR INDIVIDUELLE AIR/AIR

La pompe à chaleur aérothermique comme son nom l'indique capte la chaleur dans l'air extérieur, elle est facile à l'installation et à l'utilisation, par contre son COP chute rapidement avec la température. C'est le type de pompe à chaleur le moins performant et c'est pour cela qu'elle est choisie.

III) Hypothèses et paramètres principaux

Pour cette étude, il a été nécessaire de faire de nombreuses hypothèses, que ce soit sur le logement en lui-même ou sur les modes de chauffage.

Toutes ces hypothèses sont regroupées dans une feuille Excel créée pour calculer les coûts des différents postes du chauffage et générer les graphiques de ce rapport. Elles sont bien sûr modifiables très facilement afin d'en déterminer l'importance sur le résultat final et donc de les affiner si nécessaire.

*Note : Dans la suite du rapport, en **gras**, les chiffres directement modifiables depuis la feuille de calcul et en *italique*, ceux qui ont été calculés à partir des précédents.*

DONNEES ET HYPOTHESES			
Général	Surface logement	70	m ²
	Immeuble	25	log
	Conso ECS	40	m ³ <i>consommation moyenne pour 70m²</i>
		29,89	kWhu/m ² .an
Fioul	rendement moyen	80	% <i>moyenne annuelle</i>
	PCI	10,26	kWh/L
	gain	5	% <i>achat groupé</i>
	P2/P3	15	% <i>plus cher que gaz coll</i>
Gaz	rendement moyen	85	% <i>moyenne annuelle</i>
	conso part estivale	25	% <i>estimation</i>
	rendement condensation	105	% <i>moyenne annuelle</i>
	location compteur	223,56	€/HT/an
	P2/P3 gaz coll	160	€/HT/an <i>moyenne des contrats</i>
	P2/P3 gaz ind	140	€/HT/an <i>estimation</i>

Figure 12 - Copie d'écran d'une partie des hypothèses de la feuille de calcul

1) Logement type et niveaux de consommation

Le logement type de l'étude a une surface de 70 mètres carrés et il est situé dans l'Est de la France dans un immeuble de 25 logements.

Son isolation est définie par quatre niveaux de consommation (ou d'isolation) de référence qui correspondent aux valeurs réglementaires ou représentatives d'une catégorie de bâtiments :

- Bâtiment basse consommation (BBC).
- Bâtiment type RT 2005.
- Bâtiment représentatif du parc immobilier moyen en France.
- Bâtiment ancien, dont le Diagnostic de Performance Energétique (DPE) le situe classe E ou F.

La consommation en eau chaude sanitaire est estimée à 40 mètres cubes pour le logement type, ce qui donne :

$$\begin{aligned}
 Q &= m \text{ Cp } dT \\
 &= 40000 \times 4,185 \times (55 - 10) / 3600 \\
 &= 2100 \text{ kWhu/an} = 30 \text{ kWhu/m}^2.\text{an}
 \end{aligned}$$

Note : le rendement du chauffe-eau est volontairement ignoré afin d'obtenir un résultat en kWhu.

Le kWhu représente la consommation en kWh utile, c'est l'énergie directement utilisée par l'utilisateur, c'est-à-dire une fois que les rendements η des installations et les pertes de distributions ont été pris en compte :

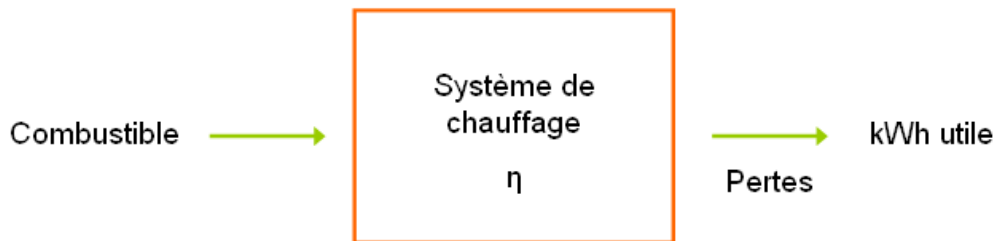


Figure 13 - Schéma d'explication du kWh utile

Voici les valeurs retenues pour chaque type de bâtiment :

Bâtiment	Consommation maximum de référence (chauffage + ECS)		Consommation chauffage seul	
	kWh primaire/m ² .an	kWhu/m ² .an	kWhu/m ² .an	Part
Basse consommation	50	40	10	25 %
Type RT 2005	120	96	66	69 %
Parc moyen	170	136	106	78 %
Limite classe E/F	330	264	234	89 %

Tableau 1 - Les quatre niveaux de consommation de référence

La consommation d'ECS par unité de surface est supposée constante quelque que soit le niveau d'isolation pour simplifier les calculs. En réalité celle-ci ne dépend que du comportement des usagers.

2) Modes de chauffage

Un grand nombre d'hypothèses concerne les modes de chauffage : leurs rendements, la puissance installée, le type d'abonnement, le prix à l'achat ainsi que le coût de l'entretien.

Voici donc un rappel des modes de chauffages étudiés et les abréviations utilisées :

- **Gaz coll** ou **Gaz coll cond** : Chaudière collective classique ou à condensation.
- **Gaz ind** ou **Gaz ind cond** : Chaudière individuelle classique ou à condensation.
- **Fioul** : chaudière collective au fioul domestique.
- **Elec** : convecteurs électriques.
- **PAC ind** : pompe à chaleur individuelle air/air.
- **RDC Vand** et **RDC Nancy** : Réseaux de chaleur de Vandoeuvre et de Nancy.
- **PAC 3,8** : pompe à chaleur collective géothermique eau/eau avec un COP moyen annuel de 3,8.

a) Rendements, pertes et unité de facturation

Afin de faire un bilan économique sur ces modes de chauffage, il est nécessaire de connaître la correspondance entre l'énergie facturée et l'énergie consommée (ou énergie utile). Ci-dessous un tableau récapitulatif et ses explications :

Type de chauffage		Unité de facturation	Rendement ou COP	Facteur de conversion	1 kWh utile =
Electricité	Convecteurs	kWh	99 %	1	1,01 kWh
	PAC ind		2		0,5 kWh
	PAC 3,8		3,8		0,29 kWh
Gaz	Classique	kWh PCS	85 %	0,9 kWh PCI/PCS	1,31 kWh PCS
	Condensation		105 %		1,06 kWh PCS
Réseau de chaleur		kWhu	-	1	1 kWhu
Fioul		L	80 %	0,995 kWh/L	121,83 L

Tableau 2 - Rendements et unités de facturation

Concernant les pertes de distribution, il a été fait l'hypothèse que dans un immeuble, la quasi-totalité de ces pertes chauffent les logements et elles sont par conséquent ignorées.

Le rendement du réseau de chaleur n'est pas indiqué car l'énergie est facturée au niveau du compteur de la sous-station et les pertes de distribution dans l'immeuble sont ignorées. Comme le rendement de la chaufferie et les pertes de distributions sur le réseau sont situées en aval du compteur, ils n'interviennent pas dans le calcul. Celles-ci seront, par contre, prises en compte lors des bilans énergétiques et écologiques.

b) Abonnements

Voici les types d'abonnements choisis en fonction des consommations annuelles ou de la puissance installée :

→ GAZ

Pour le chauffage au gaz, le choix est simple, GDF a mis en place une fourchette de consommation pour chaque abonnement :

Gaz		
Abonnement	Conso min MWhu/an	Conso max MWhu/an
B0 niveau 1	0	6
B1 niveau 1	6	30
B2I niveau 1	30	150
B2S niveau 1	150	4000

Tableau 3 - Abonnements au gaz selon la consommation

→ ELECTRICITE INDIVIDUELLE

En ce qui concerne le chauffage électrique et la pompe à chaleur individuelle, l'option de base du tarif réglementé d'EDF appelée tarif bleu est utilisée. Plusieurs tarifs sont disponibles en fonction de la puissance de l'abonnement choisi :

Electricité individuelle	
Abonnement	Niveau de consommation
6 kVA	BBC
9 kVA	RT 2005
12 kVA	Parc moyen
15 kVA	Classe E/F

Tableau 4 - Abonnements à l'électricité selon le niveau de consommation

→ POMPES A CHALEURS COLLECTIVES

Pour le cas des pompes à chaleur collectives, puisque l'échelon maximum de puissance du tarif bleu est de 36kVA et qu'il n'est pas suffisant pour le chauffage d'un immeuble, le tarif choisi est le tarif jaune UM avec un abonnement dont le prix varie linéairement en fonction de la puissance demandée et d'un système de tarif été/hiver, heures creuses/heures pleines.

Il est alors nécessaire d'introduire dans les calculs deux hypothèses concernant la part de la consommation en heures pleines et la part de la consommation en été.

On considère alors que **25%** des consommations annuelles concerne la période estivale (valeur moyenne obtenue à partir des consommations du réseau de Vandoeuvre). Et que **2/3** des consommations journalières concernent les heures pleines (chiffre « plutôt optimiste » selon une enquête 60 million de consommateurs). [4]

→ FIOUL

Le chauffage au fioul ne nécessite pas d'abonnement, il est livré directement par citerne en pied d'immeuble. Le prix du litre variant chaque semaine, il est assez difficile de choisir une valeur pour les calculs. La méthode employée est d'utiliser le prix moyen annuel et d'y appliquer une « ristourne » de **5%** car les syndicats de copropriété peuvent se permettre de se faire livrer de grosses quantités. [5]

Une seconde hypothèse est faite sur le coût du contrat d'entretien pour le chauffage au fioul collectif : le prix est en moyenne **15%** plus cher que celui du chauffage au gaz collectif pour des installations similaires en puissance.

→ RDC

Disposant de la plupart des données nécessaires aux calculs, il n'y a pas vraiment d'hypothèses à faire pour les réseaux de chaleur. Deux approximations sont tout de même nécessaires au niveau du parc de logements qui est assimilé au parc moyen français en ce qui concerne la consommation d'énergie, et au niveau des logements eux-mêmes qui sont assimilés au logement type défini précédemment.

A titre indicatif, voici les quotas d'énergies utilisés pour calculer le coût du kWh :

Combustible	Réseau de Vandoeuvre	Réseau de Nancy
UIOM	62%	-
Biomasse	22%	54%
Gaz naturel	15%	45%
Fioul	1%	1%

Tableau 5 - Part des énergies utilisées sur les réseaux de Vandoeuvre et de Nancy

IV) Méthodologie

1) Comparaison économique

La plupart des articles que l'on trouve en recherchant une comparaison des modes de chauffage sur le plan économique, ne se contentent de comparer que la facture énergétique que paye chaque mois l'utilisateur, en mettant de côté les dépenses de maintenance, d'entretien, et même l'amortissement de l'installation qui est parfois en réalité le poste de dépense le plus important.

Il est donc nécessaire d'être rigoureux sur les termes que l'on compare, et les définir précisément est la première tâche à accomplir :

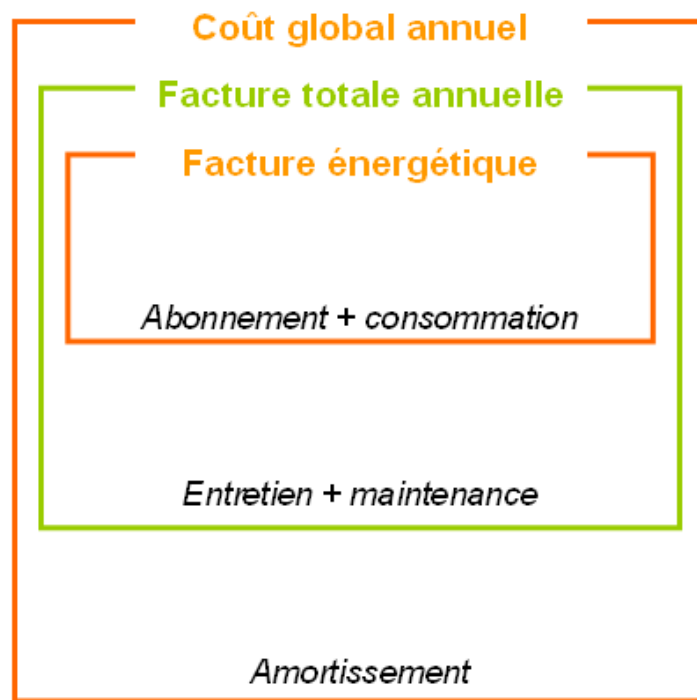


Figure 14 - Schéma des différents postes du coût global du chauffage

→ FACTURE ENERGETIQUE

C'est ce que paie l'utilisateur régulièrement et directement au fournisseur d'énergie. La plupart du temps, cela concerne une part fixe (abonnement) et une part variable (consommation). Ce terme inclut via l'abonnement l'ensemble des dépenses en amont du compteur (investissement, exploitation, maintenance, acheminement).

→ FACTURE TOTALE ANNUELLE

C'est la totalité de ce qu'a payé l'utilisateur à la fin de l'année, ce terme inclut la facture énergétique ainsi que les dépenses de fonctionnement en aval du compteur. En général, cette dépense supplémentaire concerne l'entretien, la maintenance et le renouvellement des équipements de production et de distribution de la chaleur ainsi que la consommation d'électricité des auxiliaires.

→ COUT GLOBAL ANNUEL

C'est le terme le plus représentatif pour comparer l'ensemble des coûts relatifs au chauffage, En plus de la facture totale annuelle, il prend en compte l'amortissement des équipements de production et de distribution de la chaleur en aval du compteur. Dans le cas du réseau de chaleur, il inclut également le coût du raccordement de l'immeuble.

a) Méthodologie pour le bilan économique

La comparaison économique est réalisée à partir des hypothèses de la partie précédente. La méthode consiste à calculer les différents postes de dépenses du chauffage et de l'ECS pour chacun des quatre niveaux de consommation définis.

Le choix est fait de fractionner le coût global du chauffage et de l'ECS en quatre postes de dépenses qui sont les suivants :



Figure 15 - Les quatre postes de dépenses pour le chauffage

Ce travail consiste en quatre étapes principales :

- Calcul de la facture énergétique : à partir du niveau de consommation, le coût de l'abonnement et de la consommation d'énergie sont déterminés.
- Calcul des dépenses de fonctionnement : selon le mode de chauffage, le montant du contrat d'entretien, maintenance et garantie totale est déterminé, soit par des estimations, soit par des calculs de moyenne.
- Evaluation de l'investissement initial et de l'amortissement annuel sur toute la durée de vie de l'installation.
- Evaluation des aides envisageables pour chaque mode de chauffage : subventions, crédit d'impôt, éco-prêt à taux zéro.

b) Calcul du coût de l'abonnement

→ GAZ

Pour le gaz, le niveau d'abonnement dépend de la consommation au compteur que l'on obtient en multipliant la consommation utile par le facteur de conversion défini **Tableau 2 - Rendements et unités de facturation**. Cette valeur de consommation au compteur est alors analysée par Excel à l'aide d'une série de suites logiques afin de déterminer l'abonnement à prendre en compte (*voir Tableau 3*). Lorsqu'il s'agit d'un chauffage au gaz collectif, le coût de l'abonnement est divisé par le nombre de logement dans l'immeuble.

→ ELECTRICITE ET POMPES A CHALEUR

Pour le chauffage électrique individuel, le coût de l'abonnement dépend de la puissance maximum nécessaire qui est choisie en fonction du niveau de consommation (voir *Tableau 4*).

Pour la pompe à chaleur individuelle, pour déterminer la puissance nécessaire, un simple calcul est réalisé à partir de la part de la consommation représentative du chauffage définie *Tableau 1*. Voici l'exemple pour un logement BBC de 70m² :

Part du chauffage sur la consommation totale = 25%

Abonnement électrique de base = 6kVA

COP = 2

Pour l'ECS, la puissance requise est la même que pour le chauffage électrique individuel. Par contre, pour le chauffage, la pompe à chaleur n'a pas besoin d'autant de puissance :

$$25\% \times 6\text{kVA}/2 + 75\% \times 6\text{kVA} = 5,2\text{kVA}$$

Le même calcul est réalisé pour chaque niveau de consommation et chaque pompe à chaleur :

Bâtiment	PAC ind	PAC 3,8
Basse consommation	5,2	4,9
Type RT 2005	5,9	4,4
Parc moyen	7,3	5,1
Limite classe E/F	8,3	5,2

Tableau 6 - Puissances requises pour les pompes à chaleurs

Pour la pompe à chaleur individuelle, l'abonnement utilisé est déterminé en choisissant toujours le premier niveau de puissance supérieur à la puissance requise calculée, ce calcul est réalisé par Excel grâce à une série de suites logiques, exactement de la même façon que pour le gaz.

Comme la PAC 3,8 est une pompe à chaleur collective, le coût de l'abonnement (tarif jaune) dépend linéairement de la puissance requise et il suffit de la multiplier par le coût du kW : 35,6 €TTC/kW en avril 2011.

→ RESEAUX DE CHALEUR

Il est assez simple de déterminer le prix du kW pour les réseaux de chaleur, qui est bien défini à partir de l'investissement initial de la chaufferie et du réseau, de leur exploitation et de leur entretien et renouvellement. Par exemple, sur l'année 2011, les prix sont respectivement de 25,42 €HT/kW pour Vandoeuvre et 34,69 €HT/kW pour Nancy (30,36 €HT/kW si la puissance souscrite est supérieure à 5000 kW), ces valeurs ont été obtenues en réalisant une simple division entre la puissance totale souscrite l'ensemble du réseau et le prix payé par les usagers pour ce poste.

En revanche, il est moins aisé de déterminer la puissance nécessaire au chauffage et à l'ECS suivant le niveau de consommation. La méthode utilisée consiste à tirer du réseau de chaleur de Vandoeuvre (assez bien représentatif du logement type parc moyen) la puissance moyenne souscrite par logement. Cette puissance est reliée à la consommation utile pour obtenir un ratio kW nécessaire par MWh utilisé.

Cette astuce est plus qu'approximative mais donne de bons résultats. Pour aller plus loin et affiner ce calcul, il faudrait définir pour chaque niveau de consommation, la puissance nécessaire au chauffage et la puissance nécessaire à l'ECS, ceci en fonction de la surface du logement.

c) Calcul du coût de la consommation énergétique

→ GAZ

A partir de la consommation au compteur, le prix du kWh est déterminé de la même façon que pour le type d'abonnement. Ce coût du kWh est multiplié par la consommation au compteur pour obtenir le coût annuel de la consommation énergétique. Le calcul est répété pour chaque mode de chauffage au gaz, et chaque niveau de consommation.

→ FIOUL

Le prix du litre de fioul domestique est multiplié par la consommation réelle en litre et l'on retire 5% au résultat, valeur hypothétique du rabais fait par le fournisseur lors d'une grosse livraison.

→ ELECTRICITE ET POMPES A CHALEUR

Pour le chauffage électrique et la pompe à chaleur individuelle, la consommation électrique au compteur est multipliée par le coût du kWh électrique de l'abonnement correspondant (*voir Tableau 4*).

Pour les pompes à chaleur collectives, la même façon de procéder est utilisée mais un calcul supplémentaire s'impose pour déterminer le coût du kWh électrique pour le tarif jaune d'EDF :

€TTC/kWh	Période estivale		Période hivernale	
	Heures creuses	Heures pleines	Heures creuses	Heures pleines
	0,0428	0,0601	0,1039	0,1486

Tableau 7 - Tarif jaune UM en avril 2011

Ce tarif dépend de l'heure et de la saison auxquelles l'énergie est consommée, selon les hypothèses envisagées, le calcul est le suivant :

Part de la consommation en heures pleines : 2/3

Part de la consommation en période estivale : 25%

Prix du kWh en avril 2011 :

$$\begin{aligned}
 & \text{Coût annuel moyen du kWh tarif jaune UM} \\
 & 25\% \times (2/3 \times 0,0601 + 1/3 \times 0,0428) + 75\% \times (2/3 \times 0,1486 + 1/3 \times 0,1039) \\
 & = 0,1136 \text{ €TTC}
 \end{aligned}$$

→ RESEAUX DE CHALEUR

A partir des bilans annuels des réseaux de chaleur de Vandoeuvre et de Nancy, il suffit d'établir un coût moyen annuel du kWh à partir de la consommation des usagers et du prix qu'ils ont payé. En réalité le coût du kWh sur les réseaux de chaleur est défini par un prix de base qui est calculé à partir du bouquet énergétique utilisé par la chaufferie et qui est révisé mensuellement en fonction de différents indices fournis par l'INSEE et d'autres organismes.

En appliquant la première méthode, les résultats obtenus sont respectivement 31,08 €HT/MWh et 61,40 €HT/MWh pour les réseaux urbains de Vandoeuvre et de

Nancy. Cet écart significatif s'explique par l'utilisation de la chaleur issue de l'UIOM par le réseau de Vandoeuvre, chaleur très bon marché.

d) Estimation du coût de l'entretien

Voici les prix utilisés pour l'entretien, la maintenance et la garantie totale des installations selon chaque mode de chauffage :

Coût du contrat d'entretien, maintenance et garantie totale (€HT/an)	
Réseaux de chaleur	77
Gaz collectif	160
Gaz individuel	140
Fioul	184
Pompes à chaleur	100
Chauffage électrique	0

Tableau 8 - Coûts des postes entretien, maintenance et garantie totale

Pour les réseaux de chaleur, la valeur est obtenue en faisant une moyenne sur tous les contrats d'entretien du réseau de Vandoeuvre comprenant le chauffage et l'ECS. Pour les autres modes de chauffage, les valeurs utilisées sont des estimations puisque le coût d'un contrat d'entretien dépend de plusieurs paramètres comme la qualité, la taille et l'âge des installations mais aussi du chauffagiste lui-même. Ces chiffres sont de toute façon modifiables très rapidement à partir de la feuille de calcul.

e) Estimation de l'amortissement annuel des installations

Afin de fournir de l'énergie à un logement, il faut à l'origine investir dans un système énergétique. La plupart du temps, dans du chauffage collectif, ce coût qui fait bien évidemment parti du coût global du chauffage est répercuté dans le loyer pour les locataires ou dans le prix d'achat pour les propriétaires.

Ce poste « amortissement annuel des installations » prend en compte le réseau secondaire, en aval du compteur, qui comprend dans la plupart des cas la tuyauterie d'immeuble, les corps de chauffe, le système de chauffage, le raccordement au réseau, la cuve pour le fioul, le forage pour la pompe à chaleur géothermique et la main d'œuvre.

Cette estimation est réalisée pour chacun des quatre niveaux de consommation, ci-dessous pour le niveau « Parc moyen », les autres sont en annexe :

Mode de chauffage	Durée de vie en années	Annuités (hors subventions) en €TTC/an
Réseau de chaleur	30	72,8
Electrique	15	242,7
Gaz coll	20	254,8
Gaz ind	20	273
Fioul	20	291,2
Gaz coll cond	20	291,2
Gaz ind cond	20	309,4
PAC individuelle	20	364
PAC collective	20	691,6

Tableau 9 - Durée de vie et coût de l'amortissement des modes de chauffage

Ces chiffres ont été calculés de la manière suivante :

- Une première estimation est faite sur le coût au mètre carré, car selon le niveau de consommation, la surface peut être considérée comme proportionnelle à la puissance nécessaire, donc au coût.
- Une seconde estimation est faite sur la durée de vie de l'équipement.

A partir de ces deux valeurs en considérant un taux de remboursement de 4%, puisqu'en 2012 l'éco-prêt à taux zéro n'est plus cumulable avec le crédit d'impôt, il est rapide d'obtenir une estimation de l'annuité que paiera l'utilisateur.

f) Aides et subventions

En 2012, l'utilisateur peut bénéficier de subventions à l'installation de son système de chauffage, sous forme de crédit d'impôt. Seule la pompe à chaleur géothermique eau/eau et la chaudière à condensation sont concernées, le crédit d'impôt est de 26% dans le cas de la pompe à chaleur et 10% pour la chaudière à condensation.

Ces aides sont bien évidemment à prendre en compte dans le bilan économique mais comme le but de celles-ci étant de favoriser un mode de chauffage par rapport à un autre, il faut avoir en tête qu'elles sont régulièrement revues à la baisse voir supprimées comme dans le cas de la pompe à chaleur air/air.

Il existe également un éco-prêt à taux zéro pour certains modes de chauffage, mais aujourd'hui, ils ne sont plus cumulables avec le crédit d'impôt et ils ne sont donc pas avantageux.

2) Comparaison écologique

La méthode permettant de réaliser un bilan sur la quantité de gaz à effet de serre émise par les différents types de chauffage consiste en deux étapes principales :



Figure 16 - Schéma explicatif de l'obtention des kilogrammes équivalents CO₂

- Bilan énergétique partant du kWh utile consommé par l'utilisateur pour remonter au kWh PCI grâce au rendement de l'installation et aux pertes de distribution.
- Application d'un facteur d'émission correspondant à chaque mode de chauffage en considérant la part des auxiliaires électriques (voir **Tableau 11**).

Le facteur d'émission permet de passer rapidement de la quantité d'énergie utilisée à la quantité de gaz à effet de serre émise. Il est calculé grâce à une analyse

de cycle de vie (ACV) qui prend généralement en compte tout le cycle de vie de la consommation d'énergie : depuis l'extraction du combustible ou des matières premières pour fabriquer la chaudière, jusqu'au traitement de celle-ci lorsqu'elle ne fonctionne plus.

Voici les facteurs d'émission utilisés dans les calculs [6] :

Combustible	Facteur d'émission (kgéqCO ₂ /kWh)
Fioul domestique	0,300
Gaz naturel	0,234
Electricité pour le chauffage et auxiliaires	0,180
Biomasse	0,013
UIOM	0,004

Tableau 10 - Facteurs d'émission par combustible

En ce qui concerne l'électricité, il est assez complexe de définir un facteur d'émission en France. Il en existe plusieurs, certains utilisent l'électricité nucléaire, d'autres prennent en compte les autres modes de production via des énergies fossiles, et d'autres encore considèrent l'électricité importée des autres pays. La valeur choisie est une valeur moyenne utilisée couramment pour ce type de calculs et il sera alors indispensable de nuancer les résultats concernant le chauffage utilisant de l'électricité. [7]

Pour la biomasse, le facteur est également calculé sur une moyenne des facteurs d'émission des différents composants de la biomasse : écorces, sciures, plaquettes ...

Et pour finir, même si la chaleur issue de l'usine d'incinération (UIOM) est une chaleur fatale, il est nécessaire de la capter et de la transporter et c'est pour cela que son facteur d'émission n'est pas nul.

Il faut également considérer dans le calcul la consommation électrique des auxiliaires de chauffage : [8]

Mode de chauffage	Part de la consommation des auxiliaires sur la consommation utile
Collectif	3 %

Individuel	2 %
Réseau de chaleur	1 %

Tableau 11 - Consommation des auxiliaires électriques

3) Comparaison énergétique

Pour réaliser un bilan sur l'impact énergétique de chaque mode de chauffage, l'une des unités de comparaison couramment utilisée est le kWh équivalent pétrole. En ramenant l'énergie utilisée pour chaque mode de chauffage dans cette unité, il devient simple de comparer leurs impacts énergétiques entre eux.

Voici les étapes du calcul :



Figure 17 - Schéma explicatif de l'obtention des kWh équivalents pétrole

- Bilan énergétique partant du kWh utile consommé par l'utilisateur pour remonter au kWh PCI grâce au rendement de l'installation et aux pertes de distribution.
- Application du facteur de ressource primaire correspondant à chaque mode de chauffage en considérant la part des auxiliaires électriques (voir *Tableau 11*).

Développé en 2006 par le programme européen Ecoheatcool, le PRF (Primary Resource Factor) est un facteur de conversion faisant le lien entre l'énergie livrée au compteur et l'énergie primaire dépensée pour la produire, ceci au moyen d'une analyse de cycle de vie, c'est-à-dire en considérant toute la chaîne de transformation de l'énergie :

- Extraction du combustible,
- Transformation,
- Transport,

- Utilisation.

Ce qui explique notamment les valeurs supérieures à 1 des énergies fossiles et les valeurs supérieures à 0 de la biomasse et de la chaleur fatale issue de l'UIOM.

Voici les valeurs retenues, en gras celles tirées du programme Ecoheatcool :

Energie	PRF (kWh _{ep} / kWh PCI)
Gaz naturel	1,1
Fioul domestique	1,1
Biomasse	0,1
UIOM	0,1
Electricité	2,58

Tableau 12 - Facteurs de ressource primaire selon le type de combustible

En ce qui concerne le facteur de ressource primaire de l'électricité en France, la valeur controversée de 2,58 kWh primaires utilisés pour produire un kWh électrique est choisie, car c'est celle qui est utilisée dans la réglementation thermique.

Cette valeur est obtenue en considérant que la France produit en majorité son électricité à partir d'uranium importé, mais aussi qu'elle importe une petite part d'électricité, et en exporte également une part non négligeable avec ses voisins.

Mais les résultats concernant l'électricité seront à étudier d'un œil critique puisque le calcul de ce coefficient peut se faire de nombreuses façons et certaines études choisissent une valeur se rapprochant plus de la moyenne Européenne située à 3.

V) Comparaison des modes de chauffage

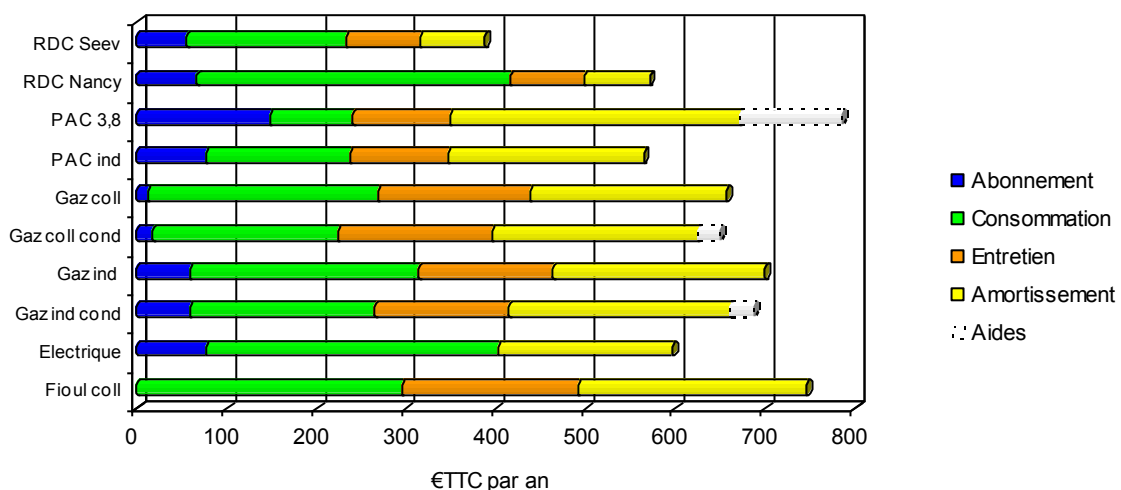
1) Bilan économique

Pour la comparaison économique, trois paramètres sont étudiés successivement en fixant les autres, le niveau de consommation (ou d'isolation), la taille du logement et enfin le nombre de logement par bâtiment.

a) Comparaison selon le niveau de consommation

Ci-dessous les résultats de l'étude économique poste par poste. La taille et le nombre de logement par immeuble sont respectivement de 70 mètres carrés et de 25 :

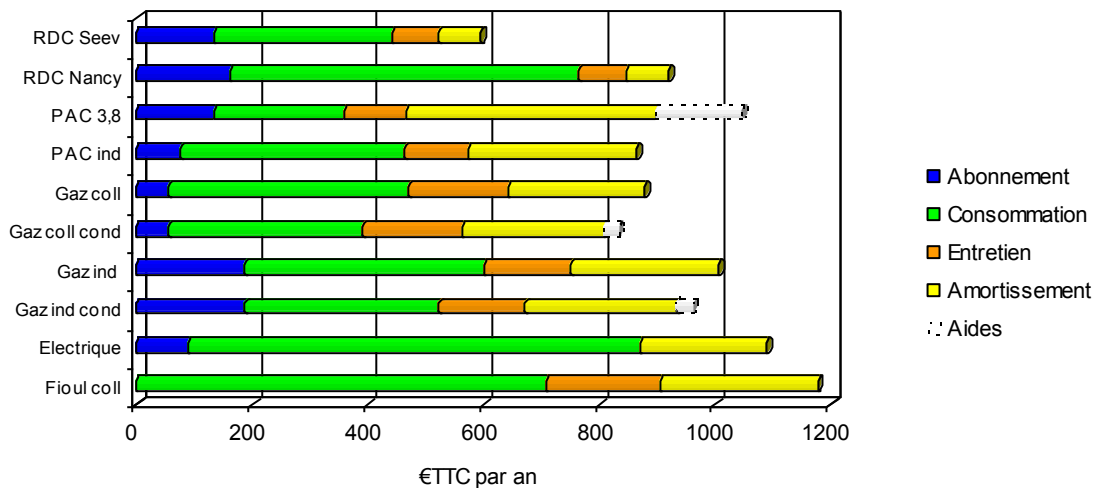
→ BBC



Graphique 1 - Coûts des postes du chauffage pour le type BBC

Pour un logement situé dans un immeuble basse consommation, on constate que la facture énergétique (abonnement + consommation) reçue par l'utilisateur ne représente que la moitié de ce qu'il paye réellement.

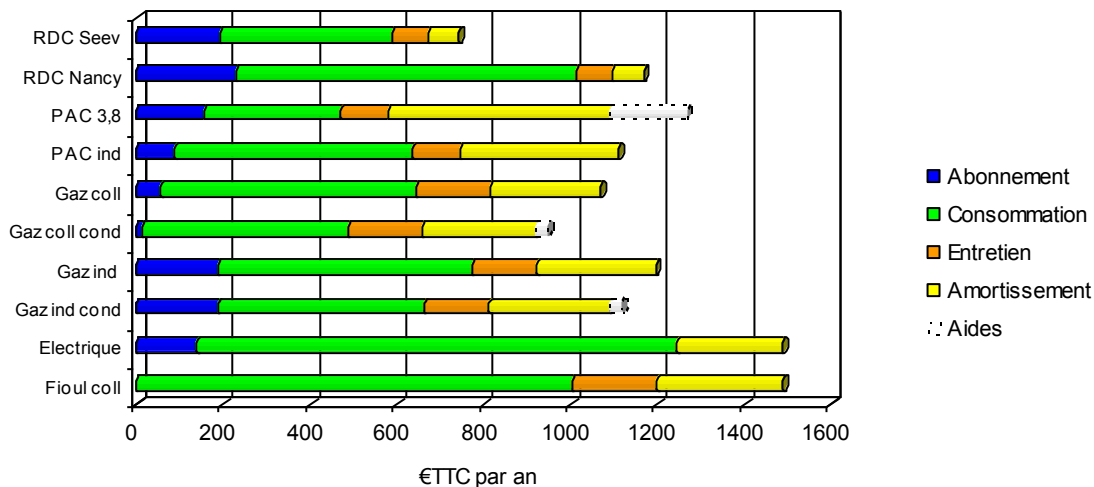
→ RT 2005



Graphique 2 - Coûts des postes du chauffage pour le type RT 2005

En comparaison avec le graphique précédent, le chauffage à l'électricité devient nettement moins avantageux économiquement à partir d'une isolation type RT 2005.

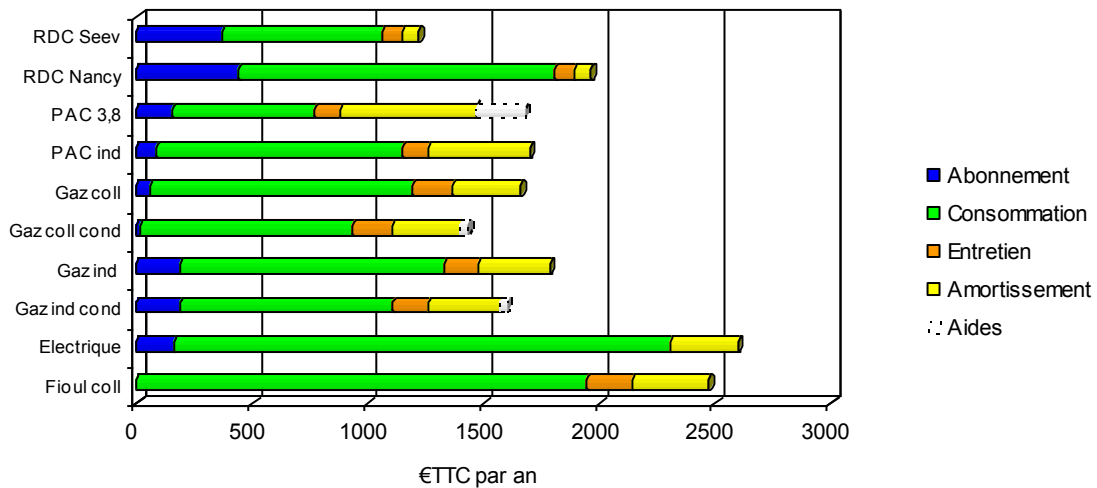
→ PARC MOYEN



Graphique 3 - Coûts des postes du chauffage pour le type Parc moyen

Par rapport au chauffage avec la pompe à chaleur collective, celui avec la pompe à chaleur individuelle devient plus cher à partir d'une isolation type Parc moyen.

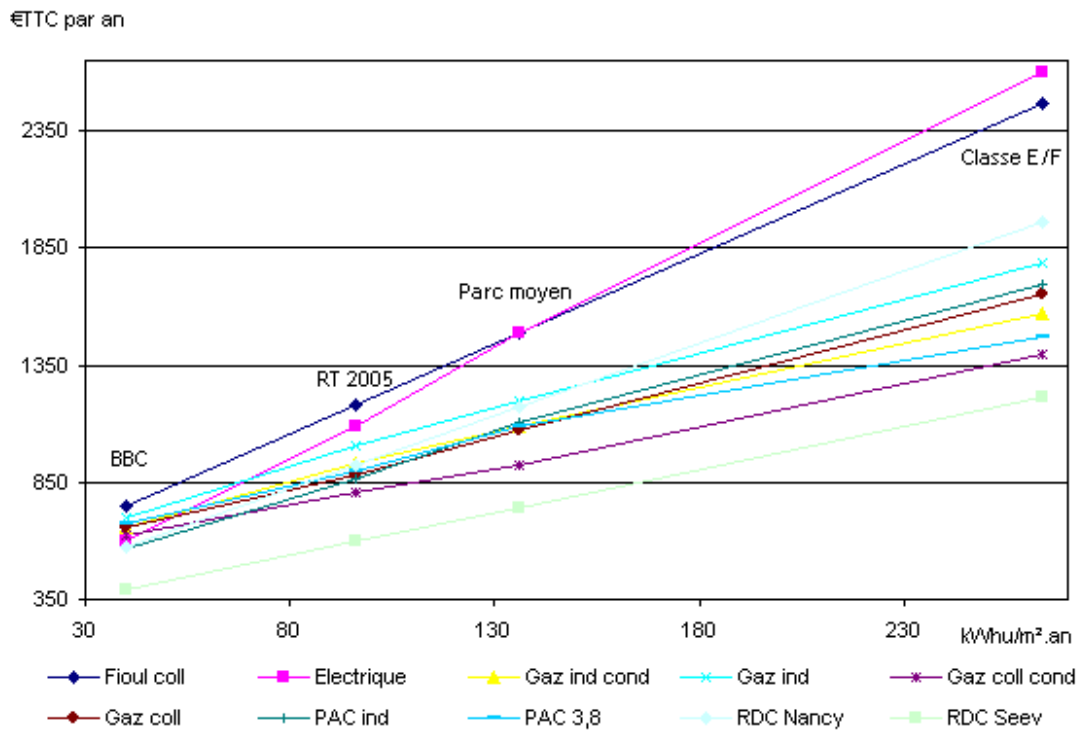
→ CLASSE E/F



Graphique 4 - Coûts des postes du chauffage pour le type classe E/F

Pour un logement mal isolé, la facture énergétique représente environ 80 % du coût total du chauffage, qui lui est de 3 à 5 fois supérieur à celui d'un logement très bien isolé.

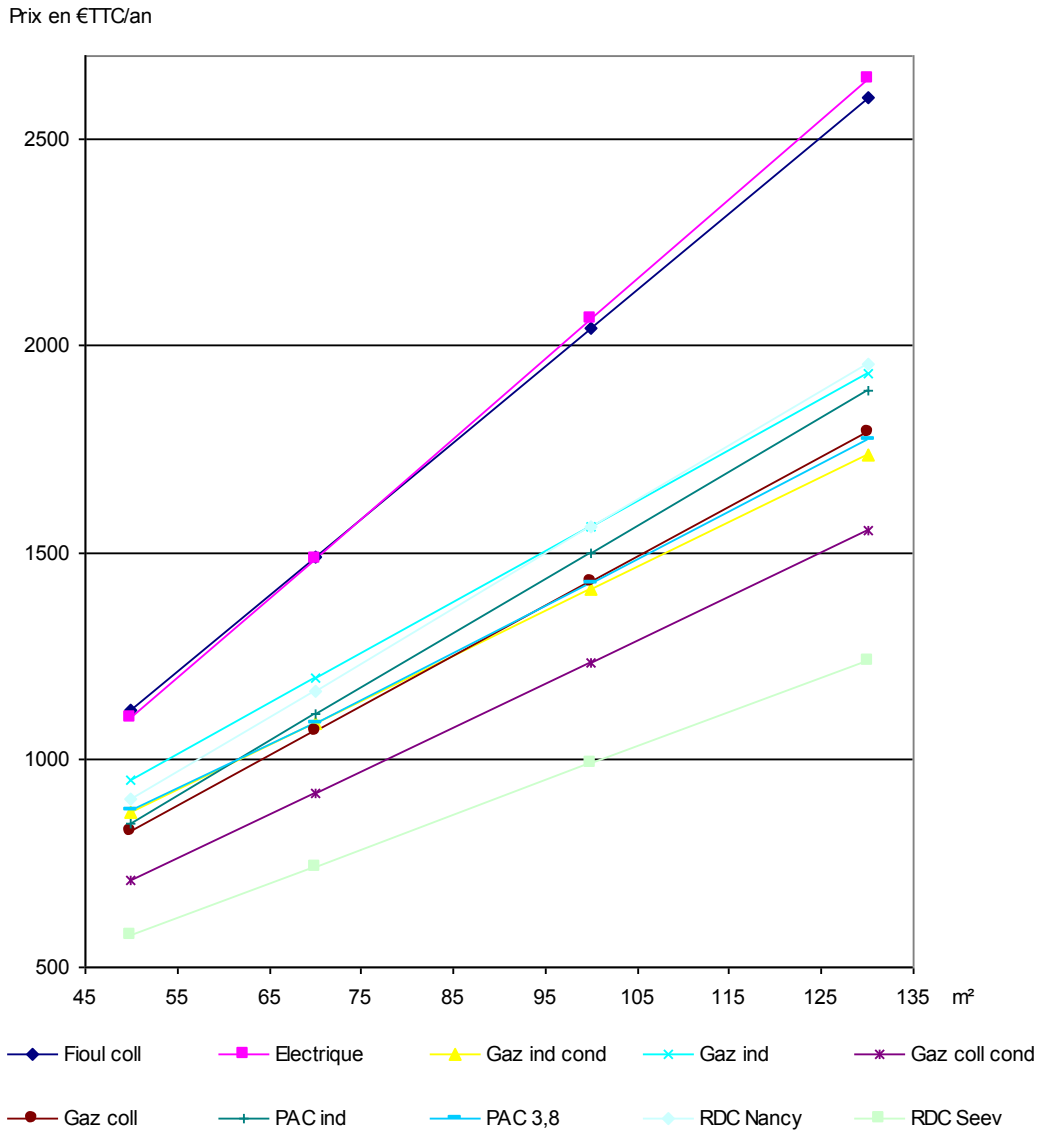
Pour une vision plus globale, le graphique suivant regroupe les résultats des 4 niveaux de consommation, en ne différenciant plus les différents postes du coût du chauffage :



Graphique 5 - Coûts des modes de chauffage selon le niveau de consommation

b) Comparaison selon la taille du logement

Cette comparaison est faite pour un immeuble type Parc moyen, comportant 25 logements :



Graphique 6 - Coûts des modes de chauffage selon la taille du logement

Pour un logement de 50 m², le chauffage avec une pompe à chaleur individuelle est moins cher de 26 €TTC/an qu'avec une chaudière à condensation individuelle, mais lorsque le logement fait 130 m², la première solution devient plus chère de 155 €TTC/an :

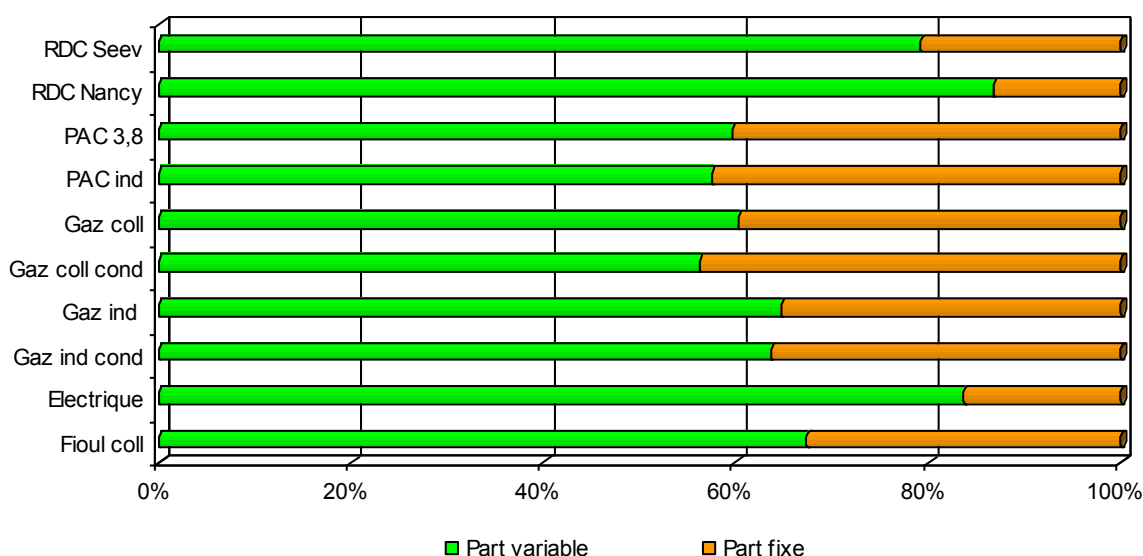
- La pompe à chaleur individuelle est mieux adaptée économiquement à des petits logements.
- La chaudière murale à condensation est préférable pour de gros logements.

Néanmoins, le réseau de chaleur de Vandoeuvre reste économiquement la meilleure solution pour se chauffer, alors que le chauffage au fioul et à l'électricité sont les moins avantageux (Parc moyen).

c) Part fixe et part variable

Le prix des énergies pour le chauffage est en constante évolution, il est alors intéressant d'évaluer quelle part du coût total peut être amenée à changer, et quelle part restera globalement constante.

Sont considérés quasi constants, le coût de l'entretien et de l'amortissement des installations, tandis que les coûts de l'abonnement, de l'énergie ainsi que les subventions sont potentiellement amenés à changer :

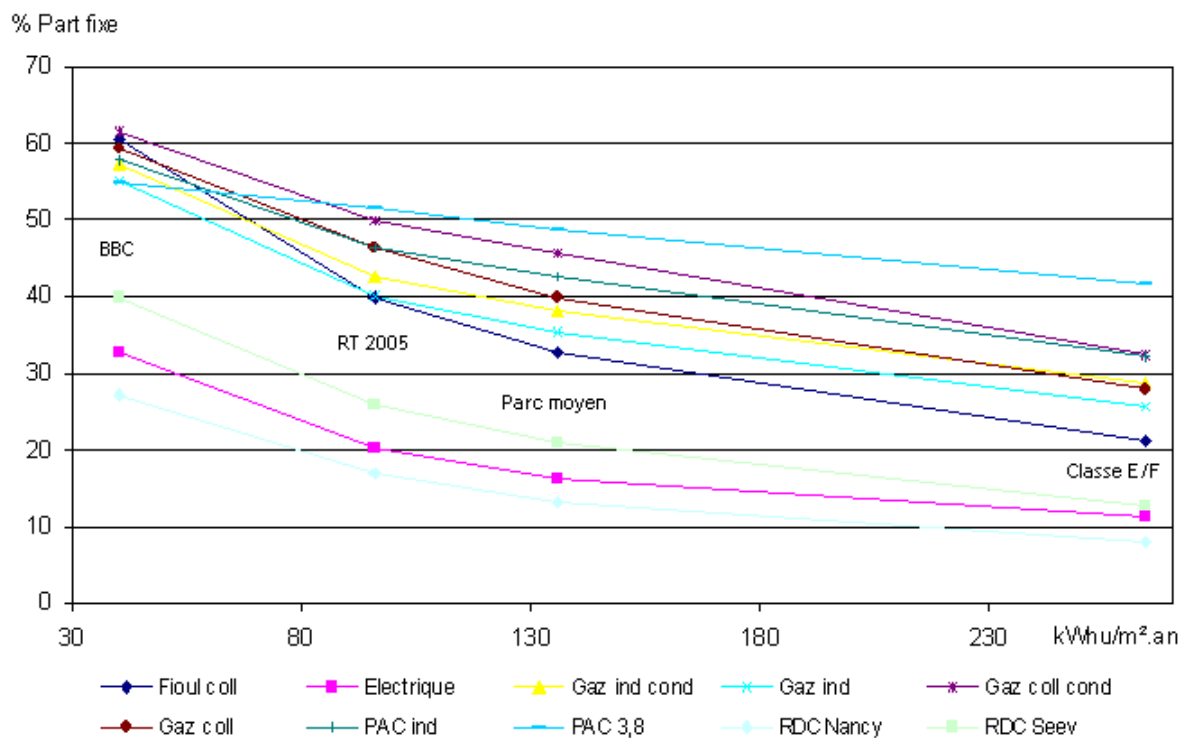


Graphique 7 - Part fixe et part variable du coût total pour un logement type

On peut constater que pour un logement type du Parc moyen :

- Le chauffage électrique et aux réseaux de chaleur a la plus grande part variable.
- Le chauffage aux pompes à chaleur et au gaz collectif a la plus grande part fixe.

Il est également intéressant de regarder l'évolution de la part fixe pour un logement type selon le niveau de consommation par exemple :



Graphique 8 - Evolution de la part fixe selon le niveau de consommation

On constate ici que la part fixe du coût selon les différents types de chauffage diminue sensiblement quand le niveau d'isolation augmente, ce qui est particulièrement vrai pour le chauffage au fioul collectif.

L'importance ou non de la part fixe dans le coût du chauffage est désavantageux dans le sens où la marge d'économies est réduite, mais d'un autre côté, une faible part variable engendre une plus grande stabilité économique, ce qui devient un argument lors de la période actuelle où le tarif des énergies est à la hausse.

d) Evolution des coûts

Puisque maintenant, la part du coût du chauffage supposée variable est déterminée, il est intéressant d'en imaginer sa progression. Voici, pour un logement type du Parc moyen, l'évolution depuis 5 ans du coût des postes abonnement + consommation énergétique :

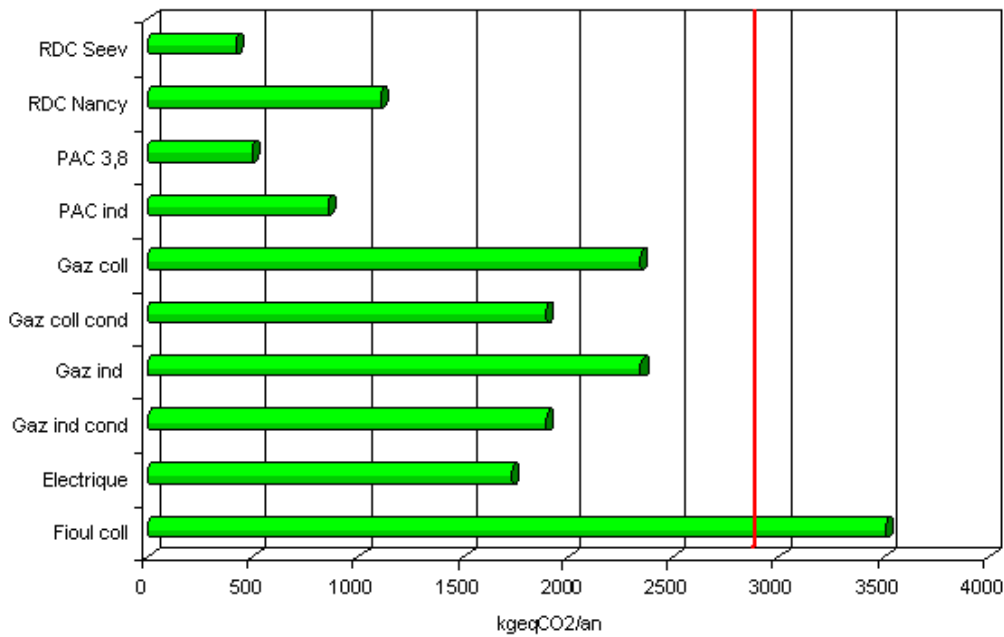
	2008	2009	2010	2011	De 2007 à 2012
Fioul domestique	+ 43 %	- 37 %	+ 26 %	+ 22 %	+ 44 %
Gaz naturel	+ 8 %	- 6 %	+ 8 %	+ 7 %	+ 23 %
RDC Vandoeuvre	+ 8 %	- 5 %	+ 11 %	+ 3 %	+ 17 %
Electricité	- 1 %	- 4 %	+ 1 %	+ 4 %	+ 3 %

Tableau 13 - Evolution de la facture énergétique depuis 2007

- L'électricité est depuis ces dernières années, l'énergie dont les tarifs sont les plus stables, mais une hausse significative estimée à 30% d'ici à 2016 pourrait avoir lieu.
- Le fioul est l'énergie qui subie actuellement la hausse la plus importante.
- Les tarifs du gaz naturel sont également à la hausse depuis 2007 et de nouvelles augmentations à prévoir dans le futur.
- Le réseau de chaleur reste alors la solution dont le coût à venir n'explosera pas, compte-tenu du fait qu'il dépend en grande partie de la chaleur de l'usine d'incinération et de la biomasse, énergies dont les prix varient peu.

2) Bilan écologique

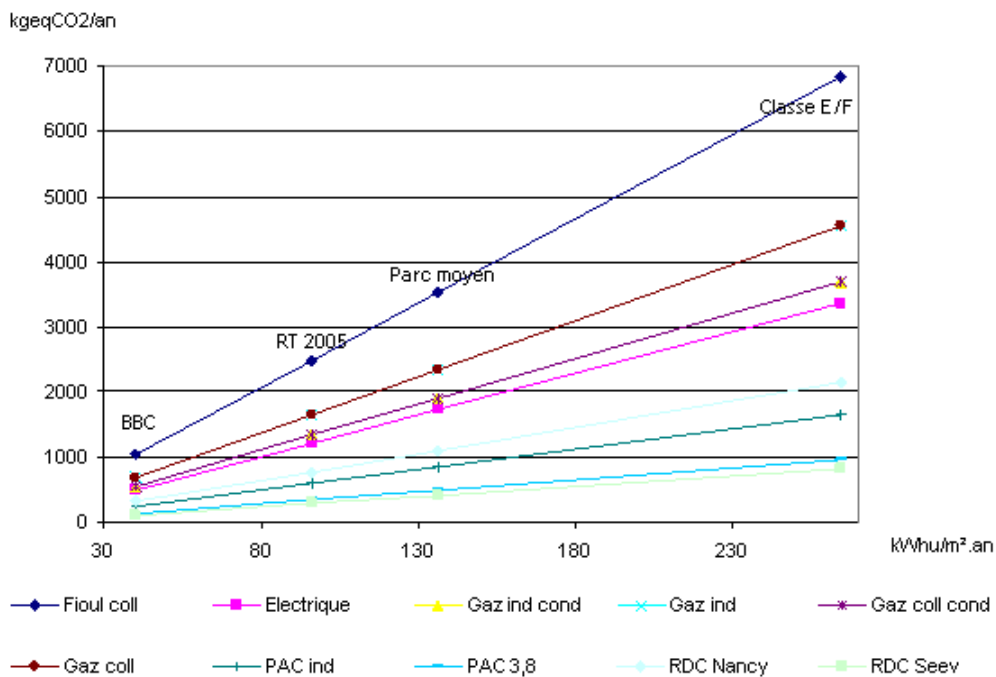
La comparaison des moyens de chauffage selon la quantité de GES qu'ils induisent est présentée en deux temps, un premier graphique indique la quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère pour le logement type du Parc moyen, et un second graphique compare les quatre niveaux de consommation pour le logement type :



Graphique 9 - Quantité de GES émis dans l'atmosphère selon le type de chauffage

Un logement type raccordé au réseau urbain de Vandoeuvre émet 420 kgéqCO₂/an alors que le même logement dans le même immeuble, mais chauffé grâce au fioul collectif, émet lui 3514 kgéqCO₂/an, soit un peu plus de 8 fois plus.

A titre de comparaison, la moyenne en France est environ de 40 kgéqCO₂/m².an (classe E), ce qui représente 2800 kgéqCO₂/an pour le logement type. Cela permet de déduire, grâce à ce graphique, que le parc de l'immobilier collectif français est moins émetteur de GES en moyenne que le reste des logements.

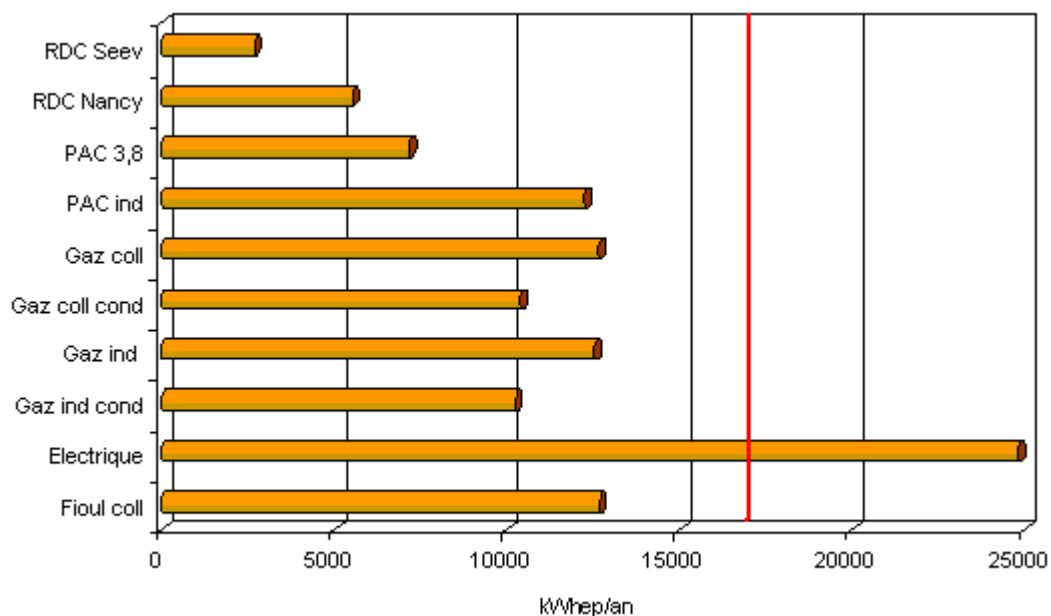


Graphique 10 - Evolution des GES émis en fonction de la consommation

- Quelque soit le niveau de consommation, le classement des modes de chauffage en terme d'émission de GES n'évolue pas.
- Le fioul est la pire solution quelque soit le niveau de consommation, viennent ensuite le chauffage au gaz puis le chauffage électrique.
- Le réseau de chaleur de Vandoeuvre est la meilleure solution, suivie par la pompe à chaleur géothermique, la pompe à chaleur individuelle puis le réseau de chaleur de Nancy.
- Un logement BBC chauffé au fioul, émettra plus de CO₂ qu'un logement très mal isolé raccordé au réseau de chaleur de Vandoeuvre.

3) Bilan énergétique

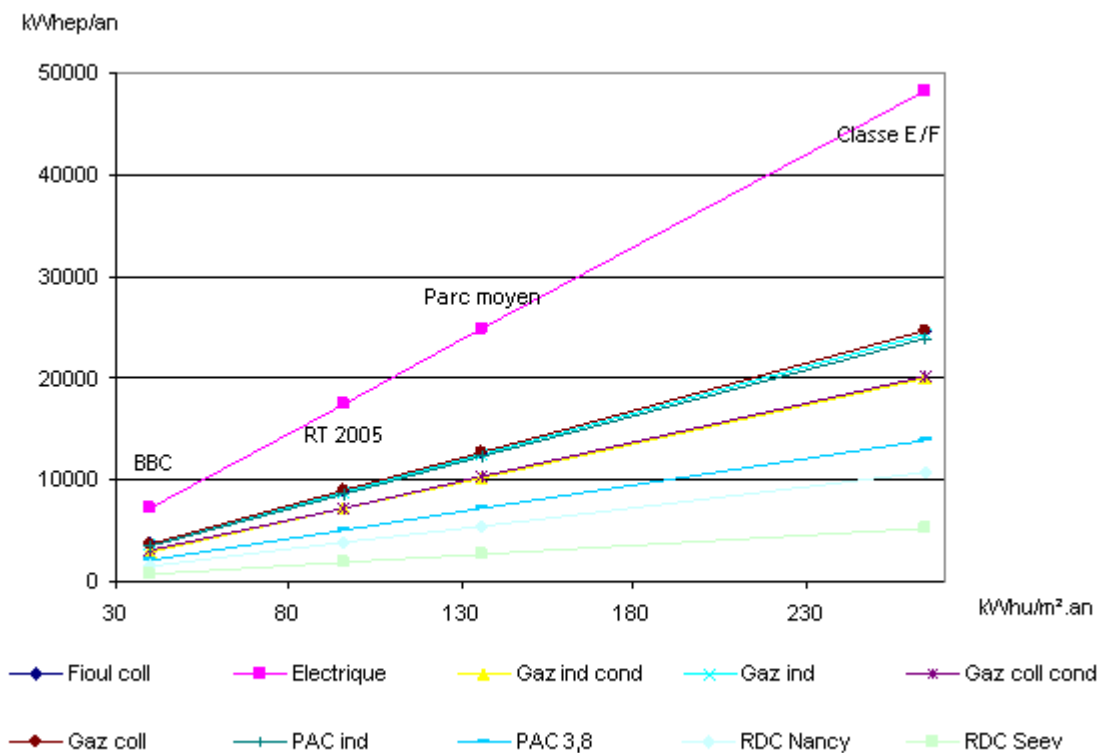
Les résultats de la comparaison énergétique, selon la quantité d'énergie primaire consommée, sont présentés de la même manière que pour la partie précédente :



Graphique 11 - Quantité de kWh primaires consommés par type de chauffage

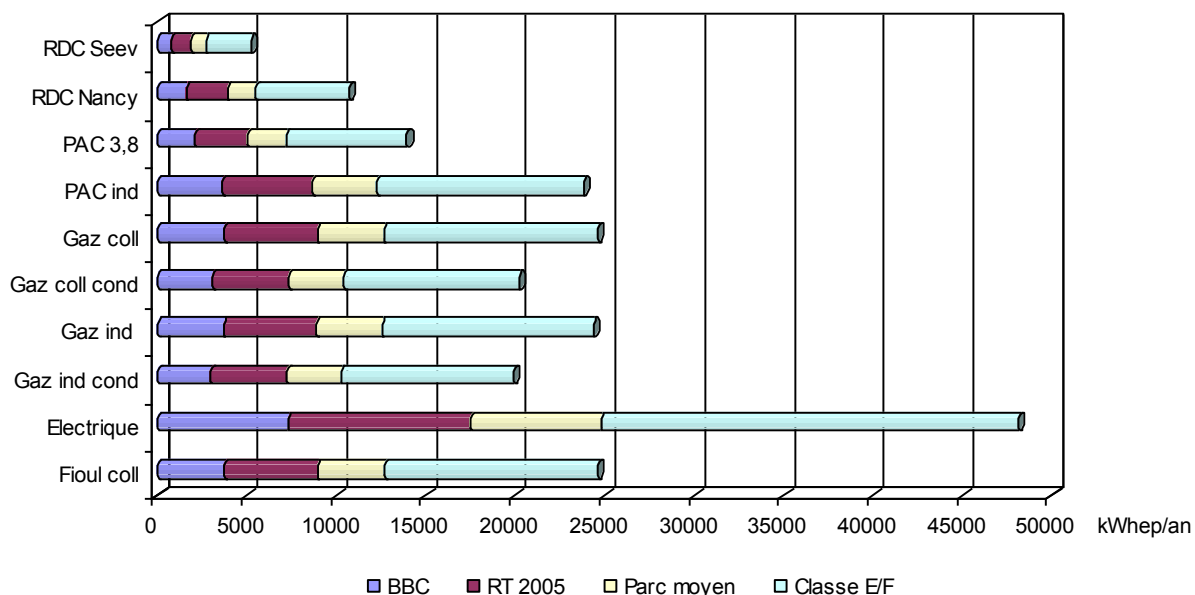
Un logement raccordé au réseau urbain de Vandoeuvre consomme l'équivalent de 2696 kWh primaire par an, soit 9 fois moins que le même logement chauffé à l'électricité.

A titre indicatif, la moyenne du parc français est aujourd'hui de 240 kgep/m².an, soit un peu moins de 17 000 kgep/an pour un logement de 70 m², ce qui place encore une fois, le parc immobilier collectif en dessous de cette moyenne.



Graphique 12 - Evolution des kWh primaires consommés selon la consommation

- Quelque soit le niveau de consommation, le classement des modes de chauffage en terme de consommation d'énergie primaire n'évolue pas.
- Le chauffage électrique est la pire solution quelque soit le niveau de consommation.
- La pompe à chaleur individuelle consomme autant d'énergie primaire que le chauffage au fioul collectif.
- Le réseau de chaleur de Vandoeuvre est de loin la meilleure solution, avec quatre fois moins d'énergie primaire consommée que le chauffage au gaz collectif par exemple.



Graphique 13 - Autre représentation des résultats de la figure précédente

Sur cette autre représentation, il est plus simple de constater qu'un logement classe E/F raccordé au réseau urbain de Nancy a des besoins presque équivalents à un logement de même superficie mais :

- de type Parc moyen chauffé avec une chaudière à condensation collective ou individuelle.
- de type RT 2005 chauffé au fioul.
- de type BBC chauffé à l'électricité.

Note : Des réserves sont tout de même à émettre concernant l'électricité et les pompes à chaleur, puisque le facteur de ressource primaire utilisé pour le calcul est une valeur très variable selon la provenance de l'électricité.

4) Classement indicatif des modes de chauffage

A titre indicatif, voici un classement des modes de chauffages étudiés selon les trois critères de comparaison vus précédemment. Ce classement est réalisé à partir des résultats obtenus pour un logement type du Parc moyen :

	Bilan économique	Bilan écologique	Bilan énergétique	Classement final
RDC Seev	1	1	1	1
PAC 3,8	5	2	3	2
RDC Nancy	7	4	2	3
Gaz coll cond	2	6	5	4
PAC ind	6	3	6	5
Gaz ind cond	4	7	4	6
Gaz coll	3	8	8	7
Gaz ind	8	9	7	8
Electrique	9	5	10	9
Fioul coll	10	10	9	10

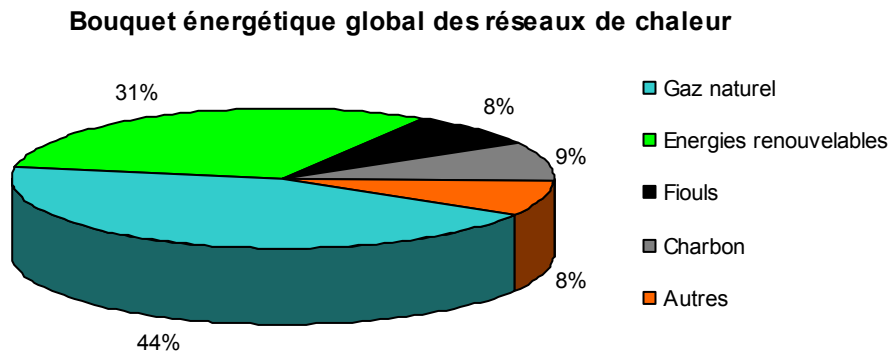
Graphique 14 - Classement des types de chauffage selon les trois critères étudiés

Lorsque l'on prend ces trois critères en compte, le réseau de chaleur de Vandoeuvre est la meilleure solution et le chauffage au fioul collectif est la plus mauvaise.

VI) Conclusion et bilan du stage

→ CONCLUSION

Le réseau de chaleur est, selon tous les aspects, la meilleure des solutions étudiées, à condition d'utiliser en majorité les énergies renouvelables ou fatales, ce qui n'est pas encore le cas d'une grande partie d'entre eux :



Mais depuis 2007, le taux d'énergies renouvelables dans les réseaux de chaleur est en constante augmentation, grâce à la volonté de valorisation de ces énergies et à la TVA à taux réduit. Le Grenelle de l'Environnement a pour objectif de passer de 2 à 6 millions d'équivalents logements chauffés grâce aux énergies renouvelables d'ici à 2020, ce qui amènerait leur taux sur les réseaux de chaleur à 54%.

→ BILAN DU STAGE

Ce stage de cinq mois chez Dalkia m'a donné une autre vision du monde professionnel que j'avais déjà entrevu lors de précédents stages et autres jobs d'été. Il m'a apporté de nombreuses connaissances sur le fonctionnement et l'exploitation des réseaux de chaleur sur lesquels je n'avais aucune notion.

Le travail en autonomie n'était pas forcément celui auquel je m'attendais, il a été bénéfique dans le sens où je me suis rendu compte que sur un projet à long terme, il est nécessaire de savoir organiser son temps et sa manière de travailler pour ne pas s'éparpiller.

Même si ce stage m'a conforté dans mes choix d'études, je ne sais pas encore précisément dans quel sens et vers quel type de métier ce stage orientera mes choix futurs. Il m'a par contre permis de comprendre les fonctions qui sont attachées à tel ou tel poste, et aussi, d'avoir une première expérience de l'exercice du cabinet de recrutement et de l'entretien d'embauche.

VII) Résumé et mots clés

→ RESUME

Ce rapport de stage a pour objectif principal de comparer selon plusieurs aspects les différents modes de chauffages dans les bâtiments de plus de 1000 mètres carrés, qu'ils soient à usage tertiaires ou à usage d'habitats collectifs. Les aspects sur lesquels cette comparaison porte sont les quantités d'énergie primaire utilisées et d'équivalents CO2 rejetés dans l'atmosphère, ainsi que le coût global pour l'utilisateur. La génération des résultats se fait à partir d'une feuille de calcul Excel sur laquelle de nombreuses valeurs sont paramétrables, comme par exemple la taille du bâtiment ou bien son niveau d'isolation, afin de pouvoir déterminer quel type de chauffage est le mieux adapté selon chaque bâtiment.

→ ABSTRACT

The main objective of this training report is to compare, according to several criteria, different heating systems for buildings over 1000 square meters, for use by tertiary sector or collective housing. The aspects related to this comparison are the quantities of primary energy used and CO2 equivalent emitted into the atmosphere, as well as the overall cost to the user. The results generated are realised from an Excel spreadsheet on which many values are configurable, such as the size of the building or its degree of isolation, in order to determine what kind of heating is the most suitable according to each building.

→ MOTS CLES

Logement - réseau de chaleur - chauffage - RT 2005 - Dalkia - énergie primaire - CO2 - bâtiment - isolation

→ LISTE DES DESSINS ET PHOTOS

Figure 1 - Organisation de l'Agence de Nancy - décembre 2011.....	5
Figure 2 - Agence Dalkia de Nancy - ZAC de la Solère - Saulxures-lès-Nancy.....	5
Figure 3 - Illustration d'un réseau de chaleur urbain.....	6
Figure 4 - Plan du réseau urbain - Vandoeuvre.....	8
Figure 5 - Chaufferie biomasse Victor.....	8
Figure 6 - Chaufferie Florentin (située entre le canal et la chaufferie Victor).....	9
Figure 7 - Plan du réseau urbain - Nancy.....	10
Figure 8 - Chaufferie biomasse - Haut-du-Lièvre.....	11
Figure 9 - Schéma de principe d'une sous-station (réseau de Nancy Energie).....	11
Figure 10 - Photographie des hydroéjecteurs de la sous-station Fac des Sciences.....	12
Figure 11 - Plateforme biomasse - Velaine-en-Haye.....	13
Figure 12 - Copie d'écran d'une partie des hypothèses de la feuille de calcul.....	17
Figure 13 - Schéma d'explication du kWh utile.....	18
Figure 14 - Schéma des différents postes du coût global du chauffage.....	23
Figure 15 - Les quatre postes de dépenses pour le chauffage.....	24
Figure 16 - Schéma explicatif de l'obtention des kilogrammes équivalents CO ₂	30
Figure 17 - Schéma explicatif de l'obtention des kWh équivalents pétrole.....	32

→ LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Les quatre niveaux de consommation de référence.....	18
Tableau 2 - Rendements et unités de facturation.....	19
Tableau 3 - Abonnements au gaz selon la consommation.....	20
Tableau 4 - Abonnements à l'électricité selon le niveau de consommation.....	21
Tableau 5 - Part des énergies utilisées sur les réseaux de Vandoeuvre et de Nancy.....	22
Tableau 6 - Puissances requises pour les pompes à chaleurs.....	25
Tableau 7 - Tarif jaune UM en avril 2011.....	27
Tableau 8 - Coûts des postes entretien, maintenance et garantie totale.....	28
Tableau 9 - Durée de vie et coût de l'amortissement des modes de chauffage.....	29
Tableau 10 - Facteurs d'émission par combustible.....	31
Tableau 11 - Consommation des auxiliaires électriques.....	31
Tableau 12 - Facteurs de ressource primaire selon le type de combustible.....	33
Tableau 13 - Evolution de la facture énergétique depuis 2007.....	40

→ LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 - Coûts des postes du chauffage pour le type BBC.....	34
Graphique 2 - Coûts des postes du chauffage pour le type RT 2005.....	35
Graphique 3 - Coûts des postes du chauffage pour le type Parc moyen.....	35
Graphique 4 - Coûts des postes du chauffage pour le type classe E/F.....	36
Graphique 5 - Coûts des modes de chauffage selon le niveau de consommation.....	36
Graphique 6 - Coûts des modes de chauffage selon la taille du logement.....	37
Graphique 7 - Part fixe et part variable du coût total pour un logement type.....	38
Graphique 8 - Evolution de la part fixe selon le niveau de consommation.....	39
Graphique 9 - Quantité de GES émis dans l'atmosphère selon le type de chauffage.....	41
Graphique 10 - Evolution des GES émis en fonction de la consommation.....	41
Graphique 11 - Quantité de kWh primaires consommés par type de chauffage.....	42
Graphique 12 - Evolution des kWh primaires consommés selon la consommation.....	43
Graphique 13 - Autre représentation des résultats de la figure précédente.....	44
Graphique 14 - Classement des types de chauffage selon les trois critères étudiés.....	45

VIII) Annexes

1) Références bibliographiques

[1] *COMMUNAUTE URBAINE DU GRAND NANCY*. Délégation de Service Public du Chauffage Urbain de Vandoeuvre. *Sage Services, réf. 2012*

[2] Zoom sur la chaudière Lipofit ® [en ligne]. *Nancy-Energie [réf. du 2011-03-22]. Disponible sur Internet : <<http://www.nancyenergie.fr/reseau-chaaleur-nancy-centre/centrale-florentin/>>.*

[3] *SAMMAR, Amir*. Etude de faisabilité d'une chaufferie bois énergie. *Université de Lorraine. Rapport de stage de Master 2 MEPP, 2011.*

[4] Faut-il rester en heures creuses? Pas si sûr! [en ligne]. *60 millions de consommateurs. [réf. du 2010-11-6]. Disponible sur Internet : <<http://www.60millions-mag.com/actualites/archives/>>*

[5] Décomposition du prix du FOD [en ligne]. *UFIP [réf. du 2011-05-04]. Disponible sur Internet : <<http://www.ufip.fr/>>*

[6] *ADEME*. Bilan Carbone : Guide des facteurs d'émissions. 2007.

[7] *RTE / ADEME*. Le contenu en CO2 du kWh électrique. 2007.

[8] *CHAINOT, Diane*. Comparaison des modes de chauffage. *INSA Lyon. Rapport de stage, 2008.*

[9] *AMORCE / ADEME*. Le prix de vente de la chaleur en 2010. *Série économique RCE14 Mars 2012.*

[10] *COMMISSION CENTRALE DES MARCHÉS*. Marchés d'exploitation de chauffage avec ou sans gros entretien des installations - N°2008. *Direction des journaux officiels, 1991.*

2) Amortissement annuel des installations

Ci-dessous, le détail des coûts d'installations pour le système de chauffage ainsi que le réseau de distribution et d'émission dans un immeuble de 25 logements de 70 mètres carrés.

Les chiffres issus d'estimations sont en rose, les chiffres en bleu sont des données, et les chiffres en verts sont des résultats calculés grâce aux précédents et aux autres paramètres.

BBC	Prix au m ²	Coût immeuble	Coût logement	Crédit d'impôt	Durée de vie	Annuités finales	Aides annuelles
Fioul	72,8 € TTC	127400 € TTC	5096 € TTC		20 ans	254,8 € TTC	
Elec	41,6 € TTC		2912 € TTC		15 ans	194,1 € TTC	
Gaz ind cond	78 € TTC		5460 € TTC	10 %	20 ans	245,7 € TTC	27,3 € TTC
Gaz ind	67,6 € TTC		4732 € TTC		20 ans	236,6 € TTC	
Gaz coll cond	72,8 € TTC	127400 € TTC	5096 € TTC	10 %	20 ans	229,3 € TTC	25,5 € TTC
Gaz coll	62,4 € TTC	109200 € TTC	4368 € TTC		20 ans	218,4 € TTC	
RDC	31,2 € TTC	54600 € TTC	2184 € TTC		30 ans	72,8 € TTC	
PAC ind	62,4 € TTC		4368 € TTC		20 ans	218,4 € TTC	
PAC geo	124,8 € TTC	218400 € TTC	8736 € TTC	26 %	20 ans	323,2 € TTC	113,6 € TTC

RT 2005	Prix au m ²	Coût immeuble	Coût logement	Crédit d'impôt	Durée de vie	Annuités finales	Aides annuelles
Fioul	78 € TTC	136500 € TTC	5460 € TTC		20 ans	273,0 € TTC	
Elec	46,8 € TTC		3276 € TTC		15 ans	218,4 € TTC	
Gaz ind cond	83,2 € TTC		5824 € TTC	10 %	20 ans	262,1 € TTC	29,1 € TTC
Gaz ind	72,8 € TTC		5096 € TTC		20 ans	254,8 € TTC	
Gaz coll cond	78 € TTC	136500 € TTC	5460 € TTC	10 %	20 ans	245,7 € TTC	27,3 € TTC
Gaz coll	67,6 € TTC	118300 € TTC	4732 € TTC		20 ans	236,6 € TTC	
RDC	31,2 € TTC	54600 € TTC	2184 € TTC		30 ans	72,8 € TTC	
PAC ind	83,2 € TTC		5824 € TTC		20 ans	291,2 € TTC	
PAC geo	166,4 € TTC	291200 € TTC	11648 € TTC	26 %	20 ans	431,0 € TTC	151,4 € TTC

Parc moyen	Prix au m ²	Coût immeuble	Coût logement	Crédit d'impôt	Durée de vie	Annuités finales	Aides annuelles
Fioul	83,2 € TTC	145600 € TTC	5824 € TTC		20 ans	291,2 € TTC	
Elec	52 € TTC		3640 € TTC		15 ans	242,7 € TTC	
Gaz ind cond	88,4 € TTC		6188 € TTC	10 %	20 ans	278,5 € TTC	30,9 € TTC
Gaz ind	78 € TTC		5460 € TTC		20 ans	273,0 € TTC	
Gaz coll cond	83,2 € TTC	145600 € TTC	5824 € TTC	10 %	20 ans	262,1 € TTC	29,1 € TTC
Gaz coll	72,8 € TTC	127400 € TTC	5096 € TTC		20 ans	254,8 € TTC	
RDC	31,2 € TTC	54600 € TTC	2184 € TTC		30 ans	72,8 € TTC	
PAC ind	104 € TTC		7280 € TTC		20 ans	364,0 € TTC	
PAC geo	197,6 € TTC	345800 € TTC	13832 € TTC	26 %	20 ans	511,8 € TTC	179,8 € TTC

Classe E/F	Prix au m ²	Coût immeuble	Coût logement	Crédit d'impôt	Durée de vie	Annuités finales	Aides annuelles
Fioul	93,6 € TTC	163800 € TTC	6552 € TTC		20 ans	327,6 € TTC	
Elec	62,4 € TTC		4368 € TTC		15 ans	291,2 € TTC	
Gaz ind cond	98,8 € TTC		6916 € TTC	10 %	20 ans	311,2 € TTC	34,6 € TTC
Gaz ind	88,4 € TTC		6188 € TTC		20 ans	309,4 € TTC	
Gaz coll cond	93,6 € TTC	163800 € TTC	6552 € TTC	10 %	20 ans	294,8 € TTC	32,8 € TTC
Gaz coll	83,2 € TTC	145600 € TTC	5824 € TTC		20 ans	291,2 € TTC	
RDC	31,2 € TTC	54600 € TTC	2184 € TTC		30 ans	72,8 € TTC	
PAC ind	124,8 € TTC		8736 € TTC		20 ans	436,8 € TTC	
PAC geo	228,8 € TTC	400400 € TTC	16016 € TTC	26 %	20 ans	592,6 € TTC	208,2 € TTC

3) Résultats pour le logement type

→ RESULTATS DU BILAN ECONOMIQUE POUR LE LOGEMENT TYPE

RESULTATS BBC

€TTC/an	Abonnement	Consommation	Entretien	Amortissement	Aides	Total
Fioul coll	0,00	294,91	196,20	254,80		745,90
Electrique	77,19	325,43	0,00	194,13		596,76
Gaz ind cond	59,11	206,67	149,28	245,70	27,30	660,76
Gaz ind	59,11	255,29	149,28	236,60		700,28
Gaz coll cond	18,18	206,67	170,60	229,32	25,48	624,78
Gaz coll	13,06	255,29	170,60	218,40		657,36
PAC ind	77,19	161,09	108,32	218,40		565,00
PAC 3,8	148,00	93,01	108,32	323,23	113,57	672,56
RDC Nancy	67,26	349,25	82,20	72,80		571,51
RDC Seev	56,32	176,81	82,20	72,80		388,12

RESULTATS RT 2005

€TTC/an	Abonnement	Consommation	Entretien	Amortissement	Aides	Total
Fioul coll	0,00	707,78	196,20	273,00		1176,97
Electrique	89,50	781,04	0,00	218,40		1088,94
Gaz ind cond	187,24	335,36	149,28	262,08	29,12	933,96
Gaz ind	187,24	414,27	149,28	254,80		1005,59
Gaz coll cond	56,39	335,36	170,60	245,70	27,30	808,05
Gaz coll	56,39	414,27	170,60	236,60		877,86
PAC ind	77,19	386,61	108,32	291,20		863,32
PAC 3,8	134,38	223,23	108,32	430,98	151,42	896,90
RDC Nancy	161,43	603,17	82,20	72,80		919,60
RDC Seev	135,16	305,34	82,20	72,80		595,50

RESULTATS PARC MOYEN

€TTC/an	Abonnement	Consommation	Entretien	Amortissement	Aides	Total
Fioul coll	0,00	1002,69	196,20	291,20		1490,08
Electrique	139,01	1106,47	0,00	242,67		1488,15
Gaz ind cond	187,24	475,09	149,28	278,46	30,94	1090,07
Gaz ind	187,24	586,88	149,28	273,00		1196,40
Gaz coll cond	12,52	475,09	170,60	262,08	29,12	920,30
Gaz coll	56,39	586,88	170,60	254,80		1068,67
PAC ind	89,50	547,70	108,32	364,00		1109,52
PAC 3,8	154,62	316,24	108,32	511,78	179,82	1090,96
RDC Nancy	228,69	784,55	82,20	72,80		1168,24
RDC Seev	191,48	397,15	82,20	72,80		743,63

RESULTATS CLASSE E/F

€TTC/an	Abonnement	Consommation	Entretien	Amortissement	Aides	Total
Fioul coll	0,00	1946,39	196,20	327,60		2470,18
Electrique	159,66	2147,86	0,00	291,20		2598,72
Gaz ind cond	187,24	922,24	149,28	311,22	34,58	1569,98
Gaz ind	187,24	1139,24	149,28	309,40		1785,16
Gaz coll cond	12,52	922,24	170,60	294,84	32,76	1400,21
Gaz coll	56,39	1139,24	170,60	291,20		1657,43
PAC ind	89,50	1063,19	108,32	436,80		1697,81
PAC 3,8	157,58	613,87	108,32	592,59	208,21	1472,36
RDC Nancy	443,93	1364,95	82,20	72,80		1963,88
RDC Seev	371,70	690,94	82,20	72,80		1217,64

→ RESULTATS DU BILAN ENERGETIQUE POUR LE LOGEMENT TYPE

BILAN ENERGIE PRIMAIRE

kWhep/an	BBC	RT 2005	Parc moyen	Classe E/F
Fioul coll	3734,72	8963,32	12698,04	24649,13
Electrique	7296,97	17512,73	24809,70	48160,00
Gaz ind cond	3019,15	7245,95	10265,10	19926,37
Gaz ind	3695,54	8869,29	12564,83	24390,56
Gaz coll cond	3062,05	7348,93	10410,98	20209,55
Gaz coll	3731,54	8955,70	12687,25	24628,19
PAC ind	3612,00	8668,80	12280,80	23839,20
PAC 3,8	2112,28	5069,47	7181,75	13941,05
RDC Nancy	1624,56	3898,94	5523,50	10722,10
RDC Seev	792,96	1903,10	2696,06	5233,54

→ RESULTATS DU BILAN ECOLOGIQUE POUR LE LOGEMENT TYPE

BILAN CO2

kgeqCO2/an	BBC	RT 2005	Parc moyen	Classe E/F
Fioul coll	1033,62	2480,69	3514,31	6821,89
Electrique	509,09	1221,82	1730,91	3360,00
Gaz ind cond	559,01	1341,62	1900,63	3689,45
Gaz ind	690,54	1657,29	2347,83	4557,56
Gaz coll cond	557,71	1338,51	1896,22	3680,90
Gaz coll	688,94	1653,45	2342,39	4546,99
PAC ind	252,00	604,80	856,80	1663,20
PAC 3,8	147,37	353,68	501,05	972,63
RDC Nancy	324,71	779,30	1104,00	2143,07
RDC Seev	123,63	296,70	420,33	815,93