

UNIVERSITE PARIS – DAUPHINE
EDOCIF
DFR SCIENCES DES ORGANISATIONS
CGEMP – Centre de Géopolitique de l'Energie et des Matières Premières

THESE

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR EN SCIENCES ECONOMIQUES
(Arrêté du 25 avril 2002)

Présentée et soutenue publiquement

par

Laurent GAYRAL

Le 16 décembre 2005

**GESTION DE L'ENERGIE AU SEIN DU PATRIMOINE BÂTI DES
COLLECTIVITES TERRITORIALES EUROPEENNES DANS LE
CADRE DE LA LIBERALISATION DES MARCHES :**
**ETUDE ECONOMIQUE DES MECANISMES FINANCIERS FAVORISANT
L'INVESTISSEMENT DANS L'EFFICACITE ENERGETIQUE**

Tome 2 – Etudes de cas approfondies

JURY

Jean-Marie CHEVALIER, Professeur à l'Université Paris Dauphine, Directeur de thèse

Jean-Michel GLACHANT, Professeur à l'Université Paris XI, Rapporteur

Henri BAGUENIER, Maitre de Conférences à l'Université Paris X, Rapporteur

Bernard LAPONCHE, Expert indépendant en politique d'efficacité énergétique, Suffragant

Boris BAILLY, Responsable de la Cellule Partenariats Promotionnels à l'ADEME,
Suffragant

Jean-Claude STEFFENS, Directeur de l'environnement et de l'innovation chez Suez SA,
Suffragant

Tractebel, Suffragant

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
MONTPELLIER ET LE FINANCEMENT DE L'AMELIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DE SON PATRIMOINE PAR AUTOFINANCEMENT – TRANSVERSALITE DU SERVICE ENERGIE – FINANCEMENT D'UNE STATION DE COGENERATION EN TIERS INVESTISSEMENT	
1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE MONTPELLIER.....	8
2 LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE MONTPELLIER	9
2.1 ORGANISATION INSTITUTIONNELLE.....	9
2.2 DONNEES ENERGETIQUES CONCERNANT LE PATRIMOINE COMMUNAL	11
2.2.1 Bilan énergétique global de 2002.....	11
2.2.2 Evolution des dépenses relatives à l'énergie.....	13
2.2.3 Transferts de bâtiments à la Communauté d'Agglomération de Montpellier (CAM) .	14
2.2.4 Comparaisons ouvertes avec d'autres villes.....	14
2.3 LA MISSION DU SERVICE ENERGIE : ASSURER LA DOUBLE COHERENCE AMONT-AVAL ET INVESTISSEMENT-FONCTIONNEMENT	15
2.4 OPTIMISATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS COMMUNAUX	17
2.4.1 Diffusion annuelle de deux notes de service.....	17
2.4.2 Exemple de l'optimisation énergétique de la bibliothèque municipale	19
2.4.3 Exemple de l'optimisation énergétique des médiathèques	20
2.5 LA MAITRISE DE LA DEMANDE D'ELECTRICITE	21
2.5.1 Méthodologie suivie.....	21
2.5.2 Résultats obtenus.....	22
3 LE RESEAU DE CHALEUR ET DE CLIMATISATION DE MONTPELLIER – VECTEUR D'ENERGIE PORTEUR D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES.....	24
3.1 DESCRIPTION.....	24
3.2 LA COGENERATION.....	25
3.2.1 Caractéristiques de la centrale de cogénération	25
3.2.2 Acteurs ayant participé au financement de l'installation	26
3.3 LA TRIGENERATION	28
3.3.1 Contexte de l'installation de la trigénération et chiffres clés.....	28
3.3.2 Explications du fonctionnement d'une centrale de trigénération.....	29
3.3.3 Bilan énergétique et environnemental de la trigénération.....	30
4 CONCLUSION.....	31

FRANCFORT ET LE FINANCEMENT DE L'AMELIORATION DE L'EFFICACITE
ENERGETIQUE DE SON PATRIMOINE PAR **AUTOFINANCEMENT** –
IMPLANTATION SYSTEMATIQUE DE STATIONS DE COGENERATION

1	CARACTERISTIQUES GENERALES DE FRANCFORT.....	34
2	LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE FRANCFORT	34
2.1	CARACTERISTIQUES GENERALES	34
2.2	BILAN ENERGETIQUE DE FRANCFORT	36
2.2.1	Les bâtiments municipaux.....	36
2.2.2	Le cas particulier de l'éclairage public	42
2.3	LES ENERGIES RENOUVELABLES A FRANCFORT	42
2.4	PROMOTION DES ECONOMIES D'ENERGIE A TRAVERS DES MECANISMES FINANCIERS INNOVANTS	43
2.4.1	Mix entre mécanisme de participation des usagers et contrat de performance interne	43
2.4.2	Un raisonnement en coût global favorisé par une taxe locale « virtuelle » sur les émissions de CO ₂	44
3	POLITIQUE D'IMPLANTATION SYSTEMATIQUE DE STATIONS DE COGENERATION	45
3.1	METHODOLOGIE SUIVIE.....	45
3.2	DEMARCHE DE FINANCEMENT	46
3.3	DESCRIPTION DU PARC DES COGENERATEURS INSTALLEES SUR LE TERRITOIRE	47
3.4	DEVELOPPEMENT D'OUTILS DE COMPARAISON.....	49
4	ETUDE DES STATIONS DE COGENERATION INSTALLEES AU SEIN DES BATIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE FRANCFORT	53
4.1	UNE VUE D'ENSEMBLE	53
4.2	ANALYSE DETAILLEE DE DEUX INSTALLATIONS	56
4.2.1	Exemple de l'école de Carl Schurz	56
4.2.2	Exemple du jardin d'enfants de Borheim.....	59
5	CONCLUSION.....	63

**BERLIN ET LE MECANISME DE CONTRACTUALISATION POUR LES ECONOMIES
D'ENERGIE – FINANCEMENT DE L'AMELIORATION DE L'EFFICACITE
ENERGETIQUE DE SES BATIMENTS PAR TIERS INVESTISSEMENT**

1	CARACTERISTIQUES GENERALES DE BERLIN	66
1.1	ORGANISATION ADMINISTRATIVE ALLEMANDE EN GENERAL ET DE BERLIN EN PARTICULIER.....	66
1.2	UNE HISTOIRE QUI A FAÇONNE LE SYSTEME ENERGETIQUE DE BERLIN.....	67
2	LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE BERLIN	68
2.1	ORGANISATION ET ENJEUX D'UNE TELLE POLITIQUE	68
2.1.1	Répartition des responsabilités entre les différentes autorités et rôle de l'Agence de l'énergie.....	68
2.1.2	Evolution de la consommation d'énergie sur le territoire de la ville de Berlin	69
2.1.3	Bilan énergétique de la ville de Berlin	72
2.2	CONTEXTE DANS LEQUEL S'INSERE LA PROMOTION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	73
2.2.1	Le plan d'actions « Berlin économise l'énergie ».....	73
2.2.2	Le programme énergétique du Land de Berlin.....	73
2.2.3	Classification des bâtiments en fonction de leurs performances énergétiques	74
2.2.4	Mécanisme de participation des usagers des bâtiments aux économies d'énergie - Projet 50/50 dans les écoles.....	75
2.2.5	Le programme d'information ImpulsE	76
2.2.6	Economie d'énergie dans les immeubles d'habitation – Projet BEST.....	76
2.2.7	Un projet modèle de renouvellement urbain écologique : le quartier de Kreuzberg ...	77
3	LA PRODUCTION DECENTRALISEE D'ENERGIE.....	78
3.1	DEVELOPPEMENT DU SOLAIRE THERMIQUE ET PHOTOVOLTAÏQUE.....	78
3.2	FACTEURS CLES DE SUCCES DU DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE SOLAIRE A BERLIN	79
3.2.1	Programmes nationaux ou régionaux de soutien au solaire	79
3.2.2	Accords volontaires multilatéraux	80
3.2.3	Accords de coopération.....	81
3.2.4	Aspects législatifs et réglementaires	81
3.3	DEVELOPPEMENT DE LA COGENERATION A BERLIN.....	82
4	LE CONCEPT DE CONTRACTUALISATION POUR LES ECONOMIES D'ENERGIE AU SEIN DES BATIMENTS PUBLICS	83
4.1	EXPLICATION DU CONCEPT	83
4.2	LES DIFFERENTES ETAPES DU PROCESSUS DE CONTRACTUALISATION.....	86
4.2.1	Préparation et développement du projet.....	87
4.2.2	Lancement de l'appel d'offres européen.....	88
4.2.3	Signature du contrat de performance énergétique.....	91

4.3 CARACTERISTIQUES DES CONTRATS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE SIGNES A BERLIN . 93

5	SYNTHESE DES CONTRATS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE SIGNES PAR BERLIN ET EXEMPLE DE QUELQUES POOLS	95
5.1	SYNTHESE	95
5.2	DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES DES CONTRATS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE DE QUELQUES POOLS DE BATIMENTS	99
5.2.1	Pool 3 : Treptow	99
5.2.2	Pool 4 : Pankow	101
5.2.3	Pool 9 : Friedrichshain	103
5.2.4	Pool 11 : Steglitz-Zehlendorf	104
5.2.5	Pool 12 : Bäderbetriebe (piscines publiques de Berlin)	105
5.2.6	Pool 14 : Kreuzberg.....	109
6	CONCLUSION.....	110
	BIBLIOGRAPHIE MONTPELLIER.....	113
	BIBLIOGRAPHIE FRANCFORT	115
	BIBLIOGRAPHIE BERLIN	117
	Liste des tableaux	121
	Liste des schémas et graphiques.....	123

Etude de cas

Gestion énergétique du patrimoine bâti à Montpellier

*Montpellier et le financement de l'amélioration de l'efficacité
énergétique de son patrimoine par **autofinancement** –
Transversalité du service énergie –
Financement d'une station de cogénération en **tiers investissement***

Données climatiques

Degrés jours (sur une base de 18°C) : 1669

Température annuelle moyenne : 14°C

Durée d'ensoleillement : 250 jours par an

Précipitations annuelles : 691 mm

Mots-clés : Service de l'énergie ; Raisonnement en coût global ; Optimisation de la conception énergétique des bâtiments communaux ; Maîtrise de la demande d'électricité ; Financement de la cogénération par un tiers investisseur.

1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE MONTPELLIER

Montpellier compte 229 055 habitants dont 63 000 étudiants, ce qui en fait la huitième ville française¹ ; 330 000 habitants ont été recensés dans l'agglomération en 2002. Sur le plan politique, le conseil municipal de la ville est composé de 61 élus dont 18 adjoints au maire². Au niveau technique et administratif, on dénombre 3 020 fonctionnaires municipaux et 1 258 personnes travaillant aux services techniques³. Carrefour d'échanges avec tous les pays de la Méditerranée, Montpellier développe relativement tôt l'ambition de devenir un modèle en matière de développement durable. En 1977, dans un contexte de croissance démographique exceptionnel, des grands objectifs en matière d'urbanisation voient le jour à travers « la charte d'urbanisme ». Elle énonce trois exigences majeurs qui serviront de fil conducteur aux différentes politiques qui seront mises en œuvre : construire une ville humainement équilibrée en rapprochant logements et emplois ; construire ensemble avec les citoyens ; élaborer un urbanisme efficace. C'est sur la base de cette charte que la ville a mené une politique volontariste d'aménagement urbain et a notamment mis fin, au travers du Plan d'Occupation des Sols, aux principes du développement urbain par rayons concentriques entraînant l'asphyxie du centre-ville livré à la voiture individuelle [Morales, 1999].

Montpellier s'est également engagée en 1992 dans une vaste démarche avec l'Etat, les associations et les partenaires institutionnels pour élaborer une charte de l'environnement. Elle voit le jour en 1994 après une large consultation, ses grands axes sont : la maîtrise et la valorisation de l'espace urbain et du paysage ; l'éco-mobilité⁴ ; la maîtrise et la valorisation des ressources naturelles ; l'éducation à l'environnement ; des outils et des indicateurs de l'environnement⁵. Du point de vue des transports, une ligne de tramway traverse la ville, depuis juillet 2000, du nord-ouest au sud-est et dessert 28 stations le long des 15,2 kilomètres du parcours [DEMT, 2005]. Ce mode de transport fiable, rapide et non polluant permet de réduire la croissance des déplacements en voiture, et donc, la consommation de carburant et les émissions de CO₂⁶. Une deuxième ligne de 21 kilomètres est en chantier pour une mise en service prévue en 2006, et une troisième est à l'étude pour rejoindre la mer. Pour finir, signalons que la ville a aménagé 148 km de pistes cyclables et que la Société de Transports de l'Agglomération de Montpellier a mis en place un système de location de vélos⁷.

¹ La densité s'élève à 1 630 habitants par km².

² L' élu en charge de l'énergie est Eric Macia.

³ Le directeur général des services techniques est Daniel Robequain, celui du service énergie est Michel Irigoien.

⁴ L'éco-mobilité est un concept qui consiste à combiner l'ensemble des modes de déplacements mis à la disposition des citoyens et qui doit favoriser une ville plus compacte, mixte et solidaire.

⁵ Signalons que la ville de Montpellier a été récompensée de ses efforts en obtenant le prix européen des villes durables à Lisbonne en 1996.

⁶ Le tramway oblige également à repenser les plans de circulation et à mieux répartir l'espace entre utilisateurs. Ainsi pour les voitures, l'idéal est de concevoir des itinéraires qui évitent le centre-ville tout en privilégiant l'accès et le stationnement pour ceux qui ont le désir et le besoin de s'y rendre. Pour les piétons et les vélos, il faut redistribuer la circulation dans la zone centrale, notamment en terme de sécurité [Morales, 1999].

⁷ « La Société de Transports de l'Agglomération de Montpellier a également acquis 70 bus roulant au gaz naturel depuis 2000, cela représente la moitié du parc de bus. La même démarche a été adoptée par la ville de Montpellier pour sa flotte : 74 véhicules roulent au carburant propre (GNV ou GPL), ainsi que pour le ramassage des ordures ménagères (en janvier 2002, 11 bennes à ordures ménagères fonctionnant au gaz naturel ont été mises en service ainsi que 6 mini bennes fonctionnant en bicarburant électricité et GPL) » [DEMT, 2005].

2 LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE MONTPELLIER

2.1 Organisation institutionnelle

La politique énergétique de Montpellier a été instaurée par son député-maire, M Georges Frêche. Il y eut d'abord, en 1979, la création d'une régie municipale pour l'entretien des chaufferies, puis la nomination d'un élu délégué à la maîtrise de l'énergie en 1983 et enfin la création d'un « service énergie » en 1985. Depuis 25 ans, cette volonté politique d'œuvrer dans le domaine de l'énergie s'est traduite par un certain nombre de mesures permettant à la « ville consommatrice » de réduire ses dépenses d'énergie, notamment par le biais d'actions de maîtrise de la demande d'électricité, de la création d'un réseau de chaleur et de climatisation, ainsi que d'une centrale de cogénération et de trigénération.

Le service énergie de la ville de Montpellier est doté d'un budget propre, nous verrons qu'il est notamment chargé de mettre en œuvre la politique élaborée par les élus. Une de ses prérogatives principales est d'assurer, dans la perspective d'un raisonnement en coût global, la cohérence entre les dépenses de fonctionnement et les dépenses d'investissements relatifs aux bâtiments⁸. En effet, assurer un niveau de confort et une gestion de qualité implique de bien concevoir l'enveloppe du bâtiment et les installations énergétiques, de connaître à l'avance leurs coûts d'exploitation, sachant que l'on aura à assumer ceux-ci pendant toute leur durée de leur vie. Depuis 20 ans, le service énergie assure ainsi une triple mission de conception des installations énergétiques, de conduite et d'entretien de celles-ci ainsi que de gestion des dépenses d'énergie de l'ensemble des bâtiments communaux. Il intervient donc de manière horizontale auprès de l'ensemble des services municipaux, cette transversalité de la problématique énergétique étant garante d'une amélioration de l'efficacité énergétique du patrimoine bâti de la ville.

L'organisation des services techniques de la ville de Montpellier a changé en 1996 suite à la création d'une nouvelle direction : la DEMA, Direction Energie Moyens Techniques. Cette direction fait partie des six directions qui sont gérées par le directeur général des services, ce qui lui permet de mieux assurer des missions transversales entre les différents services municipaux [*Énergie-Cités*, 2001]. La DEMA est composée de 63 personnes travaillant dans 4 services différents (chiffres 2002) :

- Energie : 23 personnes
- Télécommunications : 10 personnes
- Informations géographiques : 14 personnes
- Parc automobile : 16 personnes

⁸ Généralement, le coût global d'un bâtiment d'une durée de vie moyenne de 30 ans se répartit pour 25% dans son coût de construction, et pour 75% dans ses coûts de fonctionnement et d'exploitation [*ADEME & AITF*, 1999].

Tableau 1 – Budget de la DEMA en 2001

Dépenses		Recettes	
Budget d'investissement	1,3 M€	Service énergie	237 515 €
Budget de fonctionnement	4,36 M€	Service télécom	251 998 €
Masse salariale	2,15 M€	Service parc auto	26 831 €
		Service infos géographiques	25 459 €
Total	7,81 M€		541 803 €

Source : Entretien du bureau d'études ICE avec M Irigoien, 2003.

Chacun des services de la Direction Energie et Moyen Techniques fournit des prestations rémunérées qui apportent quelques recettes en propre, à hauteur de 541 803 € en 2001. Ces dernières ne peuvent financer à elles seules le budget d'investissement et le budget de fonctionnement des différents services, incluant la masse salariale. Le taux de couverture des dépenses de fonctionnement et d'investissement de la DEMA par ces recettes atteint à peine 7%. Lors de la construction des budgets, la ville alloue prévisionnellement des fonds à chacune des six directions des services techniques dont la DEMA. Le service énergie voit donc son budget de fonctionnement, d'investissement et sa masse salariale couverts par les fonds octroyés par la ville. Si l'avantage du service énergie tient à sa proximité avec l'utilisateur et à la qualité de la communication entre les clients, agents du service et la municipalité, son coût de fonctionnement élevé ne permet pas à toutes les municipalités de se munir de tels services [*Guelzim*, 1997]. A titre indicatif, nous donnons les éléments constitutifs des recettes du service énergie de Montpellier en 2002.

Tableau 2 – Recettes du service énergie en 2002

NATURE	€TTC
Entretien des installations de chauffage	45 000 €
Gestion des dépenses d'énergie	7 000 €
Redevance d'occupation du domaine public	
Edf*	101 000 €
Coopérative d'électricité St Martin de Londres	7 000 €
Redevance des fermiers	
GDF	67 000 €
SERM réseau montpelliérain de chauffage et de climatisation	138 000 €
TOTAL	365 000 €

* En 2002, la redevance d'occupation du domaine public pour les réseaux électriques a été fortement revalorisée, d'où une recette supplémentaire de 0,099 k€ sur 9 mois en 2002, soit 0,133 k€ en année pleine.

Source : Entretien du bureau d'études ICE avec M. Irigoien, 2003.

Cette augmentation de près de 65% des recettes du service énergie entre 2001 et 2002 provient essentiellement de la revalorisation de la redevance d'occupation du domaine public pour les réseaux électriques versée par EDF.

2.2 Données énergétiques concernant le patrimoine communal

Nous commençons par analyser le bilan énergétique global de la ville, avec la répartition des dépenses par type d'énergie et par catégorie de bâtiments. Nous retraçons ensuite l'évolution de ces dépenses énergétiques depuis la création du service énergie en 1985, jusqu'en 2003.

2.2.1 Bilan énergétique global de 2002

Tableau 3 – Dépenses énergétiques globales de la ville de Montpellier en 2002

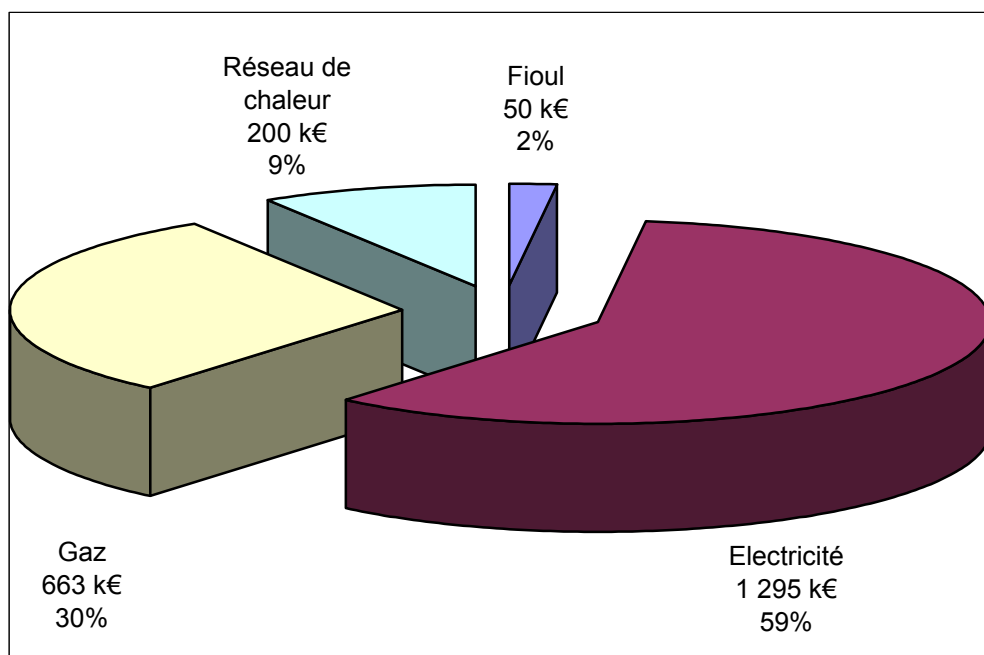
NATURE	€TTC
Fioul domestique	50 000
Electricité bâtiments	1 295 000
Gaz bâtiments	663 000
Chauffage urbain	200 000
Sous total bâtiments communaux	2 208 000
Carburants véhicules	428 000
Fioul véhicules	17 000
Electricité éclairage public + feux de signalisation	974 000
Total général	3 627 000

Source : Bilan de synthèse des services de la DMT, DMT, 2002.

Les dépenses totales des bâtiments communaux ont été de 2,208 M€ en 2002, ce qui représente 2 à 3% du budget de la ville⁹. On constate que l'électricité représente 58,7% des dépenses des bâtiments communaux et 62,6% de l'ensemble des dépenses d'énergie de la ville. Visualisons à l'aide du graphique 1, la répartition par type d'énergie des dépenses relatives aux bâtiments communaux.

⁹ Nous n'avons pas encore trouvé quel était le budget global de la ville avec exactitude.

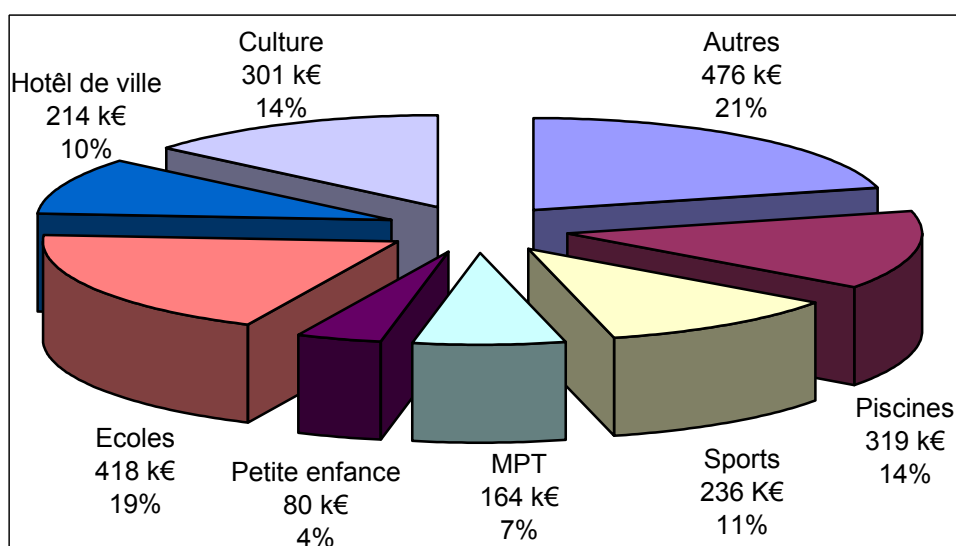
Graphique 1 - Répartition des dépenses relatives aux bâtiments communaux par type d'énergie (compte administratif 2002)



Source : Bilan de synthèse des services de la DMT, DMT, 2002.

L'électricité et le gaz représentent 89% des dépenses énergétiques des bâtiments communaux. Le fioul disparaît progressivement du bilan énergétique puisqu'il n'atteint que 2% des dépenses. Sur les 274 000 m² chauffés et éclairés voici la répartition des dépenses par type de bâtiments :

Graphique 2 - Répartition des dépenses énergétiques par type de bâtiment (compte administratif 2002)



Source : Bilan de synthèse des services de la DMT, DMT, 2002.

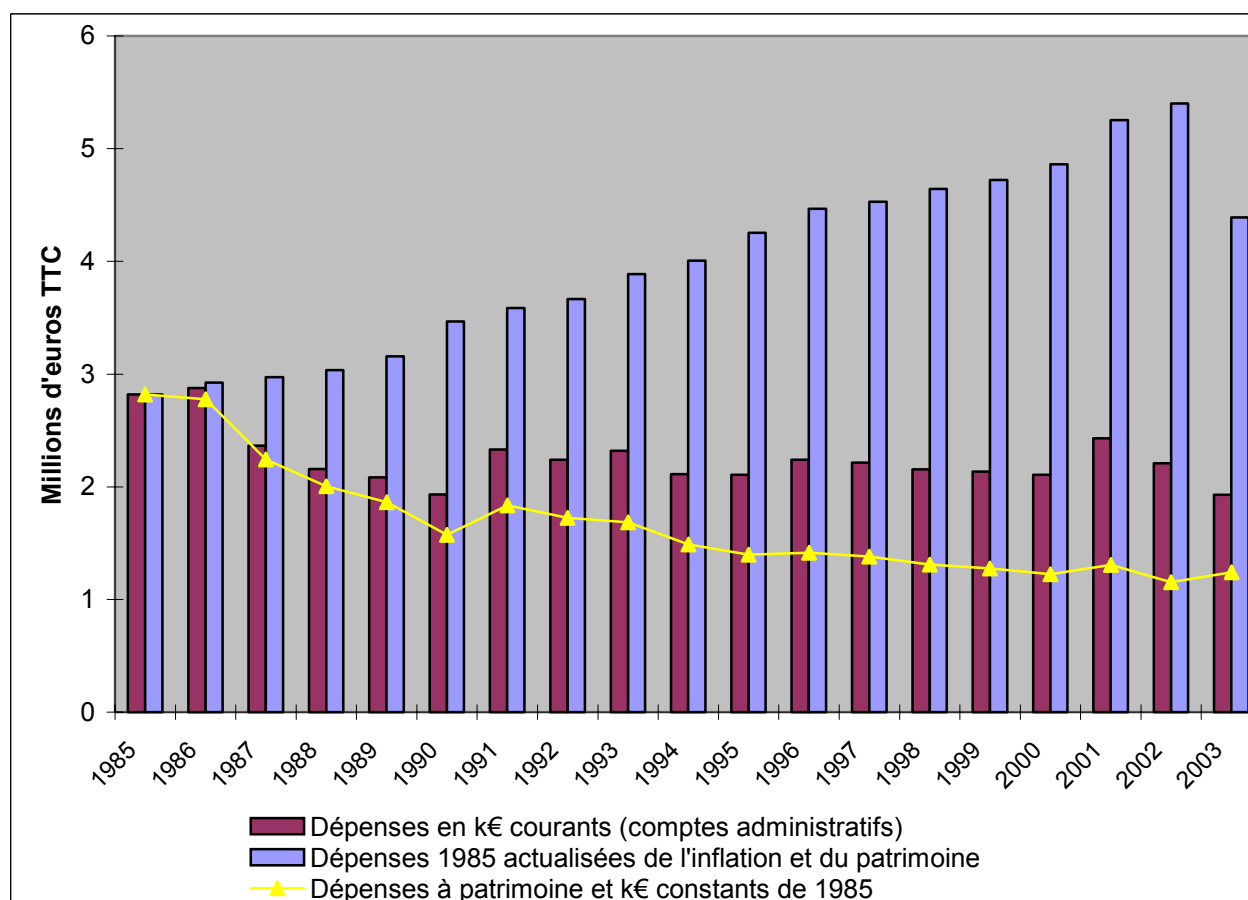
Il ressort de ce graphique que l'hôtel de ville de Montpellier engloutit à lui seul 10% des dépenses énergétiques ! Nous verrons d'ailleurs que cette proportion aurait sans doute été bien plus élevée si des actions de maîtrise de la demande d'électricité n'avait pas été entreprise il y a plus de 10 ans. Concernant les autres bâtiments, il apparaît que les écoles et

les piscines sont les bâtiments les plus énergivores puisqu'ils représentent respectivement 19% et 14% des dépenses énergétiques.

2.2.2 Evolution des dépenses relatives à l'énergie

L'évolution des dépenses relevées au compte administratif de la ville de Montpellier entre 1985 et 2002 est donnée par le graphique ci-dessous.

Graphique 3 - Evolution des dépenses d'énergie des bâtiments communaux de 1985 à 2003



Source : Bilan de synthèse des services de la DEMA, DEMA, 2002.

Un des histogrammes (le plus clair) nous renseigne sur le niveau des dépenses de 1985, actualisées de l'inflation et de l'évolution du patrimoine de la ville. Il représente ce que seraient les dépenses d'énergie chaque année, si aucune action de maîtrise de l'énergie n'avait été engagée. Cet histogramme nous permet de déterminer l'ordre de grandeur des économies nettes réalisées en 2003 par rapport à ce que seraient ces dépenses si depuis 1985, année de création du service énergie, aucune action n'avait été entreprise. Les économies réalisées en 2003 se chiffrent ainsi à 2,461 M€TTC/an¹⁰. L'économie nette cumulée en euros constants de 2003, sur la période allant de 1986 à 2003 est estimée à 28 M€TTC, déduction faite des coûts

¹⁰ Les économies d'énergie réalisées en 2002 se chiffraient à quelques 3,15 millions d'euro. La diminution constatée entre 2002 et 2003 est essentiellement due, comme nous le verrons dans la partie suivante, à un transfert de la gestion des bâtiments de la ville vers la communauté d'agglomération.

de structure du service énergie ! Nous devons également signaler que les dépenses d'énergie en euros courant sont restées au même niveau sur la période 1994-2000 alors que dans le même temps, le patrimoine de la ville augmentait de 25%.

2.2.3 Transferts de bâtiments à la Communauté d'Agglomération de Montpellier (CAM)

Le 1^{er} janvier 2003, la gestion d'équipements culturels et sportifs (piscines, musée, médiathèques, etc.) très consommateurs d'énergie a été transférée de la ville à la CAM. Ce transfert concerne 21% du patrimoine de la ville - en m² chauffés et éclairés - soit 32% des dépenses énergétiques des bâtiments communaux. Afin de conserver la cohérence des actions, la capacité d'expertise et d'intervention du service énergie, il a été décidé de signer une convention de deux ans entre la CAM et la ville pour que cette dernière continue à effectuer les mêmes prestations d'aide à la conception, d'entretien des chaufferies et de gestion des dépenses d'énergie des bâtiments transférés à la CAM [DEMT, 2002].

2.2.4 Comparaisons ouvertes avec d'autres villes

2.2.4.1 Enquête du cabinet Bernard

Le cabinet Bernard est un bureau d'études qui réalise des audits énergétiques du patrimoine bâti des collectivités territoriales¹¹. Il réalise chaque année une enquête gratuite qui porte sur l'ensemble des dépenses d'énergie, d'eau et de téléphone des communes¹². Le cabinet donne ensuite les résultats à l'ensemble des villes ayant répondu au questionnaire et compare les performances de chaque ville à celles des 9 villes les plus proches en terme de nombre d'habitants ainsi qu'à la moyenne de l'ensemble des villes ayant répondu à l'enquête. En 2001, la moyenne des dépenses énergétiques par habitant des 72 villes enquêtées était de 26 euros/habitant. Le ratio de Montpellier atteignait en 2001 16,8 euros/habitant, soit le plus faible des 10 villes enquêtées de taille comparable à Montpellier.

En 2001, Montpellier réalise des économies sur ses dépenses énergétiques par rapport à la moyenne des villes de l'ensemble de l'échantillon, de l'ordre de : $229\,055 \times (26 - 16,8) =$ **2,107 Millions € TTC/an**

2.2.4.2 Enquête de l'Association des Ingénieurs Territoriaux de France

Le groupe « énergie » de l'Association des Ingénieurs Territoriaux de France a réalisé une enquête en 1998 portant exclusivement sur les dépenses d'électricité des communes. A Montpellier, en 2001, le ratio était de 5,4 euros TTC/habitant, soit le plus faible de l'enquête

¹¹ Nous nous sommes entretenus avec Pierre Alain Bernard, le fondateur du cabinet en 1975. Il se définit comme l'inventeur des audits énergétiques sur les installations communales. Il a en tout cas été le précurseur dans la comparaison, à l'aide de ratio politique, économique et technique, des performances énergétiques du patrimoine bâti de différentes villes.

¹² Cette enquête est basée sur un questionnaire envoyé gratuitement à un panel de 80 villes, de toutes tailles – de 5 000 à 415 000 habitants. Elle regroupe les données budgétaires portant sur l'eau, l'électricité, les combustibles et carburants, le chauffage et les télécommunications. Les réponses sont exploitées sur le mode comparatif en croisant des ratios d'équipement, des ratios technico-financiers et des ratios politiques [Énergie-Cités, 2003].

faite auprès de 26 villes, la moyenne se situant à 12 euros TTC/habitant. Le ratio de Montpellier est donc inférieur de 55% à cette moyenne.

Montpellier réalise donc des économies sur ses dépenses d'électricité par rapport à la moyenne des villes de l'ensemble de l'échantillon, de l'ordre de : $229\,055 \times (12 - 5,4) =$ **1,512 Millions € TTC/an**

2.2.4.3 Enquête quinquennal « énergie et patrimoine communal »

L'enquête quinquennal « Energie et patrimoine communal » mesure, au niveau français, les dépenses et les consommations d'énergie des communes, par grand poste de consommation, par type d'énergie et par ratio. Les deux premières enquêtes - 1991 et 1996 - étaient conduites principalement par les délégations régionales de l'ADEME avec une méthodologie de recueil en face à face. La méthodologie de la dernière enquête de 2000 a changé puisque la SOFRES, chargée de l'échantillonnage¹³, est passée à un recueil des données par voie postale. Cette enquête permet de fournir à l'ensemble des communes un cadre et des données de référence leur permettant de se positionner les unes par rapport aux autres. Celle réalisée en 2000, indique que le ratio des dépenses d'énergie par habitant est en moyenne de 30,6 € pour les villes de plus de 50 000 habitants.

Ce ratio s'élève à 17,8 € pour Montpellier, la ville réalise donc des économies sur ses dépenses énergétiques par rapport à la moyenne des villes de l'ensemble de l'échantillon de l'ordre de : $229\,055 \times (30,6-17,8) =$ **2,932 Millions €TTC/an**

Malgré les imprécisions de ces enquêtes, nous constatons que Montpellier est une ville dont la performance énergétique de son patrimoine bâti est excellente, relativement aux autres villes françaises. Montpellier est ainsi souvent citée en exemple dans les conférences ou publications relatives aux bonnes pratiques de gestion de l'énergie au niveau local.

2.3 La mission du service énergie : assurer la double cohérence amont-aval et investissement-fonctionnement

Le service énergie comprend trois entités distinctes : *un bureau d'études* composé de 3 techniciens, *une cellule de l'énergie* avec deux techniciens et *une cellule entretien des chaufferies* composée de 17 personnes dont 9 sont des techniciens de conduite de chaufferies. Les trois missions¹⁴ qui lui sont confiées requièrent des liens quasi permanents avec les autres services de la ville puisqu'il considère qu'une gestion énergétique efficace passe par l'anticipation des coûts d'exploitation. En ce qui concerne la conception des installations, le service énergie tente de remonter le plus en amont possible lors des projets et agit en qualité de maître d'œuvre auprès des autres services. Le bureau d'études du service énergie est ainsi

¹³ L'échantillon a été constitué de 5 293 communes dont 1 792 de plus de 5 000 habitants, soit l'exhaustivité des communes de cette catégorie.

¹⁴ Rappelons que le service énergie assure une triple mission de conception des installations énergétiques, de conduite et d'entretien de celles-ci ainsi que de gestion des dépenses d'énergie de l'ensemble des bâtiments communaux.

chargé d'assurer la cohérence des projets de réhabilitation et de construction, soit en rédigeant lui-même les Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP) et les Devis Quantitatifs Estimatifs (DQE) des lots chauffage, ventilation, isolation et éclairage ; soit en donnant aux bureaux d'études extérieurs et aux architectes les éléments à prendre en compte [DEMT, 2002]. Toutes ces prescriptions visant à minimiser les futures consommations énergétiques, sont incluses dans une « fiche performantielle énergétique¹⁵ » insérée dans chaque concours d'architecture, ce qui permet notamment d'éviter au maximum, le chauffage électrique et la climatisation.

La seconde mission du service énergie consiste à entretenir les installations des bâtiments communaux et à assurer la conduite des chaufferies. Montpellier fait figure de pionnière en matière de maîtrise et d'utilisation rationnelle de l'énergie puisque c'est la première ville française à avoir utilisé la télégestion¹⁶ pour une partie de ses installations, en complément des programmations, régulations et optimisations. Sur les 317 chaufferies qui appartiennent à la ville, 140, représentant 80% de la consommation de chauffage, sont suivies par télégestion afin d'optimiser leur pilotage. La télégestion permet à ce dernier d'être effectué à distance par le biais de la transmission d'informations en temps réel et de leur traitement rapide¹⁷. « Le système de télégestion comporte deux niveaux d'intelligence :

- Un niveau local : ce sont des transmetteurs installés en chaufferie dont le rôle est de prélever, à l'aide de capteurs, les alarmes, mesures, comptages, et de les transmettre à l'unité centrale ainsi que de faire parvenir les télécommandes de l'unité centrale aux organes correspondants.
- Un niveau central : qui récupère et traite les informations reçues des unités locales et exécute les programmes de télégestion » [Guelzim, 1997].

Guelzim nous apprend que les données essentielles¹⁸ sont éditées chaque semaine à tous les conducteurs de chaufferie pour qu'ils suivent les réglages de leurs installations. En effet, près de 80% des économies sur un équipement proviennent du bon réglage du niveau de

¹⁵ Le lecteur se reportera à l'Annexe 7 s'il désire connaître avec précision les éléments inclus dans cette note de service.

¹⁶ « La télégestion est un outil permettant d'aller vers la connaissance le plus en temps réel possible de ce qui se passe sur le terrain compte tenu du nombre, de la dispersion et de la variété des équipements à gérer. Le poste central composé d'un micro-ordinateur sert essentiellement à la gestion des données, chaque site transmettant une fois par jour ces données qui sont stockées sur une mémoire de masse. Une partie de ces données est traitée quotidiennement par extraction sur un tableur avec édition sur support papier. Il s'agit principalement des températures moyennes intérieures des locaux ainsi que des consommations énergétiques » [AIVF & CSTB, 2000].

¹⁷ « La télégestion (ou GTC : Gestion Technique Centralisée) assure les fonctions suivantes sur 15 chaufferies de la ville de Montpellier :

- Téléalarme : transmission de tous les défauts de fonctionnement pouvant survenir sur les installations afin de permettre une intervention rapide des équipes d'entretien.
- Télémessure : permet de connaître les consommations et de surveiller les températures des installations, d'où l'établissement des performances et du bilan thermique des différents équipements.
- Télécomptage : suivi quotidien des compteurs.
- Télécommandes : mise en route et arrêt des brûleurs, pompes, convecteurs et accumulateurs depuis le poste central.
- Téléréglages : régulation et automatismes par les unités locales » [Guelzim, 1997].

¹⁸ La surinformation est à éviter à tout prix [ADEME & AITF, 1999].

la température dans les locaux et du bon fonctionnement de l'intermittence la nuit et les jours fériés. Ces informations sont utilisées principalement pour les fonctions suivantes : optimisation des intermittences, report des alarmes au PC et au système d'astreinte, visualisation des températures instantanées et des courbes historiques, programmation des horaires et consignes de régulation depuis le PC, tri des réclamations de la clientèle [ADEME & AITF, 1999]. Constatant que les frais de fonctionnement de la télégestion ont annulé l'économie réalisée les premières années, Guelzim nous révèle que le service énergie a pris des dispositions à l'encontre de ce risque pour ne plus traiter systématiquement les alarmes non prioritaires [Guelzim, 1997].

La dernière mission du service énergie est de gérer au mieux les dépenses d'énergie de la ville. Celle-ci compte 1 100 points de livraison générant plus de 5 000 factures annuelles concernant l'éclairage public, les feux tricolores et les bâtiments communaux. Depuis qu'il existe, le service a su développer des outils, des systèmes d'information et un certain savoir-faire lui permettant d'avoir une bonne connaissance de son patrimoine (surfaces et volumes chauffés et éclairés), de ses installations énergétiques (nombre de chaufferies, puissance, âges) et de ses dépenses et consommations d'énergie totales sur plusieurs années et pour différents postes (chauffage, électricité des bâtiments, éclairage public, etc.). Le service énergie construit ainsi des tableaux de bord afin de mesurer et de comparer les performances énergétiques des équipements dont il a la charge : auto-comparaison d'un mois, d'une année sur l'autre ; comparaisons ouvertes avec d'autres villes sur la base de ratios représentatifs, etc. [Énergie-Cités, 2001].

Le service énergie apparaît très clairement dans l'organigramme des services de la ville, au sein de la DEMT. Si cette visibilité lui permet d'éviter l'isolement, elle n'est qu'un préalable et n'est en aucun cas garante de la transversalité du service. Pour assurer une certaine transversalité du service énergie, ce dernier doit avoir une démarche proactive envers les autres directions. Par exemple, chaque début d'année, le responsable du service énergie fait parvenir à l'ensemble des directeurs et des chefs de service de la commune un tableau récapitulatif personnalisé des dépenses d'énergie pour les bâtiments dont ils ont la charge, avec des graphiques associés montrant l'évolution des dépenses depuis 1987. Egalement une fois par an, les directions des différents services se réunissent pour faire le point sur les projets de construction de bâtiments et des travaux de rénovation afin de coordonner les interventions. Un rapport annuel est également réalisé dans lequel un bilan détaillé des activités du service énergie est publié. « Ce document a une double finalité : rendre compte en interne des actions menées l'année passée et informer les autres collectivités locales avec lesquelles la ville de Montpellier a tissé un réseau d'échanges et de savoir-faire » [Énergie-Cités, 2001].

2.4 Optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments communaux

2.4.1 Diffusion annuelle de deux notes de service

Pour s'assurer de la transversalité de la problématique de l'énergie au sein de ses services, le directeur général des services diffuse chaque année deux notes de service. La

première, intitulée « Bâtiments basse énergie : éléments de programme pour un confort énergétique optimal », est diffusée à tous les acteurs intervenant dans la construction ou la réhabilitation des bâtiments communaux : au niveau interne - directeurs et chefs de service - ou au niveau externe - architectes et bureaux d'études. L'objectif est que dans un concours d'architecture, le programme indique clairement que le confort et la performance énergétique globale, avec indication du coût énergétique prévisionnel, seront un des critères de choix du jury chargé de choisir le lauréat. Ces recommandations¹⁹ concernent aussi bien l'isolation thermique que le chauffage (confort d'hiver), l'orientation et la conception des parois (confort d'été), la ventilation, l'éclairage et l'eau chaude sanitaire.

La deuxième note s'adresse exclusivement aux directeurs, chefs de service et responsables d'établissements communaux afin de diminuer les dépenses énergétiques. Elle concerne principalement le chauffage et les consommations d'énergie des bâtiments communaux et rappelle ainsi quelques dispositions : disponibilité d'une équipe d'intervention et d'une équipe d'astreinte ; réglementation des températures ; importance des consommations d'électricité représentant 2/3 des dépenses énergétiques des bâtiments communaux ; sécurité des personnes par rapport aux équipements, etc. [ADEME, 1999]. Cette note est conçue en deux volets avec un texte mentionnant les éléments pratiques énoncés ci-dessus et un graphique représentant les dépenses d'énergie de l'année en cours par type d'énergie. Selon Énergie-Cités, le fait que ces deux notes, concises et claires, soient diffusées par le plus haut degré de la hiérarchie – le Directeur Général des Services – renforce leur légitimité et leur portée [Énergie-Cités, 2001].

La réflexion sur le coût global des bâtiments et la diffusion de la fiche « Bâtiments basse énergie : éléments de programme pour un confort énergétique optimal » à tous les intervenants dans l'acte de construire, a abouti à des résultats probants. Ainsi une école récente coûte pratiquement deux fois moins en énergie par m² chauffé et éclairé qu'une ancienne école²⁰. De même, le coût d'exploitation d'une piscine conçue en suivant ces prescriptions est inférieur de 20% à celui d'une piscine classique, soit une économie annuelle de l'ordre de 12 200 € pour Montpellier. Analysons un peu plus en détail l'optimisation énergétique de la Bibliothèque Municipale à Vocation Régionale d'Antigone (BMVR), dès sa conception.

¹⁹ Le lecteur se reportera à l'Annexe 7 s'il désire connaître avec précision les éléments inclus dans cette note de service.

²⁰ A titre indicatif, nous donnons quelques éléments permettant d'apprécier les résultats de l'optimisation énergétique des écoles.

Ecoles	Année de construction	Toutes énergies (chiffres 2002/2003)		Electricité	
		kWh/m ²	€TTC/m ²	kWh/m ²	€TTC/m ²
Joseph Delteil GS	1994	70	3,5	15	1,8
ASTRUC GS	1960	137	7,4	23	3,6
Total écoles		98	5,8	22	2,9

Source : Bilan de synthèse des services de la DEMA, DEMA, 2002.

L'écart entre une école neuve optimisée et une école ancienne de 2000 m² correspond donc à une économie de $2000 \times (7,4 - 3,5) = 7\,800$ €TTC/an soit une économie de 50% sur les dépenses totales d'énergie.

2.4.2 Exemple de l'optimisation énergétique de la bibliothèque municipale²¹

Afin d'améliorer l'optimisation énergétique de ce bâtiment, il a été décidé d'aller plus loin en amont, en donnant des critères d'économies d'énergie aux architectes dans le programme de construction. Dès l'élaboration du programme, l'accent a été mis sur l'importance que les candidats du concours d'architecture devaient accorder aux coûts d'exploitation, notamment énergétiques, tout en assurant un bon confort aux futurs utilisateurs de la BMVR. Il était signifié que leur projet ferait l'objet d'une simulation thermique par un bureau d'études spécialisée en optimisation énergétique, et que leurs conclusions seraient données au jury, et serait un des critères de choix du lauréat²².

La mission d'expertise technique a été confiée au bureau d'études OASIIS pour un coût de 27 453 € TTC, subventionnée à 50% par l'ADEME. La première phase a consisté à analyser les 4 projets en compétition et à établir un tableau comparatif des coûts énergétiques prévisionnels. Ensuite, l'étape la plus importante a été de modéliser l'ensemble du projet du lauréat, avec 60 zones différentes, et de simuler le comportement thermique dynamique prévisionnel du bâtiment²³ pendant un an, heure par heure, à partir d'hypothèses d'éclairage, de fréquentation, d'horaires d'ouverture, de niveaux de températures intérieures, des matériaux et isolations, de niveaux d'ensoleillement, des ombres portées par les autres bâtiments, etc. Les résultats de cette simulation donnent les consommations totales en froid et en chaud sur une année et donc les puissances instantanées maximales nécessaires. Le tableau suivant donne l'évolution des puissances, consommations et dépenses prévisionnelles en chauffage et climatisation de la BMVR entre la fiche rendue par l'architecte au moment du concours, et la fiche résultant de l'optimisation énergétique :

²¹ Cet exemple est entièrement extrait des rapports énergie de 2000 et de 2002 réalisés par la DEMA. Les données clés de ce projet sont les suivantes : 11 100 m² utiles chauffés et climatisés ; 16,8 millions d'euros de marchés de travaux ; début de la construction en 1997 et mise en service à l'automne 2000 ; Maître d'ouvrage délégué : Société d'Équipement de la Région Montpellieraine ; Architecte : atelier d'architecture CHEMETOV et HUIDOBRO ; Bureau d'études : OTH Méditerranée.

²² Des prescriptions sur les techniques, isolation, rendement lumineux étaient également à respecter ; une fiche prévisionnelle des consommations et coûts énergétiques devait être renseignée par les candidats ; le bureau d'études chargé de la simulation thermique assisterait également le maître d'ouvrage pour les choix des matériaux, et des équipements ainsi que de leur dimensionnement jusqu'à l'appel d'offres.

²³ Pour réaliser cette simulation, OASIIS a fait tourner son logiciel de simulation dynamique des bâtiments TAS.

Tableau 4 – Résultat de l’optimisation énergétique pour une bibliothèque

SOURCE	OTH* à la remise du projet	OASIIS après optimisation	Puissances installées
Puissance chaud (kW)	1 665	447	700
Puissance froid (kW)	1 624	525	650
Consommations chaud (MWh)	745	183	
Consommations froid (MWh)	576	206	
Dépenses chaud (€TTC/an)	49 263 €	12 659 €	
Dépenses froid (€TTC/an)	61 159 €	20 132 €	
Dépenses totales (€TTC/an)	110 421 €	32 791 €	
Economie par rapport à la solution de base (€TTC/an)	77 631		

* OTH est le bureau d’études associé à l’architecte

Source : Bilan de synthèse des services de la DEMA, DEMA, 2002.

On constate donc un écart de 965 kW (- 58 %) et de 974 kW (- 60 %) respectivement pour les puissances chaud et froid entre les valeurs annoncées par le lauréat et celles résultant de l’optimisation énergétique. Le rapport d’Irigoin nous apprend qu’une surpuissance a finalement été mise en place entre les valeurs préconisées après optimisation et les puissances installées, ceci afin d’assurer l’intermittence et une remontée rapide des températures. Sans cet effort d’optimisation énergétique du bâtiment, ce dernier aurait coûté quelques 110 000 euros par an à la ville. L’écart prévisionnel des dépenses annuelles d’énergie est de 77 631 € TTC/an ; pour la climatisation, on arrive à une division entre la puissance prévue et celle installée de 2,56 ! Le coût relativement élevé de cette étude d’optimisation – 27 000 euros – est ainsi intégralement remboursé en l’espace d’à peine 4 mois grâce aux économies d’énergie qu’elle permet de réaliser.

2.4.3 Exemple de l’optimisation énergétique des médiathèques²⁴

Le service énergie de Montpellier a comparé les dépenses de chauffage et de climatisation de trois médiathèques construites en 1997. Cette comparaison porte d’un côté sur deux médiathèques construites à Montpellier, avec des installations conçues par le service énergie (chaudière gaz pour le chauffage et groupe froid pour la climatisation), et de l’autre, sur une médiathèque d’une commune limitrophe, équipée d’une pompe à chaleur réversible assurant le chauffage et la climatisation²⁵.

²⁴ Cet exemple est intégralement extrait du rapport énergie réalisé par la DEMA en 2002.

²⁵ La médiathèque en question est équipée au tout électrique et a reçu le trophée « qualité-ville » d’EDF.

Tableau 5 – Bilan d’exploitation de trois médiathèques (1999)

	Coût énergétique Total €TTC/an	Surface m ²	Volume m ³	Ratio annuel des dépenses d’énergie	
				€TTC/m ²	€TTC/m ³
JJ Rousseau à Montpellier*	11 550	1 935	8 068	5,9	1,4
Victor Hugo à Montpellier*	6 891	1 000	5 000	6,9	1,4
Médiathèque tout électrique**	14 911	1 400	4 700	10,7	3,2
Surcoût par rapport à JJ Rousseau				+ 79%	+ 121%

* Chauffage gaz et groupe d’eau glacée.

** Pompe à chaleur réversible, chiffres publiés par EDF.

NB : les coûts d’investissement des installations de chauffage et de climatisation sont respectivement de 110 €TTC/m² pour la médiathèque JJ Rousseau et de 122 €TTC/m² pour la médiathèque tout électrique.

Source : Bilan de synthèse des services de la DEMA, DEMA, 2002.

On visualise très bien l’incidence du choix de l’énergie sur le montant de la facture annuel puisqu’il y a un écart de l’ordre de 1 à 2 entre les dépenses d’exploitation de la médiathèque JJ Rousseau de Montpellier et celle primée par EDF. Même l’argument selon lequel le coût d’investissement dans des systèmes de chauffage électrique est plus faible, ne tient pas ici puisque la solution « gaz + groupe froid » est plus économique. Il est donc primordial pour une ville d’anticiper et de minimiser les futurs coûts d’exploitation d’un bâtiment, cela passe par une réflexion sur le choix de l’énergie à privilégier.

2.5 La maîtrise de la demande d’électricité

2.5.1 Méthodologie suivie

En 1987, un bilan complet des dépenses d’énergie dans les bâtiments communaux a montré que près des deux tiers des dépenses d’énergie étaient liées à la consommation d’électricité, soit 1,42 M€ TTC environ. Si on ajoute celles relatives à l’éclairage public et aux feux tricolores qui représentent 1,6 M€ TTC, on arrive à un total général de 3 M€ TTC. L’électricité représentait 69% de l’ensemble des dépenses d’énergie de la municipalité ! Une démarche de maîtrise de la demande d’électricité a donc été amorcée. Pour Montpellier, cette démarche relève d’une double logique financière – l’électricité étant un produit noble et cher, une consommation réduite entraîne une économie de coûts – et environnementale puisque avec la diminution de la demande d’électricité, les puissances appelées sur le réseau électrique seront moindres et limiteront donc les besoins de capacité des équipements de production-transport-distribution. Un effort important a été réalisé pour réduire ses dépenses d’électricité et s’est traduit par :

- « Le recrutement d’une personne chargée de la maîtrise de l’électricité,

- Le regroupement de l'ensemble des factures d'électricité au service énergie qui en assure un contrôle et un suivi informatisé,
- La création d'un groupe de travail permanent « ville de Montpellier/EDF-GDF » se réunissant tous les trois mois pour clarifier les tarifs et faire le point sur les puissances des points de livraison,
- L'optimisation tarifaire de tous les contrats d'électricité et de gaz²⁶: c'est une action prioritaire pour le service énergie. Elle permet non seulement de rentabiliser très vite le poste de responsable « énergie » (potentiel de 1,5 à 2,5 €TTC/an par habitant, sans travaux) et de crédibiliser le service chargé de l'énergie mais elle induit également un effet de levier sur d'autres investissements à réaliser.
- La mise en place progressive de lampes à haut rendement dans tous les bâtiments, en veillant à assurer les valeurs d'éclairage aux niveaux réglementaires, et suppression des lampes à incandescence dans les nouveaux bâtiments construits,
- L'optimisation progressive des pompes, ventilateurs installés, notamment dans les anciens bâtiments où des surpuissances de 100% sont fréquentes,
- Le remplacement progressif de tous les systèmes de chauffage électrique existants par des installations de chauffage central à eau chaude au gaz moins coûteux en exploitation,
- La limitation maximale de la climatisation dans les nouveaux bâtiments par une architecture bioclimatique combinant inertie des parois, isolation et bonne gestion des apports solaires directs l'été, d'où un confort estival optimum.
- La modernisation des 17 000 points lumineux par des appareils à haut rendement (lampes sodium basse pression) » [Irigoin, 2000].

2.5.2 Résultats obtenus

En 1993, une étude technico-économique a été effectuée pour estimer la rentabilité des actions de Maîtrise de la Demande d'Electricité. Les investissements relatifs à la maîtrise des consommations d'électricité, évalués à l'époque à 232 246 € TTC, ont permis de réaliser une économie annuelle estimée à 49 609 € - estimation faite à partir de la saison 93/94. Le temps de retour des investissements MDE a donc été de 3,9 ans. Entre 1987 et 2001, l'évolution du

²⁶ L'optimisation tarifaire a pour but de diminuer les montants de la facture d'électricité par la souscription d'un tarif adapté aux usages. Cette démarche ne demande le plus souvent ni travaux, ni investissements, mais nécessite un suivi rigoureux et une analyse des factures [ADEME & al, 2000]. Il faut faire attention car les usages d'un bâtiment ainsi que les tarifications évoluent, c'est pourquoi l'optimisation des contrats n'est pas faite une fois pour toutes mais représente une action s'inscrivant dans la durée. La publication de l'ADEME nous informe, à titre indicatif, qu'une collectivité locale devrait s'approcher des ratios suivants :

	Prix du kWh (€TTC/kWh)	Dépense par habitant (€TTC/kWh)
Eclairage public	0,076 à 0,092	4,58 à 9,15
Bâtiments communaux (tarif jaune)	0,122 à 0,137	9,15 à 13,73
Bâtiments communaux (tarif bleu)	0,108 à 0,124	9,15 à 13,73

total des puissances souscrites, consommations et dépenses électriques des bâtiments de la ville de Montpellier s'établit comme suit :

Tableau 6 - Evolution des puissances souscrites, des consommations et dépenses électriques des bâtiments communaux entre 1986 et 2001

Saisons de chauffe	1986/1987	2000/2001	Ecart	%
Puissance souscrite à EDF (kW)	10 835	11 051	+ 217	+ 2 %
Consommation annuelle (kWh)	13 222 192	14 015 523	+ 793 331	+ 6 %
Coût annuel € TTC (en € courants)	1 418 435 €	1 262 407 €	- 170 212 €	- 11 %

Source : Bilan de synthèse des services de la DEMA, DEMA, 2002.

En 15 ans, la puissance souscrite du patrimoine communal à EDF et la consommation énergétique n'ont augmenté respectivement que de 2% et 6%, et les dépenses ont diminué de 11%, malgré une augmentation du patrimoine bâti de 35% et une stagnation du prix de l'électricité. Le cas de l'Hôtel de ville est particulièrement intéressant puisqu'en 11 ans, la ville a réalisé une baisse de la puissance souscrite de l'ordre de 42%, soit 270 kW, une baisse des consommations de 39%, soit 1 000 000 kWh ainsi qu'une baisse des dépenses de 75 533 € TTC, ce qui représente 42% de la facture énergétique du bâtiment. « Sur ce bâtiment, le plus important de la ville de Montpellier, l'optimisation de l'éclairage et de la puissance des divers moteurs a été particulièrement poussée et a pu être constamment suivie, notamment par l'intermédiaire de :

- L'établissement d'un bilan puissances/consommations recensant l'ensemble des appareillages électriques installés, leur puissance et leur durée de fonctionnement estimée par tranche tarifaire EDF ; ce bilan permet de connaître l'incidence en kWh et en € TTC de chaque arrangement d'appareillage.
- La mise en place d'un appareil d'enregistrement de la courbe de charge quotidienne des puissances électriques appelées » [Irigoin, 2000].

A titre informatif, nous signalons que le 24 septembre 2002, le conseil municipal de Montpellier a approuvé le programme de construction du nouvel hôtel de ville où l'optimisation de la conception énergétique sera un critère important du choix du jury. Mais ce bâtiment devra aussi être auto-producteur pour une part significative de ses besoins électriques, ce qui sera rendu possible par l'intégration de 1 500 m² de capteurs photovoltaïques, soit environ 20% des consommations prévisionnelles d'électricité [DEMA, 2002]. « L'objectif est de montrer à l'occasion de la construction de la nouvelle mairie, que l'on peut construire un bâtiment confortable et économe, et que les énergies de flux décentralisées et propres, source de paix peuvent satisfaire une part significative des besoins : pendant sa durée de vie de plusieurs décennies, l'hôtel de ville de Montpellier sera ainsi un témoignage du recours progressif aux énergies renouvelables ».

3 LE RESEAU DE CHALEUR ET DE CLIMATISATION DE MONTPELLIER – VECTEUR D'ENERGIE PORTEUR D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

3.1 Description

Montpellier est la seule ville de France à posséder et développer un réseau de chaleur et de climatisation²⁷. En 1980, la ville en a confié la réalisation à la SERM²⁸ (Société d'Équipement de la Région Montpelliéraine). La première tranche a été lancée dans le cadre de l'aménagement de la ZAC d'Antigone conçue par Ricardo Bofill. Depuis, le réseau s'est étendu à l'ensemble des nouveaux quartiers de Montpellier, alimentant une clientèle diversifiée : 250 000 m² de bureaux, 8 000 équivalents logements, des hôtels, des centres commerciaux ainsi que les principaux équipements publics tels que l'Hôtel de Ville, l'Hôtel du District, l'Hôtel de Région, la Piscine Olympique d'Antigone, la Bibliothèque Municipale Centrale, le Corum - Opéra - Palais des Congrès, des administrations, des lycées et dernièrement la Patinoire Districale Végapolis [Irigoin, 2000]. Le réseau montpelliérain de chaleur et de climatisation possède une surpuissance de production qui lui permet de subvenir à tous les besoins, même dans des conditions climatiques extrêmes. Il dispose de cinq centrales de production thermofrigorifique :

- La Centrale Thermofrigorifique de l'Hôtel de Ville (Trigénération)

Equipée d'une installation de trigénération au gaz naturel, sa capacité de production est de 6,2 MW d'électricité, 13,3 MW de chaleur et 11,1 MW de froid²⁹.

- La Centrale Thermofrigorifique d'Antigone

Equipée de chaudières au charbon, à gaz naturel et au fuel domestique, d'une installation de cogénération et de groupes frigorifiques électriques sa capacité de production est de 3,9 MW d'électricité, 28,9 MW de chaleur et 6,3 MW de froid³⁰.

- La Centrale Thermofrigorifique du Corum :

Située dans les locaux du Corum elle est équipée de 4 groupes à pistons fournissant 2 MW frigorifiques électriques.

²⁷ • Caractéristiques du réseau de chaleur : canalisations en fonte ductible pré-isolée assemblées par emboîtement ou en acier pré-isolé soudé. Réseaux d'une longueur de 9 km environ.

• Caractéristiques du réseau de froid : canalisations en fonte avec revêtement anti-corrosion et assemblées par emboîtement ou en acier soudé recouvert d'un film protecteur en époxy. Réseaux d'une longueur 5 km environ.

• Caractéristiques des sous-stations d'échanges: 95 sous stations d'échange raccordées aux réseaux de chaleur, 53 sous stations d'échange raccordées aux réseaux de froid.

²⁸ La SERM est une société d'économie mixte, détenue en majorité par la ville de Montpellier.

²⁹ Les principaux équipements sont les suivants: 2 moteurs à gaz de marque Wartsila NSD fournissant 6,2 MW électriques et 6,3 MW thermiques ; 1 chaudière à tubes de fumée au gaz fournissant 7 MW thermiques ; 2 absorbeurs à eau chaude et gaz fournissant 4,5 MW frigorifiques ; 3 turbo-compresseurs fournissant 7,5 MW frigorifiques.

³⁰ Les principaux équipements sont les suivants : 5 chaudières charbon automatiques d'une puissance totale de 14,5 MW thermiques ; 1 chaudière mixte au gaz ou au fuel domestique fournissant 10 MW thermiques ; 2 unités de cogénération à moteurs à gaz de marque Jenbacher fournissant 3,8 MW électriques et 4,4 MW thermiques ; 2 turbo-compresseurs fournissant 6,3 MW frigorifiques.

- La Centrale Thermofrigorifique de Port Marianne

Equipée d'une chaudière au gaz naturel et de groupes frigorifiques électriques sa capacité de production est de 5,4 MW de chaleur et 3,5 MW de froid³¹.

- La Centrale Thermofrigorifique d'Ernest Granier

En cours de réalisation, elle sera équipée dans un premier temps de deux absorbeurs au gaz naturel d'une capacité de production de 1,5 MW de chaleur et 1,2 MW de froid.

Au total, la puissance des installations raccordées est en 2003, de 58 MW pour la chaleur (56,5 GWh produits), 23 MW pour le froid (30,4 GWh produits) et 10 MW pour l'électricité (35,6 GWh produits).

3.2 La cogénération

3.2.1 Caractéristiques de la centrale de cogénération

Confrontée à de nouveaux besoins en chaleur, la SERM a initié en 1995 une étude de faisabilité sur l'installation d'une centrale de cogénération. Cette étude, financée par l'ADEME, conduite par Sinerg³² et SERETE industries, a confirmé l'intérêt du projet mis en œuvre dès janvier 1996. A l'automne 1996, une unité de cogénération au gaz naturel était installée. La cogénération permet d'obtenir des rendements énergétiques nettement supérieurs (80%) à ceux observés pour les centrales de production électrique classiques (35%), qu'elles soient à combustible fossile ou nucléaire [ADEME, 1999]. Le système emploie du gaz naturel, plus propre que le charbon, comme énergie primaire, ce qui contribue de façon significative au respect de l'environnement³³. Les chiffres clés de la centrale de cogénération sont les suivants :

³¹ Les principaux équipements sont les suivants : 1 chaudière à tubes de fumée mixte au gaz fournissant 3,3 MW thermiques ; 5 groupes frigorifiques à vis fournissant 1,5 MW frigorifiques ; 2 thermofrigopompes fournissant 2 MW frigorifiques et 2,1 MW thermiques .

³² Sinerg a été créé il y a 15 ans pour faire du tiers investissement, d'abord avec les filiales du groupe Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) sur tout ce qui est aménagement. L'actionnaire principal a longtemps été la CDC, aujourd'hui, Sinerg est détenu à 100% par IDEX, société d'exploitation de chauffage.

³³ « Pour réussir son intégration au cœur du quartier d'Antigone, un soin particulier a été apporté au niveau architectural (suppression des cheminées et autres émergences, etc.). En outre, l'installation de la centrale répond à plusieurs critères environnementaux, économiques, énergétiques et esthétiques : limitation des nuisances sonores ; limitation des rejets ; utilisation de nouveaux fluides frigorifiques protégeant la couche d'ozone ; [...] ; diversité des approvisionnements ; utilisation de technologies industrielles performantes » [ADEME, 1999].

La centrale est composée de deux moteurs à gaz de 16 cylindres, avec système de combustion bas NOX et pot catalytique. L'électricité est produite par un alternateur en 660V, et revendue en 20000 V sur le réseau moyenne tension EDF. La chaleur est récupérée sur les circuits de refroidissement haute température et sur les gaz d'échappement des moteurs.

Electricité

Puissance électrique : 3,7 MW
Tension du transformateur : 660V/20kW
Production annuelle : 15 500 MWh
Rendement électrique : 36,8%

Thermique

Puissance thermique : 4,5 MW
Température de production : 90°
Production annuelle : 20 250 MWh
Rendement thermique : 44,3%

Bilan économique (HT)

Investissement : 2,791 M€
Economie annuelle : 1,068 M€ sur la facture EDF ; 0,412 M€ sur le chauffage
Charges annuelles : 0,854 M€ par an

Chiffres clés

Durée des travaux : 6 mois
Mise en service : 12 novembre 1996
Rendement global : 80%
Durée de fonctionnement : 4 500 heures par an

3.2.2 Acteurs ayant participé au financement de l'installation

« En 1983, Sinerg est créée pour développer l'approche du financement en tiers investissement, ce qui constitue la première tentative de formalisation des contrats de performance énergétique. C'est une société qui vend des économies d'énergie, ce n'est ni un banquier, ni une compagnie d'assurances, ni un fournisseur de services ou d'équipements mais elle est capable de proposer une offre contenant beaucoup de ces éléments individuels » [Adnot & Jamet, 2003]. Sinerg est une société de montage d'opération, il n'y a pas de personnel technique. Elle ne fait jamais d'exploitation mais s'occupe de la totalité du montage, y compris le montage financier. Sinerg se positionne comme le seul interlocuteur du client et s'occupe de tout en créant, en général, une structure locale du type Société par Action Simplifiée, avec des comptes transparents³⁴. Elle va gérer, comme nous allons l'expliquer, les aspects techniques, les aspects d'exploitation, d'assurance, les aspects fournitures d'énergie primaire, etc.

Le tiers investissement a été rendu possible au sein des collectivités territoriales par la loi MOP (Maîtrise d'Ouvrage Publique) qui date du milieu des années 90. Cette loi offre la possibilité de dénommer un maître d'ouvrage public délégué, sans consultation, qui s'occupe de tout, en contrepartie de garantie. Adnot et Jamet nous apprennent que Sinerg a développé un contrat standard à destination des collectivités locales. La compagnie de tiers financement finance ainsi les investissements qui ont un temps de retour de six ans, elle se rembourse annuellement à partir de 85% des économies engendrées et pendant 12 ans en moyenne.

³⁴ Sinerg est l'actionnaire principal de ces SAS, avec la participation du client quelques fois. Si il y a partage du capital, il y a également partage des bénéfices.

Signalons que la compagnie ne devient jamais propriétaire des installations. Ces dernières représentent donc des actifs financiers intangibles dans les comptes de la compagnie. Dans le cadre de l'installation de cette station de cogénération, la SERM a confié à Sinerg une mission de maîtrise d'ouvrage déléguée, associée à un financement en tiers investissement d'une durée de 9 ans pour la globalité de l'opération.

En coordination étroite avec les services techniques et administratifs de la SERM, Sinerg a géré : les appels d'offres du maître d'œuvre et des entreprises³⁵ ; les déclarations et demandes de certificats d'autorisation ; la rédaction et la négociation du contrat de maintenance et d'exploitation ; le suivi et la réception du chantier³⁶. Dans ce cadre là, c'est Sinerg qui s'occupe de la conception technique, qui fait les consultations, qui négocie les marchés tant en exploitation qu'en réalisation. Les risques techniques sont couverts parce que Sinerg participe à la négociation, ainsi qu'à la rédaction du contrat d'exploitation, donc elle transfère et fait supporter le risque technique par l'entreprise chargée de la réalisation et de l'exploitation. Pour ce faire, l'entreprise de tiers investissement sélectionne les contractants avec des garanties sur les prix et les performances, ce qui s'apparente à la signature de contrats de performance. Sinerg va également souscrire des contrats d'assurances si jamais le projet n'est pas entièrement couvert. Après, il peut y avoir des produits de couverture par rapport aux variations de prix de l'énergie, etc.

Exposons les principes du financement en tiers investissement, appliqué au financement de la cogénération à Montpellier. Nous n'en resterons malheureusement qu'aux principes car Sinerg, malgré l'accord de la SERM, n'a pas voulu nous dévoiler les détails du plan de financement de cette opération, au prétexte que nous aurions pu reconstituer la marge qu'elle réalise. Dans les formules de financement en tiers investissement, on part d'une situation de référence, l'installation telle qu'elle existe. A Montpellier, la situation de référence est celle de l'ancienne chaudière fonctionnant au charbon et au fioul lourd. A partir de là, Sinerg calcule les coûts de référence et les coûts futurs résultant du fonctionnement de la nouvelle installation. Les deux termes de cette équation bougent sur un contrat d'une durée moyenne de 12 ans, même si ici, elle est de 9 ans. C'est-à-dire que chaque année, Sinerg recalcule la situation de référence³⁷, qu'elle compare à la situation réelle³⁸, la différence entre les deux révélant le montant d'économie d'énergie réalisé. La situation de référence bouge toujours un petit peu car elle va dépendre de la quantité d'énergie réellement produite, du cours du charbon, du cours du fioul lourd, de la formule de révision des coûts de maintenance.

Le mécanisme fonctionne ensuite selon les mêmes principes que le contrat de performance énergétique avec partage des économies entre les partenaires. La forme de ce

³⁵ La SERM signe les contrats mais c'est Sinerg qui les prépare ainsi que pour les appels d'offres. S. Lebel de Sinerg, que nous avons interviewé, nous a indiqué que la loi est de plus en plus contraignante en termes de consultation.

³⁶ Une personne va aux réunions de chantiers, et regarde si ça a été réceptionné le bon jour, etc. Elle est chargée d'appliquer les pénalités si les choses ne se passent pas telles que stipulées dans le contrat.

³⁷ La formule du calcul de la situation de référence correspond à : achat de charbon + achat de fioul + coût de maintenance + éventuellement des petits travaux de rénovation.

³⁸ Dans la situation future, il y aura achat de charbon + achats de gaz + coûts de maintenance de la cogénération + coût de maintenance sur le charbon – recettes EDF liées à la vente d'électricité (élevées). La ville a effectivement conservé une chaufferie d'appoint qui fonctionne au charbon.

dernier va dépendre de l'arrangement contractuel choisi par les partenaires. Dans les trois types de contrat existant, le gain du client est exprimé en valeur absolue, en valeur absolue révisable ou en pourcentage du montant d'économie d'énergie réalisé. Sinerg détermine, suivant ses critères internes, combien elle veut que le client lui verse par rapport à l'investissement réalisé, et construit son plan de financement à partir des loyers versés par le client. Il y a une discussion entre le client et Sinerg à propos du partage des économies d'énergie réalisées, c'est plus un partenariat qu'une relation client. Le montage à Montpellier a été calé sur les économies réellement constatées. Les loyers versés par la SERM à Sinerg incorporent une rémunération au titre du suivi, de l'assistance et de la garantie, le remboursement du prêt, le refinancement de l'investissement ainsi que la marge de Sinerg.

Au final, ce système permet au client de garder le contrôle de l'opération - car les contrats sont signés en son nom - et d'avoir la garantie de bénéficier des économies quoi qu'il arrive. Il permet également à la collectivité territoriale de ne pas entamer sa capacité d'endettement. De plus, la possibilité de construire le montage financier à partir des économies réellement constatées dans les années à venir donne au client l'assurance de la rentabilité l'opération. Un autre avantage des formules de financement en tiers investissement réside dans le fait que dans l'hypothèse où la créance est dégonflée en totalité avant la fin du contrat, ce dernier s'arrête instantanément.

3.3 La trigénération

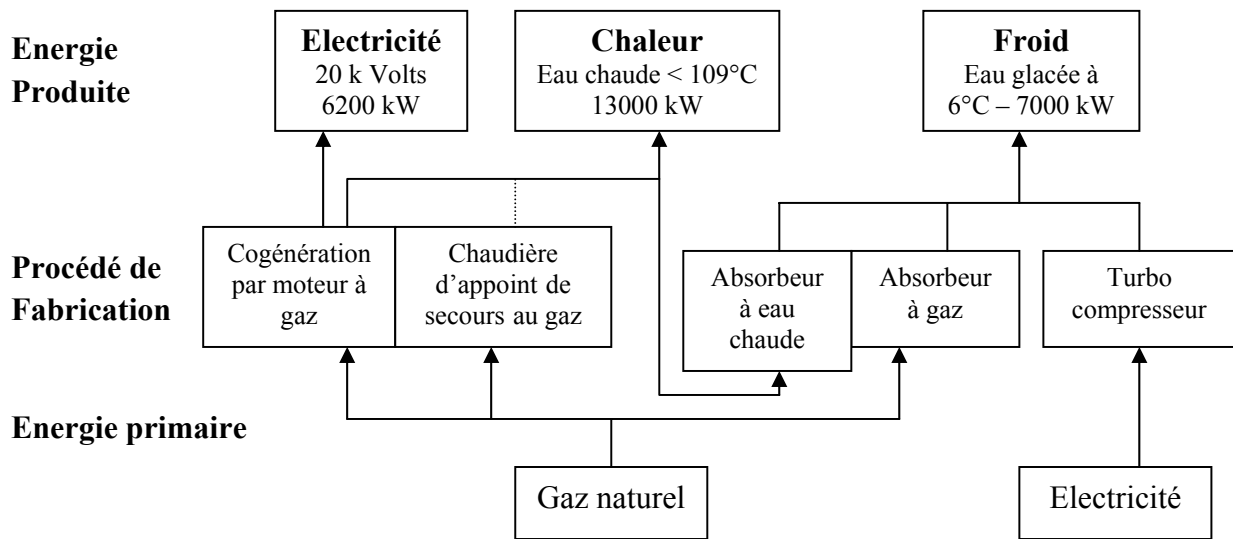
3.3.1 Contexte de l'installation de la trigénération et chiffres clés

La centrale de l'hôtel de ville mise en service en 1970 constitue pour le réseau urbain de Montpellier un outil de production essentiel car elle assure un tiers des besoins de chauffage et deux tiers des besoins de climatisation des nouveaux quartiers du centre ville. Conçue en fonction des meilleures technologies de l'époque, ses équipements sont restés performants et ont permis d'assurer une grande qualité de service durant 30 ans. Puis les exigences réglementaires toujours plus fortes en matière de sécurité et d'environnement ont fait que la centrale ne répondait plus totalement à tous les critères. Le 5 octobre 2001 a été inaugurée à l'Hôtel de ville de Montpellier la première centrale de trigénération raccordée à un réseau urbain français. Combinant cogénération et absorption, et utilisant l'eau comme fluide frigorigène, elle assure un tiers des besoins de chauffage et deux tiers des besoins de climatisation des nouveaux quartiers du centre-ville (bureaux, logements, administrations, équipements publics, etc.). Cette centrale a vu le jour suite à un programme de rénovation d'un coût total de 6,45 M€, mené par la ville de Montpellier, en partenariat avec Gaz de France et subventionnée par l'ADEME en tant qu'opération exemplaire. AMORCE a été associée à cette initiative. Elle permet des gains énergétiques et une diminution des rejets polluants dans l'atmosphère, nous donnons ci après chiffres clés :

Capacité : 6,2 MW d'électricité ; 13,3 MW de chaleur ; 11,1 MW de froid
 Coût : 6,45 M€
 Durée des travaux : 9 mois
 Mise en service : décembre 2000
 Maîtrise d'ouvrage : SERM
 Assistance à maître d'ouvrage : Sinerg

3.3.2 Explications du fonctionnement d'une centrale de trigénération

Schéma 1 – Représentation simplifiée du fonctionnement de la trigénération

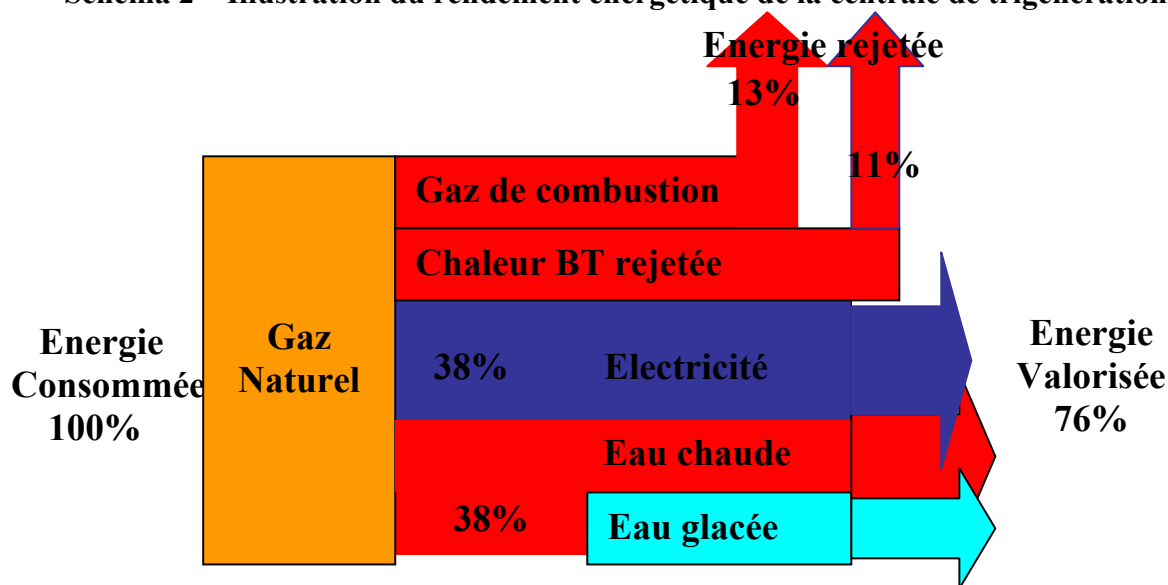


Source, Réseau Montpellierain de chaleur et de froid - La centrale de trigénération au gaz naturel de l'hôtel de ville, Plaquette de présentation financée par l'ADEME, la SERM et GDF, 2001.

« Le gaz naturel alimente les deux moteurs de cogénération. Ces moteurs sont couplés à des alternateurs pour produire de l'électricité utilisée pour l'autoconsommation et surtout pour la revente à EDF dans le cadre d'un contrat cogénération de type 97-01. La chaleur émise par les moteurs lors de la combustion est partiellement valorisée pour alimenter le réseau urbain de chauffage et l'absorbeur à eau chaude. Celui-ci produit à son tour de l'eau glacée pour le réseau urbain de climatisation. Dès lors, on parle de trigénération car à partir du gaz naturel, on produit trois énergies : l'électricité, la chaleur et le froid. Une chaudière à gaz permet d'assurer le secours de moteurs pour la production d'eau chaude et d'eau glacée au moyen de l'absorbeur à eau chaude. Un second absorbeur à gaz ainsi qu'un turbocompresseur assurent un complément de puissance pour la production d'eau glacée. Les fluides frigorigènes employés sont la vapeur d'eau pour les absorbeurs au bromure de lithium, et le fluide R134A exempt de particule de chlore pour turbocompresseur » [ADEME, 2001].

3.3.3 Bilan énergétique et environnemental de la trigénération

Schéma 2 – Illustration du rendement énergétique de la centrale de trigénération



Source : Réseau Montpellierain de chaleur et de froid - La centrale de trigénération au gaz naturel de l'hôtel de ville, Plaquette de présentation financée par l'ADEME, la SERM et GDF, 2001.

L'ADEME a versé une subvention de 70 000 € correspondant à environ 20% du surcoût estimé de la production du froid par absorption par rapport à une solution électrique³⁹. Le surcoût, lié notamment au prix élevé des machines à absorption sera compensé à terme par les économies réalisées pour l'exploitation et l'entretien. Le temps de retour est estimé entre 6 et 8 années, une durée sensiblement inférieure à celle du contrat de cogénération - douze ans. Après 18 mois de fonctionnement (chiffre de décembre 2002), le bilan est jugé globalement satisfaisant. Le rendement global de la trigénération au cours de la saison de chauffe 2001-2002 a avoisiné 74 %. Un résultat conforme aux objectifs initiaux, équitablement réparti entre la production d'électricité - 17 480 MWh - et la valorisation thermique - 17 520 MWh. L'acquisition d'un second absorbeur à eau chaude, installé à l'automne 2002, clôture cette opération et devrait permettre d'accroître le rendement de la trigénération [Irigoin, 2002].

Au niveau du bilan environnemental, le procédé de trigénération au gaz naturel et à l'eau - fluide frigorigène - contribue à la lutte contre l'effet de serre et la destruction de la couche d'ozone, en diminuant sensiblement les émissions de gaz polluants. Il permet en outre d'accroître l'autonomie en énergie de la région Languedoc-Roussillon très largement importatrice en électricité. La réduction de l'impact environnemental annuel global due au passage à la trigénération a été évaluée comme suit : diminution de 7000 tonnes de CO₂, de 0,25 tonne de fuite de CFC, de 41 tonnes de SO₂ (oxydes de soufre), de 10 tonnes de NO₂ (oxydes d'azote), de 3 tonnes de poussière car la production de chaleur de la trigénération se substitue à celle de la centrale à charbon du réseau urbain.

³⁹ Le lot absorption est composé de trois machines : un groupe « froid » à absorption à combustion directe (336 074 €) et 2 groupes « froid » à absorption à eau chaude (293 589 €). L'assiette subventionnable est la différence entre la solution groupe « froid » à absorption (629 663 €) et la solution groupe « froid » à compression (276 686 €) ; soit 20% de 352 977 € (70 595 €).

4 CONCLUSION

La politique énergétique de Montpellier s'appuie sur trois éléments essentiels. La ville s'attache tout d'abord à appliquer une politique d'investissement soutenue et continue au travers, notamment, la remise à niveau permanente de l'état des chaudières⁴⁰ et la mise en place de la télégestion des chaufferies. La volonté de favoriser l'efficacité énergétique, au sein du patrimoine bâti, est ensuite symbolisée par le fait qu'à Montpellier, le directeur Energie se trouve dans une position stratégique qui lui permet de coordonner et légitimer sa mission auprès des autres services municipaux. L'organigramme des services est, en effet, bien développé avec une position transversale du service énergie assurant au personnel une certaine prise de responsabilité, dans la conduite optimale des chaufferies notamment. Le dernier pilier de la politique énergétique développée à Montpellier repose sur une approche concrète et expérimentale des nouvelles technologies en matière d'énergie – cogénération, trigénération, ventilation double flux dans les bâtiments, etc. [Guelzim, 1997]. Au final, l'avantage que présente l'existence d'un service énergie de taille importante, réside dans la haute compétence de ses agents.

De par leur formation, la totalité des agents affiche un savoir-faire élevé dans l'entretien des chaufferies des bâtiments communaux ainsi qu'une très fine connaissance des installations du patrimoine. Le personnel a en effet été formé pour minimiser les coûts d'exploitation des bâtiments, autant sur le plan technique - importance et complexité des installations, degré de perfectionnement et d'automatisation, possibilité d'avoir un programme de chauffe - que sur le plan économique - coût des prestations et de la durée des contrats. S'il n'est a priori pas à la portée de toutes les villes, d'un point de vue financier, de disposer d'un tel personnel et d'en assurer la formation, il ne faut cependant pas négliger les économies sur les coûts d'exploitation et de maintenance qui résultent du raisonnement en coût global. La double cohérence amont-aval et investissement-fonctionnement est très poussée dans les réflexions à Montpellier où le service énergie, de par sa transversalité, agit en qualité de maître d'œuvre auprès des autres services. Une des caractéristiques les plus remarquables de cette politique est la diffusion annuelle, par le service énergie, de deux notes auprès de l'ensemble des services de la ville ainsi qu'aux multiples intervenants dans l'acte de construction-réhabilitation des bâtiments. Ces fiches visent, d'une part, à ce que les considérations relatives à l'énergie soient prioritaires, chez les décideurs de toute nature, lorsqu'il s'agit d'examiner les projets d'investissement, et d'autre part, à ce que le critère de la maximisation de l'efficacité énergétique devienne la norme.

Si à Montpellier, le financement des investissements dans l'efficacité énergétique est réalisé essentiellement par de l'autofinancement, associé ou non à l'octroi de subventions⁴¹, la ville utilise également des mécanismes plus innovants tels que le tiers investissement. La

⁴⁰ Guelzim nous apprend qu'à Montpellier, la remise à neuf du matériel et la modernisation des installations thermiques passe par la mise en place de systèmes d'émissions de chaleur par panneaux rayonnants ; la réfection complète des armoires de commande- contrôle des chaufferies ainsi que le raccordement au poste central ; la poursuite du remplacement de chauffages électriques coûteux et vétustes [Guelzim, 1997].

⁴¹ A notre connaissance, le financement des investissements dans la maîtrise de la demande d'électricité a été réalisé sans subventions, alors que celui de la trigénération, par exemple, a nécessité une subvention de l'ADEME.

partie de l'étude consacrée au financement de la station de cogénération n'est pas suffisamment poussée mais elle nous a néanmoins permis d'analyser le rôle du tiers investisseur – Sinerg en l'occurrence. Cette société de montage d'opération, élabore des schéma de financement permettant à la collectivité territoriale cliente, de rembourser l'investissement réalisé à partir des économies d'énergie réellement constatées. C'est le même principe sur lequel est basé le mécanisme du contrat de performance énergétique dont nous étudions, plus en détail, l'application à Berlin.

Etude de cas

Gestion énergétique du patrimoine bâti à Francfort

*Francfort et le financement de l'amélioration de l'efficacité énergétique de son patrimoine par **autofinancement** –
Implantation systématique de stations de cogénération*

Données climatiques

Degrés jours (sur une base de 18°C) : 3038

Température annuelle moyenne : 10,7°C

Mots-clés : Agence de l'énergie ; Raisonnement en coût global ; Promotion des économies d'énergie au travers de mécanismes financiers innovant ; Financement de la cogénération par autofinancement.

1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE FRANCFORT

Commençons par rappeler que l'Allemagne est une république fédérale composée de 16 Länder - Etats fédéraux ou régions. Elle dispose de cinq organes constitutionnels : le *Bundestag* (assemblée nationale composée de 669 députés), le *Bundesrat* (69 membres des gouvernements des Länder) et le gouvernement fédéral. Si l'administration allemande dispose de cinq échelons, la construction politique ne compte que trois niveaux : le *Bund* (Etat fédéral), les *Länder* et les collectivités locales (districts et municipalités) [*Berliner Energieagentur et al*, 2000]. Les Länder ont chacun leur propre constitution, ils élisent un parlement et forment un gouvernement. Ils exercent un pouvoir législatif propre dans les matières qui ne sont pas la compétence du législateur fédéral et sont chargés de l'exécution des lois fédérales. Les chefs de district sont nommés par les gouvernements des Länder et leurs principales responsabilités consistent à coordonner les politiques sectorielles au niveau régional et à servir d'intermédiaires entre le gouvernement du Land d'une part et les districts et les municipalités d'autre part [*Bédart*, 1997].

Francfort est une ville de 652 000 habitants, dont 48 000 étudiants, elle s'étend sur 249 km²⁴². C'est la ville la plus importante du Land de Hesse qui compte 4 900 000 habitants. Francfort est devenue au fil du temps, une métropole commerciale et financière de première importance, elle accueille notamment le siège de la banque centrale européenne ainsi que la première bourse d'Allemagne en terme de capitalisation.

2 LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE FRANCFORT

2.1 Caractéristiques générales

Francfort est membre fondateur du mouvement « Alliance pour le climat » dont l'objectif est de réduire les émissions de gaz à effet de serre des municipalités membres de 50% d'ici 2010, par rapport à celles de 1990. C'est en 1991 que le conseil municipal a jeté les bases de son actuelle politique énergétique en votant la décision « Offensive climatique 1991 » [*Énergie-Cités*, 2002]. En effet, un bilan des consommations d'énergie et des rejets de gaz à effet de serre avait été établi - hors transport - en 1987 et avait révélé que les émissions de CO₂ de la ville s'élevaient à 8,5 millions de tonnes. Francfort a donc développé une réflexion sur l'énergie par le biais de la lutte contre l'effet de serre et a chargé dès cette époque, l'Agence de l'énergie de Francfort – *Energierreferat* - de mettre en oeuvre toute une série de mesures de façon à atteindre l'objectif fixé : extension du réseau de chauffage urbain⁴³ et développement de la cogénération ; amélioration des normes techniques du bâtiment (norme des bâtiments « passifs » pour le neuf : 15 kWh/m²/an) ; augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments de bureau et du patrimoine communal ; promotion des énergies renouvelables, notamment du solaire thermique [*Énergie-Cités*, 2003–b].

⁴² La densité de population est de 2 618 habitants par km².

⁴³ Notons que la puissance thermique totale des trois systèmes de chauffage urbain atteint 1002 MW, dont 583 MW sont destinés à l'industrie et aux immeubles de bureaux, 258 MW pour le secteur résidentiel, et 161 MW pour les bâtiments publics - aéroports compris. Signalons également qu'une capacité de 60 MW de production de froid est installée pour les besoins de rafraîchissement [*Friedel*, 2000].

L'Agence de l'énergie, créée en 1989, est un service de la municipalité intégré au sein du département environnement. Elle est chargée d'animer un réseau d'acteurs locaux, de mettre en œuvre le programme énergétique de la ville et de donner des conseils⁴⁴. L'une de ses activités principales consiste à élaborer des plans énergétiques pour les nouveaux quartiers en concertation avec les autres services municipaux et les investisseurs [Énergie-Cités, 2003–b]. Les activités d'information, de consultant et de dissémination des bonnes pratiques sont devenues progressivement une activité importante des départements municipaux de l'énergie en général et de l'Agence de l'énergie de Francfort en particulier. Francfort a finalement orienté sa stratégie vers la réalisation graduelle de cibles de réduction des consommations énergétiques, principalement sur les constructions neuves, les projets de rénovation des investisseurs et les propriétaires de logements.

Francfort a ainsi commencé par s'attaquer à l'isolation des bâtiments ainsi qu'à la modernisation des systèmes de chauffage des habitations, domaines dans lesquels le potentiel d'économie d'énergie est élevé. Pour ce faire, elle a fixé un nouveau standard énergétique de 70 kWh/m²/an pour la consommation des bâtiments, ce qui représente une diminution de 30 à 50% des consommations par rapport aux standards légaux. Afin de calculer les références de l'efficacité énergétique des consommations d'un bâtiment (chaleur, électricité, etc.), la ville a créé le *Frankfurt Energy Pass*. Cet outil est basé sur le guide « *Energy in building construction* » du Land de Hesse et s'inspire très largement des standards suisses et de leurs méthodes de calcul. La ville a également créé un forum de l'énergie pour les banques et bureaux, dans lequel sont représentés divers investisseurs dans de gros projets de construction. Le but de ce forum est d'utiliser les méthodes de « planification intégrée » introduites en Suisse afin de minimiser les besoins de chaleur et d'électricité pour les grands projets de construction [ICLEI, 1996].

Signalons que Francfort utilise l'outil Gemis - développé par l'*Öko-Institut* - pour modéliser ses émissions de gaz à effet de serre. C'est à la fois une base de données et une méthode qui permet d'élaborer des bilans énergétiques et de comparer les performances énergétiques de différentes villes. Le calcul des émissions se fait globalement, tout au long de la chaîne⁴⁵ ; la référence de 0,05 g CO₂ par kWh est prise pour calculer le contenu carbone du kWh électrique (mix charbon/nucléaire). En 1995, une analyse détaillée⁴⁶ des flux d'énergie s'échangeant sur le territoire de Francfort a été effectuée, ce qui a permis à la ville d'avoir une vision globale de ses consommations d'énergie et de ses émissions de gaz à effet de serre. Signalons pour finir que le service énergie de la direction du bâtiment de Francfort, a publié un rapport *Energiebericht 2000* très riche en renseignement.

⁴⁴ Elle doit entre autres, travailler pour contester l'idée selon laquelle une consommation d'énergie qui augmente est synonyme de prospérité [SURBAN, 2003].

⁴⁵ Ainsi le nucléaire devient émetteur de gaz à effet de serre avec cette technique de comptabilisation des émissions.

⁴⁶ Également appelée « Diagramme de Sunkey ».

2.2 Bilan énergétique de Francfort

2.2.1 Les bâtiments municipaux

La direction du bâtiment de Francfort, plus particulièrement le service « maîtrise des consommations d'énergie », est en charge de la gestion de plus de 1 000 bâtiments municipaux représentant une surface totale de 2 000 000 de m². Nous possédons quelques éléments nous permettant d'apprécier la typologie des bâtiment municipaux : 98 écoles primaires⁴⁷, 16 collèges, 10 universités, 35 instituts de recherche, 250 bibliothèques académiques, 70 théâtres, 7 musées, 12 piscines publiques, 2 jardins botaniques. Nous ne pouvons pas être plus précis concernant la structure du patrimoine bâti de Francfort et la répartition des consommations d'énergie par type de bâtiments car nous n'avons pas pu nous procurer l'intégralité des données.

Le budget fluide - avec l'eau et hors éclairage public - de l'année 1999 est de 29 millions d'euros dont 6 millions pour l'eau ; 0,5 millions d'euros pour le fuel ; 2,8 millions d'euros pour la chaleur issue du chauffage urbain ; 5,5 millions d'euros pour le gaz et 14,4 millions d'euros pour l'électricité. Au total, le budget énergie de Francfort - hors éclairage public - s'élève à 23,2 millions d'euros. La dépense énergétique des bâtiments communaux s'élève ainsi à 35,6 €/habitant.

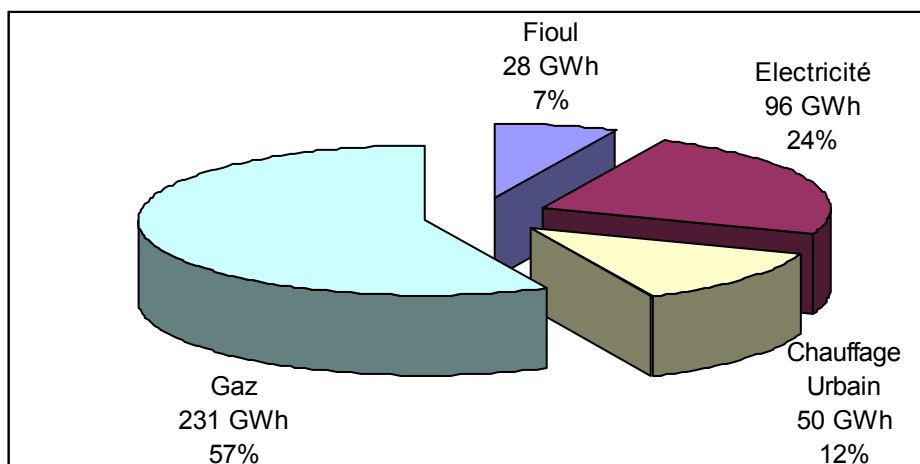
Tableau 7 – Répartition des consommations et dépenses d'énergie des bâtiments communaux en 1999

NATURE	M€TTC	GWh
Fioul domestique	0,5	28
Electricité bâtiments	14,4	96
Gaz bâtiments	5,5	231
Chauffage urbain	2,8	50
Total bâtiments communaux	23,2	405

Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

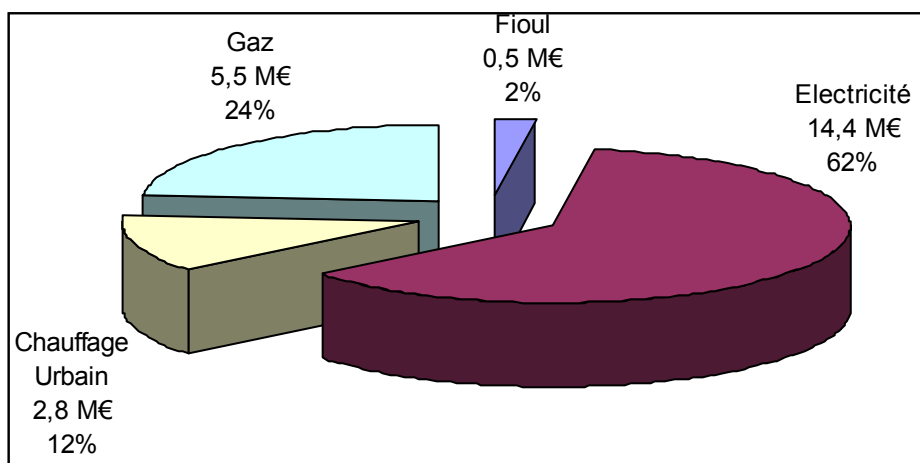
⁴⁷ Parmi l'ensemble des bâtiments scolaires, voici également une liste que nous ne sommes pas en capacité de traduire en intégralité : 12 *comprehensive schools*, 18 *vocational schools*, 23 *trade schools*, 23 *écoles de préparation au collège* et 8 *écoles internationales*.

Graphique 4 - Répartition des consommations d'énergie des bâtiments municipaux en 1999



Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Graphique 5 - Répartition des dépenses d'énergie des bâtiments municipaux en 1999



Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Le gaz est l'énergie la plus utilisée au sein du patrimoine bâti de Francfort - 57% de la consommation – mais elle ne représente que 24% des dépenses. A l'inverse, l'électricité compte pour 62% des dépenses énergétiques alors qu'elle ne pèse que 24% de la consommation d'énergie. Il faut dès à présent remarquer que les dépenses relatives à l'électricité n'incluent pas l'éclairage public puisque, comme nous le verrons, c'est une compétence exclusive du distributeur local MAINOVA. En analysant la répartition des dépenses énergétiques par type de bâtiment⁴⁸, on s'aperçoit que les installations publiques (pompes, stations d'épuration des eaux, etc.) sont les plus énergivores puisque leurs dépenses oscillent entre 4,5 et 5 millions d'euros, ce qui représente 35 à 40% de la dépense d'électricité totale. Viennent ensuite, dans les bâtiments qui consomment le plus d'électricité, les écoles - 2,8 millions d'euros soit 21% de la dépense électrique totale - puis les musées, enfin les équipements publics et les installations sportives.

⁴⁸ Etant dans l'incapacité de traduire certains éléments des documents en ma possession, il n'y aura pas plus de détail sur la répartition des consommations et dépenses d'énergie par type de bâtiments.

Tableau 8 - Evolution des prix des énergies entre 1990 et 1999, à Francfort et en Allemagne⁴⁹, en €/MWh

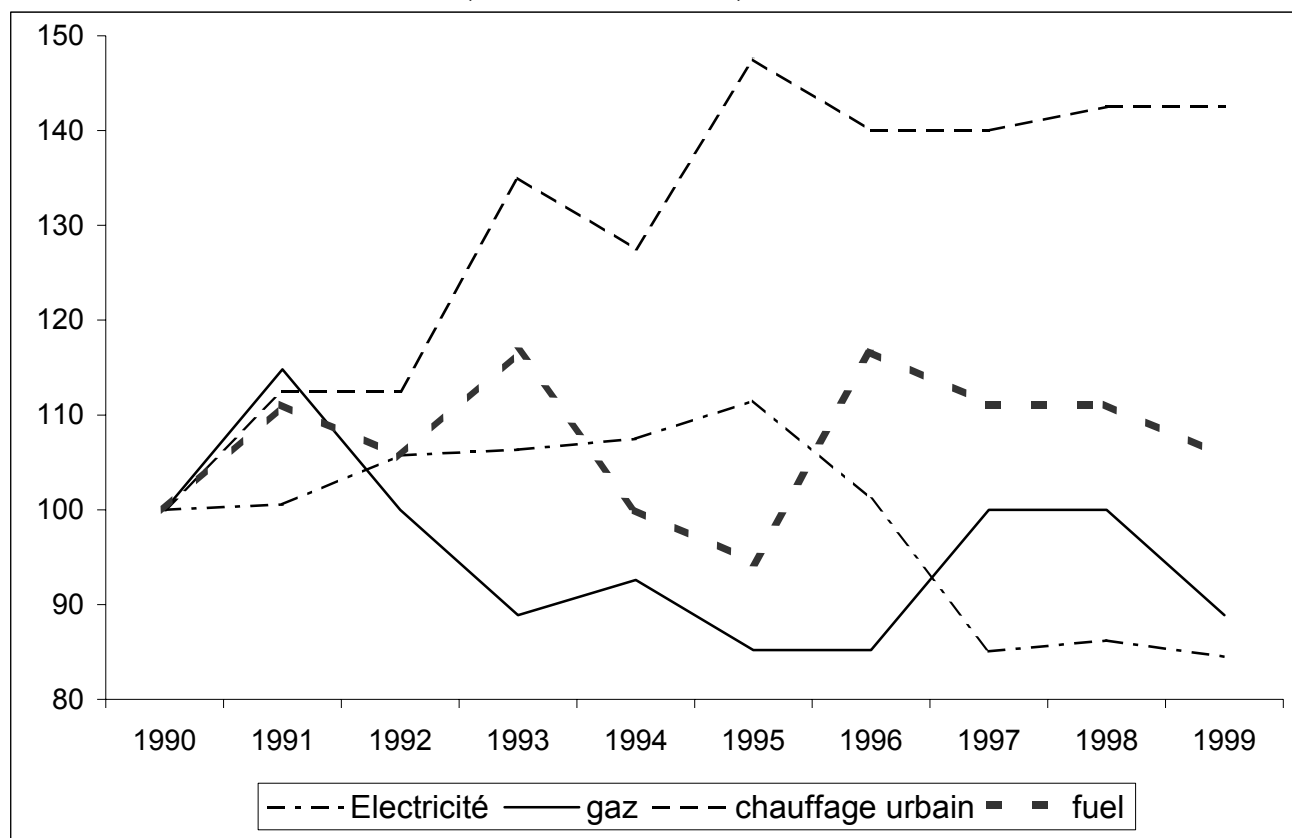
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Electricité	Francfort	174	175	184	185	187	194	176	148	150	147
	Moyenne Nationale	182	178	184	182	178	181	175	161	159	165
Gaz	Francfort	27	31	27	24	25	23	23	27	27	24
	Moyenne Nationale	25	28	28	27	26	26	26	28	29	26
Chauffage Urbain	Francfort	40	45	45	54	51	59	56	56	57	57
	Moyenne Nationale	36	38	38	43	44	44	45	46	47	48
Fuel	Francfort	18	20	19	21	18	17	21	20	20	?
	Moyenne Nationale	19	22	20	21	19	17	20	20	20	?

Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Francfort paye son gaz aux mêmes tarifs que les autres villes en moyenne depuis 1990. Concernant l'électricité, la ville a payé relativement plus cher la consommation électrique de ses bâtiments pendant la période 1992-1996. Depuis 1996, Francfort bénéficie de prix relativement avantageux, à l'image des prix de l'électricité en Allemagne. On conclura nos commentaires sur l'évolution des prix des énergies payés par la ville en soulignant le fait que Francfort possède des réseaux de chaleur dont la tarification de l'énergie finale est supérieure entre 10% et 25% par rapport à la moyenne nationale. Visualisons cette évolution des prix des énergies de 1990 à 1999 à l'aide d'un graphique pour lequel l'année 1990 est l'année de référence.

⁴⁹ Le système énergétique allemand, à l'image de l'organisation administrative et politique du pays, est décentralisé. Il est composé d'un premier niveau d'une dizaine d'entreprises régionales - fournisseurs primaires - et d'un second niveau de plus de 900 entreprises locales, les *Stadtwerke* [Fender, 2003]. Ces organisations municipales sont des entreprises de gestion d'infrastructures - canalisation, réseau ferré, port, etc. Fender nous apprend qu'elles fonctionnent sur trois piliers dont celui du monopole, assuré par un contrat de concession, caractéristique donnant à l'entreprise la certitude d'avoir des clients captifs. Si la *Stadtwerke* ne détermine pas en toute liberté ses tarifs puisqu'ils sont soumis à la double approbation du conseil municipal et du gouvernement, le fait qu'elles existent en nombre très important a engendré, en Allemagne, une multiplication des tarifs. Ce système de monopoles parcellisés dans lequel il y a la fois partage des territoires et des contrats de vente exclusif entre fournisseur primaire et *Stadtwerke* est mis en péril avec la libéralisation des marchés [Fender, 2003].

**Graphique 6 - Evolution des prix des énergies pour la ville de Francfort
(année 1990 en base 100)**



Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

En parallèle à cette évolution des prix des énergies pour le patrimoine bâti de Francfort, observons la façon dont a évolué la consommation d'énergie des bâtiments de la ville entre 1990 et 1999 :

**Tableau 9 - Evolution des consommations d'énergie des bâtiments communaux⁵⁰
(en GWh)**

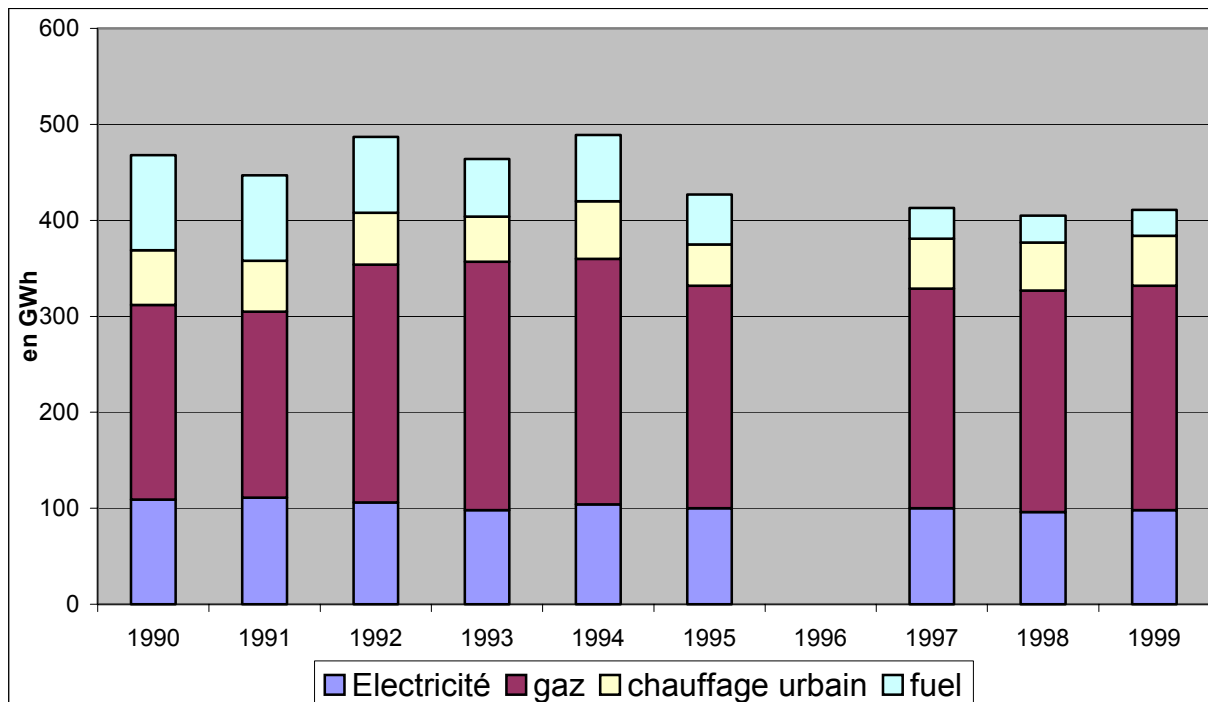
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Electricité	109	111	106	98	104	100	0	100	96	98
Gaz	203	194	248	259	256	232	0	229	231	234
Chauffage urbain	57	53	54	47	60	43	0	52	50	52
Fuel	99	89	79	60	69	52	0	32	28	27
Total	468	447	487	464	489	427	0	413	405	414

Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Visualisons cette évolution sur un graphique afin de mieux saisir les grandes tendances :

⁵⁰ Nous ne disposons pas des données pour l'année 1996.

Graphique 7 - Evolution des consommations d'énergie des bâtiments communaux



Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

La consommation d'électricité des bâtiments de Francfort est passée de 109 GWh en 1990 à 98 GWh en 1999. Elle est donc restée quasiment au même niveau, et ce malgré l'augmentation des surfaces bâties, grâce, entre autres, aux actions de maîtrise de la demande d'électricité réalisées par la ville. On observe une très forte diminution des consommations de fuel, passant de 99 GWh en 1990 à 27 GWh en 1999, qui s'explique notamment par la politique très active de substitution des chaufferies fuel, au gaz ou au chauffage urbain. Nous pouvons d'ailleurs remarquer que le chauffage électrique est pratiquement banni sur le territoire de la ville puisqu'il n'existe plus qu'une installation de ce type, localisée dans l'office de planification. Signalons également que les consommations d'eau ont été drastiquement réduites par l'installation de réducteur/mousseur qui génèrent de grosses économies, à la fois d'eau et d'énergie car la production d'eau chaude sanitaire nécessite de l'énergie, assurant à cet investissement un temps de retour brut de moins de 6 mois.

Les émissions de gaz à effet de serre ont diminué en moyenne de 1,5% tous les ans depuis 1990. Ceci est à rapprocher des objectifs de la directive sur les services énergétiques qui veut imposer aux Etats-membres une réduction de 1% par an de leur intensité énergétique, et de 1,5% pour les collectivités locales. La ville a bien évidemment mis en place des instruments de mesure pour pouvoir évaluer les résultats de ces politiques. Elle a donc calculé les émissions de gaz à effet de serre évitées par un changement de chaudière par exemple ou par le passage du fuel au gaz, etc. Nous possédons ainsi l'ensemble des éléments nous permettant de retracer, dans le tableau 10, l'évolution des dépenses énergétiques de Francfort de 1990 à 1999.

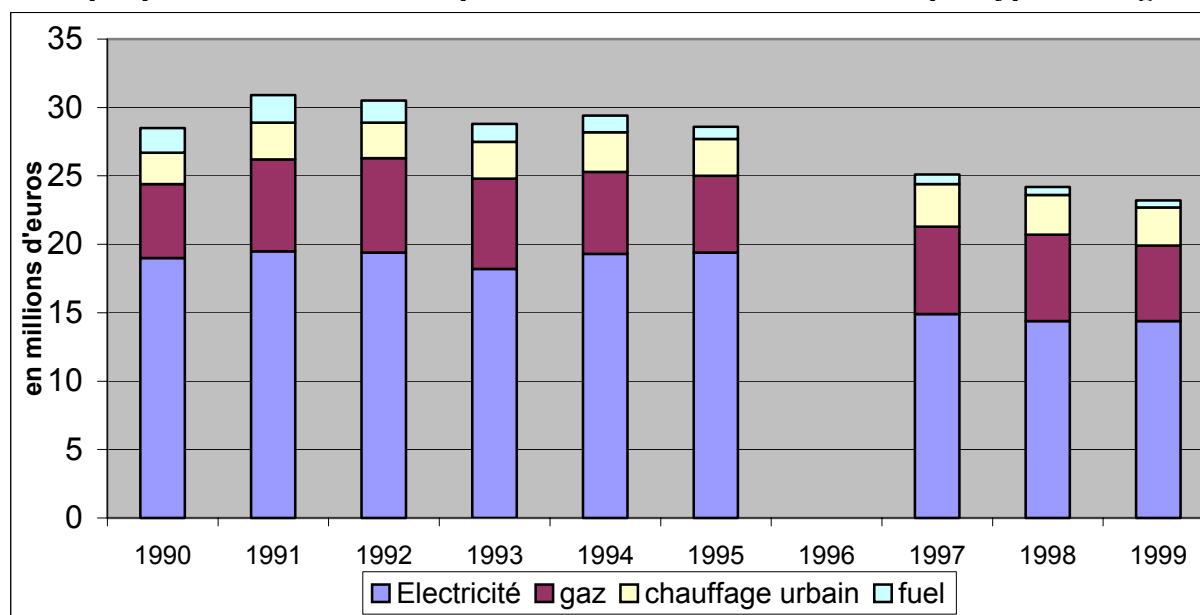
Tableau 10 - Evolution des dépenses d'énergie entre 1990 et 1999, en million d'euros

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1998	1999
Electricité	19	19,5	19,4	18,2	19,3	19,4	14,9	14,4	14,4
Gaz	5,4	6,7	6,9	6,6	6	5,6	6,4	6,3	5,5
Chauffage urbain	2,3	2,7	2,6	2,7	2,9	2,7	3,1	2,9	2,8
Fuel	1,8	2	1,6	1,3	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5
Total	28,5	30,9	30,5	28,8	29,4	28,6	25,1	24,2	23,2

Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Transposons les données de ce tableau afin d'établir un graphique retraçant clairement l'évolution des dépenses énergétiques, par type d'énergie, relatifs aux bâtiments communaux de Francfort :

Graphique 8 - Evolution des dépenses des bâtiments communaux par type d'énergie



Source : Energiebericht 2000, Stadt Frankfurt am Main, 2000.

Les dépenses relatives à la fourniture d'énergie des bâtiments communaux de Francfort ont diminué de près de 25% en 10 ans passant de 28,5 M€ à 23,2 M€, et ce malgré l'augmentation du patrimoine bâti de la ville. Ceci s'explique à la fois par la politique d'efficacité énergétique menée à Francfort ainsi que par la baisse du prix du gaz et de l'électricité entre 1995 et 1999. Au niveau structurel, l'électricité représente entre 60 et 66% des dépenses énergétiques de la ville chaque année alors qu'elle ne compte que pour 21-24% des consommations. L'électricité est en effet un produit noble et relativement onéreux, ce qui explique sa part importante dans les dépenses. Il faut cependant remarquer que son prix a considérablement diminué entre 1995 et 1999. Nous le visualisons parfaitement sur le graphique ci-dessus puisque les dépenses relatives à l'électricité passent de 19,4 millions d'euro en 1995 à 14,9 millions d'euros en 1997 alors que la consommation était toujours de 100 GWh. Il n'y a donc pas eu d'économie d'énergie comme pourrait le suggérer cette

diminution très significative, mais une économie de près de 25% sur les coûts de fourniture de l'électricité. Par contre, alors que les consommations et dépenses relatives au gaz et au chauffage urbain sont à peu près stables sur la période, Francfort a développé une politique volontariste de remplacement de ses chaufferies fuel qui a eu pour conséquence une diminution de 75% des consommations et dépenses relatives au fuel.

2.2.2 Le cas particulier de l'éclairage public

La gestion de l'éclairage public a été transférée à Mainova AG et la ville n'a pas trop de visibilité sur cette activité. Elle a commandé une étude de comparaison des coûts relatifs à l'éclairage public dans différentes villes afin d'évaluer sa performance car la Stadtwerke ne fait aucun compte-rendu de son activité. Le coût total s'élève à 27 millions d'euros par an - coût de la fourniture d'électricité et coût de maintenance. La ville s'est rendue compte que les technologies utilisées étaient loin d'être homogènes puisque 60 à 70 tubes de lampes différents équipent son parc. Il y a deux ans, elle a demandé par l'intermédiaire de son service financier, un rapport à son distributeur pour pouvoir apprécier l'utilisation de la redevance annuelle versée. La situation est compliquée, le rapport n'est toujours pas sorti et il y a un conflit sur la propriété des lampes, Mainova AG considérant que l'ensemble du parc lui appartient. Il ressort de cette étude que les coûts relatifs à l'éclairage public sont 30 à 50% plus élevés qu'à Hanovre. Le département financier a voulu immédiatement réagir et lancer un appel d'offres pour la gestion de son éclairage mais Mainova AG a tout fait bloquer cette décision car elle se considère propriétaire des lampes.

2.3 Les énergies renouvelables à Francfort

Grâce aux programmes de subvention national, régionaux et municipaux, Francfort a installé plus de 3 000 m² de panneaux solaires en privilégiant les capteurs de grande taille [Énergie-Cités, 2002]. Une société d'investisseurs a, par exemple, installé de grands modules photovoltaïques d'une puissance totale de 80 kWc sur le toit de trois écoles, surface mis à disposition gratuitement par la mairie. Mainova AG, la Stadtwerke de Francfort, a également installé un module d'une puissance 30 kWc sur un stade de football en offrant la possibilité à ses habitants d'en acheter des parts. La ville fabrique aussi du biogaz à partir de son usine de compost, qui sera transformé en électricité et en chaleur dans une centrale de cogénération d'une puissance de 440 kWél. En 2001, un plan a été développé pour la ville de Francfort afin de trouver les moyens de doubler la part des énergies renouvelables avant 2010 avec le soutien de tous les acteurs locaux importants. Ce plan prévoit notamment la construction par un industriel d'une centrale électrique au bois de 7 MWél, mais également la diffusion des chauffages aux granulés de bois.

Signalons qu'une chaufferie bois d'une puissance de 800 kW alimente le centre d'hébergement des classes vertes de Wegscheide en remplacement de deux chaudières au mazout, ce qui fait de cette structure un centre alimenté à 100% par des énergies renouvelables. Cette chaufferie bois permet la substitution de 180 000 litres de mazout qui étaient précédemment consommés chaque année [Énergie-Cités, 2002]. « Comme l'imposent

les conditions liées aux subventions, plus de 50% du bois utilisé est issu de déchets forestiers, la partie restante pouvant provenir des déchets de scieries non pollués [...]. Les coûts de l'installation (avec stock, chaudière, distribution, etc.) s'élèvent à environ 450 000 € - TVA incluse. Ceci inclut le coût des conduits d'eau chaude - 75 000 € - et leur raccordement aux réseaux de chaleur existants - environ 80 000 €. Le Land de Hesse a subventionné l'investissement à hauteur de 125 000 €. Les frais d'amortissement, après avoir soustrait les subventions, s'élèvent à 25 000 €/an, les frais de combustibles à près de 30 000 €/an et les frais de fonctionnement à 8 000 €/an, ce qui correspond au total à 63 000 €/an, soit 3 c€/kWh » [*Énergie-Cités*, 2002].

L'ensemble du projet s'est étalé sur plusieurs années car il s'agissait de la première installation de chauffage à copeaux à bois. L'Agence de l'énergie a mené les premières enquêtes et analyses statistiques sur la consommation d'énergie en 1996/1997. « Une modernisation des chaudières au mazout aurait coûté au total 3,5 c€/kWh (pour le mazout) + 0,6 c€/kWh (frais d'amortissement et de fonctionnement). Si l'on soustrait le coût évité de la modernisation des chaudières au mazout des coûts d'investissement, le surcoût d'investissement est d'environ 275 000 €. Par contre, il est possible de réaliser chaque année 35 000 € d'économies sur les frais de combustibles, ce qui permet d'amortir l'investissement en 8 ans environ. Même si les particularités locales rendent toute comparaison difficile, l'installation de la Wegscheide, avec des coûts spécifiques de 580 €/kW (450 €/kW sans le réseau de chaleur) se situe en dessous de la moyenne des installations subventionnées en Hesse. La fourchette va de 400 € à 2 500 €/kW. Si l'on rapporte l'investissement à la production de chaleur annuelle, l'installation à copeaux de bois de la Wegscheide a un coût très faible avec 30 €/MWh » [*Énergie-Cités*, 2002].

2.4 Promotion des économies d'énergie à travers des mécanismes financiers innovants

2.4.1 Mix entre mécanisme de participation des usagers et contrat de performance interne

La direction du bâtiment se charge de la gestion des consommations énergétiques du patrimoine municipal dans un système où les usagers participent. En 1996, des gestionnaires de l'énergie⁵¹, simple usagers qui ne sont pas des experts énergie, ont été désignés dans de nombreux bâtiments municipaux de façon à veiller à l'extinction des lumières inutiles, au réglage du thermostat, à la fermeture des fenêtres, etc. Le but est d'arriver à des diminutions des consommations énergétiques par un changement de comportement de l'utilisateur. Ce système a été mis en place dans de nombreuses écoles et la moitié des économies induites par les changements de comportement revient à l'école, ce qui constitue une forte motivation. L'autre part abonde pour moitié un fonds des économies d'énergie géré par la ville (fonds *revolving* ou rotatif) et revient à l'E-team, pour l'autre partie, sous forme de primes. L'incitation à économiser l'énergie est donc réelle et ce mécanisme paraît très efficace au vu de ses résultats.

⁵¹ Ces gestionnaires de l'énergie au sein des bâtiments municipaux sont souvent dénommés « E-team ».

Vingt écoles participent à ce système et ont réalisé depuis 1996 une économie annuelle de 5 000 euros par école ; 80% de ces économies proviennent uniquement des changements du comportement des usagers. En 2003, la somme de toutes les économies d'énergie réalisées depuis 1996 représentent une économie financière totale de 500 000 euros ainsi qu'une diminution de 20% des émissions de gaz à effet de serre. Ce système de participation monétaire des usagers se retrouve dans de nombreuses villes en Allemagne - Hanovre, Hambourg, etc. Pour l'introduire au sein de la municipalité de Francfort, le travail de persuasion a été très difficile puisque ce système va au delà des procédures routinières et nécessite la mise en œuvre d'une méthodologie particulière. En effet, le département des finances, au départ, ne comprenait pas du tout pourquoi les économies engendrées par le changement de comportement des utilisateurs n'étaient pas réaffectées au budget général de la ville. Les gens qui ont pensé ce mécanisme ont, par exemple, dû batailler pour que le budget énergie soit figé sur plusieurs années et que les nécessaires transferts budgétaires soient mis en place.

Francfort applique également le mécanisme du contrat de performance interne pour exploiter plus en profondeur les gisements d'économie d'énergie, là où d'autres villes, comme Berlin, préfèrent mettre en place des systèmes de gestion de l'énergie au travers de contrat de tiers financement conclu avec des sociétés externes. Selon *Énergie-Cités*, des investissements de 500 000 € réalisés en interne doivent permettre d'économiser 160 000 € chaque année, ils seraient refinancés avec 54% des économies réalisées ; les 46% restants revenant à la municipalité [*Énergie-Cités*, 2003–b]. Nous n'avons pas d'exemple chiffré sur la mise en place de ce mécanisme à Francfort et renvoyons le lecteur à l'étude de cas sur Stuttgart. Notons tout de même que Francfort a conclu un contrat performance énergétique avec une entreprise, pour la gestion de l'énergie de trois bâtiments : hôtel de ville, église Saint-Paul et musée. La ville est très pragmatique pour financer ses investissements dans l'efficacité énergétique et utilise un mix de mécanismes – contrat de performance interne, autofinancement, formules de tiers investissement.

2.4.2 Un raisonnement en coût global favorisé par une taxe locale « virtuelle » sur les émissions de CO₂

Pour l'investissement dans les chaufferies, la direction du bâtiment procède à un calcul économique classique afin d'évaluer la pertinence économique des différentes variantes. Elle va comparer les différents choix d'investissement en fonction des coûts d'investissement initiaux, des coûts de combustible, d'entretien et de maintenance et des économies d'énergie espérées. En fait, la direction du bâtiment procède à un calcul d'annuités, au taux classique de 8%, pour calculer les coûts en capital, les coûts des combustibles et les coûts d'entretien. C'est un simple calcul économique que la direction effectue, le but étant de comparer les coûts totaux des différents projets. Afin de privilégier les énergies non polluantes, elle a décidé par décret, en 1995, d'appliquer une taxe de 50 euros par tonne de CO₂ émise dans le calcul économique du choix d'investissement. Il faut donc rajouter une étape dans le raisonnement, celle du calcul des émissions de CO₂ des différentes variantes du projet d'investissement. Cette méthode est utilisée à la fois pour le neuf et pour les réhabilitations de bâtiments

anciens. La municipalité de Francfort a donc la volonté politique d'internaliser, au niveau local, les coûts externes des différentes énergies afin de favoriser le développement des énergies renouvelables sur son territoire.

Francfort est une municipalité qui d'une part, arrive à penser son développement sur le long terme et à intégrer ce paramètre dans ses réflexions et décisions et qui d'autre part affirme sa volonté politique de participer au développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, à travers l'internalisation des coûts externes. Un des facteurs clé de succès de la politique de Francfort réside également dans le fait d'avoir combiné les mesures d'efficacité énergétique avec les travaux de modernisation nécessaires, ce qui diminue les surcoûts de telles mesures⁵². Un bémol est cependant à mettre quant à l'évolution de cette politique car si le service « maîtrise des consommations d'énergie » a disposé d'un budget global de réhabilitation des bâtiments jusque dans le milieu des années 90, aujourd'hui, les budgets sont séparés entre les différents départements. Ceci entraîne des difficultés car il y a plus d'intermédiaires et donc plus de lourdeur dans les procédures. Le service « maîtrise des consommations d'énergie » en est ainsi réduit à être source de proposition, il n'a plus aucun pouvoir d'exécution ni d'imposition.

3 POLITIQUE D'IMPLANTATION SYSTEMATIQUE DE STATIONS DE COGENERATION

3.1 Méthodologie suivie

L'implantation de stations de cogénération est une tradition relativement ancienne à Francfort. La première à être opérationnelle date de 1926 et fournit en énergie le complexe universitaire hospitalier, des bâtiments de bureaux proche du port ainsi que des habitations avec de la vapeur. Ensuite, au fur et à mesure de l'extension du réseau de chauffage urbain, d'autres unités de cogénération ont été installées. En 1991, les autorités de la ville ont décidé d'attribuer un rôle plus important à la cogénération décentralisée car cette technologie permet de réaliser des économies considérables en énergie primaire⁵³. L'Agence locale de l'énergie a donc été chargée de déterminer les sites potentiels d'implantation de la cogénération et d'offrir un service de conseil pour l'installation. Dans une première étape, 13 sites avec une forte demande de chaleur et d'électricité avaient été sélectionnés pour des études de faisabilité. Dans cette première série d'études, l'attention était portée sur la viabilité technique du projet et évacuait les considérations relatives à l'état du système de chauffage en place ou sur la disponibilité des opérateurs à investir dans une nouvelle technologie. En guise de résultat, un seul projet était réalisé en 1994, dans un hôpital [Friedel, 2000].

Suivant l'expérience tirée de ces premières études, les futurs sites d'implantation potentiels de la cogénération n'allaient plus être sélectionnés uniquement d'un point de vue

⁵² Par exemple, l'investissement pour le changement d'une fenêtre est de 400 euros par m². Il engendre des économies immédiatement mais on ne peut pas toujours mesurer le surcoût d'un tel investissement puisque les fenêtres sur le marché sont forcément plus efficaces que la fenêtre vétuste que l'on veut changer.

Source : Entretien avec Neumann W., directeur de l'Agence de l'énergie de Francfort.

⁵³ Le rendement de cette technique de production combinée d'électricité et de chaleur est en effet bien supérieur au rendement des techniques classiques.

technique mais allaient également prendre en compte les aspects économiques et « émotionnels » [Friedel, 2000]. La ville a ainsi développé, en partenariat avec Hanovre, un outil de planification et d'intégration de la cogénération sur les bâtiments et les réseaux de chaleur (ENWING). Ce logiciel est chargé de bien dimensionner les installations et de comparer les coûts des différents procédés fournissant de la chaleur. Dans sa comparaison des coûts, le logiciel prend en compte le chauffage individuel, le chauffage central, le chauffage central doté de moteurs de cogénération et le chauffage urbain. Au départ, pour éviter la concurrence entre le chauffage urbain et la cogénération décentralisée, seuls des sites situés en dehors des zones de chauffage urbain ont été pris en compte. L'Agence recherchait également des sites ayant une consommation thermique et électrique importante, la situation la plus favorable correspondant aux sites pour lesquels il existe une demande de chaleur l'été.

Les cibles initiales étaient les hôpitaux, les piscines et les zones de construction neuve trop éloignées des différents réseaux de chaleur. Puis les zones d'implantation se sont élargies et ce sont plus de 200 études de pré-faisabilité qui ont été préparées pour les hôpitaux, les immeubles de bureaux, les maisons de repos et d'autres applications ayant une forte demande en chaleur et/ou en électricité. Au total, il apparaît que le potentiel relatif à l'implantation de la cogénération à Francfort est estimé à 30-50 MWél d'ici 2010 - hors grosses unités en chauffage urbain. Pour la détermination des coûts d'investissement, l'Agence a choisi une façon de procéder à mi-chemin entre la simplicité et la standardisation d'une part, et l'adaptation à chaque site d'autre part. Il a fallu établir des fonctions de coûts pour les principales composantes d'un module de cogénération ainsi qu'une analyse des coûts de maintenance. L'Agence locale de l'énergie effectue depuis 1994, une analyse annuelle du marché auprès des fabricants, et indique notamment les coûts d'investissement et de maintenance d'une série très large de cogénérateurs⁵⁴.

3.2 Démarche de financement

Si le potentiel de développement de la cogénération devait être analysé, il fallait également créer un cadre économique incitatif à son développement. C'est ce que le conseil municipal a fait en imposant dès 1992, à Mainova AG⁵⁵, un tarif de rachat de l'électricité produite de 7 c€/kWh pour toutes les installations de cogénération jusqu'à une puissance de 1 MWél⁵⁶. Au départ, la *Stadtwerke* était très réticente à cette décision car le tarif de rachat fixé en 1990 l'avait été à un niveau plus de trois fois inférieur - 2 c€/kWh. La compagnie municipale s'est finalement rendue compte de l'importance des économies d'énergie primaire engendrées par cette technique de production. Elle est même allée jusqu'à octroyer une subvention de 1 500 à 2 500 euros pour l'implantation de petites installations⁵⁷ sur la période 1994-2000 ; auxquelles s'ajoutaient les subventions du Land pour la petite cogénération sur la

⁵⁴ Nous disposons de l'étude de 2001 pour laquelle 33 fournisseurs sont référencés ainsi que 335 types de cogénérateurs. Ce rapport *BHKW-Kenndaten 2001- Module – Anbieter – Kosten*, donne de nombreuses informations sur les montants d'investissement et d'entretien que nécessitent la mise en place des différents modules de cogénération.

⁵⁵ La compagnie locale de distribution d'énergie, Mainova AG, est détenue à 75% par la municipalité.

⁵⁶ Ce tarif est un tarif unique, indépendant jour/nuit.

⁵⁷ Installations dont la puissance est inférieure à 30 kWél et dont le rendement minimum atteint 70%.

période 1997-2000. Signalons également que la *Stadtwerke* a longtemps offert une réduction sur le prix du gaz utilisé comme combustible par les stations de cogénération.

Si les études de faisabilité relatives à l'implantation de la cogénération sont des services offerts gratuitement par l'Agence de l'énergie, ils sont néanmoins payés par la ville. Ce service a été assuré par l'équivalent de deux personnes à temps plein pendant 10 ans, ce qui représente $2 \times 40\,000 \times 10 = 800\,000$ euros⁵⁸. Ce service qui a coûté 800 000 euros à la ville, a permis d'engendrer près de 40 millions d'euros d'investissement sur la période. Les coûts du conseil représentent donc 2% de la somme investie, ce qui est relativement négligeable d'autant plus qu'il faut bien voir que la ville – selon les estimations de son Agence de l'énergie - récupère 3 à 4% du montant des investissements au travers de différentes taxes (taxe industrie, taxe sur le revenu des installateurs, TVA, etc.).

3.3 Description du parc des cogénérateurs installés sur le territoire

En 2003, la ville est dotée de 88 installations de cogénération (dont une vingtaine sur les bâtiments de la ville : piscine couverte, quelques écoles, etc.) d'une puissance totale de 24 000 kWél⁵⁹. L'étude d'Énergie-Cités nous apprend que les exploitants de ces cogénérateurs sont très variés : hôpitaux, maisons de retraite, entreprises individuelles, banques – comme la Banque Centrale Européenne. La ville exploite elle-même plusieurs installations soit en tant que propriétaire, soit par le biais de contrats de tiers investissement [*Énergie-Cités*, 2003-a]. La puissance des moteurs, qui fonctionnent pour la plupart, au gaz naturel⁶⁰, est comprise entre 5 kWél et 4 000 kWél ; la gamme de dimension de ces installations est très large, passant par 50, 100, 500 et 1 000 kW. En plus de l'implantation de cogénération standard, entraînées par des moteurs, l'Agence de l'énergie essaie, en collaboration avec les distributeurs locaux et d'autres partenaires, d'installer des unités de cogénération innovantes et/ou améliorées comme les petites cogénération de 5 kW⁶¹, le moteur Stirling 10 kW, une pile à combustible de 200 kW⁶², une turbine vapeur bois de 5 000 kW, etc. [*Neumann*, 2003]. Le tableau suivant retrace l'évolution du nombre

⁵⁸ Source : Entretien avec Werner Neumann - directeur de l'Agence de l'énergie Francfort – à Lyon le 30/01/04 et échanges de mail et de courrier avec Paul Fay de l'Agence de l'énergie.

⁵⁹ Pour avoir une liste détaillée de l'ensemble des stations de cogénération installées sur le territoire de Francfort, le lecteur pourra se reporter à l'Annexe 8 (précision des puissances électriques et thermiques de chaque installation, année d'installation, opérateurs responsable de son installation, mode de financement, etc.).

⁶⁰ Il s'agit essentiellement de moteurs à gaz en combinaison avec une machine frigorifique à absorption – trigénération et de moteurs à gaz avec récupération de chaleur par condensation.

⁶¹ Quinze unités de 5 kW financées en partie par le Land de Hesse, dont cinq à Francfort, ont été installées au début de l'année 1994 [*Neumann*, 2003]. Neumann nous révèle que plusieurs de ces installations ont jusqu'à présent fonctionné plus de 50 000 heures sans panne notable.

Signalons également le cas de l'unité de cogénération de 50 kW qui a été équipée d'un échangeur de chaleur - à condensation - supplémentaire afin de pouvoir utiliser la chaleur perceptible présente dans les gaz de cheminée, pour le préchauffage de l'eau chaude du bâtiment. Le rendement énergétique global de cette installation a été porté à plus de 95% avec cette innovation [*Neumann*, 2003].

⁶² En 1998, une unité de cogénération fonctionnant avec des cellules de combustible a été installée pour l'approvisionnement en chaleur et en électricité d'une piscine publique. Ce projet a été réalisé par le distributeur local MAINOVA AG et financé par un fonds à l'Utilisation Rationnelle de l'Energie mis en place par le gestionnaire de réseau E.ON [*Neumann*, 2003].

d'installations de cogénération et de la puissance totale installée entre 1991 et mi-2004 sur le territoire de Francfort.

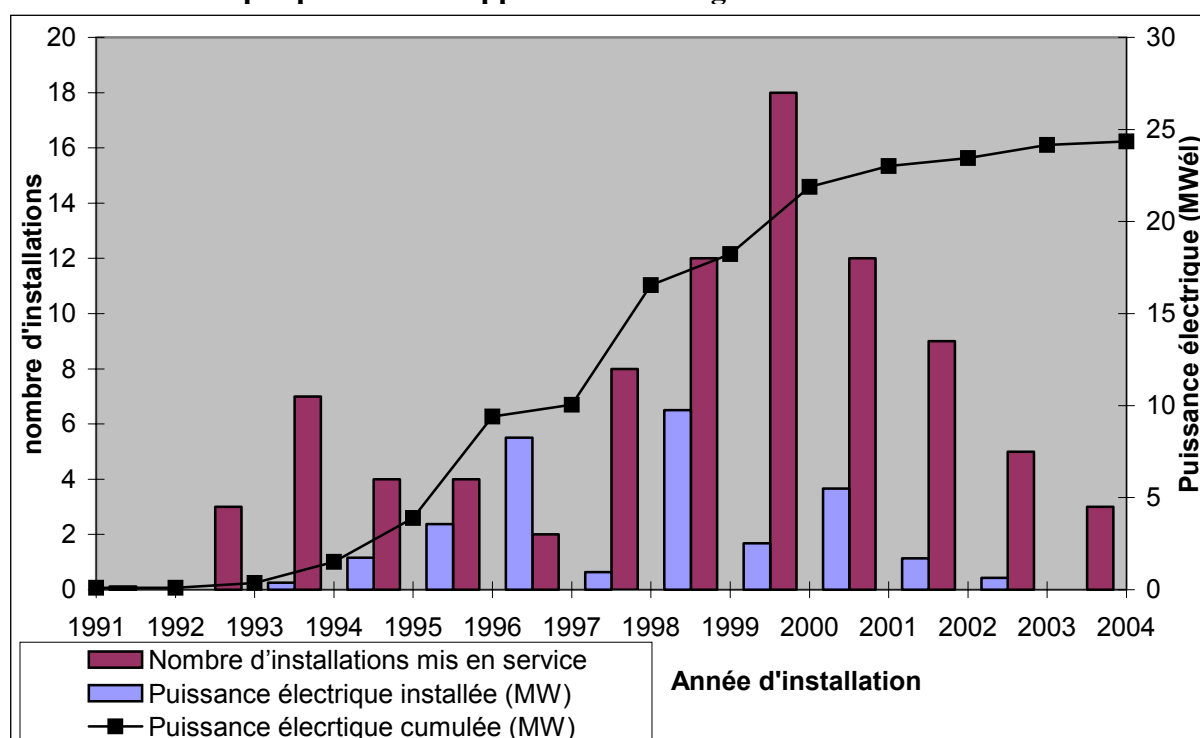
Tableau 11 - Evolution de l'implantation de la cogénération à Francfort

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nombre d'installation mis en service	1	0	3	7	4	4	2	8	12	18	12	9	5	3
Puissance électrique installée (MWél)	0,11	0	0,25	1,16	2,38	5,51	0,63	6,50	1,68	3,66	1,14	0,43	0,71	0,19
Puissance électrique cumulée (MWél)	0,11	0,11	0,36	1,52	3,9	9,41	10,04	16,54	18,23	21,88	23,02	23,45	24,16	24,35

Source : *Implantation systématique d'installations de cogénération à Francfort-sur-le-Main*, Neumann, 2003.

Afin de mieux visualiser cette évolution, nous vous proposons le graphique suivant :

Graphique 9 - Développement de la cogénération à Francfort



Source : *Implantation systématique d'installations de cogénération à Francfort-sur-le-Main*, Neumann, 2003.

Nous pouvons différencier différentes périodes dans l'évolution de l'implantation de la cogénération à Francfort. Entre 1991 et 1996, la puissance électrique installée des cogénérateurs passe de 0,11 MWél à 9,41 MWél. Ce fort développement est pour l'essentiel dû à l'implantation de stations de cogénération de grosses puissances dans les écoles, prisons et réseau de chauffage urbain ; à l'exception de l'année 1994 pendant laquelle des petites cogénérations de 5 kWél ont été installées. La période 1997-2000 marque une accélération très nette du rythme d'implantation de la cogénération, la puissance installée du parc passant de 9,41 MWél en 1996 à 21,88 MWél en 2000. Huit cogénérateurs, représentant 6,5 MWél de

puissance - soit un quart de la puissance totale du parc – ont par exemple été implantés pour la seule année 1998⁶³. Si le nombre d'installations reste élevée en 1999 et 2000, la puissance unitaire des cogénérateurs implantés devient plus faible en raison de la volonté de Francfort de favoriser la petite et la micro-cogénération⁶⁴. Cette volonté exprimée par la ville est également une réponse à la libéralisation des marchés qui a provoqué une diminution des prix de vente de l'électricité en général et des tarifs de rachat de l'électricité produite par les cogénérateurs en particulier⁶⁵. La période 2001-2004 est celle de la consolidation des installations de micro-cogénération, une des seules niches de marché susceptibles de résister à la libéralisation. Si la puissance électrique cumulée du parc est relativement stagnante sur cette période, elle passe de 21,88 MWél à 24,35 MWél, c'est que les cogénérateurs installés ont une puissance moyenne assez faible, respectivement de 95 kWél, 5 kWél et 140 kWél pour les années 2001, 2002 et 2003.

La croissance de la puissance installée des cogénérateurs, passée de 0,1 MWél à 24 MWél en 13 ans, est le fruit d'une tarification locale favorable, d'une méthode de planification et de conseils cohérents [*Énergie-Cités*, 2003]. Les 88 installations opérationnelles en fin 2004 réduisent les rejets de CO₂ à Francfort de plus de 68 000 tonnes par an. Les coûts d'investissement totaux, payés par la direction du bâtiment, la région et le distributeur local, se chiffrent à 40 millions d'euros. L'expérience de la municipalité permet de montrer qu'il existe un grand potentiel de développement pour la petite cogénération en milieu urbain. En tant que technique intermédiaire à mi-chemin entre efficacité et énergie renouvelable, la cogénération devrait jouer un rôle essentiel et constituer un outil puissant pour une production de l'électricité respectueuse de l'environnement. Selon Neumann, directeur de l'Agence de l'énergie, la démarche de Francfort peut être adaptée et appliquée dans d'autres villes européennes. Signalons qu'en Allemagne, la capacité installée des micro-cogénérateurs atteint 60 MW de puissance ; elle génère annuellement 240 GWh d'électricité⁶⁶ [*Praetorius & Schneider*, 2005].

3.4 Développement d'outils de comparaison

L'Agence de l'énergie de Francfort a développé plusieurs outils pour l'évaluation technique, économique et environnementale des projets d'implantation de cogénérateurs [*Neumann*, 2003]. « Ces outils comprennent des tableaux pour l'évaluation de la dispersion de la demande de chaleur au cours de l'année, un logiciel pour estimer combien d'heures une installation va être en fonctionnement, et des feuilles de calcul pour une évaluation économique selon les directives allemandes (VDI2067) ». Comme nous l'indiquions à la fin de la partie 3.1, l'Agence de l'énergie demande chaque année aux principaux fournisseurs

⁶³ La puissance électrique moyenne des cogénérateurs installée en 1998 s'élève ainsi à 800 kWél.

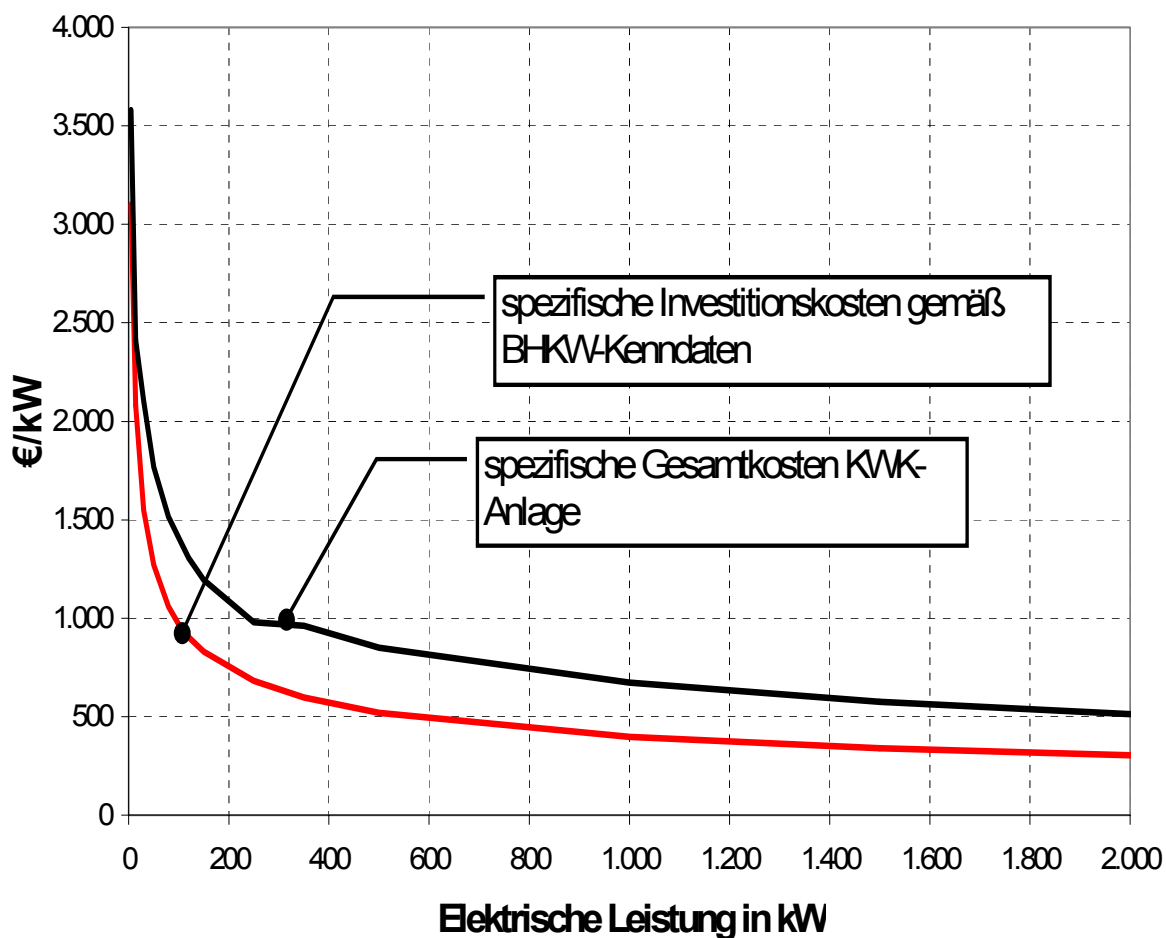
⁶⁴ La puissance électrique moyenne des cogénérateurs installée en 1999 et 2000 s'élève respectivement à 140 kWél et 200 kWél.

⁶⁵ Après la libéralisation des marchés de l'électricité, le distributeur local MAINOVA n'était plus en position de soutenir la cogénération. L'entreprise a donc mis fin à tous les programmes de subventions qu'elle finançait [*Friedel*, 2000].

⁶⁶ Cela représente une très faible part de l'électricité produite annuellement en Allemagne (à peu près 0,04%) et malgré le fait que les volumes de vente ont augmenté lors de cette dernière décennie, la microcogénération est restée une niche de marché [*Praetorius & Schneider*, 2005].

européens, depuis 1994, de fournir des indications sur les prix de leurs équipements. L'Agence effectue ensuite un travail de compilation de ces données et détermine des fonctions de coût d'investissement et de coût de maintenance par rapport à la puissance électrique des différents cogénérateurs. Le graphique suivant est une synthèse de l'étude de 2001 - *BHKW-Kennndaten 2001- Module – Anbieter – Kosten* - pour laquelle 33 fournisseurs sont référencés ainsi que 335 types de cogénérateurs.

Graphique 10 – Les coûts des cogénérateurs en fonction de leur puissance électrique installée⁶⁷



* Elektrische Leistung in kW = Puissance électrique installée

** Spezifische Investitionskosten gemäß BHKW-Kennndaten = coûts d'investissement

*** Spezifische Gesamtkosten KWK-Anlage = coûts totaux (Investissement + maintenance + combustible)

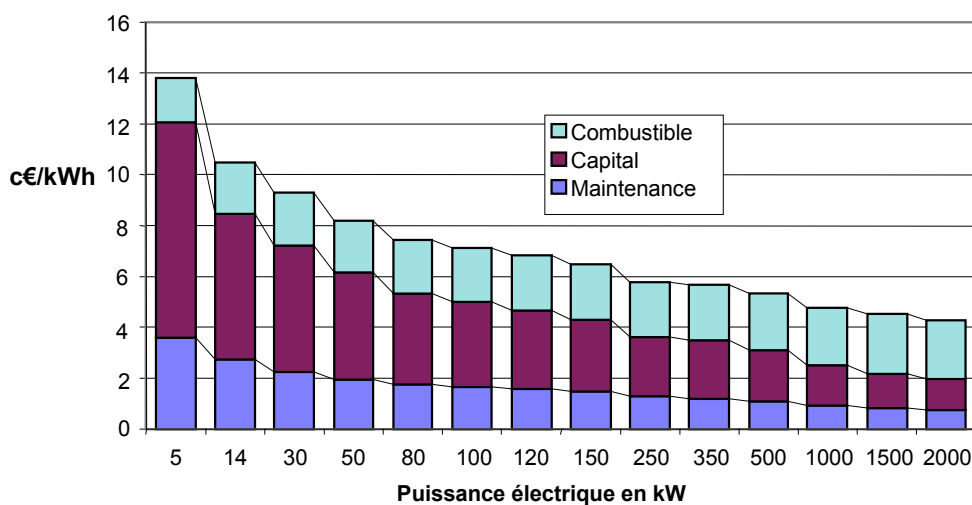
Source : Echange de mail avec P.Fay de l'Agence de l'énergie, 2005.

Ce graphique représente deux fonctions de coûts (en €/kW), décroissante par rapport à la puissance électrique installée des stations de cogénération - *Elektrische Leistung in kW*. La courbe - *spezifische Investitionskosten gemäß BHKW-Kennndaten* - représente les coûts d'investissement dans une station de cogénération en fonction de sa puissance électrique ; ils sont décroissants par rapport à cette dernière. Nous remarquons immédiatement que si les coûts d'investissement varient du simple au triple pour les cogénérateurs entre 5 kW

⁶⁷ Nous sommes contraints de reprendre le graphique tel qu'il nous a été transmis par mail car nous ne disposons d'aucun élément permettant de refaire ce graphique par nous-même.

(3000 €/kW) et 150 kW (800 €/kW), cette différence s'atténue pour ceux de plus grande puissance – 500 €/kW et 300 €/kW respectivement pour un cogénérateur de 600 kW et 2 000 kW. L'autre courbe – *spezifische Gesamtkosten KWK-Anlage* – représente les coûts totaux (Investissement + maintenance + combustible) relatifs à l'installation d'une station de cogénération ; ils sont également décroissants par rapport à la puissance électrique installée. Les mêmes remarques peuvent être formulées. Ainsi un cogénérateur d'une puissance de 2 MWél revient six fois moins cher qu'une micro-cogénération de 5 kW – 500 €/kW contre 3000 €/kW.

Graphique 11 - Coûts de production de l'électricité issue des cogénérateurs en fonction de leur puissance



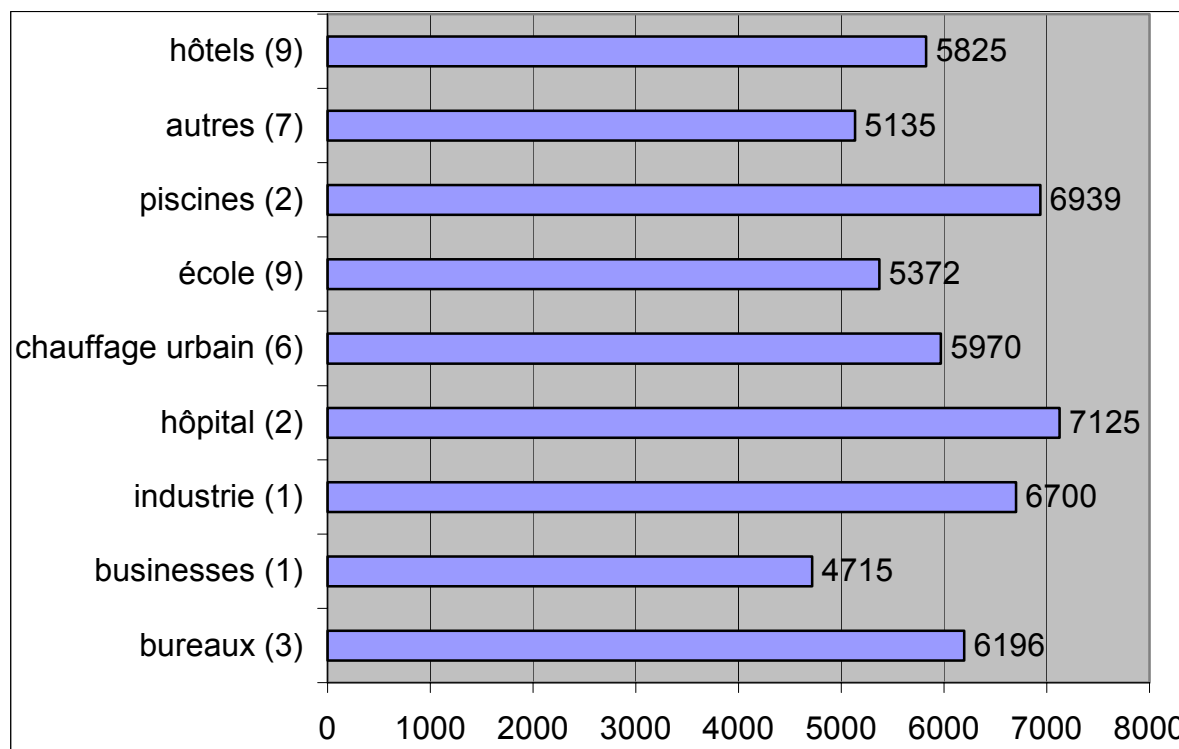
Source : Echange de mail avec P.Fay de l'Agence de l'énergie.

Le graphique 11 nous renseigne sur la structuration des coûts de l'électricité produite par les cogénérateurs de différentes tailles – coûts en combustible, coûts en capital et coûts de maintenance. Il complète le graphique précédent mais des remarques complémentaires peuvent être ajoutées. Nous retrouvons le fait que les coûts en capital sont décroissants de la puissance électrique, ils représentent entre la moitié et les $\frac{3}{4}$ des coûts de production de l'électricité pour les petites stations de cogénération (< 100 kWél). A l'inverse, les coûts en combustible croissent avec la puissance des installations et représentent plus de la moitié des coûts de production de l'électricité pour les cogénérateurs de taille importante (> 1 MWél).

Rappelons que l'équipement des bâtiments de stations de cogénération permet d'engendrer une économie d'énergie primaire d'au moins 30%. Tous les bâtiments pour lesquels il y a une charge de base en termes de demande de chaleur (par exemple pour l'eau chaude sanitaire dans les hôpitaux, les maisons de retraite, les piscines, etc.) sont adaptés à la cogénération. En principe, la puissance thermique d'une centrale de cogénération doit être située dans une fourchette de 10 à 20% de la puissance thermique maximale du bâtiment, ce qui aura pour conséquence des heures d'exploitation annuelle du moteur comprises entre

5 000 et 7 000. Dans ce cas, plus de 75% de la consommation de chaleur annuelle totale peut être délivrée par l'intermédiaire de la cogénération [PENELOPE-BACCHUS, 2002]. Nous indiquons ci-après la moyenne du nombre d'heures de fonctionnement de stations de cogénération implantées dans divers bâtiments tels que les hôtels, piscines, écoles, chauffage urbain, hôpital etc.

Graphique 12 - Moyenne du nombre d'heures de fonctionnement de plusieurs installations de cogénération (2002)



Source : 75 unités de cogénération à Frankfurt am Main – L'exemple à suivre, Neumann, juin 2004.

Les outils de comparaison des différents modules de cogénération, à la fois techniques et économiques, développés par l'Agence de l'énergie de la ville sont nécessaires mais pas suffisant. L'Agence convie ainsi autour de tables rondes, depuis 1998, utilisateurs et opérateurs des différents modules de cogénération à venir discuter de leurs problèmes d'exploitation, de maintenance et de performance. Lors de la réunion annuelle de 2002, par exemple, les données de 44 sites représentant 59 moteurs avec une capacité de production de 9 700 kW ont été analysées. Il en ressort que les heures de fonctionnement varient entre 800 heures et 8 715 heures par an, avec une disponibilité moyenne de 95%. En 2002, les coûts de maintenance s'évaluaient entre 0,35 c€/kWh pour les cogénérateurs d'une puissance de 1 000 kWél et 3,15 c€/kWh pour ceux dont la puissance est inférieure à 30 kWél [Énergie-Cités, 2003–a].

4 ETUDE DES STATIONS DE COGENERATION INSTALLEES AU SEIN DES BATIMENTS PUBLICS DE LA VILLE DE FRANCFORT

4.1 Une vue d'ensemble

Tableau 12 – Description technique et économique des 20 modules de cogénération installés sur les bâtiments municipaux

	Nombre d'unités	Capacité électrique totale (kWél)	Capacité thermique totale (kWth)	Investissement total (k€)	Subvention (k€)	Investissement en propre (k€)	Date de l'installation	Nombre d'heures de fonctionnement en cumulé	Production d'électricité cumulée (MWh)	Production de chaleur cumulée (MWh)	Economie de CO ₂ cumulée (t CO ₂)	Profit cumulé (k€)
Ecole Carl-Schurz	2 1	17 205	245 55			190	1992	55 592	6 463	12 158	2 979	154
Ecole Dahlmann	1 56	1061	4833			115	1992	53 350	3 152	6 002	1 190	40
Ecole Wöhler	2 1	17 205	243 55			188	1992	55 949	6 304	11 599	2 823	151
Caserne pompier	1 6					102	1994	47 905				7
Jardin d'enfants Borheim	1 6					103	2000	19 635				21
Ecole Ludwig-Richter	1 6					102	1994	9 5126				14
Centre social Eschersheim	1 6					103	1994	9 5124				20
Ecole Helmholtz	1 5	13 15	15			0	1998	29 806	148	366	58	0
Ecole Linné	1 6	13 15	3			13	2000	8 641	1 279	46		3
Département environnement	1 5	12 15	3			13	2000	3 229	9 237	46		0
Ecole Carl-von-Weinberg	1 30	50 87	17			7058	2000	43 481	00			-24
Ecole Friedrich-Ebert	1 30	50 87	17			7013	2000	7 691	77			-19
Ecole Berthold-Otto	2 60	1001	6929			140	2000	376 11	5192 44			-53
Ecole Heinrich Craft	1 30	50 87	17			70	2000	4 484	248	415	96	-24
Piscine Fechenheim	1 14	32 33	20			13	2000	60 825	25 563	161		4
Piscine Rebstock	2 700	1089	0			890	2000	11 302	11 524	18 424	5 163	224
TOTAL	20	1 172	1 997	2 096	286	1 810		490 543	30 413	54 197	13 372	516

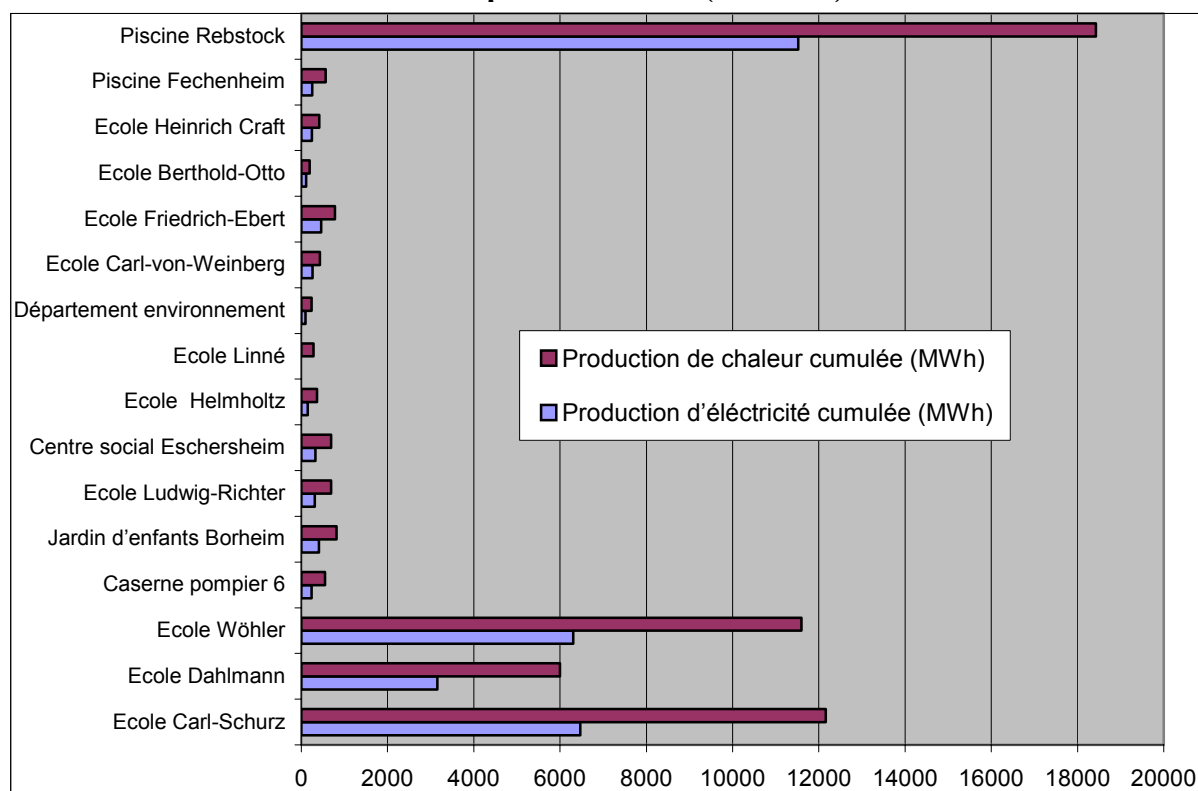
Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

L'investissement dans la petite et micro-cogénération sur les bâtiments municipaux s'élève, depuis 1992, à 2,1 millions d'euros, soit 5% de l'investissement total réalisé dans les

stations de cogénération présentes sur l'ensemble du territoire. Alors que les 20 stations de cogénération implantées sur les 16 bâtiments publics équivalent à 25% du nombre de cogénérateurs installés sur le territoire de la municipalité, elles représentent à peine 5% de la puissance électrique totale installée - 1 172 kWél contre 24 350 kWél. Ceci nous montre que la municipalité a décidé d'innover au sein de ses bâtiments et de favoriser le développement de la petite et de la micro-cogénération. Francfort, par l'intermédiaire de son Agence locale de l'énergie, veut ainsi démontrer que ce sont des techniques de production combinée de chaleur et d'électricité tout à fait pertinentes pour l'alimentation en énergie des bâtiments communaux. La majorité des installations de micro-cogénération intégrée au sein des bâtiments publics a des puissances électriques installées comprises entre 5 kWél et 60 kWél. Il faut souligner le fait qu'à elle seule, la station de cogénération installée sur la piscine Rebstock représente 60% de la puissance électrique installée et 40% des coûts d'investissement des cogénérateurs implantés au sein des bâtiments publics.

La ville a financé entièrement l'investissement de 19 des 20 stations de cogénération implantées au sein de ses bâtiments. Le montant de l'autofinancement apporté par la ville se chiffre à 1,81 million d'euros, auquel il faut rajouter un complément de 286 000 € de subventions octroyées par le Land. Seule la cogénération installée à l'école Helmholtz, représentant moins de 1% de l'investissement total sur les bâtiments publics, a été financée par un tiers investisseur, MAINOVA AG. A la fin 2003, ces unités de cogénération ont produit 30 GWh d'électricité et 54 GWh de chaleur. Elles ont permis d'éviter 13 000 tonnes d'émissions de CO₂ et ont également généré un profit cumulé de 516 000 €.

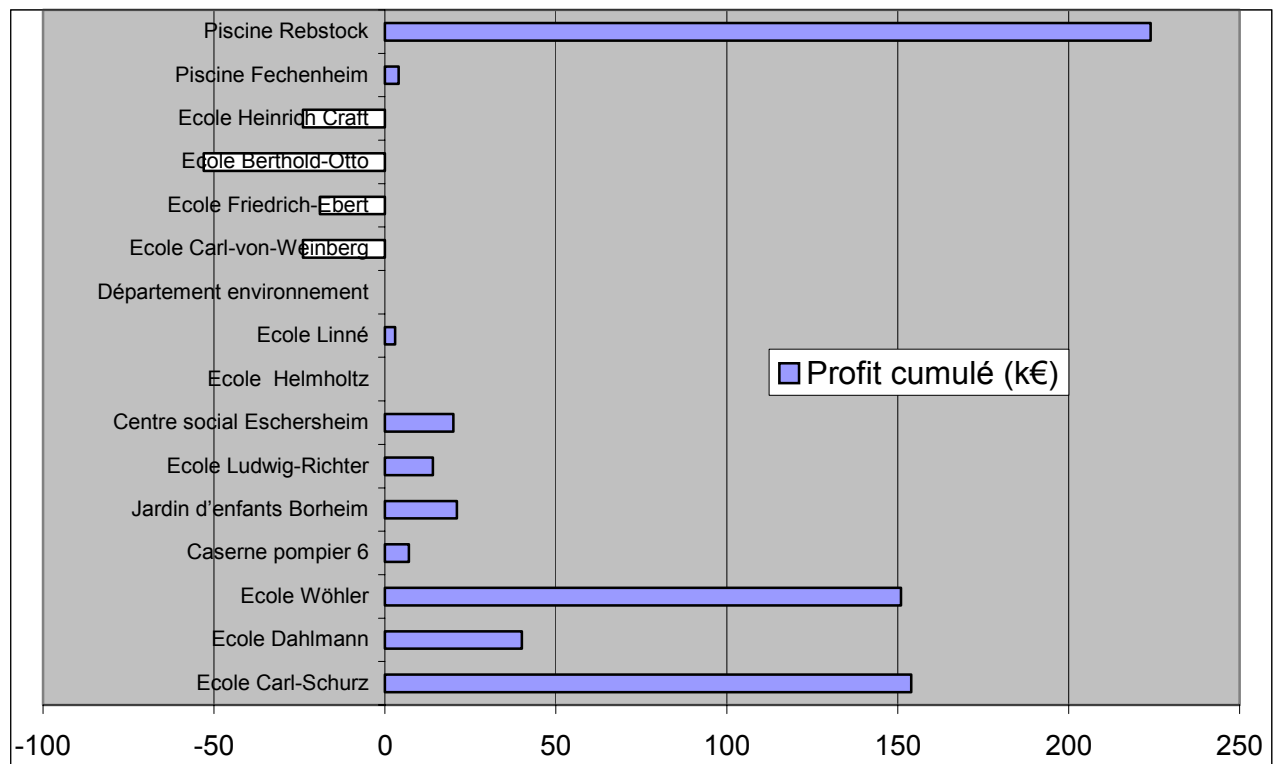
Graphique 13 - Production d'énergie des cogénérations sur les bâtiments publics, détaillée par installation (en MWh)



Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

Le graphique 13 permet de visualiser la production cumulée d'électricité et de chaleur de chaque installation de cogénération implantée au sein des bâtiments de la municipalité. Cette production d'énergie étant proportionnelle à la puissance électrique et thermique installée, seule les relativement grosses installations ressortent du lot (piscine Rebstock⁶⁸). Le graphique 14 ci dessous, est étroitement lié au graphique précédent puisqu'il indique le profit cumulé réalisé grâce aux cogénérateurs installés sur le patrimoine bâti de Francfort. Le profit généré par un cogénérateur est en effet, principalement fonction des ventes d'électricité sur le réseau ainsi que de la consommation de chaleur et d'électricité sur site. Nous observons que les stations de cogénération les plus récentes – celles installées en 2000 – réalisent des pertes (cf. écoles Heinrich Craft, Berthold-Otto, Friedrich-Ebert, Carl-von-Weinberg) mais ceci est tout à fait normal puisque ces installations ne sont pas encore amorties et qu'elles ont une puissance thermique et électrique faible ne leur permettant pas de générer un chiffre d'affaires important lié à la vente d'énergie.

Graphique 14 - Profit cumulé des cogénérateurs installés sur le patrimoine bâti de Francfort (en k€)



Source : *Cogeneration in public buildings*, Linder, 2004.

⁶⁸ Les autres cogénérateurs installés dans les écoles Wöhler, Dahlmann et Carl-Schurz, bien que d'une puissance électrique installée supérieure aux autres installations (entre 56 kWél et 107 kWél), ont été mis en service en 1992 et bénéficient d'un nombre d'heures de fonctionnement bien plus élevé que les cogénérateurs plus petit, installés en 2000. S'ils ressortent dans ce graphique, cela est plus lié à leur ancienneté qu'à l'importance de leur puissance installée.

4.2 Analyse détaillée de deux installations

Après avoir décrit globalement les caractéristiques des 20 cogénérateurs implantés sur le patrimoine bâti de Francfort, nous allons nous intéresser plus spécifiquement à deux installations : celles de l'école Carl Schurz et du jardin d'enfants de Borheim installées respectivement en 1992 et 1994. Nous présenterons successivement dans des tableaux, les caractéristiques générales de ces deux cogénérateurs, une étude plus détaillée de ces installations ainsi qu'une analyse coûts/bénéfices. Ceci nous permettra de statuer sur la rentabilité et l'efficacité de l'implantation de telles installations au sein de bâtiments publics.

4.2.1 Exemple de l'école de Carl Schurz

Tableau 13 – Caractéristiques générales de l'installation de l'école Carl-Schurz

name	Carl-Schurz-School		start-up	Okt 92
street, number	Holbeinstraße 21			
number of units	2		type	Communa-Metall
overall electric capacity	107	kW	electric efficiency	30%
overall thermal capacity	205	kW	thermal efficiency	58%
overall gas capacity Hu	356	kW(Hu)	overall efficiency	88%
overall gas capacity Ho	394	kW(Ho)	boiler efficiency	80%
total investment	244,9	T€	2.289	€/kWel
grant support	55	T€	513	€/kWel
own investment	190	T€	1.776	€/kWel
			interest rate	6%
			duration	10 a
			annuity	0,136

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

Les deux cogénérateurs installés à l'école Carl-Schurz ont une capacité électrique installée de 107 kW avec un rendement global de 88%⁶⁹ représentant un investissement total de 244 900 €, subventionné à 30% par le Land. La ville a donc financé 70% de cet investissement sur son budget d'investissement propre. Cette installation est amortie sur 10 ans avec un taux d'actualisation de 6%. Le tableau 14 de la page suivante donne de plus larges renseignements sur les caractéristiques de cette installation : Nombre d'heures de fonctionnement des deux cogénérateurs par an et en cumulé de 1992 à 2004 ; Consommations de gaz ; Productions d'électricité ; Rendements électriques ; Répartition de leurs productions d'électricité entre consommation sur site et vente sur le réseau ; Productions de chaleur ; Rendement thermiques ; Tonnes de CO₂ évitées chaque année et en cumulé de 1992 à 2004.

⁶⁹ L'efficacité de cette installation est donc supérieure à celle d'une chaudière classique dont le rendement moyen est de 80%.

Tableau 14 – Analyse détaillée des caractéristiques des deux cogénérateurs installés à l'école Carl-Schurz

<i>Caractéristiques de l'installation</i>	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*	
Nombre d'heures de fonctionnement	1 262	5 308	5 850	5 598	5 467	5 505	5 626	5 234	5 568	5 234	4 940	4 805	4 000	<i>H/a**</i>
Nombre d'heures de fonctionnement en cumulé	1 262	6 570	12 421	18 019	23 486	28 991	34 617	39 850	45 418	50 652	55 592	60 398	64 398	<i>h</i>
Consommation de gaz CHP	-477	-2 042	-2 324	-2 139	-2 078	-2 066	-2 078	-1 949	-2 067	-2 047	-1 845	-1 783	-1 485	<i>MWh</i>
Production d'électricité	135	568	626	599	585	589	602	560	596	560	529	514	428	<i>MWh</i>
Rendement électrique	31%	31%	30%	31%	31%	32%	32%	32%	32%	30%	32%	32%	32%	
Consommation sur site	6	122	126	123	128	151	147	141	145	114	132	120	128	<i>MWh</i>
Vente au réseau de distribution	129	447	500	476	457	438	455	419	451	446	396	394	300	<i>MWh</i>
Pourcentage de la vente	96%	79%	80%	80%	78%	74%	76%	75%	76%	80%	75%	77%	70%	
Production de chaleur	246	1 074	1 202	1 114	1 089	10 94	1 135	1 069	1 137	1 031	1 002	965	817	<i>MWh</i>
Rendement thermique	57%	58%	57%	58%	58%	59%	60%	61%	61%	56%	60%	60%	61%	
CO₂ économisé	60	257	272	268	265	274	290	270	289	237	252	244	208	<i>T***</i>
CO₂ économisé en cumulé	60	317	589	858	1 122	1 396	1 686	1 956	2 245	2 483	2 734	2 979	3 187	<i>T***</i>

*prévisions

** H/a = Heures par an

*** T = Tonne de CO₂

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

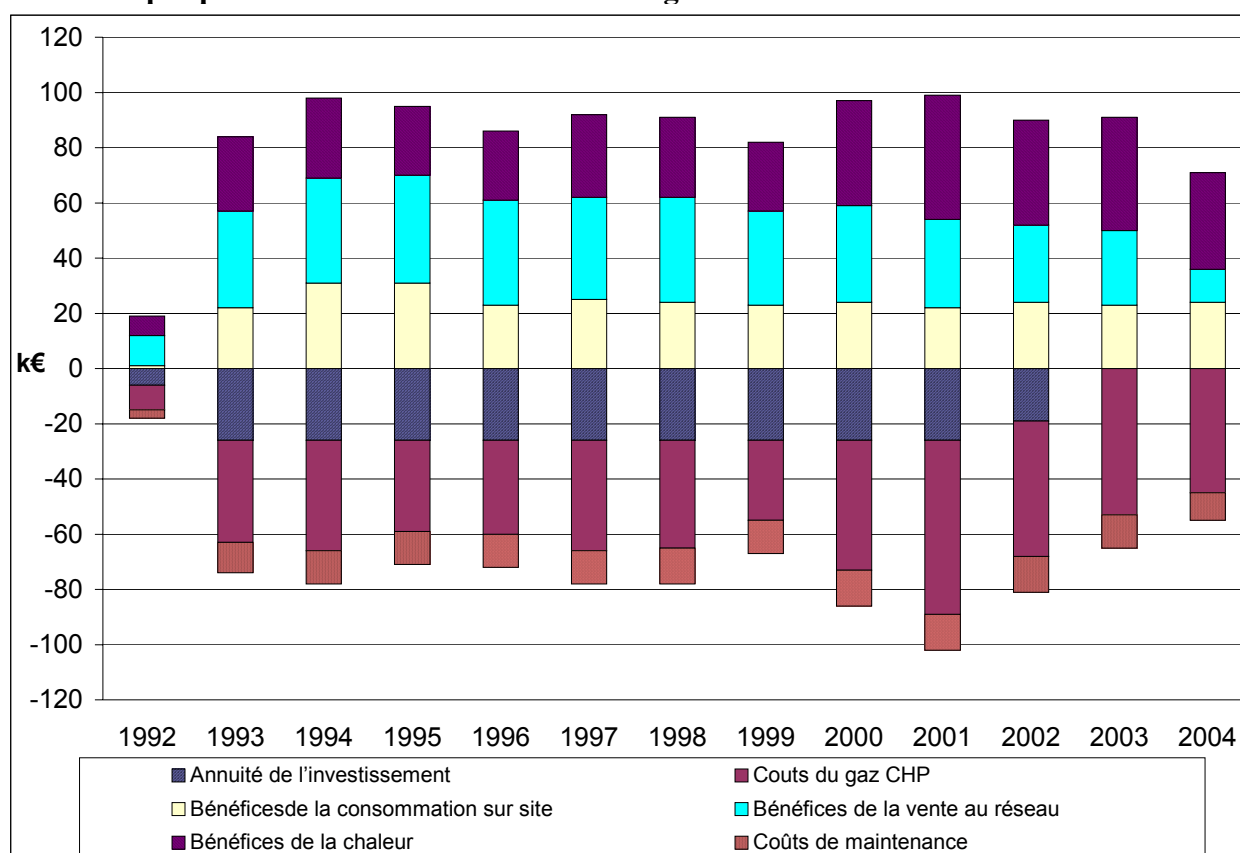
Tableau 15 – Analyse coûts/bénéfices de l'installation de l'école Carl-Schurz

Coûts et bénéfices	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*	
Annuité de l'investissement	-6	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-19	0	0	k€/an
Coûts du gaz CHP	-9	-37	-40	-33	-34	-40	-39	-29	-47	-63	-49	-53	-45	k€/an
Bénéfices de la consommation sur site	1	22	31	31	23	25	24	23	24	22	24	23	24	k€/an
Bénéfices de la vente sur le réseau	11	35	38	39	38	37	38	34	35	32	28	27	12	k€/an
Bénéfices de la chaleur	7	27	29	25	25	30	29	25	38	45	38	41	35	k€/an
Coûts de maintenance	-3	-11	-12	-12	-12	-12	-13	-12	-13	-13	-13	-12	-10	k€/an
Profit	0	10	20	24	15	13	14	15	11	-4	10	27	16	k€/an
Profit cumulé	0	10	30	54	69	82	96	111	122	118	128	155	170	k€

*prévisions

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

Graphique 15 - Coûts et bénéfices de la cogénération de l'école Carl-Schurz



Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

Les cogénérateurs installés sur l'école Carl-Schurz fonctionnent entre 5000 et 5500 heures par an, en moyenne depuis 1992. Ils ont un rendement électrique et thermique moyen de respectivement 32% et 59%, et permettent d'éviter annuellement l'émission de 245 tonnes de CO₂ – soit 3 187 tonnes en cumulé depuis 1992. 20% de l'électricité produite est autoconsommée, les 80% restant sont vendus sur le réseau. Le profit réalisé par les stations de cogénération est une fonction à la fois des coûts – coûts de maintenance, annuité de l'investissement et coûts du gaz – et des recettes engendrées – vente de l'électricité sur le réseau, bénéfices de la consommation sur site et bénéfices de la chaleur. Celles installées sur l'école, ont réalisé un profit annuel moyen de 13 000 euros depuis 1992, à l'exception notable de l'année 2001 – perte de 4 000 € - pour laquelle le coût du gaz avait atteint des sommets. Les cogénérateurs sont amortis totalement depuis la fin 2002 ; le profit cumulé atteint 170 000 €.

4.2.2 Exemple du jardin d'enfants de Borheim

Tableau 16 - Caractéristiques générales de la station de cogénération implantée dans le jardin d'enfants de Borheim

name	Kindergarden Bornheim		start-up	Feb 94		
street, number	Karl-Flesch-Straße 12					
number of units	1		type	Fichtel & Sachs		
overall electric capacity	5,5	kW	electric efficiency	26%		
overall thermal capacity	12,5	kW	thermal efficiency	60%		
overall gas capacity Hu	21	kW(Hu)	overall efficiency	86%		
overall gas capacity Ho	23	kW(Ho)	boiler efficiency	80%		
total investment	15,34	T€	2.789	€/kWel	interest rate	6%
grant support	6	T€	1.023	€/kWel	duration	10 a
own investment	10	T€	1.766	€/kWel	annuity	0,136

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

La station de cogénération installée au jardin d'enfants de Borheim a une capacité électrique installée de 5,5 kW, une capacité thermique de 12,5 kW avec un rendement global de 86% représentant un investissement total de 15 340 €, subventionné à 40% par le Land. La ville a donc financé 60% de cet investissement sur son budget d'investissement propre. Cette installation est amortie sur 10 ans avec un taux d'actualisation de 6%. Le tableau 17 de la page suivante donne de plus larges renseignements sur les caractéristiques de cette installation : Nombre d'heures annuelles de fonctionnement par an et en cumulé de 1994 à 2004 ; Consommations de gaz ; Productions d'électricité ; Rendements électriques ; Répartition de la production d'électricité entre consommation sur site et vente au réseau ; Productions de chaleur ; Rendement thermiques ; Tonnes de CO₂ évitées chaque année et en cumulé de 1994 à 2004.

Tableau 17 – Analyse détaillée des caractéristiques du cogénérateur du jardin d’enfants de Borheim

<i>Caractéristiques de l'installation</i>	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*	
Nombre d'heures de fonctionnement	7 343	7 758	7 315	7 742	7 733	7 398	7 066	7 446	6 731	7 807	7 000	H/a**
Nombre d'heures de fonctionnement en cumulé	7 343	15 102	22 417	30 159	37 791	45 190	52 255	59 701	66 432	74 239	81 239	h
Consommation de gaz CHP	-193	-190	-174	-187	-177	-169	-164	-172	-155	-181	-162	MWh
Production d'électricité	40	43	40	43	42	41	39	41	37	43	39	MWh
Rendement électrique	23%	25%	26%	25%	26%	27%	26%	26%	26%	26%	26%	
Consommation sur site	29	30	28	25	29	27	27	28	26	29	27	MWh
Vente au réseau de distribution	12	13	12	17	13	13	12	13	11	14	12	MWh
Pourcentage de la vente	29%	31%	31%	41%	32%	33%	31%	32%	30%	32%	31%	
Production de chaleur	75	86	70	80	87	82	82	87	79	91	81	MWh
Rendement thermique	43%	50%	44%	47%	54%	54%	55%	56%	57%	56%	55%	
CO₂ économisé	8	13	10	12	16	15	15	16	15	17	15	T***
CO₂ économisé en cumulé	8	20	30	42	57	72	87	103	118	135	149	T***

*prévisions

** H/a = Heures par an

*** T = Tonne de CO₂

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

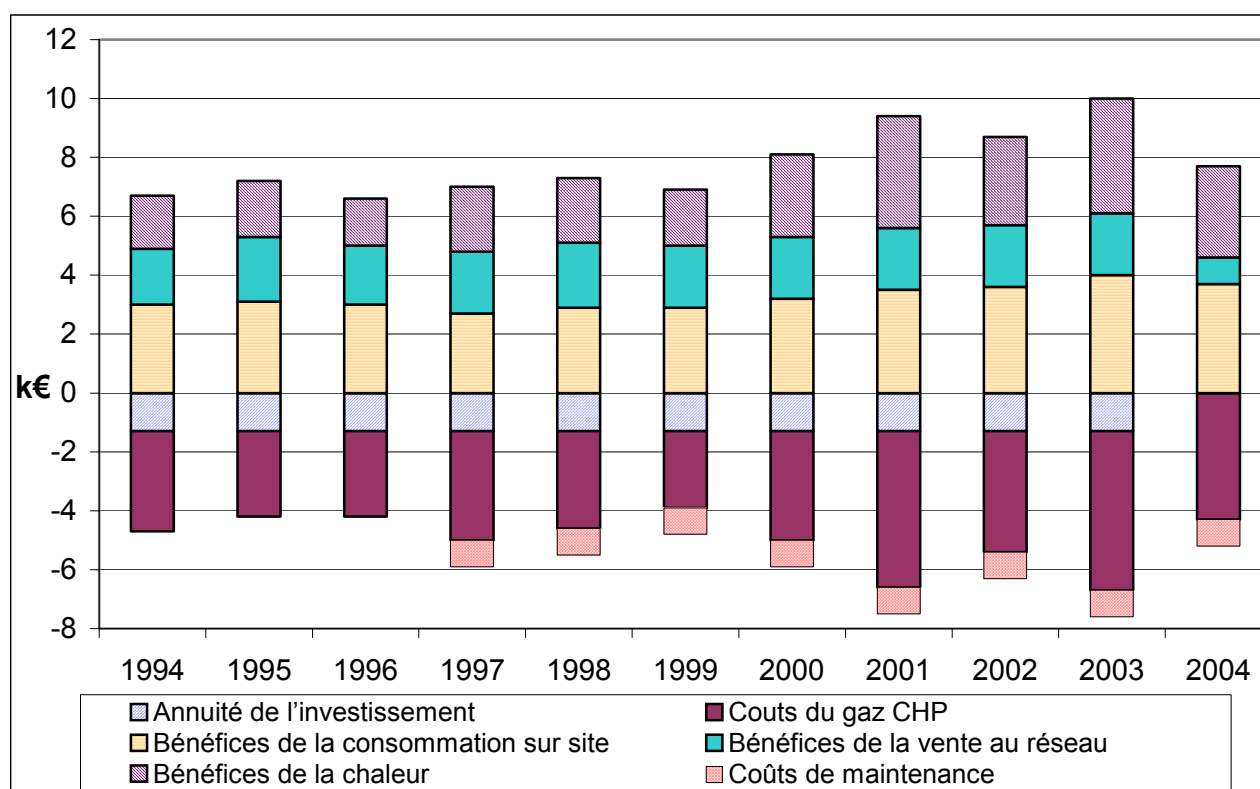
Tableau 18 - Analyse coûts/bénéfices de l'installation du jardin d'enfants de Borheim

Coûts et bénéfices	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*	
Annuité de l'investissement	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	0,0	k€/an
Coûts du gaz CHP	-3,4	-2,9	-2,9	-3,7	-3,3	-2,6	-3,7	-5,3	-4,1	-5,4	-4,3	k€/an
Bénéfices de la consommation sur site	3,0	3,1	3,0	2,7	2,9	2,9	3,2	3,5	3,6	4,0	3,7	k€/an
Bénéfices de la vente sur le réseau	1,9	2,2	2,0	2,1	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	0,9	k€/an
Bénéfices de la chaleur	1,8	1,9	1,6	2,2	2,2	1,9	2,8	3,8	3,0	3,9	3,1	k€/an
Coûts de maintenance	0	0	0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	k€/an
Profit	2,1	2,9	2,5	1,1	1,8	2,2	2,2	1,9	2,5	2,3	2,6	k€/an
Profit cumulé	2,1	4,9	7,4	8,6	10,4	12,5	14,7	16,6	19,1	21,5	24,0	k€

*prévisions

Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

Graphique 16 - Coûts et bénéfices de la cogénération du jardin d'enfant de Borheim



Source : Cogeneration in public buildings, Linder, 2004.

La station de cogénération installée sur le jardin d'enfants fonctionne 7385 heures par an, en moyenne depuis 1994. Son rendement électrique et thermique moyen atteint respectivement 26% et 54%, et permettent d'éviter annuellement l'émission de 13 tonnes de CO₂ – soit 149 tonnes en cumulé depuis 1992. 68% de l'électricité produite est autoconsommée, les 32% restant sont vendus sur le réseau. On remarque la différence avec les cogénérateurs de l'école Carl-Schurz, d'une puissance plus importante et dont les trois quarts de l'électricité produite est vendue sur le réseau. La micro-cogénération installée sur le jardin d'enfants, d'une puissance de 5,5 kWél, a relativement plus vocation à fournir une énergie – électrique et thermique – destinée à de l'autoconsommation. Cette installation permet à la ville de réaliser un profit annuel moyen de 2 200 euros depuis 1994. Elle est amortie totalement depuis la fin 2003 ; le profit cumulé atteint 24 000 €.

5 CONCLUSION

L'étude de cas sur la gestion énergétique du patrimoine bâti à Francfort et la volonté de la ville de favoriser systématiquement l'implantation de micro-cogénérateurs nous a montré la nécessité de créer des conditions locales favorables à la mise en place d'une telle politique. En effet, de nombreux obstacles comme la pauvreté du cadre réglementaire, le manque d'informations, de connaissances et de motivation de la part des architectes et des ingénieurs de planification, nuisent généralement au développement de la cogénération. A Francfort, un des facteurs clés de succès du franchissement de ces barrières, réside dans le travail effectué par l'Agence de l'énergie. Celle-ci s'est en effet chargée de l'élaboration d'un programme de promotion de la cogénération, avec la création d'une liste des sites prioritaires d'implantation, la réalisation d'études de pré-faisabilité, l'observation du marché des fournisseurs, la réalisation des sites pilotes pour différents types de bâtiments et groupements, etc. En plus de la mise en place des actions d'information et de formation à la cogénération, il était également nécessaire que cette technique efficace de production d'énergie bénéficie d'un programme de soutien, à la fois local et national.

La législation locale qui avait fixé un tarif de rachat élevé de l'électricité produite par les cogénérateurs – 7 c€/kWh produit - a duré jusqu'en 1998. Cet élément est déterminant pour assurer le succès du développement de la cogénération car la vente d'électricité sur le réseau constitue une partie importante du profit que génère le fonctionnement d'une telle installation. Plus le tarif de rachat de l'électricité produite est élevé, plus la rentabilité d'une station de cogénération est assurée, et inversement. Avec la libéralisation du marché, les prix de l'électricité ont fortement chuté dans un premier temps, ce qui a défavorisé le développement de la cogénération. La pression de la Stadtwerke Mainova, consécutive à l'effondrement des prix de vente de l'électricité, a affectivement fini par aboutir puisque le tarif de rachat de 7 c€/kWh a été aboli. Prétextant qu'il lui était impossible, dans le nouveau marché concurrentiel, de racheter l'électricité produite par les cogénérateurs à un prix si élevé, sous peine de disparaître, Mainova a réussi à ce que le conseil municipal de Francfort mette fin à ce tarif.

Le mécanisme de promotion de la cogénération est devenu plus compliqué suite à la libéralisation des marchés de l'énergie. Désormais, la législation allemande offre seulement une prime de 2 à 5 centimes d'euro par kWh produit, en plus de la rémunération garantie de Mainova fixée à environ 3 c€/kWh. Remarquons qu'il existe une écotaxe en Allemagne pénalisant le gaz et le fuel, ainsi qu'une taxe sur l'électricité de 2 c€/kWh mais que l'électricité produite à partir de cogénération est exemptée de cette taxe. Le tarif de rachat pour l'électricité produite à partir de cogénération est donc un tarif composé de plusieurs éléments :

- Un tarif de rachat général de 2,8 c€/kWh assuré par Mainova,
- Un « bonus » prévu par la loi nationale en faveur de la cogénération : 5 c€/kWh pour les installations dont la puissance est inférieure à 50 kWél ; 2,4 c€ (en 2004) pour les installations dont la puissance est comprise entre 50 kWél et 2 MWél (ce tarif s'arrête en 2010 et sera de 1,94 c€/kWél à cette date),
- Autre bonus : exonération de l'écotaxe à hauteur d'environ 2 c€/kWh.

Aujourd'hui, ce sont surtout les petites centrales de cogénération, avec consommation de l'électricité produite sur site, qui bénéficient encore de bonnes conditions économiques. Un des problèmes est que la plupart des utilisateurs potentiels de petite et moyenne cogénération ne connaissent pas les opportunités offertes par ces techniques de production, malgré l'effort d'information réalisé par l'Agence de l'énergie. L'évaluation de l'expérience de ces centrales individuelles à Francfort, organisées en un groupe de propriétaires, leur donne tout de même un bon retour d'informations et fournit d'importantes informations aux utilisateurs potentiels. Si ces évaluations sont nécessaires, les visites des sites constituent également un facteur de réussite : il est plus facile, selon le directeur de l'Agence de l'énergie de Francfort, de convaincre les décideurs de l'utilité et de l'efficacité de la cogénération en leur faisant visiter des centrales plutôt qu'en leur présentant des comptes rendus.

Etude de cas

Gestion énergétique des bâtiments publics à Berlin

*Berlin et le mécanisme de **contractualisation pour les économies d'énergie** – Financement de l'amélioration de l'efficacité énergétique de ses bâtiments par **tiers investissement***

Données climatiques

Degrés jours (sur une base de 15°C) : 2540

Température annuelle moyenne : 9,7°C

Durée d'ensoleillement : 1700 h/an

Rayonnement solaire : 1050 kWh/m² par an

Mots-clés : Pool de bâtiments ; Contrat de performance énergétique ; Garantie d'économie d'énergie ; Partage des économies d'énergie ; Financement en tiers investissement ; ESCO ; Agence berlinoise de l'énergie

1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE BERLIN

1.1 Organisation administrative allemande en général et de Berlin en particulier

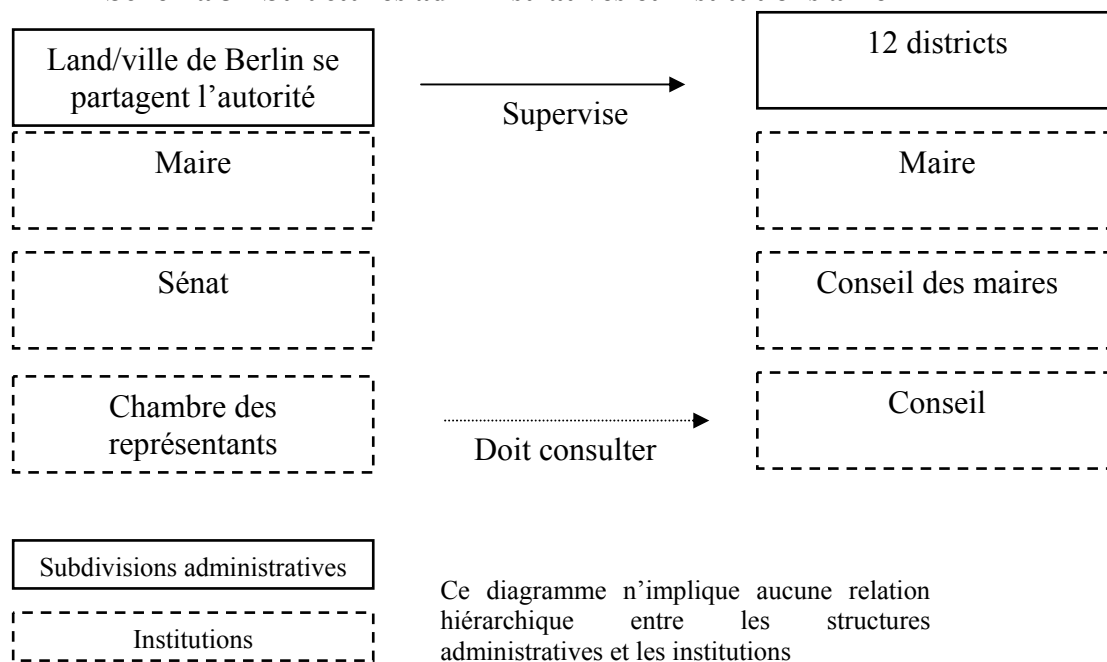
Commençons par rappeler que l'Allemagne est une république fédérale composée de 16 Länder (Etats fédéraux ou régions). Elle dispose de cinq organes constitutionnels : le *Bundestag* (assemblée nationale composée de 669 députés), le *Bundesrat* (69 membres des gouvernements des Länder) et le gouvernement fédéral. Si l'administration allemande dispose de cinq échelons, la construction politique ne compte que trois niveaux : le *Bund* (Etat fédéral), les *Länder* et les collectivités locales (districts et municipalités) [*Berliner Energieagentur et al*, 2000]. Les Länder ont chacun leur propre constitution, ils élisent un parlement et forment un gouvernement. Ils exercent un pouvoir législatif propre dans les matières qui ne sont pas la compétence du législateur fédéral et sont chargés de l'exécution des lois fédérales. Les chefs de district sont nommés par les gouvernements des Länder et leurs principales responsabilités sont de coordonner les politiques sectorielles au niveau régional et de servir d'intermédiaires entre le gouvernement du Land d'une part et les districts et les municipalités d'autre part [*Stadtwerke*, 1997].

Berlin est à la fois capitale de la République fédérale d'Allemagne et Land à part entière, elle compte environ 3,4 millions d'habitants, ce qui représente 4,2% de la population allemande. Comme Berlin possède à la fois le statut de ville et celui de Land, elle bénéficie des larges responsabilités traditionnelles dévolues aux Länder – principalement la police, la justice et l'éducation⁷⁰ – et est également responsable des affaires municipales telles que la gestion des services publics locaux et du bien-être social. Ses structures administratives internes sont organisées sur un modèle hybride d'administration à la fois locale et régionale. En effet, l'Etat fédéral et la ville de Berlin partagent les mêmes institutions législatives et exécutives. Comme les autres Länder, Berlin possède de nombreuses caractéristiques d'un Etat souverain : une constitution régionale et une cour constitutionnelle régionale ; un gouvernement régional appelé Sénat de Berlin⁷¹ ; un parlement régional dénommé chambre des représentants ; une cour des comptes. L'autorité principale de la ville, le Sénat, est divisé en huit départements administratifs : justice ; finance ; affaires intérieures ; économie et travail ; développement urbain, environnement et transport ; éducation, jeunesse et sport ; santé publique, affaires sociales et protection du consommateur ; science, recherche et culture. Le schéma ci-dessous représente l'organisation institutionnelle et administrative de Berlin :

⁷⁰ Le Land est également responsable de la gestion des infrastructures, des transports et de l'économie.

⁷¹ Ce sont les mots que nous emploierons dans la suite de l'étude pour désigner « le gouvernement de l'Etat fédéral de Berlin ».

Schéma 3 - Structures administratives et institutions à Berlin



Source : EU capital cities study 2003, Greater London enterprise, 2003.

Le Sénat de Berlin est constitué du maire de la ville et de huit sénateurs. Ces derniers doivent rendre des comptes à la chambre des représentants puisqu'elle peut rejeter le Sénat à la majorité. Le maire, avec l'approbation du Sénat, définit les principes qui vont guider la politique de l'Etat fédéral de Berlin. Le pouvoir législatif de l'Etat de Berlin est détenu par la chambre des représentants, élus au suffrage universel direct pour quatre ans. Elle doit, avec le Sénat, consulter le conseil des maires sur toutes les questions d'ordre législatif ou administratif. Depuis 2001, Berlin est un Land divisé en 12 districts⁷² de près de 300 000 habitants. Ces districts ont des responsabilités en terme de politique locale⁷³ et possèdent leurs propres administrations. Ils n'ont pas l'autonomie budgétaire car ils n'ont pas le droit de lever leurs propres taxes, même si le Sénat de Berlin leur alloue des fonds.

1.2 Une histoire qui a façonné le système énergétique de Berlin

Si aujourd'hui, toutes les politiques environnementales et projets entrepris à Berlin sont menés avec la perspective d'améliorer la situation écologique de la ville dans sa globalité, il ne faut pas oublier que ces décisions ont été prises pendant près de 40 ans par deux systèmes politiques très différents dans Berlin Ouest et Berlin Est. Ce trait historique est particulièrement pertinent pour expliquer la structure des systèmes de fourniture d'énergie des

⁷² Avant 2001, le Land de Berlin était divisé en 23 districts, chacun comprenait entre 50 000 et 300 000 habitants. Cette réorganisation des districts avait pour but de créer de plus grandes unités administratives afin de gagner en efficacité.

⁷³ En vertu des lois de la Fédération et des Länder, les districts ont des compétences obligatoires : construction et entretien des routes intercommunales, aménagement du territoire au niveau du district, entretien des parcs naturels, aide sociale, construction et entretien des hôpitaux, construction et entretien des lycées et écoles professionnelles, collecte et gestion des ordures ménagères. Le principe d'autonomie locale laisse aux districts la liberté d'exercer ou non des compétences facultatives telles que la construction des voies piétonnes et des pistes cyclables, la promotion de l'économie et du tourisme.

deux villes avant le changement politique de 1989. En effet, depuis la division en deux parties de Berlin après le « pont aérien » de 1949 et la construction du mur en 1961, Berlin Est n'était plus connecté au réseau national d'électricité [*Energy Innovations*, 2002]. Devenue une ville géographiquement isolée, elle a développé un îlot énergétique et a organisé sa fourniture d'électricité de manière à être autonome. La situation énergétique de Berlin Est est donc totalement différente de ce qu'elle peut être dans les autres grandes villes européennes. Elle a ainsi construit le plus large réseau de chauffage urbain en Europe, avec approximativement 800 kilomètres de canalisations. Ce n'est qu'en 1994 que la ville a été connectée au réseau européen d'électricité, la conversion des chaufferies charbon au gaz naturel ayant été achevée en 1996.

Ces traits liés au développement historique doivent être pris en compte dans la définition des différentes politiques. En effet, la politique énergétique d'autosuffisance développée par Berlin Est était par exemple accompagnée d'une politique d'augmentation de l'efficacité des standards environnementaux, notamment en ce qui concerne la désulfuration des fumées issues de la combustion du charbon. De même qu'une attention particulière portée à l'optimisation des ressources, a conduit la ville à fournir les incitations adéquates pour que la cogénération se développe sur le réseau de chaleur. Il faut noter pour finir, que la volonté politique et la conscience environnementale à propos de l'importance à accorder à l'efficacité énergétique ont toujours été fortes à Berlin.

2 LA POLITIQUE ENERGETIQUE DE BERLIN

2.1 Organisation et enjeux d'une telle politique

2.1.1 Répartition des responsabilités entre les différentes autorités et rôle de l'Agence de l'énergie

C'est à l'administration sénatoriale pour le développement urbain, l'environnement et le transport de s'occuper des questions énergétiques sur le territoire de Berlin. Elle n'a jamais orienté la politique de gestion des consommations d'énergie au sein de ses bâtiments publics vers plus d'efficacité, il a fallu pour cela attendre la création d'une structure dédiée. L'Agence de l'énergie de Berlin a ainsi été créée en 1992 à l'initiative du Sénat de Berlin, notamment pour conseiller les entreprises, les autorités publiques et les associations sur les possibilités offertes par l'efficacité énergétique et les méthodes de construction et/ou de rénovation écologiques. C'est une SARL de 33 employés dont le capital de 2,5 millions d'euros est détenu à 1/3 par le Sénat de Berlin, à 1/3 par Bewag AG et à 1/3 par KfW Bankengrupp. Ses domaines d'activité sont l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'aménagement de la cogénération, l'utilisation des énergies renouvelables, les économies d'énergie dans les bâtiments ainsi que les concepts intégrés dans le transport.

Ses prestations incluent l'identification des potentiel d'économie d'énergie aussi bien que le soutien à la réalisation des mesures permettant d'exploiter ce potentiel : analyse et conception de l'approvisionnement en énergie ; études prévisionnelles ; appel d'offres et

assistance à la réalisation ; contrôle et réalisation du projet ; expertise et pronostic. Elle se charge également de mobiliser les investisseurs et de fournir du financement⁷⁴. Au total, le rôle de l'Agence de l'énergie s'apparente à celui d'un consultant, donnant à la fois des directives au Land et se chargeant de la préparation et du suivi sur toute leur durée des contrats de performance énergétique signés par Berlin⁷⁵. C'est une entité indépendante qui bénéficie d'un savoir-faire de plus de 10 ans en terme de contrôle de la mise en œuvre et de l'exécution de ce type de contrat. Elle est donc tout à fait capable d'évaluer les meilleures offres et de soutenir le Land dans le suivi de la réalisation des contrats de performance énergétique signés.

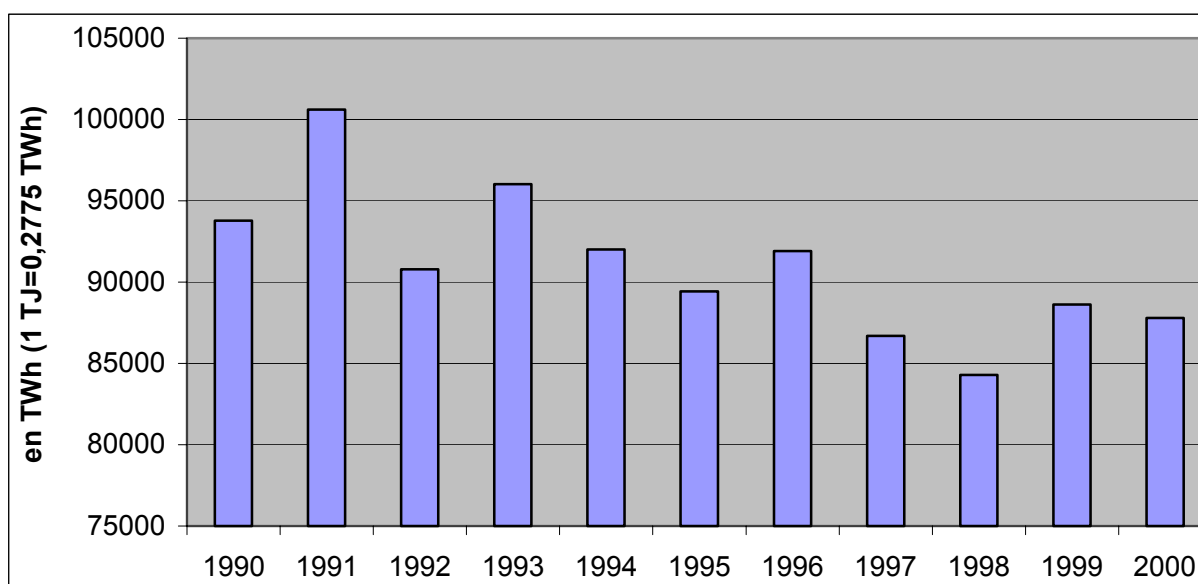
2.1.2 Evolution de la consommation d'énergie sur le territoire de la ville de Berlin

Nous avons voulu exposer rapidement la double évolution de la consommation d'énergie primaire à Berlin et de la consommation d'énergie finale par secteur, afin d'en informer le lecteur pour qu'il dispose d'un ordre de grandeur. Nous n'irons pas très loin dans les commentaires et l'analyse de l'évolution de ces consommations car nous ne disposons que de très peu d'éléments explicatifs d'une part ; notre sujet étant, d'autre part, ciblé sur la gestion énergétique du patrimoine municipal, nous n'avons pas souhaité nous attarder sur la thématique de la gestion des consommations d'énergie d'un territoire.

⁷⁴ Signalons qu'à l'instar de l'IDAE (Agence de l'énergie nationale espagnole), l'Agence de l'énergie de Berlin est l'opérateur de plusieurs centrales, la plupart étant des centrales de cogénération. Elle est ainsi l'opérateur de centrales énergétiques modernes – avec fonctionnement au gaz naturel et deux modules de cogénération, deux chaudières pour les pointes et une machine à absorption de froid – pour lesquelles elle assure la planification, la mise en œuvre et le financement du complexe énergétique sur une durée de 15 à 18 ans. Elle est également opérateur de centrales photovoltaïques : elle a ainsi construit, financé et s'est engagée à entretenir les panneaux installés sur l'UTZ - centre d'innovation technologique pour l'environnement - pour une durée de 15 ans.

⁷⁵ Cette forme de contractualisation pour les économies d'énergie fait l'objet des deux dernières parties (4 et 5) de notre étude.

Graphique 17 – Evolution de la consommation d'énergie primaire sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000



Source : Energiebericht 1997 – 2000, Berliner Energieagentur, 2000.

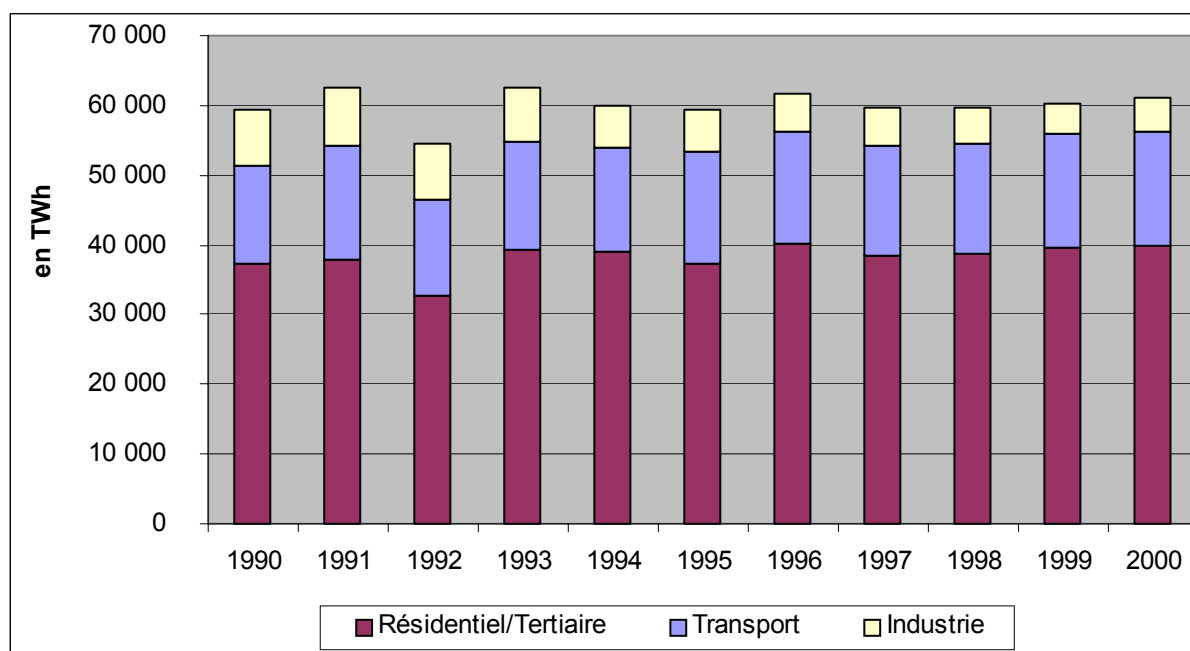
Les nouveaux systèmes de chauffage dans les appartements ont permis de réduire la consommation d'énergie primaire du territoire de la ville de Berlin de près de 6,7% entre 1990 et 2000, celle-ci étant passée de 93 775 TWh à 88 000 TWh entre 1990 et 2000.

Tableau 19 – Evolution de la consommation d'énergie finale, par secteur, sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000

	Résidentiel/Tertiaire (TWh)	Transport (TWh)	Industrie (TWh)	Total (TWh)
1990	37 399	13 951	8 126	59 476
1991	37 737	16 448	8 362	62 547
1992	32 707	13 717	8 139	54 563
1993	39 384	15 433	7 612	62 429
1994	39 146	14 803	6 136	60 085
1995	37 389	15 958	6 077	59 424
1996	40 211	15 889	5 503	61 603
1997	38 377	15 771	5 403	59 551
1998	38 722	15 866	4 964	59 552
1999	39 570	16 299	4 262	60 131
2000	39 897	16 217	4 948	61 062

Source : Energiebericht 1997 – 2000, Berliner Energieagentur, 2000.

Graphique 18 - Evolution de la consommation d'énergie finale, par secteur, sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000



Source : *Energiebericht 1997 – 2000*, Berliner Energieagentur, 2000.

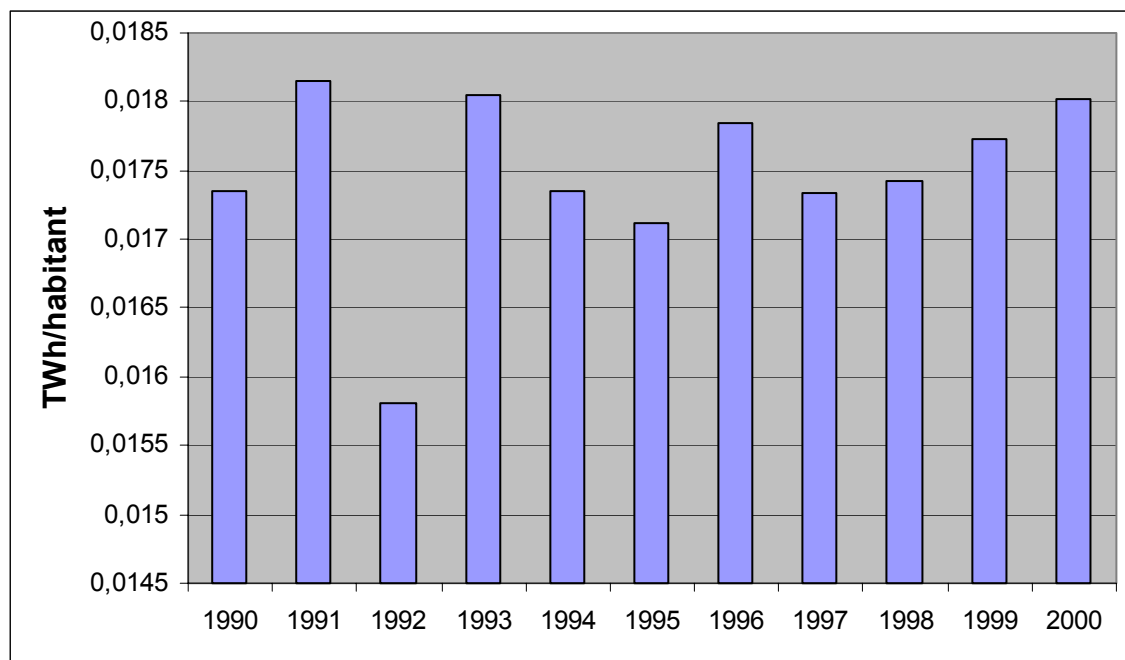
Alors que la consommation d'énergie finale du secteur de l'industrie diminue d'années en années grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique de ses procédés, elle n'a, en revanche, cessé d'augmenter dans les transports et le secteur du résidentiel-tertiaire. Signalons que si les émissions de CO₂ ont diminué de plus de 13% depuis 1990, grâce notamment à l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de la chaleur, la consommation finale d'énergie a augmenté dans la même période, passant de 59 476 TWh en 1990, à 61 602 TWh en 2000. A titre indicatif, nous informons le lecteur de l'évolution de la démographie à Berlin entre 1989 et 2003, associée à celle de la consommation d'énergie finale par habitant.

Tableau 20 – Evolution de la démographie à Berlin

Année	Nombre d'habitants
1989	3 409 737
1991	3 446 031
1995	3 471 418
2001	3 388 434
2003	3 391 878

Source : http://www.arvha.org/equal/etude/berlin/a_pop/1a.htm

Graphique 19 - Evolution de la consommation d'énergie finale par habitant⁷⁶



Source : Tableau réalisé par l'auteur, 2005.

2.1.3 Bilan énergétique de la ville de Berlin

Il y a 6 000 bâtiments publics à Berlin, ce qui représente une surface totale de 10 millions de mètres carrés. Les 2/3 des bâtiments sont utilisés par les autorités du district, l'autre tiers par l'administration principale. La moyenne des coûts relatifs à l'énergie tournait autour de 256 millions d'euros au milieu des années 90. Les bâtiments publics étaient d'ailleurs responsables, à cette époque, de 9% du total des émissions de l'Etat. En 2000, près de 1 000 GWh d'électricité, 1 200 GWh de gaz et 1 500 GWh de chauffage urbain ont été consommés dans les 6 000 bâtiments gérés par Berlin.

Tableau 21 – Bilan énergétique de la ville de Berlin en 2000

NATURE	M€TTC	GWh
Electricité bâtiments	?	1 000
Gaz bâtiments	?	1 200
Chauffage urbain	?	1 500
Total bâtiments communaux	256 Mo€	3 700 GWh

Source : Tableau réalisé par l'auteur, 2005.

⁷⁶ N'ayant pas trouvé les données concernant le nombre d'habitants pour les années manquantes sur le tableau 20, nous avons émis des hypothèses sur celles-ci, en suivant une courbe tendancielle à partir des données dont nous disposions.

2.2 Contexte dans lequel s'insère la promotion de l'efficacité énergétique

2.2.1 Le plan d'actions « Berlin économise l'énergie »

Quand le mur de Berlin est tombé en 1989, la décision a été prise de réfléchir à la construction d'une politique énergétique pour la ville réunifiée. Pendant la même période, l'organisation à but non lucratif *Klimabündniss* - Alliance pour le climat - dont l'objectif est d'aboutir, dans un certain nombre de villes européennes à une réduction des émissions de CO₂ de plus de 50% sur 20 ans, est créée à Berlin. Pour atteindre cet ambitieux objectif, Berlin a d'abord réalisé une conversion d'énergie complète sur l'ensemble des chaufferies collectives présentes sur son territoire, passant du fioul et du charbon au gaz. La ville a également pris la décision de s'engager sur une diminution de sa consommation d'énergie primaire ainsi que sur une réduction de ses émissions de CO₂ de 25% d'ici 2010, par rapport à leur niveau de 1990. Le Sénat de Berlin a ainsi adopté en 1994, un plan d'action nommé « Berlin économise l'énergie » dont les premières actions ont été mises en œuvre en 1995⁷⁷. Il concerne principalement six domaines :

- *Sensibilisation des habitants sur les questions énergétiques,*
- *Economie d'énergie dans les habitations anciennes et les constructions neuves,*
- *Economie d'énergie au sein des institutions publiques,*
- *Economie d'énergie dans le secteur industriel et commercial,*
- *Economie d'énergie dans les transports : l'objectif est de consacrer 2 millions DM par an au transport ferroviaire.*
- *Economie d'énergie dans la fourniture d'énergie : modernisation des réseaux d'électricité, de gaz et de chauffage urbain nécessitant un investissement de 300 millions DM.*

2.2.2 Le programme énergétique du Land de Berlin

Le 9 mai 2000, le Sénat de Berlin a publié un programme énergétique d'Etat pour les années 2000-2003, élément important de sa politique globale de protection du climat. Un des objectifs du programme est de doubler la proportion des énergies renouvelables en 2003, comparé à 2000. Ceci implique notamment un très gros effort dans le développement de l'énergie solaire car il y a relativement très peu d'espaces pour l'implantation d'éoliennes sur le territoire de Berlin. Les institutions publiques, en tant que consommateur d'énergie ont un rôle très important de par leur fonction d'exemplarité dans la politique de protection du climat, et sont particulièrement visées dans ce programme. Les objectifs suivants, dans différents domaines, ont été fixés :

⁷⁷ Remarquons que la même année, était organisée à Berlin la première conférence des parties relative au protocole de Kyoto. Berlin est vraiment une ville dont la volonté politique de ne pas nuire à son environnement et de ne pas aggraver le réchauffement climatique est très forte.

- *Efficacité énergétique et énergie renouvelable pour le patrimoine immobilier du Land de Berlin :*

Pour le neuf et les rénovations, au moins 15% de l'énergie consommée doit être produite à partir de sources renouvelables, le reste par de la cogénération quand cela est possible. Des critères écologiques sont également introduits dans les achats, des matériaux de construction écologiques doivent être utilisés et au moins 30% de l'énergie requise pour la production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments neufs et rénovations significatives doit être obtenue à partir de l'énergie solaire. Notons également la création du programme *Berlin ImpulsE* dont nous parlons plus bas, chargé de disséminer à grande échelle la connaissance en matière de technologies économe en énergie et les bonnes pratiques en terme d'efficacité énergétique. Dans la même optique, le Sénat a développé une typologie des besoins de chauffage de son patrimoine immobilier par catégorie de bâtiments, typologie s'apparentant à un instrument informationnel destiné à promulguer des conseils.

- *Gestion de l'énergie :*

Depuis 1994, les 2/3 des autorités des districts ont monté des services énergétiques ou des « E-team » dont la mission principale est de réduire les consommations d'électricité⁷⁸ au sein des bâtiments publics. En 1999, le Sénat de Berlin a décidé d'externaliser l'ensemble des aspects économiques et légaux lié à l'activité de la gestion de l'énergie de son patrimoine. A cette époque, les flux de consommation énergétique des bâtiments gérés par Berlin et les flux de dépenses associées étaient inconnus dans leur globalité ; aucun effort d'organisation et de centralisation de l'information disponible n'avait été entrepris jusqu'alors. Da.V.i.D a gagné l'appel d'offres européen et a monté l'EMC (*Energy Management Center*), centre de gestion de l'énergie, chargé d'administrer et de contrôler la fourniture d'énergie au sein des bâtiments publics ainsi que les coûts associés pour le gaz, l'électricité et le chauffage urbain. La mission du centre de gestion de l'énergie est triple : gérer l'ensemble des données relatives à l'énergie ; contrôler les contrats de fourniture signés ; optimiser la demande d'énergie et la structure de la fourniture d'énergie. Da.V.i.D a commencé son travail de constitution d'une gigantesque base de données en juin 2000. Au bout d'un an et demi de travail, le simple contrôle des contrats et vérification des factures a permis d'économiser près de 2 millions d'euros pour la ville de Berlin⁷⁹.

2.2.3 Classification des bâtiments en fonction de leurs performances énergétiques

En coopération avec l'unité de protection du climat de l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports, l'organisation à but non lucratif KEBAB, a monté le projet *Energy services in Berlin's districts*. L'étroite coopération entre KEBAB et les autorités publiques a ainsi permis de rassembler les données de consommation

⁷⁸ C'est une mission très pertinente afin de diminuer les émissions de CO2. En effet, bien que l'électricité ne compte que pour un cinquième de la consommation énergétique totale en Allemagne, 50% des émissions de CO2 sont causées par son processus de production.

⁷⁹ Nous avons essayé d'en savoir plus sur les rapports d'activité du centre de gestion de l'énergie Da.V.i.D., mais les documents accessibles en ligne sur leur site Internet (www.david-ag.de) sont uniquement en allemand et nous ne parlons pas la langue.

d'eau et d'énergie de plus de 2000 bâtiments publics sur la période 1995-2000. L'idée de ce projet est d'aboutir à un système de classification, sur le concept de l'étiquette énergie, de ces 2000 bâtiments publics en fonction de leur performance énergétique⁸⁰. Une différenciation est ensuite effectuée par catégorie de bâtiments - gymnases, mairies, écoles etc. - afin de repérer les unités les plus énergivores et parvenir à améliorer leur performance énergétique.

Prenons l'exemple des 1024 écoles présentes sur le territoire de Berlin. Elles représentent un septième du patrimoine bâti de la ville et à peu près 50 millions d'euros de dépenses énergétiques, ce qui est considérable. Il est admis qu'une économie d'énergie de 10% est facilement atteignable en améliorant simplement l'organisation de la gestion des consommations de l'énergie ainsi qu'en fournissant les incitations adéquates à destination des utilisateurs du bâtiment. En cinq ans, KEBAB a réuni les données de consommation d'eau et d'énergie de près de 252 écoles, soit près d'un quart des écoles de Berlin. Seules 7 écoles sur les 252 examinées atteignaient la catégorie B en 1999 alors que 19 écoles étaient classées en catégorie F et G à cause de leurs anciens systèmes de chauffage au fioul, révélant aux autorités un fort besoin de modernisation du système énergétique de ces écoles. Ce système de classification des bâtiments en fonction de leur performance énergétique – *Heizspiegel* - permet donc à la fois de repérer très vite les besoins de rénovation d'un bâtiment et de statuer rapidement sur l'échec ou le succès de la mise en œuvre d'une mesure d'économie d'énergie.

2.2.4 Mécanisme de participation des usagers des bâtiments aux économies d'énergie - Projet 50/50 dans les écoles

Le Sénat de Berlin a mis en place dès l'année 1995, un mécanisme de participation des usagers aux économies d'énergie⁸¹ au sein des écoles, en parallèle au système de classification des bâtiments en fonction de leur performance énergétique. Ce projet a pour but d'inciter les élèves, professeurs et autres personnels des écoles à réduire leur consommation d'énergie au travers du partage de ces économies à 50/50 entre le bureau des écoles du district de Berlin concerné et l'école ayant économisé de l'énergie. Le principe est simple à exposer mais difficile à mettre en œuvre dans la pratique car les districts de Berlin doivent accepter de partager les économies réalisées. Quand un tel accord de partage des économies est signé entre l'école et le district concerné, ce dernier a la responsabilité de fournir et d'évaluer les données de consommation de l'école ainsi que de quantifier les économies réalisées.

L'introduction à Berlin, et la mise en œuvre du projet 50/50 à travers UfU e.V. (*Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V.*), a été financé par l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports, en partie à travers le programme *ImpulsE*. Après cinq ans de mise en œuvre, le projet a fait l'objet d'une évaluation en 2000 [*Energy Innovations*, 2002]. Celle-ci a permis de montrer que les 222

⁸⁰ Il y a ainsi 7 catégories d'efficacité énergétique (en kWh/m² par an) allant de A à G, A étant la catégorie la plus efficace. On a $0 < A < 50$; $51 < B < 100$; $101 < C < 150$; $151 < D < 200$; $201 < E < 250$; $251 < F < 300$; $G > 301$.

⁸¹ Egaleme nt appelé *Project fifty/fifty* ou 50/50. Pour approfondir la mise en place du mécanisme de participation financière des utilisateurs du bâtiment aux économies d'énergie, de nombreuses informations sont disponibles sur le site www.ufu.de, mais lecteur devra bien évidemment maîtriser l'allemand.

écoles qui ont participé au projet ont économisé près de 600 000 euros sur leurs coûts énergétiques et réduit leur consommation d'électricité et de chaleur de respectivement 1 GWh et 5 GWh, représentant une réduction associée de 1 900 tonnes de CO₂. Le potentiel d'économie d'énergie, d'eau et de déchets liés à ce projet 50/50 au sein des écoles est loin d'être atteint puisqu'il a été estimé entre 4 et 5 millions d'euros pour la ville de Berlin, soit une réduction associée de 25 000 tonnes de CO₂.

2.2.5 Le programme d'information *ImpulsE*

Un savoir-faire considérable dans la maîtrise de l'énergie est disponible au sein du secteur du bâtiment mais il se transmet trop lentement et à petite échelle. Il est donc très important que ce savoir-faire se diffuse et atteigne l'ensemble des décisionnaires intervenant dans l'acte de construire. Le Sénat de Berlin a ainsi mis en place le programme *Berlin ImpulsE* destiné à fournir de l'information relative à la maîtrise de l'énergie et l'utilisation de sources d'énergie renouvelable. L'objectif de ce programme est d'accélérer la réalisation du potentiel technique et économique d'économie d'énergie au travers l'organisation d'évènements, conférences, ateliers, séminaires et excursions. Grâce au programme *Berlin ImpulsE*, les propriétaires et gestionnaires de bâtiments ainsi que les architectes et ingénieurs – acteurs les plus importants dans la mise en œuvre des technologies économes en énergie – sont incités⁸² à employer les technologies les plus efficaces dans leurs projets. Au total, *Berlin ImpulsE* fonctionne sur quatre plans :

- Préparation du savoir-faire,
- *Think Tank* : organisations d'évènements, de séminaire etc.,
- Dissémination de l'innovation,
- Mise en réseau des acteurs à travers une série de supports d'information : lettre d'information mensuelle *Berlin ImpulsE-News*, magazine trimestriel *Energie-ImpulsE* et site Internet www.berliner-impulse.de.

2.2.6 Economie d'énergie dans les immeubles d'habitation – Projet BEST

Un consensus s'est établi pour affirmer que le plus important potentiel d'économie d'énergie réside dans la modernisation des systèmes énergétiques des bâtiments anciens. Afin d'atteindre ce potentiel au sein de l'habitat privé, l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports, a chargé l'entreprise consultante Arge B.E.ST de développer le système B.E.ST : *Berlin Energy Service Standard*. L'idée est d'attirer les ESCO dans le secteur de l'habitat privé en intégrant le souci de favoriser le développement des réseaux de chaleur locaux dont les performances énergétiques, économiques et écologiques sont supérieures à celle des systèmes de chauffage individuel. Le résultat du projet s'apparente à un modèle pratique de mise en œuvre des mesures

⁸² Nous ne parlons pas d'incitations au sens financier du terme. Nous voulons signifier qu'avec ce programme de dissémination de l'information sur les meilleures technologies disponibles, les barrières de l'information incomplète - cf. Chapitre I 2.2.4.1 - et de l'asymétrie de l'information - Chapitre I 2.2.5 - sont en partie levées.

économisant de la chaleur par les ESCO au sein des anciens bâtiments. B.E.ST. offre ainsi une sorte de « vade-mecum » aux contractants potentiels, c'est un modèle qui entend coordonner l'intégralité du processus depuis la soumission des contractants aux appels d'offres et l'évaluation des offres jusqu'à l'arrangement contractuel entre les propriétaires du bâtiment, les locataires et l'ESCO.

B.E.ST. veut ainsi établir une assurance contractuelle et procédurale entre l'ensemble des participants et par là même diminuer l'intensité de la barrière des incitations perverses - Chapitre I – 2.2.5.3. D'une part, B.E.ST aide à réduire les incertitudes et d'autre part, le contrat signé permet d'impliquer toutes les parties concernées en offrant un modèle de réalisation des économies d'énergie standardisé, clair et facilement compréhensible ; le point crucial de ce système étant la fixation des standards, notamment pour la livraison de chaleur. Le *Berlin Energy Service Standard* est ainsi divisé en plusieurs éléments : assistance au cours de l'appel d'offres ; logiciel d'analyse permettant de déterminer les coûts énergétiques internes des projets et de les comparer ; contrats standardisés pour la fourniture de chaleur ; contrats standardisés pour la fourniture d'électricité. Les avantages d'un tel système sont multiples :

- Les ESCO se voient offrir l'opportunité de produire de l'énergie avec une efficacité optimale aussi bien du point de vue du rendement que du point de vue des coûts ; ce qui favorise l'implantation de la cogénération.
- Les ESCO réalisent des économies d'énergie en assumant les coûts d'investissement, de financement et de maintenance du projet. Au final, les locataires bénéficieront donc d'une réduction de charge.
- Transparence des coûts,
- Grande fiabilité concernant la fourniture d'énergie,
- Grande flexibilité du système énergétique avec possibilité d'intégrer les améliorations techniques pendant la réalisation du contrat.

2.2.7 Un projet modèle de renouvellement urbain écologique : le quartier de Kreuzberg

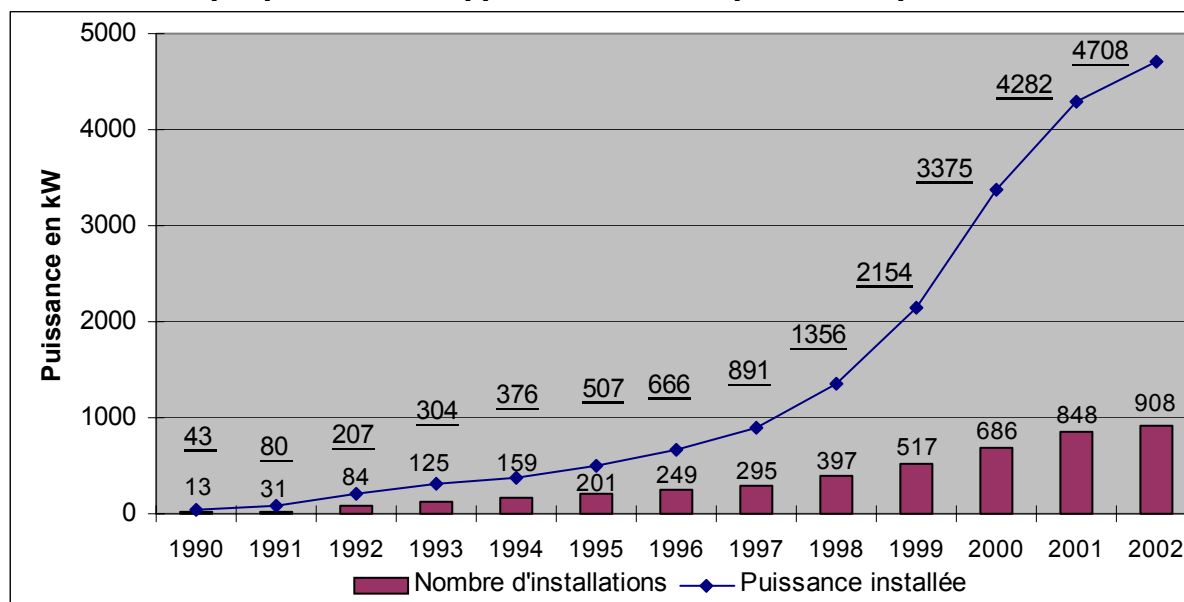
Au milieu des années 70, la menace de dépopulation qui pesait sur le centre-ville a conduit les décideurs territoriaux à repenser leurs politiques de planification urbaine. De nombreuses réunions publiques ont eu lieu avec les habitants du quartier de Kreuzberg, à la suite desquelles des principes directeurs ont été établis pour son renouvellement urbain. En 1983, ces principes ont été adoptés par l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports ainsi que par le parlement du district. Les thèmes retenus concernent principalement les procédures de planification : participation des résidents locaux, besoin d'un accord large, dimension écologique (utilisation rationnelle de l'énergie et sociale, mesures d'économie d'eau, système de collecte des déchets, aires de jardin, matériaux de construction écologiques) sources de financement, etc. Au total ces principes thématiques ont été mis en place dans 13 immeubles comprenant 110 appartements et 20 magasins [SURBAN, 2001].

3 LA PRODUCTION DECENTRALISEE D'ENERGIE

3.1 Développement du solaire thermique et photovoltaïque

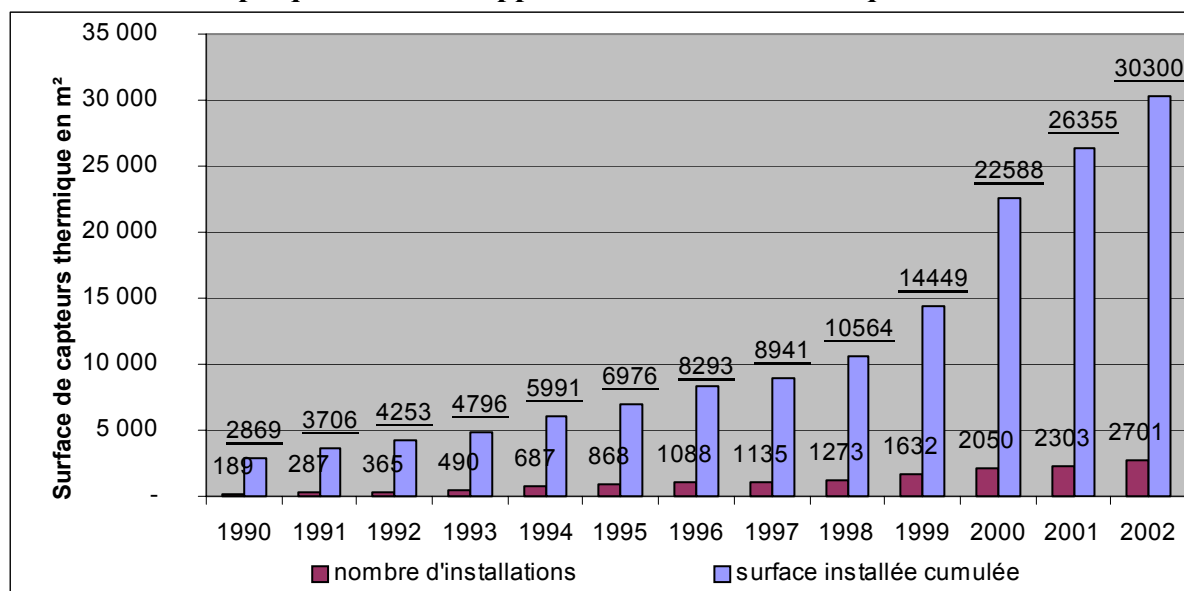
Décrivons à l'aide de deux graphiques l'évolution du développement de l'énergie solaire sur le territoire de la ville de Berlin :

Graphique 20 - Développement du solaire photovoltaïque à Berlin



Source : Energiebericht 1997 – 2000, Berliner Energieagentur, 2000.

Graphique 21 – Développement du solaire thermique à Berlin



Source : Energiebericht 1997 – 2000, Berliner Energieagentur, 2000.

Nous observons une très nette accélération du nombre d'installation de panneaux solaires installés, qu'ils soient thermiques ou photovoltaïques, à partir de l'année 1995. L'année 1997 marque le point de départ d'un développement exponentiel de ce type d'énergie puisque la capacité installée des centrales photovoltaïques a plus que quintuplé durant cette

période, passant de près de 0,9 MW en 1997 à 4,7 MW en 2002 ; la puissance installée a donc doublé chaque année. Berlin produisait 10 fois plus d'électricité à partir de ses panneaux photovoltaïques en 2002, par rapport à 1995, et près de 100 fois plus qu'en 1990⁸³. La surface de capteurs thermiques installée a elle aussi explosé sur la période 1997-2002, passant de près de 9 000 m² à plus de 30 000 m², ce qui représente un taux de croissance moyen de 68% sur cinq ans. En 2002, ce sont au final plus de 3600 installations solaires qui fonctionnent, environ 2 700 pour le solaire thermique et 900 pour le photovoltaïque. Signalons que l'un des objectifs de la ville est de parvenir en 2010 à une capacité installée de panneaux photovoltaïques de 30 MW.

3.2 Facteurs clés de succès du développement de l'énergie solaire à Berlin

Analysons brièvement les éléments stratégiques permettant d'expliquer le développement très rapide de l'énergie solaire à Berlin [Loy, 2000] : programmes de soutien, accords volontaires multilatéraux, accords de coopération avec les distributeurs locaux d'énergie, aspects législatifs, etc.

3.2.1 Programmes nationaux ou régionaux de soutien au solaire

Au niveau local, Berlin a subventionné, entre 1991 et 2000, l'énergie électrique produite à partir des systèmes photovoltaïques à hauteur de 8,9 millions d'euros. Le solaire thermique a quant à lui été subventionné à hauteur de 10 millions d'euros sur la même période. Comme nous le montre le tableau 22, l'investissement annuel moyen de la ville pour développer l'énergie solaire a été d'environ deux millions d'euros sur la période 1991-2000.

Tableau 22 – Evolution des investissements consentis par Berlin pour le développement de l'énergie solaire (Mo€)

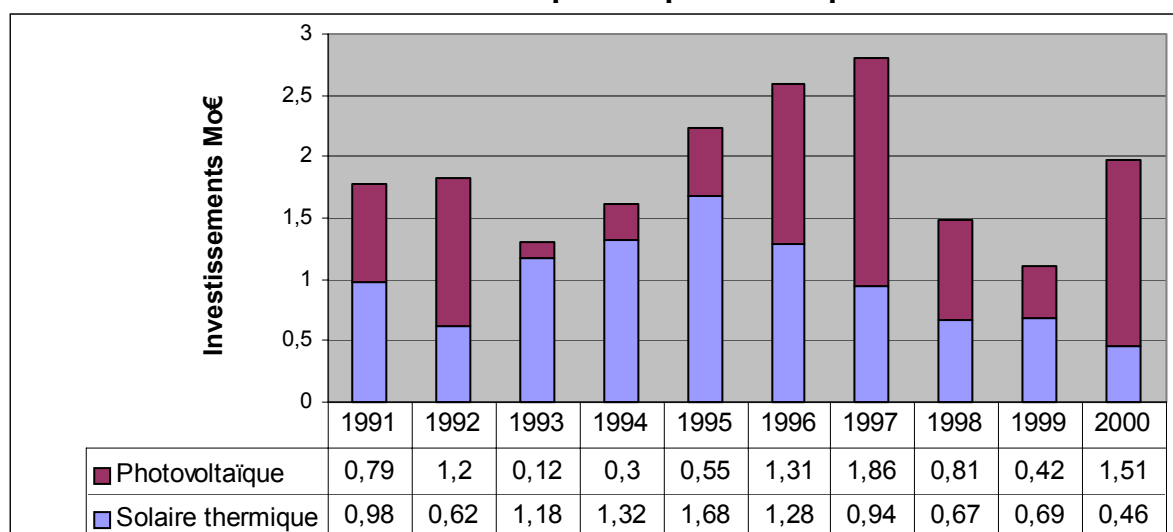
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Total
1,77	1,82	1,3	1,62	2,23	2,59	2,8	1,48	1,11	1,97	18,69

Source : *Energiebericht 1997 – 2000*, Berliner Energieagentur, 2000.

⁸³ Il faudrait néanmoins rapporter la production d'électricité photovoltaïque à Berlin avec la consommation énergétique totale des bâtiments de la ville pour rendre compte du taux de couverture des besoins en électricité des bâtiments administratifs par le solaire. Nous ne disposons pas encore de ces données mais nous pouvons néanmoins tabler sur un faible taux de couverture, de l'ordre d'à peine quelque %.

Le graphique suivant nous renseigne sur la répartition des investissements par type de systèmes solaires :

Graphique 22 – Evolution de la répartition des investissements entre le thermique et le photovoltaïque



Source : Energiebericht 1997 – 2000, Berliner Energieagentur, 2000.

La volonté politique de Berlin de soutenir le développement de l'énergie solaire sur son territoire s'exprime non seulement en subventionnant une partie des coûts d'investissement des installations à partir de son budget mais également en finançant des campagnes de promotion ciblées⁸⁴, des programmes de formation, etc. Au niveau fédéral également, le programme « 100 000 toits photovoltaïques » de 5 ans (1999-2004) du gouvernement a pour objectif de soutenir l'installation de 300 MW de systèmes photovoltaïques par l'intermédiaire de l'octroi de prêts à taux zéro. Il vient donc renforcer l'attrait de l'énergie solaire sur le territoire de Berlin puisque les prêts qu'il accorde se cumulent avec les subventions d'investissement offertes par le Sénat. Pour information, les aides consenties dans le cadre de ce programme fédéral s'élèvent, au total, à plus de 550 millions d'euros.

3.2.2 Accords volontaires multilatéraux

En 1997, le Sénat de Berlin a signé un accord volontaire - *the Voluntary agreement for a reduction in CO₂ and an increase in solar collectors* - avec, entre autres, l'association des industriels de Berlin, les associations de locataires et la chambre des architectes. Il prévoit notamment que 75% des nouveaux bâtiments construits chaque année devront intégrer des technologies de solaire thermique dès leur conception. Un autre instrument de développement de l'énergie solaire est le lancement de la *Campagne solaire de Berlin*, conduite en étroite coopération entre la ville et de multiples partenaires. Cette campagne de communication,

⁸⁴ Au mois de juillet 2000, l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports, a lancé la campagne solaire berlinoise dont l'objectif était qu'avant 2003, au moins 4% des habitants propriétaires de leur logement couvrent une partie de leurs besoins en électricité et en eau chaude à l'aide du soleil.

centrée sur les consommateurs résidentiels, fournit une information très complète sur les multiples utilisations de l'énergie solaire et ses possibilités de financement.

3.2.3 Accords de coopération

A partir du début des années 1990, la ville a conclu des accords de coopération avec les distributeurs locaux de gaz et d'électricité afin que ceux-ci financent l'installation de modules solaires. Ainsi entre 1997 et 2000, le programme d'investissement - *Energie 2000* - de la compagnie d'électricité régionale Bewag, soutenu par le Sénat de Berlin, aura, par exemple, permis l'installation de 60 panneaux photovoltaïques sur les toits des écoles de la ville. Bewag a ainsi investi près de 20,5 millions d'euros dans l'installation de ces systèmes photovoltaïques, chacun des panneaux ayant une taille standard de 1 kWél. La promotion de l'énergie solaire au sein du programme *Energie 2000* de la compagnie régionale incluait également de nombreuses autres mesures [Loy, 2000] :

- « Des enchères solaires - *Solar power bidding* - grâce auxquelles des investisseurs privés peuvent vendre à la compagnie leur électricité solaire à son coût réel, ainsi que des subventions couvrant jusqu'à 50% du coût d'investissement d'un module,
- *SolarInvest*, un modèle qui permet de financer l'installation de modules solaires en divisant leurs coûts d'investissement en parts - *Shareholder model*. Ces parts sont ensuite achetées par des investisseurs, rémunérés alors à un taux d'intérêt relativement bas, que Bewag remboursera 15 ans plus tard,
- Un tarif de rachat incitatif pour l'électricité produite à partir d'énergie renouvelable,
- Un programme d'équipements de système photovoltaïques dans les écoles et les centres de formation ».

Les résultats du programme *Energie 2000* de Bewag ont été très positifs, le succès pour les enchères solaires ayant dépassé les espérances des ses initiateurs. En effet, le tarif contractuel de rachat de l'énergie solaire produite par des investisseurs privés, garanti sur 15 ans, a été en moyenne de 0,37 €/kWh⁸⁵ avec une subvention d'investissement additionnelle moyenne de 3 150 €/kW⁸⁶.

3.2.4 Aspects législatifs et réglementaires

Au niveau fédéral, une loi traitant des énergies renouvelables garantit, depuis 2000, un tarif de rachat à hauteur de 0,5 €/kWh pour l'électricité produite à partir de systèmes photovoltaïques et réinjectée sur le réseau. Ce tarif, plus de trois fois supérieur au tarif de

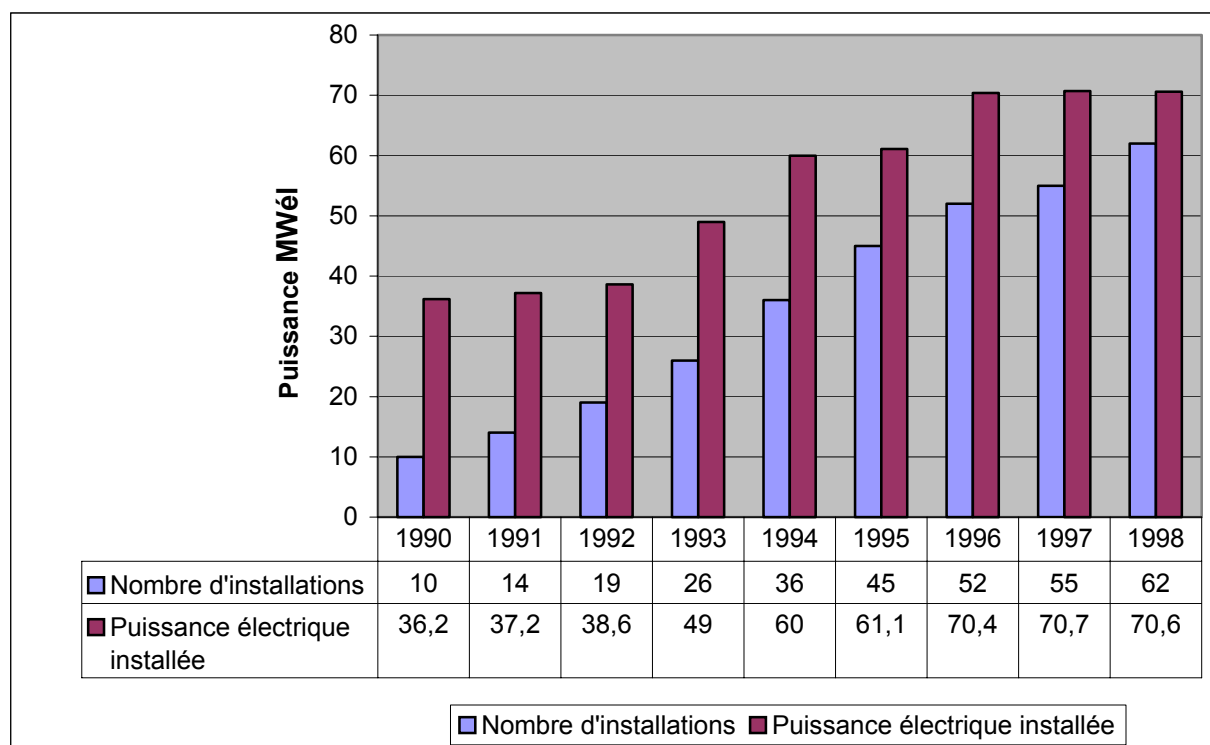
⁸⁵ Nous ne disposons pas des données nous permettant d'apprécier ce que coûte le kWh électrique à la ville de Berlin afin de le comparer au tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque par Bewag.

⁸⁶ Il faudrait comparer cette subvention au coût total d'installation d'une centrale photovoltaïque afin d'apprécier le taux de couverture d'un tel investissement par cette subvention.

rachat français⁸⁷ semble être réellement incitatif à l'investissement dans les panneaux photovoltaïques puisque l'Allemagne dispose de la plus importante capacité solaire installée en Europe⁸⁸. Au niveau local, Berlin, à l'image de Barcelone, a édicté une ordonnance solaire, instrument s'apparentant à un règlement spécifique en matière d'urbanisme. La ville a en effet décidé, dans son plan énergie triennal de 2000, d'imposer qu'au moins 30% de l'énergie requise pour la production d'eau chaude sanitaire, dans les bâtiments neufs et rénovations significatives, doit être obtenue à partir de l'énergie solaire.

3.3 Développement de la cogénération à Berlin

Graphique 23 – Développement de la cogénération à Berlin



Source : *Energiebericht 1997 – 2000*, Berliner Energieagentur, 2000.

Le contexte historique de la construction du système énergétique de Berlin explique, comme nous l'avons vu au début de l'étude, la traditionnelle présence de la cogénération dans le mix énergétique de la ville. Les cogénérateurs installés jusque dans les années 1990 étaient relativement puissants puisqu'en 1990, on dénombrait 10 installations de cogénération sur le territoire pour 36,2 MWél de puissance électrique installée⁸⁹. Celle-ci a presque doublé en sept ans pour atteindre 70,4 MWél en 1997, le taux de croissance annuel moyen sur cette période s'élevant à 27%. Ce fort développement s'explique notamment par le fait que les législateurs de Berlin avaient mis en place, dès la réunification, des spécifications en terme

⁸⁷ Les décrets d'application de la loi française du 10 février 2000 ont fixé le tarif de rachat de l'électricité à partir de systèmes photovoltaïques à 0,15 €/kWh produit.

⁸⁸ La puissance photovoltaïque installée est de 278 MW en Allemagne, 28,3 MW aux Pays-Bas, 23 MW en Italie, 19 MW en Espagne et 17 MW en France (dont seule 1,5 MW est connectée au réseau).

Source : *Renewable energy journal*, n°13, novembre 2003.

⁸⁹ Cela représente une moyenne de 3,62 MWél de puissance électrique installée par cogénérateur.

d'achat public d'énergie dans le but de soutenir la part de la cogénération. Ces spécifications imposent, par exemple, aux gestionnaires des bâtiments publics de Berlin d'acheter au minimum 40% de leur électricité à partir de la cogénération et additionnellement, d'accroître de 2% par an la proportion d'électricité produite à partir de sources renouvelables⁹⁰.

Les données dont nous disposons s'arrêtent en 1998 et nous permettent de constater un plafond dans le développement de la puissance électrique installée des cogénérateurs qui s'établit à 70,6 MWél, alors même que le nombre d'installations a augmenté depuis 1996 pour passer de 52 à 62. Dix cogénérateurs d'une puissance électrique totale de 200 kW ont donc été installés pendant la période où le marché électrique allemand était entièrement libéralisé, ce qui représente une moyenne de 20 kW de puissance électrique installée par installation. Nous n'irons pas plus loin dans l'analyse du développement de la cogénération à Berlin mais il semblerait que la ville ait opté, à l'image de Francfort, pour le développement des micro-cogénérateurs, une des seules niches qui paraît avoir résisté à la libéralisation des marchés⁹¹.

4 LE CONCEPT DE CONTRACTUALISATION POUR LES ECONOMIES D'ENERGIE AU SEIN DES BATIMENTS PUBLICS

4.1 Explication du concept

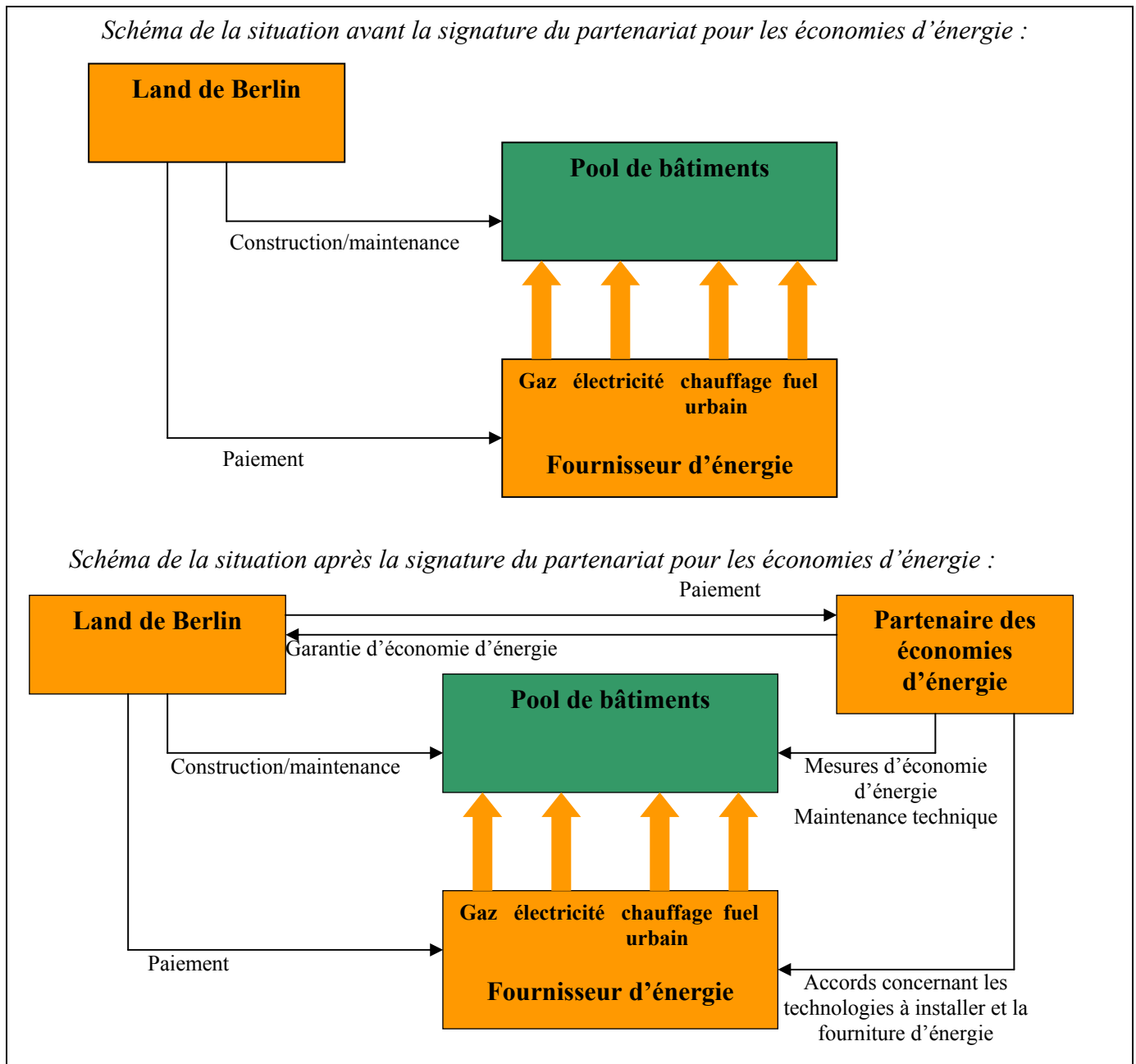
M. Wicke, secrétaire d'Etat à l'administration sénatoriale pour l'environnement de Berlin⁹² émet pour la première fois l'idée de « partenariat pour les économies d'énergie » en 1994, à la suite de la parution du plan d'action « Berlin économise l'énergie ». Ce plan a pour but de parvenir, malgré des budgets serrés, à exploiter le potentiel d'économies d'énergie existant au sein de ses bâtiments, en vue d'atteindre les objectifs fixés en matière de protection du climat. En effet, pour réduire de 25% ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2010, comparées à celles de 1990, le Sénat de Berlin identifie à l'époque, un besoin d'investissement de 510 millions d'euros pour améliorer l'efficacité énergétique de ses 6 000 bâtiments générant 256 millions d'euros de coûts liés à l'énergie. C'est dans ce contexte que l'Agence de l'énergie de Berlin et l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports, développent le concept de « partenariat pour les économies d'énergie », créant un modèle de financement par le privé, des investissements dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments municipaux. Ce concept s'apparente à un arrangement contractuel particulier, celui du contrat de performance énergétique avec garantie d'économie d'énergie et partage de celles-ci entre les partenaires, sur toute la durée du contrat. Illustrons le fonctionnement de ce concept par un schéma :

⁹⁰ Il est précisé qu'un tiers de cette électricité d'origine renouvelable doit être de « l'électricité solaire *made in Berlin* ».

⁹¹ La libéralisation des marchés dans le secteur de l'énergie représente une évolution structurelle de l'industrie ayant marqué un coup d'arrêt – peut être éphémère - dans le développement de l'industrie de la cogénération.

⁹² Aujourd'hui devenue l'administration du Sénat pour le développement urbain, l'environnement et les transports.

Schéma 4 – Fonctionnement d'un contrat de performance énergétique

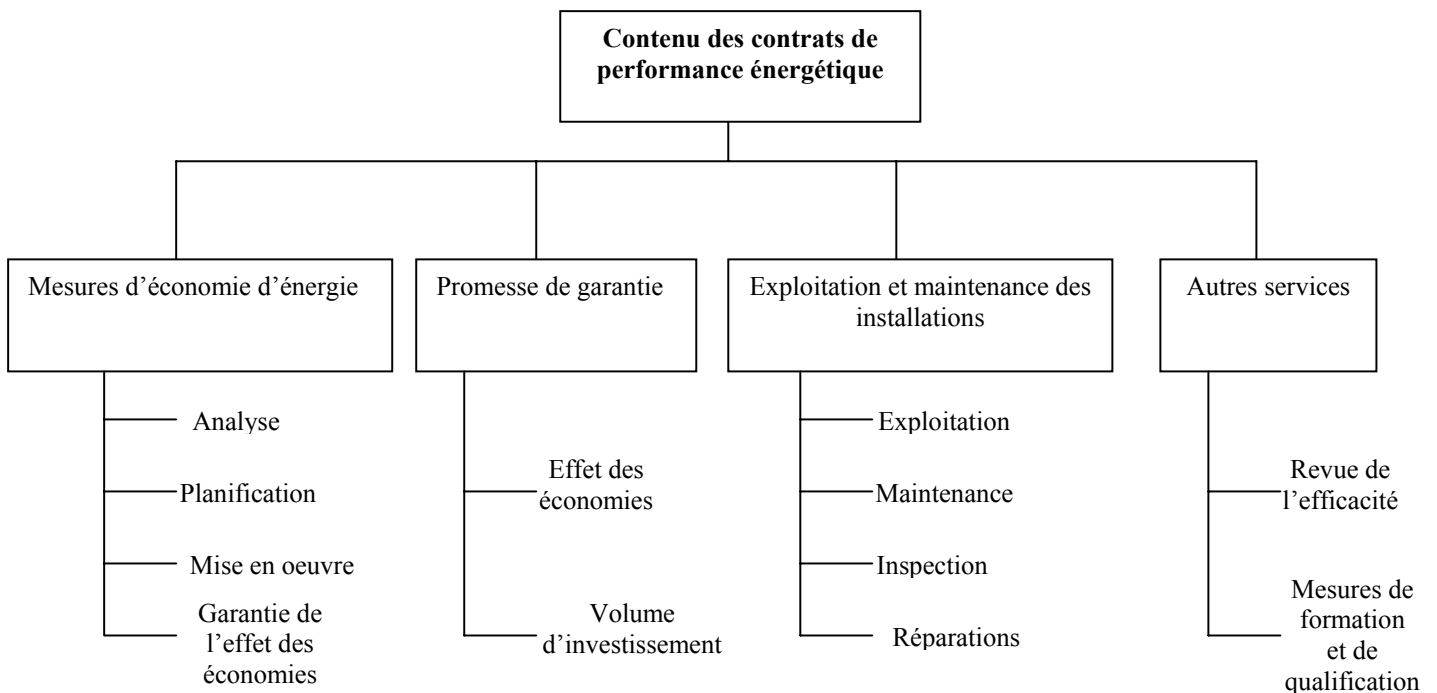


Source : Performance contracting – Energy saving partnership – A Berlin success model, Berliner Energieagentur, 2000.

Avant la signature du partenariat pour les économies d'énergie, le Sénat n'avait qu'une préoccupation en terme de gestion énergétique de ses bâtiments : le respect des contrats de fourniture d'électricité et de chaleur (gaz, fioul, chauffage urbain) signé avec ses fournisseurs. Avec le concept du contrat de performance énergétique, le client va transférer, en vue de réduire ses coûts liés à l'énergie, le financement, la planification, la mise en œuvre et le contrôle des mesures d'économie d'énergie à un « partenaire », appelé contractant. Grâce à ce dispositif de contractualisation pour les économies d'énergie, avec garantie de performance, les investissements nécessaires sont réalisés par le titulaire du contrat, une ESCO privé en général, et sont remboursés au travers des économies réalisées sur les coûts énergétiques. De son côté, le client public regroupe une partie de ses bâtiments dans des pools

dont la composition est hétérogène, de façon à permettre au contractant d'effectuer un calcul consolidé de la rentabilité entre des immeubles de performance différente [IEA, 2003].

Schéma 5 – Principaux éléments d'un contrat de performance énergétique



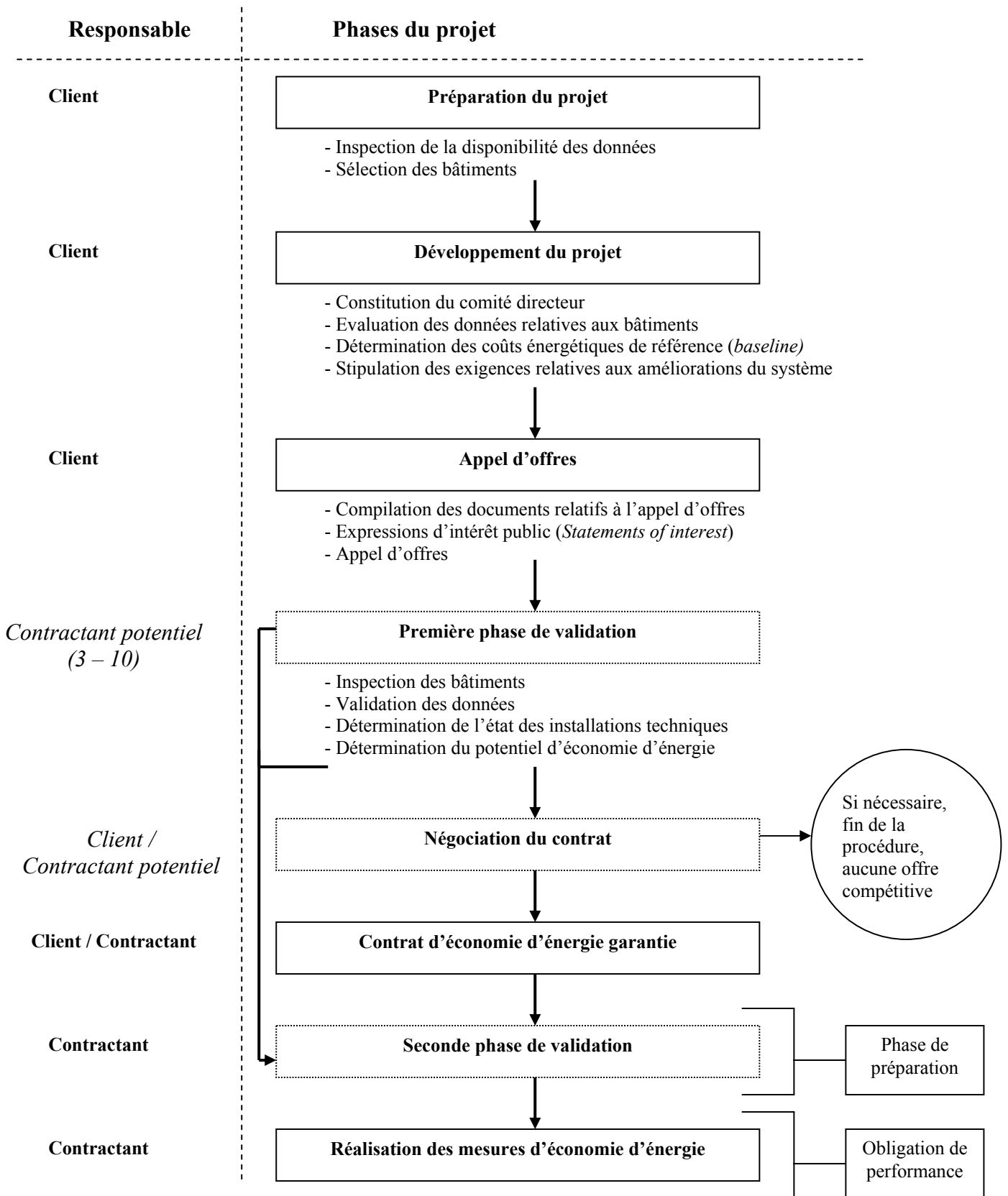
Source : Project development standard energy performance contracting, Berliner Energieagentur GmbH, 2000.

Au terme d'un appel d'offres européen lancé par l'Agence de l'énergie, le contractant s'engage sur une garantie d'économie d'énergie et prend en charge le financement, la planification, la mise en œuvre et la maintenance des installations. Les contrats de fourniture d'électricité et de chaleur existant entre le client et les fournisseurs d'énergie ne sont pas affectés par le projet⁹³ ; l'entreprise titulaire du contrat doit cependant s'accorder avec les fournisseurs sur les technologies à mettre en œuvre. Berlin a opté pour la signature de contrats de performance énergétique avec garantie d'économie d'énergie et partage de ces dernières entre les deux partenaires. Ce type de contrat garantit également un certain volume d'investissements de la part de l'entreprise titulaire ainsi que la réalisation de nombreux autres services, comme des programmes de formation du personnel par exemple. Dans cet arrangement contractuel particulier, l'entreprise rembourse l'ensemble des coûts du projet et réalise sa marge avec les économies sur les coûts énergétiques qu'elle aura réalisées. En termes financiers, il est important de comprendre que le paiement de l'investissement à partir des économies est à la fois fonction des coûts d'investissement totaux, des termes du contrat, du mode de financement de l'investissement et des économies générées [AECPA, 2002].

⁹³ Signalons qu'Electrabel a remporté l'appel d'offres concernant la fourniture d'électricité pour l'ensemble des bâtiments publics de la ville de Berlin pour la période 2005-2006. L'entreprise belge sera responsable de 70% des besoins totaux de la ville en électricité, ce qui représente une fourniture annuelle de 640 GWh.
Source : [http://www.electrabel.com/pressreleases/en/2004\\$20Half-yearly\\$20results_27082004.htm](http://www.electrabel.com/pressreleases/en/2004$20Half-yearly$20results_27082004.htm).

4.2 Les différentes étapes du processus de contractualisation

Schéma 6 – Mise en oeuvre d'un contrat de performance énergétique



Source : Project development standard energy performance contracting, Berliner Energieagentur GmbH, 2000.

Le schéma 6 nous renseigne sur les différentes phases de mise en œuvre d'un contrat de performance énergétique à Berlin⁹⁴ : préparation du projet, développement du projet, appel d'offres, première phase de validation, négociation du contrat, signature du contrat d'économie d'énergie garantie, seconde phase de validation et réalisation des mesures d'économie d'énergie. L'Agence de l'énergie de Berlin a été choisie comme consultant, au terme d'appel d'offres lancé par le Sénat de Berlin, sur tous les pools de bâtiments pour lesquels un contrat a été signé. La gestion du processus de contractualisation pour les économies d'énergie est donc déléguée à l'Agence de l'énergie, dès la phase initiale de préparation du projet et jusqu'à la fin de la réalisation des contrats. Le travail de montage et de gestion des projets d'économie d'énergie au sein du patrimoine de la ville de Berlin suit maintenant un processus bien établi dont nous allons successivement analyser chacune des étapes.

4.2.1 Préparation et développement du projet

La première étape consiste à établir le cadre initial du projet, à sélectionner les bâtiments et à commencer à rechercher les données les concernant. Un intense travail de collecte de données a ainsi été effectué pour les premiers partenariats puisque L'Agence berlinoise de l'énergie n'avait aucune vision globale des consommations énergétiques des bâtiments et coûts afférents⁹⁵. Celle-ci recommande d'ailleurs aux collectivités territoriales d'attribuer à leurs bâtiments des indicateurs énergétiques relatifs à leur consommation par exemple, en relation avec la surface à chauffer⁹⁶. A partir de ces indicateurs, les décideurs peuvent juger de façon relativement simple, si un bâtiment offre les conditions favorables pour la signature d'un contrat de performance énergétique⁹⁷. Après avoir défini les conditions

⁹⁴ Ces différentes phases peuvent en effet différer d'un arrangement contractuel à l'autre et d'un client à l'autre, nous nous concentrerons exclusivement dans cette partie sur l'analyse du processus de mis en oeuvre du contrat de performance énergétique à Berlin.

⁹⁵ Rappelons en effet que les premiers partenariats ont été signés en 1996 alors que la ville ne dispose d'une vision globale de ses consommations et coûts afférents depuis 1999 seulement.

⁹⁶ Le tableau suivant, extrait de « EPC manual » - projet européen SAVE Energy ProNet 2001/3 - montre des exemples d'indicateurs énergétiques pour les bâtiments publics en Suisse et en Autriche:

Tableau 5 – Indicateurs énergétiques* des bâtiments publics

Catégorie de bâtiments	Mauvaises valeurs (kWh/m ² par an)	Valeurs moyennes actuelles (kWh/m ² par an)	Valeurs désirées après rénovation (kWh/m ² par an)
Bâtiments administratifs	> 150	90 - 150	60 – 80
Jardins d'enfants	> 150	150 - 190	50 – 80
Logements administratifs	> 180	90 - 150	< 168
Ecoles	> 150	90 - 150	50 – 80

* Ces indicateurs concernent uniquement la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire

Source : Project development standard energy performance contracting, Berliner Energieagentur GmbH, 2000.

Signalons que les valeurs cibles désirées concernant l'usage électrique ou thermique de l'énergie dans les bâtiments anciens et neufs peuvent se trouver dans les standards d'efficacité nationaux. L'expérience montre que si les indicateurs du bâtiment sont supérieurs de 20 à 30% à la valeur désirée, il y a possibilité de signer un contrat de performance énergétique.

⁹⁷ Les bâtiments pressentis pour la signature d'un contrat de performance énergétique doivent avoir une consommation énergétique minimum, différente selon les pays (cf. Chapitre III 5.3.3.2) et les exigences des différents contractants. Pour Berlin, la consommation énergétique minimale d'un pool doit être de 510 000 euros pour que des offres soient déposées.

techniques, légales et organisationnelles nécessaires, les bâtiments appropriés pour le projet sont identifiés.

Ils sont ensuite regroupés au sein de pools, pendant la phase d'identification des données relatives aux bâtiments et à leurs consommations d'énergie. En regroupant des bâtiments différents, du point de vue de leur utilisation, de leur potentiel d'économie d'énergie, etc., l'Agence berlinoise de l'énergie crée non seulement un effet de masse qui va diminuer les coûts de transaction relatif à chaque appel d'offres ; mais elle évite également que des bâtiments apparemment moins intéressants ne soient laissés de côté [IEA, 2003]. Outre le fait d'engendrer des économies d'échelle, cette méthode permet de réduire les coûts de préparation des appels d'offres ainsi que les coûts administratifs associés à la gestion des contrats. Un autre avantage se manifeste également par le biais du changement de mentalité opéré dans le processus de décision de l'administration avec la création d'une unité spécialisée, chargée de la promotion de ce contrat.

Une fois la sélection des bâtiments effectuée, un comité directeur est constitué autour du projet et intervient dès son développement. Après s'être livré à une description des sites du pool, il évalue quelques uns de ses critères fondamentaux comme par exemple les coûts énergétiques des bâtiments qui le composent ou l'intensité de leur utilisation, à la fois du point de vue du nombre d'heures d'utilisation et du nombre d'usagers. Ce n'est qu'après avoir calculé ces paramètres fondamentaux qu'il définit les objectifs à atteindre ainsi que le planning de mise en œuvre des investissements, puis réunit les parties concernées. La consommation énergétique des bâtiments et les coûts associés vont permettre d'une part de définir la consommation de référence du pool à partir de laquelle les économies à réaliser sont définies, et d'autre part de préciser les besoins du client dans le détail. La recherche du meilleur contractant possible s'effectue alors au travers d'un appel d'offres européen, lancé par l'Agence de l'énergie, pour la signature d'un contrat de performance énergétique.

4.2.2 Lancement de l'appel d'offres européen

La procédure de l'appel d'offres comporte plusieurs étapes. L'agence de l'énergie doit tout d'abord se lancer dans une phase de pré-qualification⁹⁸ du contractant potentiel⁹⁹ au terme de laquelle elle sera en capacité d'éliminer un certain nombre de candidats. Ce n'est qu'après avoir statué sur l'intérêt porté au projet par les contractants potentiels que l'Agence invite ces derniers à soumettre une offre en leur précisant notamment les coûts de référence du pool, les critères d'évaluation de l'offre et le modèle de contrat envisagé¹⁰⁰. Une tâche importante pour l'Agence consiste à intégrer, dès ce stade de la compétition, les petites et moyennes entreprises au sein du contrat des soumissionnaires, ceci afin de favoriser l'emploi

⁹⁸ Également appelé expression d'intérêt public.

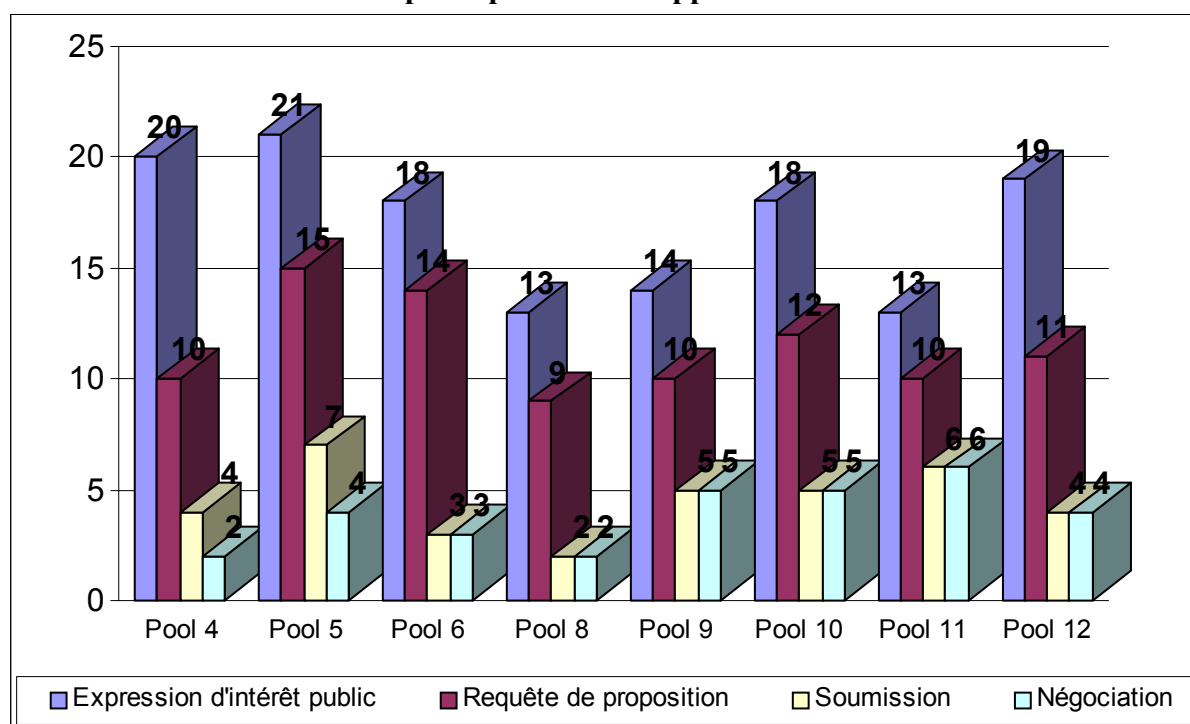
⁹⁹ C'est à dire des entreprises potentiellement capables, selon le client, de soumettre une offre.

¹⁰⁰ L'Agence de l'énergie de Berlin nous renseigne sur le contenu des documents qu'elle fournit aux futurs contractants lors de l'appel d'offres : cibles du projet ; commission pour la préparation des documents ; détermination de la rémunération ; cadre général et *draft* de l'*energy saving guaranteed contract* ; agenda prévisionnel ; critères de mises en œuvre ; données énergétiques sur les bâtiments [Berliner Energieagentur, 2000].

local¹⁰¹. Après cette première phase de validation, les futurs contractants élaborent leurs offres respectives. Ils doivent notamment réaliser un audit, valider les données fournies par le client, déterminer le niveau de la garantie d'économie d'énergie et définir le catalogue des mesures d'investissement envisagées.

Une fois que les soumissionnaires à l'appel d'offres ont finalisé et envoyé leurs offres, on passe à la phase de négociation et d'évaluation de ces offres. Il est possible à ce stade qu'aucune offre ne soit compétitive, auquel cas la procédure s'arrête. En règle générale, il y a toujours une offre intéressante que l'Agence évalue et améliore par le biais de négociations avec le futur contractant. Ces dernières permettent aux deux partenaires de s'accorder, par exemple, sur le niveau et le type d'investissement à réaliser. A Berlin, les critères de sélection des contractants sont la situation économique de l'entreprise soumissionnaire¹⁰², ses perspectives de croissance, ses références et son expérience dans la fourniture de services similaires, dans la réalisation d'un contrat de performance énergétique, dans le *facility management*, la fourniture d'énergie et la gestion [Müschen, 2000]. Comme nous le montre le graphique 24, chaque appel d'offres aboutit, en général, à plus d'une vingtaine de réponses de la part d'entreprises ou de consortium d'entreprises oeuvrant dans les services énergétiques.

Graphique 24 – Nombre d'entreprises candidates à chaque étape du processus d'appel d'offres



Source : *Third party financing of energy efficiency measures in buildings*, Goldman, 2004.

Ce graphique nous renseigne, pour la moitié des pools constitués à Berlin, sur le nombre d'entreprises candidates à chaque étape de la sélection du futur contractant. On voit

¹⁰¹ C'est un point très important grâce auquel de nombreux obstacles peuvent être surmontés puisque favoriser l'efficacité énergétique devient politiquement acceptable.

¹⁰² La situation économique des entreprises soumissionnaires est reflétée en Allemagne, dans les rapports d'affaire et de certification du DIN, d'ISO et de l'öko audit.

ainsi que les entreprises sont relativement nombreuses au départ, entre 13 et 21, à exprimer leur intérêt et prendre connaissance du projet. Leur nombre diminue en moyenne de 33% entre l'expression d'intérêt public et la requête de proposition exprimée par le client. Elles sont en effet entre 9 et 15 à se voir adressées une requête de propositions. C'est entre cette étape et la soumission ferme de l'offre qu'il y a le plus de sélection et d'abandons puisque le nombre d'entreprises soumettant une offre est compris entre 2 et 7 ; il a ainsi diminué en moyenne de 69% par rapport au nombre d'entreprises s'étant vues adressées une requête de propositions, et de plus de 83% par rapport au nombre d'entreprises ayant exprimé leur intérêt par rapport au projet. Les quelques entreprises étant parvenues jusqu'à l'étape du dépôt de l'offre, négocie ensuite directement avec l'Agence de l'énergie de Berlin afin de la finaliser¹⁰³. La concurrence est alors ouverte et les négociations pour désigner le contractant titulaire de la gestion énergétique du pool en question peuvent commencer. Les critères de sélection des offres à Berlin sont les suivants :

- Part du client dans le partage des économies d'énergie,
- Montant total d'économie d'énergie,
- Part des économies additionnelles revenant au client,
- Termes du contrat,
- Montant et structure des investissements,
- Bénéfices écologiques,
- Garantie de maintenance et de réparations,
- Existence de programmes d'éducation et de motivation des utilisateurs aux économies d'énergie.

¹⁰³ A l'exception notable du pool 4 et 5 pour lesquelles le client a préféré rejeter respectivement 2 et 3 offres qui lui ont été remis sans même attendre l'étape de la négociation.

**Tableau 24 – Exemple d’application d’un outil standardisé
d’évaluation des offres pour le pool 5**

	Entreprise A	Entreprise B	Entreprise C	Entreprise D
Garantie d’économie	23,6 % soit 681 000 euros	22 % soit 635 000 euros	27,9 % soit 807 000 euros	23 % soit 664 000 euros
Participation du client	6,72 % soit 194 000 euros	8,6 % soit 190 000 euros	6,77 % soit 195 000 euros	5,96 % soit 172 000 euros
Investissement	3,34 Mo €	3,1 Mo €	3,1 Mo €	3 Mo €
Durée du contrat	14 ans	14 ans	14 ans	14 ans
Score de l’évaluation (sur 1000)	876	724	750	677

Source : Energy savings partnerships : energy performance contracting made in Berlin – hundred ways to sign contracts, Seefeldt, 2004.

Le tableau 24 illustre parfaitement la façon dont est réalisée l’évaluation finale des différentes offres concurrentes, par l’Agence berlinoise de l’énergie. Celle-ci pondère au préalable chacun des critères d’évaluation¹⁰⁴ en fonction de l’importance qu’il veut leur accorder ; cette pondération peut varier selon les pools. Elle va ensuite attribuer une note à chacun de ses critères d’évaluation, notes différenciées par offre. Pour le pool 5, l’Agence a procédé à l’évaluation de quatre offres et son choix s’est porté sur l’entreprise A¹⁰⁵. L’offre de cette dernière était la plus importante en terme de garantie d’investissements et c’est ce qui a sûrement penché en sa faveur. En effet, toutes les offres proposaient un contrat d’une durée similaire et seule l’entreprise C garantissait une économie d’énergie d’un niveau plus élevé mais avec un partage des économies relativement plus favorable pour le contractant que celui proposé par l’entreprise A.

4.2.3 Signature du contrat de performance énergétique

Au départ, la répartition des responsabilités entre l’administration et le contractant a été difficile à établir car il n’existait aucun contrat de ce type. Le succès des contrats signés pour les deux premiers pools – en un an, plus de 5 millions d’euros ont été investis dans l’amélioration de l’efficacité énergétique des bâtiments – ont alors persuadé les initiateurs du projet de transformer ce concept en un produit de série¹⁰⁶. L’administration sénatoriale pour le développement urbain et l’Agence berlinoise de l’énergie ont alors établi, avec l’aide d’un

¹⁰⁴ Nous ne disposons malheureusement pas de la pondération des critères utilisée par Berlin. Nous croyons seulement savoir que la somme de ces coefficients de pondération est égale 1000.

¹⁰⁵ Le tableau 6 ne nous montre pas le détail de l’évaluation et la note attribuée à chaque critère pour chacune des offres, il fait juste apparaître le score global, ce qui nous empêche de raisonner en relatif. Nous sommes ainsi condamnés à émettre des hypothèses pour expliquer les raisons qui ont poussé le Sénat de Berlin à choisir l’entreprise A plutôt qu’une autre.

¹⁰⁶ Cf. « Hessian guidelines for contracting in state buildings ».

cabinet d’avocats, un modèle de contrat de garantie des économies d’énergie, à partir de l’expérience des contrats signés pour les deux premiers pools. Ce contrat type contient, entre autres, une déclaration selon laquelle la propriété des investissements réalisés est transférée au propriétaire du bâtiment à partir du moment où ils ont été installés. Les mesures prises par les contractants varient selon les bâtiments concernés, elles ont le plus souvent trait à l’installation d’automates dans les bâtiments, au renouvellement des chaudières, à la pose de système de régulation, à l’installation de valves thermostatiques, de système d’optimisation de l’éclairage ainsi qu’aux programmes de formation des utilisateurs sur les opportunités offertes par les économies d’énergie [*Energy innovations*, 2002].

Après l’étape de la signature du contrat de performance énergétique, on peut distinguer deux phases dans sa réalisation. On a d’abord une phase initiale de préparation du projet et de réalisation des investissements puis une phase d’exploitation et de maintenance pour laquelle les risques sont appréhendés au travers de formules mathématiques de calcul de risque de prix, de changement dans l’utilisation du bâtiment et de changement des conditions climatiques. Passons à l’analyse du partage des risques entre le propriétaire des bâtiments et le contractant :

Tableau 25 – Allocation des risques entre propriétaire et contractant

Type de risques	Assumé par le propriétaire ou le contractant
Risque d’utilisation	Assumé par le propriétaire Modification de la garantie d’économie d’énergie si changement de l’utilisation du bâtiment.
Risque sur les prix de l’énergie	Assumé par le propriétaire Si augmentation des prix, il faut protéger le contractant. Si diminution, bénéfice pour le propriétaire.
Risque technique	Assumé par le contractant C’est la garantie de performance qui joue, condition technique et disponibilité.
Risque économique	Assumé par le contractant Risque de taux d’intérêt, risque de non réalisation des investissements par les sous-contractants
Risque de propriété	L’équipement est transféré au propriétaire de l’installation dès qu’il a été installé.

Source : Graphique réalisé par l’auteur, 2005.

Le contractant a l’entière responsabilité de l’exploitation des équipements techniques et assume donc le risque de panne ou de casse du matériel. Il garantit, en plus, au client un minimum d’économie d’énergie et doit donc supporter seul, le risque de changement possible du niveau des taux d’intérêt octroyé par la banque. Il assume également un autre risque économique lorsqu’il sous-traite une partie des activités, celui de la non réalisation des

investissements. Quant à lui, le client doit fournir au contractant une base de calcul fiable des économies d'énergie pendant toute la durée du contrat. Il doit notamment ajuster la consommation de référence aux possibles changements de température, de conditions climatiques, d'utilisation du bâtiment ou des prix de l'énergie [IEA, 2003]. « Cela implique donc par exemple, que si l'utilisation du bâtiment s'intensifie, le client devra en supporter des coûts additionnels ». A la fin du contrat, un audit du système énergétique est réalisé et permet au client de s'assurer qu'il fonctionne dans de bonnes conditions.

Signalons que le taux de croissance incessant des équipements consommateurs d'électricité pose problème car il vient influencer substantiellement le succès économique du contrat de performance énergétique. En effet, les deux premiers pools montrent en 2000, un taux d'équipement en PC qui a augmenté de plus de 100% par rapport à 1996, passant de 4 000 ordinateurs en 1996 à 10 000 en 2000 [Geissler, 2002]. La part des technologies de l'information dans la consommation d'électricité est ainsi passée de 6% à 18% alors même que la consommation d'électricité de ces deux pools a diminué de 21%. Cette caractéristique a eu un effet considérable sur les contractants puisque ceux-ci ont vu leurs économies d'énergie être dévorées par les équipements additionnels ; heureusement pour eux, la couverture de ce risque est assurée au travers du contrat. En effet, le nombre de PC est enregistré chaque année, et intégré dans la formule de calcul des économies annuelles. Le surplus dans les coûts énergétiques dû à un degré d'équipements dans les technologies de l'information plus élevé est exclusivement couvert par le Sénat de Berlin¹⁰⁷.

4.3 Caractéristiques des contrats de performance énergétique signés à Berlin

• La phase de développement du projet

Sa durée est habituellement comprise entre 6 et 8 mois. A Berlin, le pool de bâtiments soumis à l'appel d'offres européen doit avoir une consommation d'énergie minimale dont les coûts s'élèvent au moins à 510 000 euros, pour qu'un contractant y réponde et présente une offre.

¹⁰⁷ Selon Geissler, utiliser les standards d'étiquetage GEEA comme critère d'achat pour les équipements de bureau de tous les bâtiments impliqués dans les pools aurait pour effet de diminuer de près de 25% les coûts de fourniture de l'énergie pour ces équipements efficaces. Les standards d'efficacité énergétique pourraient contrecarrer les importants taux de croissance des équipements mais le résultat d'un sondage (Betarungs – und – Servicegesellschaft Umwelt GmbH (BSU) in « Energy labels – making a greener choice », *Survey within the EU SAVE project*, octobre 2003) effectué auprès de 100 acheteurs allemands publics et privés a montré que leur connaissance en terme d'achat vert et de savoir-faire dans la mise en œuvre des différents groupes de produits, est très faible [Kallmann, 2004].

• La garantie d'économie d'énergie

Une garantie d'économie qui porte sur les consommations/coûts énergétiques d'un large pool incluant différents bâtiments municipaux et donc différents potentiel d'économie d'énergie réduit le taux de cette garantie - *contracting rate*. Si les économies d'énergie annuelles réalisées n'atteignent pas le niveau stipulé dans le contrat, la différence est prise en charge par le contractant. Par contre si elles atteignent un niveau supérieur à la garantie d'économies d'énergie, le contractant aura une prime équivalent à un pourcentage sur les économies additionnelles réalisées. Si la municipalité est satisfaite de la réalisation du contrat, elle peut demander des services additionnels à son contractant comme par exemple l'intégration de la cogénération dans le cahier des charges [Geissler, 2004]. La garantie du contractant assure au client :

- Une réduction annuelle des coûts énergétiques d'un certain montant,
- Des mesures et des équipements performants,
- Des critères de confort garantis (température intérieure, renouvellement de l'air, etc.),
- La réalisation d'investissements physiques pour un montant stipulé dans le contrat,
- Des programmes de formation/motivation concernant les opportunités offertes par les économies d'énergie, à destination des personnels et utilisateurs des bâtiments.

• Les rapports d'analyse et de suivi des consommations énergétiques

Les contrats signés à Berlin contiennent une obligation de rédaction de documents de la part du contractant. Celui-ci fournit des rapports d'information concernant le pool à partir d'une suite de tendances et d'outils lui permettant d'analyser la consommation et la demande énergétique. Ces rapports incluent le détail des consommations énergétiques de presque tous les sites du pool. Ces profils de consommation permettent par exemple, de voir l'effet d'un déplacement ou d'un tassement de la courbe de charge ainsi que l'effet d'un effacement en pointe. L'outil converse les données en paramètres et ratios facilement interprétables.

• Facteurs clés de succès

L'Agence berlinoise de l'énergie est un élément essentiel du dispositif de contractualisation pour les économies d'énergies mis en place à Berlin. Son rôle au sein du partenariat pour les économies d'énergie est triple :

- Elle se charge du suivi de l'installation des équipements nécessaires à l'exploitation du potentiel d'économie d'énergie au sein des pools,
- Elle s'occupe de la planification, du financement, de la mise en œuvre et du suivi de la fourniture des services énergétiques,
- Elle a également la responsabilité cruciale du contrôle de la diminution des consommations d'énergie.

Les autres facteurs clés de succès sont :

- Un partenariat dans la collecte d'information et dans la réalisation des mesures,
- Un financement de la totalité des investissements assuré par les économies d'énergie,
- Un modèle de contrat (ou contrat type) diminuant les coûts de transaction,
- Les rapports d'analyse et de suivi des consommations énergétiques,
- Un client unique : dans le premier pool, il y avait six ou sept autorités responsables différentes. Pour éviter les conflits d'intérêt, il n'y avait plus qu'une seule administration cliente pour le deuxième pool ; les bâtiments regroupés au sein du pool étant tous situés dans le même district [*Müschen*, 2003].

Au final, le contrat de garantie d'économie d'énergie permet de réguler à la fois le niveau et la structure de l'investissement, le niveau et la répartition des économies annuelles, la mise en place, le contrôle et la maintenance des mesures d'économie d'énergie, la durée du partenariat et des droits de propriété et d'usage du système énergétique.

5 SYNTHÈSE DES CONTRATS DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE SIGNÉS PAR BERLIN ET EXEMPLE DE QUELQUES POOLS

5.1 Synthèse

Nous avons réuni dans le tableau 26 l'ensemble des caractéristiques des contrats de performance énergétique signés à Berlin pour 17 pools de bâtiments¹⁰⁸ : nombre de bâtiments inclus dans chaque pool, coûts de référence, consommation énergétique de référence, titulaire du contrat, date de début et de fin du contrat, durée du contrat, investissement garanti, garantie d'économie d'énergie en pourcentage et en euro, réduction des émissions de CO₂, économies budgétaires garanties pour le client en pourcentage et en euros, participation additionnelle du client en pourcentage. Nous nous proposons, avant d'étudier - dans la partie suivante - plus en détail quelques uns des contrats, de commenter cette synthèse des partenariats à la suite des deux tableaux.

¹⁰⁸ Nous avons failli avoir accès aux données de l'intégralité des pools de bâtiments constitués à Berlin. Au final, il nous manque malheureusement des données concernant 4 contrats car à notre connaissance, 21 contrats de performance énergétique ont été signés par Berlin.

Tableau 26 - Synthèse des partenariats pour les économies d'énergie à Berlin

	Pool 1	Pool 2	Pool 3 Treptow	Pool 4 Pankow	Pool 5	Pool 6	Pool 9 Friedrichshain
Nombre de bâtiments	37	42	37	55	36	24	30
Coûts de référence (€)	3 949 000	5 476 000	2 699 000	2 075 000	1 478 000	671 000	1 091 000
Consommation de référence (en MWh/an)	78 000	100 000	52 540	49 513	27 470	17 121	21 952
Contractant	Arge ESP Bewag/Landis & Gvr GmbH	SFW GmbH, Büro Berlin	Arge ESP: Siemens Landis & Staefa GmbH / Bewag	Johnson Controls, JCI Regelungstechnik GmbH	HEW Contract GmbH	Johnson Controls, JCI Regelungstechnik GmbH	Arge MVV Energie AG, WFM GmbH & Co
Début du contrat	01.04.1996	01.04.1996	01.05.1998	12.04.1999	01.07.2000	01.04.2000	31.01.2001
Début de la phase principale de performance	01.04.1996	01.04.1996	01.10.1998	01.03.2000	01.01.2001	01.02.2001	01.10.2001
Durée du contrat	12 ans ³ / ₄	12 ans ³ / ₄	12 ans	14 ans	14 ans	14 ans	10 ans
Investissement garanti	3 119 000	3 530 000	1 562 000	1 771 000	2 292 000	598 000	939 000
Garantie d'économie d'énergie (en %)	20 %	20 %	15,7 %	24,2 %	23,58 %	22 %	19,67 %
Garantie d'économie d'énergie (en €)	790 000	1 369 000	424 000	502 000	349 000	148 000	215 000
Réduction d'émissions de CO₂ (en tonnes)	8 300	5 400	3 000	2 500	1 100	1 000	925
Economies budgétaires garanties pour le client (%)	7,54 %	9,28 %	7,28 %	7,10 %	6,72 %	4 %	3,46 %
Economies budgétaires garanties pour le client (€)	298 000	508 000	197 000	147 000	99 000	27 000	38 000
Participation additionnelle du client (en %)	?	?	10 %	80 %	50 %	50 %	90 %

	Pool 11_ Steglitz- Zehlendorf	Pool 12 Bäderbetriebe	Pool 13 Université technique de Berlin	Pool 14 Kreuzberg	Pool 15 Université des arts de Berlin	Pool 16 FEZ Wuhleide	Pool 17 JVA	Somme
Nombre de bâtiments	41	11	6	22	9	1	1	361
Coûts de référence (€)	1 285 000	4 871 000	1 110 000	1 452 000	862 000	682 000	1 817 812	30 446 986 €
Consommation de référence (en MWh/an)	37 140	Energie : 51 141 MWh Eau : 637 270 m ³ /an	Energie : 23 024 MWh Eau : 50 000 m ³ /an	Energie : 26 192 MWh Eau : 43 499 m ³ /an	17 408 MWh/an	Energie : 10 954 MWh Eau : 49 000 m ³ /an	Energie : 33 912 MWh Eau : 192 643 m ³ /an	Energie 535 414 MWh/an Eau 779 769 m³/an
Contractant	SFB GmbH, Büro Berlin	Landis & Staefa/ Siemens Building Technologies GmbH	Siemens Landis & Staefa GmbH	ARGE ESP 14 (Imtech Contracting/edl Boysen)	Siemens Landis & Staefa GmbH	MVV Energie AV	Siemens Building Technologies (SBT)	
Début du contrat	17.07.2001	11.12.2002	01.06.2003	09.12.2002	13.06.2003	17.09.2003	29.04.2004	
Début de la phase principale de performance	01.06.2002	01.10.2003	01.07.2004	01.08.2003	01.07.2004	01.01.2004	01.01.2005	
Durée du contrat	12 ans	10 ans	12 ans	10 ans	10 ans	10 ans	12 ans	11,8 ans
Investissement garanti	920 000	7 926 000	1 660 000	1 492 000	1 085 000	737 000	2 732 200	30 916 383 €
Garantie d'économie d'énergie (en %)	22 %	33,54 %	24,59 %	29 %	27,65 %	26,04 %	33,34 %	24,38 %
Garantie d'économie d'énergie (en €)	283 000	1 634 000	273 000	421 000	238 000	177 000	606 000	7 635 737 €
Réduction d'émissions de CO₂ (en tonnes)	2 773	4 938	2 045	2 543	1 180	1 467	4 686	44 210 t CO₂
Economies budgétaires garanties pour le client (%)	2,42 %	6,71 %	5,41 %	5,85 %	4,76 %	4,11 %	8,91 %	5,97 %
Economies budgétaires garanties pour le client (€)	31 000	326 000	60 000	85 000	41 000	28 000	162 000	1 928 000 €
Participation additionnelle du client (en %)	90 % année 1 ; 75 % année 2 ; 50 % à partir de l'année 3	30 %	50 %	60 %	50 %	50 %	50 %	52 %

Le mécanisme de contractualisation pour les économies d'énergie a été mis en place à Berlin au sein de 17 pools regroupant 361 bâtiments au total, soit un peu plus de 6% des bâtiments municipaux. A titre indicatif, signalons que le plan énergie triennal 2000-2003 de Berlin prévoyait que le concept des contrats de performance énergétique s'applique, au minimum, d'ici 2003, dans 30% des bâtiments publics, soit 1800 bâtiments. L'objectif initial n'est donc pas atteint mais les contrats signés couvrent tout de même 12% des coûts énergétiques - 30,5 millions d'euros - et 14,5% de la consommation énergétique - 535 GWh - des bâtiments gérés par la ville. Les compagnies gérant ce type de projets incluent des multinationales comme Honeywell, Johnson Controls et Siemens Building Technologies, entreprises qui s'engagent avec le client sur des contrats d'une durée moyenne de 11,8 ans.

Au total, les contractants ont signé des contrats de performance énergétique en s'engageant sur des garanties d'économie d'énergie moyenne de 24,38 % par rapport aux coûts de référence des pools. La garantie d'économie d'énergie totale s'élève ainsi à plus de 7,7 millions d'euros chaque année, ce qui équivaut à une réduction annuelle de plus de 3% de la consommation énergétique des 6 000 bâtiments gérés par la ville. Au terme du partage des économies, le Sénat de Berlin est garanti de voir son budget énergie diminuer de 6% par rapport aux coûts de référence des pools, ce qui représente une économie annuelle de plus de 1,9 millions d'euros. Les contrats de performance énergétique ont donc permis jusqu'à présent de diminuer de près de 0,8% la facture énergétique annuelle globale de la ville de Berlin. Ces arrangements contractuels garantissent également un investissement de près de 31 millions d'euros dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ; investissements devant aboutir in fine à une réduction de 42 210 tonnes des émissions de CO₂. Pour finir, signalons qu'en cas de réalisation d'économies additionnelles de la part de l'entreprise titulaire du contrat, un peu plus de la moitié (52%) revient en moyenne au client.

5.2 Description des caractéristiques des contrats de performance énergétique de quelques pools de bâtiments¹⁰⁹

5.2.1 Pool 3 : Treptow

<i>Nombre de bâtiments :</i>	37 (écoles, jardins d'enfants, etc.)
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	2 699 000 €
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	52 540 MWh
<i>Contractant :</i>	Arge ESP : Siemens Landis & Staefa / Bewag Energie management
<i>Durée du contrat :</i>	12 ans (Mai 1998-Octobre 2010)
<i>Coûts d'investissement :</i>	1 562 000 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	15,7% (sur les coûts énergétiques uniquement)
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	424 000 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	3 000 t en 2000
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	7,28%
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	196 637 €/an
<i>Client :</i>	Land de Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i>	mesures techniques (conversion de source d'énergie dans certains bâtiments, optimisation du chauffage, de l'éclairage, de la ventilation et de la régulation), motivation des utilisateurs, contrôle des consommations.

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 3 comprenant 37 bâtiments est un contrat type « *EPC Plus technology* », avec intégration de mesures obligatoires pour le contractant comme par exemple la conversion de sources d'énergie. Le consortium d'entreprises formé par Siemens et Bewag s'est engagé à garantir annuellement et pendant 12 ans, 424 000 euros d'économie sur les coûts énergétiques du pool, soit 16% d'économie d'énergie par rapport à la situation de référence. Afin de respecter cet engagement, le contractant a estimé son besoin d'investissement à 1,5 million d'euros minimum sur toute la durée du contrat qui est de 12 ans. Avec ce pool, le Land de Berlin est assuré d'économiser au minimum 196 637 €/an, soit une réduction de plus de 7% du budget énergie du pool 3. Ceci correspond à un contrat de partage d'économie d'énergie 46-54 entre le client et le

¹⁰⁹ L'ensemble des données de cette partie est extrait de la brochure sur les contrats de performance énergétique éditée par l'Agence de l'énergie de Berlin ainsi que des fiches du réseau *OPET Network*.

contractant¹¹⁰ sur toute la durée du contrat. En 2010, à l'expiration du contrat, le district client percevra l'intégralité des économies – 424 000 €.

Avec les programmes de motivation/formation sur les économies d'énergie à destination du personnel et des utilisateurs des bâtiments, des économies additionnelles peuvent être réalisées sur les coûts énergétiques. Un partage est ainsi effectué entre le contractant et le client ; ce dernier conserve 10% des économies additionnelles. Un contrat supplémentaire a été signé entre le contractant et les écoles grâce auquel une activité continue d'information sur les possibilités d'économie d'énergie est réalisée à destination des élèves et des professeurs. Le principal problème à la réalisation de ce type de contrat réside dans la continuité des vérifications des mesures d'efficacité énergétique. Signalons qu'un des facteurs clés de succès de ce contrat tient à l'intégration des fonds d'investissement « écologiques » dans le plan de financement du projet.

Tableau 27 – Evolution de la consommation d'énergie du pool 3 (kWh/m² par an) après la signature du contrat de performance énergétique

	Consommation de référence avant la signature du contrat	Consommation garantie après signature du contrat	Résultat réel (2002)
Chaleur	227,1	191,4	179
Electricité	37,9	32	28
Total	265	223,4	207

Comme on le voit sur le tableau 27, la signature de ce contrat pour les 37 bâtiments regroupés au sein du pool 3 garantit au Land de Berlin une diminution des consommations de chaleur et d'électricité de 18,6%/an au minimum. Le contractant s'est en effet engagé à réduire les consommations d'électricité et de chaleur du pool de 265 kWh/m² par an à 223,4 kWh/m² par an. Ce contrat, d'une durée de 12 ans, a débuté en 1998. En 2002, soit quatre ans après la signature du contrat, les mesures des consommations d'énergie relatives au pool 3 nous révèlent que le contractant est allé bien au delà de la garantie d'économie d'énergie contractuelle. En effet, la consommation du pool n'est plus que de 207 kWh/m² par an et a donc diminué de près de 28% par rapport à la consommation de référence, ce qui nous montre l'efficacité de ce processus de contractualisation pour les économies d'énergie. Il faut dire que le contractant est particulièrement incité à réaliser des économies d'énergie au delà de la garantie puisqu'il perçoit 90% des économies additionnelles.

¹¹⁰ Cela signifie que Siemens et Bewag s'accaparent 54% des économies d'énergie qu'ils réaliseront, pourcentage qu'ils ont estimé suffisant pour refinancer leurs investissements et conserver un taux de profit raisonnable.

Tableau 28 – Evolution des coûts relatifs à la fourniture d'énergie du pool 3 (€/m²) après la signature du contrat de performance énergétique

	Coûts de référence avant signature du contrat	Coûts garantis après signature du contrat	Résultat réel (2002)
Chaleur, électricité	14,2	12,0	10,5

Au niveau des coûts, et non plus des consommations, la signature de ce contrat garantit au Land de Berlin une diminution de près de 18%, ce qui équivaut à une réduction des coûts énergétiques de 14,2 €/m² à 12 €/m². Les résultats réels de 2002 nous révèlent que les coûts énergétiques du pool 3 sont finalement tombés à 10,5 €/m², soit plus de 35% de réduction par rapport à la situation initiale ! Le contractant a donc, grâce à ses investissements, réalisé près de 15% d'économies supplémentaires sur les coûts énergétiques du pool ; économies qu'il s'accapare à 90%.

5.2.2 Pool 4 : Pankow

<i>Nombre de bâtiments :</i>	55 (écoles, jardins d'enfants, etc.)
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	2 075 000 €/an
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	49 513 MWh/an
<i>Contractant :</i>	Johnson Controls, JCI Regelungstechnik GmbH
<i>Durée du contrat :</i>	14 ans (Avril 1999-Mars 2014)
<i>Coûts d'investissement :</i>	1 771 000 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	24,2 % (sur les coûts énergétiques uniquement)
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	502 000 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	2 500 t
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	7,10%
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	147 000 €/an
<i>Client :</i>	Land de Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ; Bezirksamt Pankow von Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i>	techniques (optimisation du chauffage, de l'éclairage, de la ventilation et de la régulation), motivation des utilisateurs, contrôle des consommations.

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 4 comprenant 55 bâtiments est un contrat type « *Easy EPC technology* », pour lequel le contractant met en place des mesures classiques d'économie d'énergie comme l'optimisation des consommations liées au chauffage, à la ventilation ainsi que le contrôle des consommations au fur et à mesure de l'avancée du contrat. L'entreprise titulaire du contrat, Johnson Controls, s'est engagée sur une garantie d'économie d'énergie annuelle de 24,2% par rapport à la situation de référence, ce qui représente 502 000 €/an. Afin d'y parvenir, il a estimé le besoin d'investissement minimum à près de 1,8 millions d'euros sur les 14 ans de la durée du contrat¹¹¹. Avec le pool 4, Berlin est assuré d'économiser au minimum 147 000 €/an, soit une réduction de plus de 7% du budget énergie de ce pool. Ceci correspond à un contrat de partage d'économie d'énergie 30-70 entre le client et le contractant sur toute la durée du contrat. En 2014, à l'expiration du contrat, le district client percevra l'intégralité des économies – 502 000 €.

A la différence du pool 3, le programme de formation/motivation du personnel technique et des utilisateurs du bâtiment est beaucoup plus attrayant pour ces derniers puisqu'ils conservent 80% des économies additionnelles sur les coûts énergétiques. Notons que la signature de ce contrat n'a pas posé problèmes importants et qu'à l'instar du pool 3, des fonds d'investissement « écologiques » ont été intégrés dans le plan de financement du projet.

¹¹¹ La durée du contrat du pool 4 est plus longue de deux ans par rapport à celle du pool 3. Ceci s'explique, entre autres, par le montant d'investissement prévu, plus important dans le pool 4 que dans le pool 3.

5.2.3 Pool 9 : Friedrichshain

<i>Nombre de bâtiments :</i>	30 (écoles, jardins d'enfants, etc.)
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	1 090 529 €/an
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	21952 MWh
<i>Contractant :</i>	Arge MVV Energie AG, WFM GmbH
<i>Durée du contrat :</i>	10 ans (Octobre 2001-Octobre 2011)
<i>Coûts d'investissement :</i>	939 000 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	19,7% (sur les coûts énergétiques uniquement)
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	214 507 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	1 500 t en 2002 (valeur estimée)
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	3,46 %
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	37 753 €/an
<i>Client :</i>	Land de Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ; Bezirksamt Friedrichshain von Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i>	techniques (optimisation du chauffage, de l'éclairage, de la ventilation et de la régulation), motivation des utilisateurs, contrôle des consommations.

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 9 comprenant 30 bâtiments est un contrat type « *Easy EPC technology* ». Les co-titulaires du contrat MVV et WFM se sont engagés à garantir annuellement et pendant 10 ans, 214 507 euros d'économie sur les coûts énergétiques du pool, soit près de 20% d'économie d'énergie par rapport à la situation de référence. Afin de respecter cet engagement, le contractant a estimé son besoin d'investissements à près de 1 million d'euros minimum sur toute la durée du contrat qui est de 10 ans. Avec la signature de ce contrat, le Land de Berlin est assuré d'économiser au minimum 37 753 €/an, soit une réduction de plus de 3% du budget énergie du pool 9. Ceci correspond à un contrat de partage d'économie d'énergie 18-82 entre le client et le contractant sur toute la durée du contrat. En 2011, à l'expiration du contrat, le district client percevra l'intégralité des économies – 214 507 €. En cas de réalisation d'économies additionnelles, le client en conserve 80%. Notons que la signature et la réalisation de ce contrat n'ont pas posé de problème majeur.

5.2.4 Pool 11 : Steglitz-Zehlendorf

<i>Nombre de bâtiments :</i>	41 (écoles, jardins d'enfants, etc.)
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	1 285 102 €/an
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	78 000 MWh
<i>Contractant :</i>	SFW GmbH
<i>Durée du contrat :</i>	12 ans (juin 2002-juin 2014)
<i>Coûts d'investissement :</i>	920 325 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	22%
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	282 722 €/an
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	2,42 %
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	31 099 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	2 733 t/an (plus de 32 000 t sur la période)
<i>Client :</i>	Land de Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ; Bezirksamt Steglitz-Zehlendorf von Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i>	techniques (remplacement de chaudières, conversion de source d'énergie du charbon au gaz, optimisation du chauffage, de l'éclairage, de la ventilation et de la régulation), motivation des utilisateurs, contrôle des consommations.

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 11 comprenant 41 bâtiments est un contrat type « *EPC Plus technology* » avec intégration de mesures obligatoires pour le contractant telle que le remplacement de 5 chaudières associé à 5 conversion de source d'énergie. SFW, l'entreprise titulaire du contrat, s'est engagée à garantir annuellement et pendant 12 ans, 228 722 euros d'économie sur les coûts énergétiques du pool, soit 22% d'économie d'énergie par rapport à la situation de référence. Afin de respecter cet engagement, le contractant a estimé son besoin d'investissement à près de 1 million d'euros minimum sur toute la durée du contrat qui est de 12 ans. Avec ce contrat, le Land de Berlin est assuré d'économiser au minimum 31 099 €/an, soit une réduction de plus de 2% du budget énergie du pool 11. Ceci correspond à un contrat de partage d'économie d'énergie 9-91¹¹² entre le client et le contractant sur toute la durée du contrat. En 2014, à l'expiration du contrat, le district client percevra l'intégralité des économies – 282 722 €.

L'arrangement contractuel conclu pour le pool 11 présente une singularité dans la mesure où le partage des économies annuelles additionnelles est variable à travers le temps.

¹¹² Le taux de partage des économies d'énergie est très faible du point de vue du client, c'est même le plus faible de l'ensemble des pools étudiés, puisque Berlin ne reçoit que 9% des économies annuelles réalisées par SFW.

Ainsi, si le client conserve 10% de ces économies additionnelles entre la première et la troisième année du contrat, il s'appropriera 50% du montant annuel pendant les neuf dernières années du contrat. Remarquons qu'un des facteurs clés de succès de ce contrat tient à l'intégration des fonds d'investissement « écologiques » dans le plan de financement du projet. Ce partenariat illustre la flexibilité et la capacité du modèle à s'adapter à de nouvelles situations puisqu'au début du contrat, quelques bâtiments ont été vendus alors que dans le même temps, d'autres bâtiments ont été inclus dans le pool afin de conserver l'effet de masse.

5.2.5 Pool 12 : Bäderbetriebe (piscines publiques de Berlin)

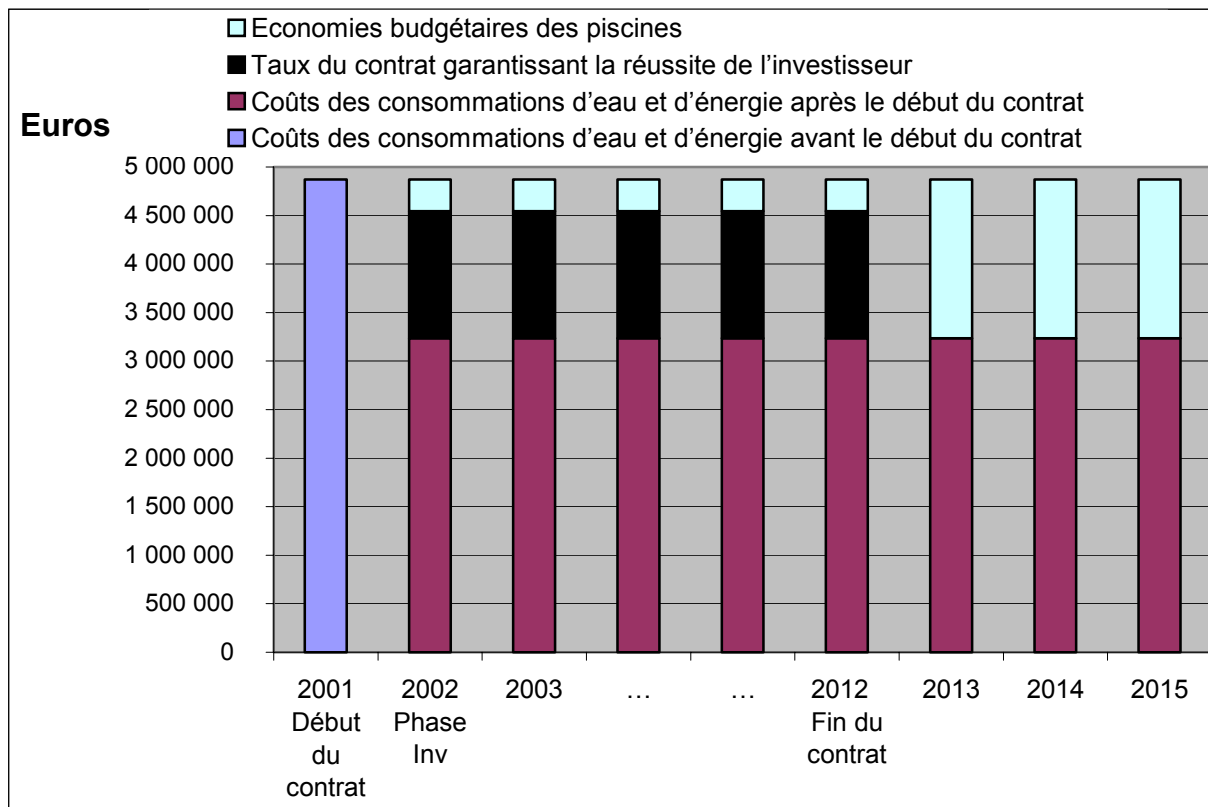
<i>Nombre de bâtiments :</i>	11 piscines
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	4 871 000 €/an
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	57 141 MWh/an d'énergie et 637 270 m ³ /an d'eau
<i>Contractant :</i>	Siemens Buildings technologies GmbH/ Landis & Staefa
<i>Durée du contrat :</i>	10 ans (janvier 2003-janvier 2013)
<i>Coûts d'investissement :</i>	7 926 000 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	33,54% (sur les coûts énergétiques et les coûts liés aux consommations d'eau)
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	1 634 000 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	4 938 t/an
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	6,71 %
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	327 000 €/an
<i>Client :</i>	Berliner Bäderbetriebe, détenu par l'Etat fédéral de Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i>	mesures techniques dans le domaine de la chaleur (récupération de chaleur), de l'éclairage, de la ventilation, du traitement de l'eau, de la régulation ; programmes de formation/motivation des utilisateurs, adaptation de la gestion du bâtiment et système d'automatisation.

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 12 comprenant 11 piscines est un contrat type « *EPC Plus technology* » dans lequel le contractant est obligé d'intégrer certaines mesures comme les installations d'infrastructures de traitement des eaux ou l'adaptation du système de contrôle du bâtiment. Le contractant Siemens, s'est engagé à garantir annuellement et pendant 10 ans, près de 1,6 millions d'euros d'économie sur les coûts de référence du pool, soit 33,54% d'économie d'énergie et d'eau par rapport à la situation de

référence. Afin de respecter cet engagement, le contractant a estimé son besoin d'investissement à près de 8 million d'euros minimum sur toute la durée du contrat qui est de 10 ans. Avec ce contrat, le Land de Berlin est assuré d'économiser au minimum 327 000 €/an, soit une réduction de près de 7% du budget énergie du pool 12. Ceci correspond à un contrat de partage d'économie d'énergie 20-80 entre le client et le contractant sur toute la durée du contrat. En 2013, à l'expiration du contrat, le district client percevra l'intégralité des économies – 1 634 000 €.

Ce contrat de 10 ans bénéficie de la plus haute garantie d'économie d'énergie (33,5%) et avec le volume d'investissement envisagé de près de 8 millions d'euro au minimum, il représente le plus important contrat signé parmi l'ensemble des pools de bâtiment. La raison principale tient au fait que les piscines ont des besoins énergétiques très élevés en terme d'eau chaude, de système mécanique de ventilation et de chauffage. Par rapport aux pools précédent, ce contrat d'économie d'énergie porte aussi sur les économies d'eau, faisant économiser à la ville 327 000 € par an pendant 10 ans. Ce pool est composé de 11 piscines, les points les plus importants de ce contrat sont relatif aux investissements dans le secteur de l'eau et de l'automatisation étant donné que les coûts liés aux consommations d'eau représentent plus de la moitié des coûts de référence du pool. Si des économies additionnelles sont réalisées, elles seront accaparées à hauteur de 30% par le client.

Graphique 25 - Mécanisme du partage des économies entre le contractant et la ville pour le pool 12 (piscine)



Source : Graphique réalisé par l'auteur, 2005.

Ce graphique illustre très bien le fonctionnement des contrats de performance énergétique avec partage des économies d'énergie entre le client et le contractant. Nous avons en bleu foncé la situation initiale d'un pool de bâtiments avec des consommations et coûts énergétiques de référence. Après avoir sélectionné le contractant, des échanges entre ce dernier et le client permettent de déterminer les clés de répartition du partage des économies d'énergie réalisées par le contractant. Dans le cas présent, le niveau de la garantie d'économie d'énergie annuelle s'élève à 33,54%, soit plus de 1,6 millions d'euros. Le contractant a estimé qu'il avait besoin de 80% des économies d'énergie annuelles réalisées (partie jaune) pour refinancer ses investissements et réaliser sa marge, et ce sur une durée de 10 ans. La garantie d'économie d'énergie annuelle du client est ainsi représentée en bleu ciel sur le graphique, elle correspond tout de même à 327 000 euros jusqu'en 2012. A la fin du contrat, le client s'accapare l'intégralité des économies d'énergie réalisées par le contractant.

Tableau 29 – Evolution de la consommation d’énergie du pool 12 (kWh/m² par an) après la signature du contrat de performance énergétique

	Consommation de référence avant la signature du contrat	Consommation garantie après signature du contrat
Chaleur, Electricité (kWh/m ² par an)	3 372	2 508
Eau (kWh/ m ³ par an)	37,58	22,55

Tableau 30 – Evolution des coûts relatifs à la fourniture d’énergie du pool 12 (€/m²) après la signature du contrat de performance énergétique

	Coûts de référence avant la signature du contrat	Coûts garantis après signature du contrat
Chaleur, électricité et eau (€/m ² par an)	287	191

L’entreprise titulaire du contrat s’est engagée, pour le pool 12, à garantir une réduction annuelle de 66,7% de la consommation d’eau de référence et de 34,5% en ce qui concerne la consommation de référence de chaleur et d’électricité. Du point de vue des coûts, cela équivaut à une diminution de plus de 50%, les coûts de référence de la consommation de chaleur, d’électricité et d’eau devant passer de 287 €/m² par an à 191 €/m² par an. Nous ne disposons d’aucune donnée¹¹³ permettant d’apprécier l’efficacité de Siemens car le contrat n’a débuté que fin 2002. D’une manière générale, il est de toute façon très délicat d’avoir accès aux rapports de suivi des coûts énergétiques et des consommations que le contractant est obligé de réaliser pour son client. Ces rapports nous permettraient d’évaluer l’avancée des résultats de chaque pool, de vérifier si la garantie d’économie d’énergie est atteinte chaque année, etc.

¹¹³ A la différence du pool 3 pour lequel nous avons constaté que le contractant, au bout de quatre années de contrat, était allé au delà des économies d’énergie garanties contractuellement.

5.2.6 Pool 14 : Kreuzberg

<i>Nombre de bâtiments :</i>	22 bâtiments (écoles, jardins d'enfants, etc.)
<i>Coûts énergétiques de référence :</i>	1 452 875 €/an
<i>Consommation énergétique de référence :</i>	26 192 MWh/an d'énergie et 43 499 m ³ /an d'eau
<i>Contractant :</i>	ARGE ESP 14 (Imtech Contracting/edl Boysen)
<i>Durée du contrat :</i>	10 ans (Août 2003- Août 2013)
<i>Coûts d'investissement :</i>	1 492 000 €
<i>Garantie d'économie d'énergie (en %) :</i>	29%
<i>Garantie d'économie d'énergie (en €) :</i>	421 400 €/an
<i>Réduction d'émissions de CO₂ :</i>	2 543 t/an (plus de 25 000 t sur toute la durée du contrat)
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en %) :</i>	5,86 %
<i>Economies budgétaires garanties pour le client (en €) :</i>	85 100 €/an
<i>Client :</i>	Land de Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ; Bezirksamt Friedrichshain- Kreuzberg von Berlin
<i>Gestion du projet :</i>	Berliner Energieagentur GmbH
<i>Mesures :</i> techniques (remplacement de chaudières, changement de source d'énergie du charbon au gaz, optimisation du chauffage, de l'éclairage, de la ventilation et de la régulation), motivation des utilisateurs, contrôle des consommations.	

Le contrat de performance énergétique conclu pour le pool 14 comprenant 22 bâtiments est un contrat type « *EPC Plus technology* » dans lequel le contractant est obligé d'intégrer certaines mesures comme le fait de devoir changer 10 chaudières et de réaliser 5 projets de conversion d'énergie. Ce dernier s'est engagé à garantir annuellement et pendant 10 ans, 421 400 euros d'économie sur les coûts énergétiques du pool, soit 29% d'économie d'énergie par rapport à la situation de référence. Afin de respecter cet engagement, le contractant a estimé son besoin d'investissement à près de 1,5 million d'euros minimum sur toute la durée du contrat qui est de 10 ans. Avec ce pool, le Land de Berlin est assuré d'économiser au minimum 85 100 euros chaque année, soit une réduction de 6% du budget énergie du pool 14, ce qui correspond à un arrangement contractuel avec un partage des économies à 80-20 entre le contractant et le client. Les économies additionnelles sont conservées à hauteur de 60% par le client. Il faut remarquer l'intégration de fonds d'investissement « écologiques » dans le plan de financement de ce pool.

6 CONCLUSION

Le contrat d'économie d'énergie garantie avec partage de celles-ci entre les partenaires régule toute une série de services parmi lesquels l'analyse, la planification, le financement et la mise en œuvre des mesures d'économie d'énergie - incluant la garantie - sont les services clés. Les raisons pour lesquelles les partenariats pour les économies d'énergie ont rencontré un très franc succès à Berlin sont nombreuses :

- Ils garantissent des économies par la signature d'un contrat, ainsi que le respect de critères de confort (température intérieure, renouvellement de l'air, etc.),
- Ils permettent de diminuer les consommations énergétiques de grands complexes de bâtiments à travers la réalisation d'investissements physiques par le contractant, pour un montant stipulé dans le contrat,
- Ils refinancent l'investissement grâce aux économies sur les consommations d'énergie,
- Ils permettent au propriétaire des bâtiments, sans recourir à leur budget d'investissement, de participer aux économies sur les coûts de fourniture.

Si le contrat d'économie d'énergie garantie peut s'autofinancer une fois qu'il est établi, il a besoin, au départ, d'investissements considérables et d'un engagement fort pour contribuer à sa bonne mise en place. L'un des problèmes qui se pose est qu'il est très délicat de trouver un tel niveau d'engagement. Ce mécanisme de contractualisation pour les économies d'énergie a notamment besoin du soutien d'une structure stable telle qu'une autorité locale ou un distributeur local d'énergie par exemple [IEA, 2003]. Le soutien du secteur public, client fiable, paraît en effet être indispensable au décollage de l'industrie des services énergétiques en général et du *performance contracting* en particulier. C'est le cas à Berlin où l'Agence de l'énergie, de par son savoir-faire, apporte des garanties aux contractants potentiel, et fiabilise par là même le processus de contractualisation pour les économies d'énergie.

A Berlin, la barrière politique à l'introduction de ce mécanisme a été surpassée parce qu'il n'y avait pas de budget disponible pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments. Il se trouve aussi que l'homme politique en charge du dossier était également relativement progressiste. Une des explications du succès rencontré par ces contrats¹¹⁴ tient notamment dans la communication effectuée autour des résultats positifs rencontrés, dans l'annonce de la diminution du budget réalisé grâce à ce mécanisme ainsi que dans la traduction de la réduction des consommations énergétiques en diminution de gaz à effet de serre, etc. Il faut également signaler que pour favoriser l'emploi local, condition politique qui peut s'avérer nécessaire à l'acceptation du partenariat, les ESCO ont l'obligation d'intégrer les fournisseurs locaux dans leurs projets. Pour finir, le modèle de contrat indique que si la cible d'économie d'énergie n'est pas atteinte, le contractant doit payer la garantie. Il y a donc une forte contrainte sur la compagnie et c'est ce qui semble avoir gagné la confiance de Berlin dans ce processus de contractualisation pour les économies d'énergie.

¹¹⁴ En plus des facteurs clés de succès que nous avons exposés à la fin de la partie 3.4.

• Perspectives

Une étude du *Wuppertal Institute* de 2003 révèle que le potentiel de développement des contrats de performance énergétique est d'une manière générale assez important. L'idée que les coûts énergétiques de l'ensemble des bâtiments publics en Allemagne pourraient être réduits de 20% avec l'application de ce concept est souvent avancée. L'*Öko-Institut* et l'Agence berlinoise de la maîtrise de l'énergie estiment qu'avec la signature de contrats de performance énergétique dans le secteur public allemand, les budgets publics pour l'énergie pourraient être réduits de 25 à 100 millions d'euros par an pendant toute la durée du contrat et de 310 millions d'euros par an ensuite. Les dépenses publiques allemandes actuelles relatives à l'énergie représentent environ 3,1 milliards d'euros, dont près de 1,865 milliards pourraient être concernées par la signature de contrats de performance selon cette même étude. « Des économies allant de 4 430 GWh/an (= 7%) à 8 860 GWh/an (=13%) du total de la demande énergétique du secteur public pourraient ainsi être réalisées, dont environ 430 à 860 GWh/an pour l'électricité ». Pour l'ensemble du secteur public de l'Union Européenne, une étude du *Wuppertal Institute* nous apprend que les gains potentiels d'efficacité énergétique apportés par des contrats de performance énergétique tourneraient autour de 18 TWh/an pour le chauffage et de 2 TWh/an pour l'électricité servant à l'éclairage, la ventilation, la climatisation et les pompes.

BIBLIOGRAPHIE MONTPELLIER

ADEME, *Portrait énergétique de la ville de Montpellier*, Fiche réalisée par Énergie-Cités pour le compte de l'ADEME, 1999.

<http://www.ademe.fr/Collectivites/Efficacite-Energetique/Villes/Montpellier.htm#date>

ADEME, *Maîtrise des dépenses d'électricité à Montpellier*, Fiche réalisée par Énergie-Cités pour le compte de l'ADEME, 1999.

<http://www.ademe.fr/Collectivites/Efficacite-Energetique/Cas/Cas-Montpellier-2-general.htm>

ADEME, *Notes de service concernant les bâtiments communaux de Montpellier*, Fiche réalisée par Énergie-Cités pour le compte de l'ADEME, 1999.

<http://www.ademe.fr/Collectivites/Efficacite-Energetique/Cas/Cas-Montpellier-4-general.htm>

ADEME, *Création d'une usine de cogénération sur le Réseau Montpelliérain de Chauffage et de Climatisation (RMCC) – fiche détaillée*, Fiche réalisée par Énergie-Cités pour le compte de l'ADEME, 1999.

<http://www.ademe.fr/Collectivites/Efficacite-Energetique/Cas/Cas-Montpellier-1-general.htm>

ADEME, *Annexe financière du contrat n°00 32 110 SERM – Trigénération « Polygone »*, 2000.

ADEME, *Réseau Montpelliérain de chaleur et de froid - La centrale de trigénération au gaz naturel de l'hôtel de ville*, Plaquette de présentation financée par l'ADEME, la SERM et GDF, 2001.

ADEME, **AITF (Association des Ingénieurs Territoriaux de France)**, *Optimisation énergétique globale : application aux bâtiments des collectivités locales*, Compte rendu d'un colloque à Nice le 1/06/1999, 55p, Publication ADEME/AITF, 1999.

ADEME, **ATTF (Association des Techniciens Territoriaux)**, **AIVF (Association des Ingénieurs des villes de France)**, **EDF**, *Maîtrise de la demande d'électricité – Recommandations pour les communes*, juin 2000.

AIVF (Association des Ingénieurs des Villes Françaises), **CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)**, *Maîtrise de l'énergie dans les collectivités locales*, Recueil d'expériences du Groupe de Travail Energie AIVF– CSTB, 2000.

DEMT (Direction de l'Énergie et des Moyens Techniques), *Bâtiments basse énergie : éléments de programme pour un confort énergétique optimal dans les bâtiments communaux*, Note de la ville de Montpellier, Août 1996.

DEMT (Direction de l'Énergie et des Moyens Techniques), *Montpellier : une politique énergétique énergique*, Note de la ville de Montpellier, octobre 2002.

DEMT (Direction de l'Énergie et des Moyens Techniques), *Bilan de synthèse des services de la DEMT*, rapport énergie de la ville de Montpellier de 2002, 2002.

DEMT (Direction de l'Énergie et des Moyens Techniques), *Montpellier : actions phares d'une politique énergétique énergétique*, Note de la ville de Montpellier, janvier 2005.

Énergie-Cités, AQME (Association Québécoise pour la maîtrise de l'énergie), *Répertoires de réalisations de villes françaises et québécoises – Problèmes/Solutions*, 1999.

Énergie-Cités, « Urbanisme HQE à Montpellier », Etude de cas, 2000.

Énergie-Cités, « Montpellier – Maîtrise de la demande d'électricité », Etude de cas, 2001.

Énergie-Cités, « Transversalité à Montpellier », Etude de cas, 2001.

Énergie-Cités, « Cabinet Bernard » dans *Mesure des performances énergétiques des collectivités*, pp49-52, janvier 2003.

Guelzim Y., *La gestion de l'énergie dans les collectivités locales : étude comparative entre la ville de Montpellier et la ville de Nîmes*, Mémoire sous la direction de J.Percebois, Université de Montpellier, Faculté des Sciences Economiques, 1997.

ICE (International Conseil Energie), *Etude de faisabilité d'une initiative d'animation des réseaux d'acteurs français impliqués dans les actions énergétiques territoriales*, Etude réalisée pour l'ADEME, mars 2003.

IEPF (Institut de l'Énergie et de la Francophonie), « Montpellier : une politique énergétique soutenue », *Liaison Energie-francophonie*, n°45, 54p, 4^{ème} trimestre 1999.

Irigoin M., *L'expérience de la ville de Montpellier dans le domaine de l'énergie*, Rapport du directeur de l'énergie et des moyens techniques de la ville de Montpellier, 2000.

Irigoin M., *Réseau Montpelliérain de chaleur et de froid (RMCF) - La centrale de trigénération de l'hôtel de ville*, Présentation lors des 4^{ème} assises nationales de l'énergie à Grenoble, décembre 2002.

Morales M., *Montpellier fait du développement durable un atout pour le 21ème siècle*, Résumé d'une présentation de Morales (délégué de la ville de Montpellier à l'écologie) pour la conférence Euro-Méditerranéenne des Villes Durables à Séville, janvier 1999.

Données recueillies sur Internet :

<http://www.ville-montpellier.fr/vmtm/modele/index.php?idrub=31>, site Internet de la ville de Montpellier

http://www.serm-montpellier.net/realisations/rea_reseau/rea_res_sommaire.html, site Internet de la SERM (Société d'Équipement du Réseau de chaleur et de climatisation de la ville de Montpellier)

BIBLIOGRAPHIE FRANCFORT

ASUE, Energiereferat Stadt Frankfurt am Main, BHKW – Kenndaten 2001 Module Ambierter Kosten, 2001.

Bédard D., « Allemagne – De Bonn à Berlin : une administration publique en transition », *Télescope*, volume 4, n°3, novembre 1997.

Berliner Energieagentur GmbH, FEDARENE, RAEE (Rhône Alpes Energie Environnement), *Analyse des structures dans le cadre d'une étude comparative entre les pratiques allemandes et françaises en matière d'énergie et de lutte contre le changement climatique*, Etude réalisée pour l'ADEME, 2000.

Énergie-Cités, « Biomasse – Installation modèle à Frankfurt am Main », Etude de cas, 2002.

Énergie-Cités [2003 –a], « Promotion of distributed CHP in Frankfurt am Main » in *Case studies of good practices to the challenge of liberalisation*, Etude réalisée dans le cadre du projet MEELS (Municipalities and Energy Efficiency in a Liberalised System) – IEA-DSM Implementing Agreement Task IX, 2003.

Énergie-Cités [2003 –b], « Changement climatique à Frankfurt am Main », Etude de cas, 2003.

Energiereferat, Stadt Frankfurt am Main, Energie-und CO₂-Bilanz 1987/1992/1995 und Energiekonzept für Frankfurt am Main, 2000.

Fay P., *Exchange of experience of decentralized cogeneration in Frankfurt – One part of systematic implementation of small scale CHP-Plants*, Publication de l'Agence de l'énergie, 2002.

Fender A., *Le système « Stadtwerke » à l'épreuve de la libéralisation*, Mémoire présenté pour le DEA de sociologie, Institut d'Etudes Politiques de Paris, 53p, 2003.

Friedel W., *Implementing decentralized co-generation : the Frankfurt case study*, Energy planning section on Stadt Frankfurt am Main, 2000.

ICLEI (International Council on Local Environmental Initiatives), *Frankfurt am Main, Germany – Energy saving concept in a large city*, 1996.

<http://www3.iclei.org/egpis/egpc-019.html>

Linder M. (Stadt Frankfurt am Main, Energy planning section), « Cogeneration in public buildings », Présentation in *First European Conference of Municipal Energy Managers*, Stuttgart, 2004.

<http://www.energie-cites.org/documents/stuttgart/stuttgart-textes-interventions.pdf>

Neumann W. (Energierferat), *Information, consultancy, motivation – The Frankfurt climate campaign* in : EA.UE (ed), « Facing the challenge – Successful Climate Policies in European Cities », Berlin, pp 41-45, 1996.

Neumann W. (Energierferat), *Implantation systématique d'installations de cogénération à Francfort-sur-le-Main*, Etude de cas, 2003.

Neumann W. (Energierferat), *75 unités de cogénération à Frankfurt am Main – L'exemple à suivre*, Présentation lors d'un colloque en Wallonie, juin 2004.

PENELOPE-BACCHUS, *Mise en place systématique de petite et moyenne cogénération à Frankfurt*, Etude de cas, 2002.

<http://www.penelope-save.org/page.php?lang=fr&id=199>

Praetorius B., Schneider L., « Dynamics of decentralization : the case of micro cogeneration diffusion in Germany », *Proceedings of the 2005 ecee summer study : What works and who delivers ?*, Paris : European Council for an Energy Efficiency Economy, pp987-994, 2005.

Stadt Frankfurt am Main, *Wirtschaftlichkeitsnachweis mit Hilfe der Gesamtkostenberechnung*, 2000.

Stadt Frankfurt am Main, *Energiebericht 2000*, Rapport énergétique de la ville, 2000.

<http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement>

Stadt Frankfurt am Main, *Nutzerbedingte Energieeinsparungen in Verwaltungsgebäuden*, 2002.

SURBAN- Good practice in urban development, *Frankfurt : energy consultancy as an instrument of climate protection policy*, Base de données financée par la Commission européenne, DG XI, 2003.

<http://www.eaue.de/winuwd/69.htm>

BIBLIOGRAPHIE BERLIN

AEPCA (Australasian Energy Performance Contracting Association), *A best practice guide to energy performance contracting – Reducing operating costs through guaranteed outcomes*, AEPCA for the energy efficiency best practice program in the Australian department of industry science and resources, 73p, 2000.

<http://www.aepca.asn.au/documents/epcguide.pdf>

Bédard D., « Allemagne – De Bonn à Berlin : une administration publique en transition », *Télescope*, volume 4, n°3, novembre 1997.

Berliner Energieagentur GmbH, *Project development standard energy performance contracting*, OPET building Network, 15p, 2000.

http://www.opet-building.net/downloads/publications/WP2/be_projectEPC.pdf

Berliner Energieagentur GmbH, *Energiebericht 1997-2000*, Rapport énergétique de la ville, 2000.

Berliner Energieagentur GmbH, *Energy performance contracting in Berlin*, 2001.

Berliner Energieagentur GmbH, *Performance contracting – Energy saving partnership – A Berlin success model*, Brochure, 2002.

Berliner Energieagentur GmbH, FEDARENE, RAEE (Rhône Alpes Energie Environnement), *Analyse des structures dans le cadre d'une étude comparative entre les pratiques allemandes et françaises en matière d'énergie et de lutte contre le changement climatique*, Etude réalisée pour l'ADEME, 2000.

Énergie-Cités, « Berlin – Système de véhicules individuels à usage partagé », Etude de cas, 1999.

Énergie-Cités, « Berlin – Energie solaire : campagne de marketing », Etude de cas, 2001.

Energy innovations – A visitor's guide by the ImpulsE program, *Energy supplies for public institutions*, Berliner ImpulsE management, 2002.

Energy innovations – A visitor's guide by the ImpulsE program, *Energy policies in Berlin*, Berliner ImpulsE management, 2002.

Geissler M. (Berliner Energieagentur), « Strategic integration of purchasing on basis of energy labels in energy standards », *Proceedings of the second IE ECB 2002*, Nice : International conference on improving Energy Efficiency in Commercial Buildings, pp205-208, 27-29 mai 2002.

Geissler M. (Berliner Energieagentur), *General advice on contracting issues*, Texts of presentation « Working in synergy with the private sector ? », 9ème conférence annuelle d'énergie-cités à Martigny, le 22-23/04/2004.

Goldmann R. (Berliner Energieagentur), *Energy saving partnerships*, Presentation in « the European conference on local energy action » à Bruxelles, le 28-29/11/2002.

Goldmann R. (Berliner Energieagentur), *Third party financing of energy efficiency measures in buildings*, Presentation in « Joint seminar on renewable energy and energy efficiency » with Germany and Singapore technology agency, Berlin, 19/04/2004.

<http://www.bmu.de/files/goldmann.pdf>

Greater London enterprise, *EU capital cities study 2003*, Rapport pour ALG European service, 2003.

IEA, Berlin - Energy performance contracting pools, Etude réalisée dans le cadre du projet MEELS (Municipalities and Energy Efficiency in a Liberalised System) – IEA-DSM Implementing Agreement Task IX, 2003.

Kallmann K., « Energy labels – A good choice for a green procurement », *Proceedings of the IEECB 2004 : building performance congress*, Frankfurt : International Energy Efficiency in Commercial Buildings, juillet 2004.

Kohnen A. (Berliner Energieagentur), Présentation aux cinquièmes assises nationales de l'énergie : *Les collectivités locales à l'heure de l'ouverture des marchés de l'énergie : comment tirer parti de l'expérience européenne ?*, janvier 2004.

Lambert J., *Moving to renewable energy sources in an energy-efficient London*, Rapport du green MEP, Londres, 2002.

Loy. D., *Solar strategies of a European capital : the example of the city of Berlin*, Etude de Loy Energy Consulting, 2000.

Müschen K. (Administration sénatoriale de Berlin pour le développement urbain, l'environnement et le transport), « What makes energy services attractive to the customer ? », *Proceedings (volume II - Energy services and DSM) of the SAVE conference for an energy efficient millenium*, novembre 1999.

Müschen K. (Administration sénatoriale de Berlin pour le développement urbain, l'environnement et le transport), *Energy Saving Partnership*, Texts of presentations « Sustainable energy management in municipal buildings and equipment », 8ème conférence annuelle d'énergie-cités à Cracovie, le 3-4/04/2003.

OPET network, *OPET Building best practice projects*.

Seefeldt F. (Berliner Energieagentur), *Energy savings partnerships : energy performance contracting made in Berlin – hundred ways to sign contracts*, Présentation pour le compte d'IKEB, Stuttgart, juillet 2004.

Siebold S. (Da.V.i.D.AG), *Energiemanagement in öffentlichen Einrichtungen*, Ein Jahr Energiewirtschaftsstelle des Landes Berlin, Berlin, 2002.

SURBAN – Good practice in urban development, *Berlin – The energy concept as a plan for energy saving*, Base de données financée par la Commission européenne, DG XI, 1999.

SURBAN – Good practice in urban development, *Berlin – Model project of ecological urban renewal in Berlin - Kreuzberg*, Base de données financée par la Commission européenne, DG XI, 2001.

Données recueillies sur Internet :

www.berliner-e-agentur.de, site Internet de l'Agence de l'énergie de Berlin.

www.david-ag.de, site Internet du centre de gestion de l'énergie de Berlin.

www.kebab-online.de, site Internet d'une organisation à but non lucratif ayant monté le projet *Energy services in Berlin district's*.

<http://www.managenergy.net/download/2002goldmann.pdf>, site de la Commission européenne (*Energy performance contracting in Germany*).

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/berlin_spart_energie/index_en.shtml, site Internet du Sénat de Berlin en anglais

Site CADETT.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Budget de la DEMT en 2001	10
Tableau 2 - Recettes du service énergie en 2002	10
Tableau 3 - Dépenses énergétiques globales de la ville de Montpellier en 2002.....	11
Tableau 4 - Résultat de l'optimisation énergétique pour une bibliothèque.....	20
Tableau 5 - Bilan d'exploitation de trois médiathèques (1999).....	21
Tableau 6 - Evolution des puissances souscrites, des consommations et dépenses électriques des bâtiments communaux entre 1986 et 2001	23
Tableau 7 - Répartition des consommations et dépenses d'énergie des bâtiments communaux en 1999	36
Tableau 8 - Evolution des prix des énergies entre 1990 et 1999, à Francfort et en Allemagne, en €/MWh.....	38
Tableau 9 - Evolution des consommations d'énergie des bâtiments communaux (en GWh)..	39
Tableau 10 - Evolution des dépenses d'énergie entre 1990 et 1999, en million d'euros.....	41
Tableau 11 - Evolution de l'implantation de la cogénération à Francfort	48
Tableau 12 - Description technique et économique des 20 modules de cogénération installés sur les bâtiments municipaux.....	53
Tableau 13 - Caractéristiques générales de l'installation de l'école Carl-Schurz.....	56
Tableau 14 - Analyse détaillée des caractéristiques des deux cogénérateurs installés à l'école Carl-Schurz	57
Tableau 15 - Analyse coûts/bénéfices de l'installation de l'école Carl-Schurz.....	58
Tableau 16 - Caractéristiques générales de la station de cogénération implantée dans le jardin d'enfants de Borheim.....	59
Tableau 17 - Analyse détaillée des caractéristiques du cogénérateur du jardin d'enfants de Borheim.....	60
Tableau 18 - Analyse coûts/bénéfices de l'installation du jardin d'enfants de Borheim.....	61
Tableau 19 - Evolution de la consommation d'énergie finale, par secteur, sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000	70
Tableau 20 - Evolution de la démographie à Berlin.....	71
Tableau 21 - Bilan énergétique de la ville de Berlin en 2000	72
Tableau 22 - Evolution des investissements consentis par Berlin pour le développement de l'énergie solaire (Mo€).....	79
Tableau 24 - Exemple d'application d'un outil standardisé d'évaluation des offres pour le pool 5	91
Tableau 25 - Allocation des risques entre propriétaire et contractant.....	92
Tableau 26 - Synthèse des partenariats pour les économies d'énergie à Berlin	96

Tableau 27 - Evolution de la consommation d'énergie du pool 3 (kWh/m ² par an) après la signature du contrat de performance énergétique	100
Tableau 28 - Evolution des coûts relatifs à la fourniture d'énergie du pool 3 (€/m ²) après la signature du contrat de performance énergétique	101
Tableau 29 - Evolution de la consommation d'énergie du pool 12 (kWh/m ² par an) après la signature du contrat de performance énergétique	108
Tableau 30 - Evolution des coûts relatifs à la fourniture d'énergie du pool 12 (€/m ²) après la signature du contrat de performance énergétique	108

LISTE DES SCHEMAS ET GRAPHIQUES

Graphique 1 - Répartition des dépenses relatives aux bâtiments communaux par type d'énergie (compte administratif 2002).....	12
Graphique 2 - Répartition des dépenses énergétiques par type de bâtiment.....	12
Graphique 3 - Evolution des dépenses d'énergie des bâtiments communaux de 1985 à 2003	13
Schéma 1 - Représentation simplifiée du fonctionnement de la trigénération.....	29
Schéma 2 - Illustration du rendement énergétique de la centrale de trigénération	30
Graphique 4 - Répartition des consommations d'énergie des bâtiments municipaux en 1999	37
Graphique 5 - Répartition des dépenses d'énergie des bâtiments municipaux en 1999	37
Graphique 6 - Evolution des prix des énergies pour la ville de Francfort	39
Graphique 7 - Evolution des consommations d'énergie des bâtiments communaux	40
Graphique 8 - Evolution des dépenses des bâtiments communaux par type d'énergie.....	41
Graphique 9 - Développement de la cogénération à Francfort	48
Graphique 10 - Les coûts des cogénérateurs en fonction de leur puissance électrique installée.....	50
Graphique 11 - Coûts de production de l'électricité issue des cogénérateurs en fonction de leur puissance	51
Graphique 12 - Moyenne du nombre d'heures de fonctionnement de plusieurs installations de cogénération (2002).....	52
Graphique 13 - Production d'énergie des cogénérations sur les bâtiments publics, détaillée par installation (en MWh)	54
Graphique 14 - Profit cumulé des cogénérateurs installées sur le patrimoine bâti de Francfort (en k€)	55
Graphique 15 - Coûts et bénéfices de la cogénération de l'école Carl-Schurz.....	58
Graphique 16 - Coûts et bénéfices de la cogénération du jardin d'enfant de Borheim	61
Schéma 3 - Structures administratives et institutions à Berlin.....	67
Graphique 17 - Evolution de la consommation d'énergie primaire sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000	70
Graphique 18 - Evolution de la consommation d'énergie finale, par secteur, sur le territoire de la ville de Berlin de 1990 à 2000.....	71
Graphique 19 - Evolution de la consommation d'énergie finale par habitant	72
Graphique 20 - Développement du solaire photovoltaïque à Berlin.....	78
Graphique 21 - Développement du solaire thermique à Berlin.....	78
Graphique 22 - Evolution de la répartition des investissements entre le thermique et le photovoltaïque.....	80

Graphique 23 - Développement de la cogénération à Berlin	82
Schéma 4 - Fonctionnement d'un contrat de performance énergétique.....	84
Schéma 5 - Principaux éléments d'un contrat de performance énergétique	85
Schéma 6 - Mise en oeuvre d'un contrat de performance énergétique.....	86
Graphique 24 - Nombre d'entreprises candidates à chaque étape du processus d'appel d'offres.....	89
Graphique 25 - Mécanisme du partage des économies entre le contractant et la ville pour le pool 12 (piscine).....	107