

**Université de Limoges**  
Ecole doctorale 375 « Sciences de l'Homme et de la Société »  
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines  
UMR - C.N.R.S 6042 GEOLAB

Thèse  
en vue d'obtenir le grade de  
**Docteur en Géographie**

## Energie et développement urbain durable

Analyse des stratégies locales et essai de prospective pour les  
villes moyennes européennes



Présentée et soutenue publiquement par :  
**Sylvain Le Roux**  
le 3 mars 2008 à l'Université de Limoges

### Jury

**Françoise ARDILLIER-CARRAS**, Professeur, Université de Limoges, Directrice de recherches  
**Olivier BALABANIAN**, Professeur honoraire, Examineur  
**Guillaume GIROIR**, Professeur, Université d'Orléans, Rapporteur  
**Bernadette MERENNE-SCHOUMAKER**, Professeur, Université de Liège, Examinatrice  
**Henri ROUGIER**, Professeur, Université Jean Moulin de Lyon 3, Rapporteur



## Remerciements

Ce travail est pour moi plus qu'un rapport en vue d'obtenir le grade de docteur. C'est ma participation à la construction du monde de demain. Les questions relatives à l'énergie, l'environnement et à la société sont passionnantes. Malgré le devoir d'objectivité du scientifique, nous conviendrons que la passion est l'énergie nécessaire à l'accomplissement d'un travail de recherche de longue haleine tel qu'une thèse.

Même si cette pierre apportée à l'édifice ressemble plus à un petit caillou au regard du travail à accomplir pour atteindre le facteur 4 ou pour réduire les besoins en énergies fossiles, ce travail de recherche a exigé des efforts. Ces efforts je ne les ai pas fournis seul, ils sont partagés.

C'est pourquoi je souhaite remercier ma directrice de thèse, Françoise Ardillier-Carras, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail de recherche. Et, parce que la qualité de sa direction, tant sur le plan scientifique que sur le plan humain, m'a permis de faire aboutir ce travail, je lui exprime toute ma reconnaissance. Ces remerciements s'adressent également à Olivier Balabanian qui, après m'avoir dirigé durant mon DEA et m'avoir conduit sur le chemin du doctorat, a continué à me suivre durant ces trois dernières années. Je le remercie aussi d'avoir accepté de participer au jury en tant qu'examinateur.

J'exprime également toute ma gratitude à Guillaume Giroir, Professeur à l'Université d'Orléans et Henri Rougier, Professeur à l'Université Jean Moulin de Lyon 3, pour avoir consenti de juger ce travail de recherche en qualité de rapporteurs.

Je remercie très sincèrement Bernadette Mérenne-Schoumaker qui m'a fait l'honneur d'accepter de participer au jury en tant qu'examinatrice.

Mes pensées vont également à l'ensemble des acteurs rencontrés durant les enquêtes effectuées aux quatre coins de la France et même de l'Europe : d'Avignon et Montpellier à Londres, Girona, Clermont-Ferrand, Lausanne, Grenoble, en passant par Dunkerque, Barcelona, La Rochelle, Limoges, Fribourg en Brisgau et Perpignan. Ce travail est nourri de l'expérience d'une soixantaine de personnes qui ont, pour la plupart d'entre elles, démontré une très grande motivation pour leur métier et un intérêt grandissant pour les problématiques énergétiques et environnementales. Je remercie toutes ces personnes de s'être livrées au jeu de l'entretien et de m'avoir apporté autant d'informations avec autant de sincérité et beaucoup de sympathie.

Je remercie aussi toute l'équipe de GEOLAB de Limoges qui m'a entouré durant ces trois ans. Merci à Philippe Allée d'avoir mis à notre disposition des locaux plus que confortables pour exercer notre travail. Merci à Frédéric Richard pour ses conseils avisés. Merci à Frédéric Ogé de m'avoir submergé de documentation. Merci à Bernard Valladas. Merci à Rémi Crouzevialle et à Farid Boumédiène pour leurs apports techniques en SIG qui ont parfois mis fin à des problèmes informatiques insolubles en quelques minutes, à mon grand enthousiasme.

La thèse est une tâche ô combien solitaire qu'il est doux de partager avec d'autres âmes esseulées de la recherche, je pense à mes collègues et amis doctorants en Géographie avec qui les échanges furent nombreux et enrichissants : Sandrine Penys, Claire Labrue, Hussein El Hage Hassan, Pierre Papon, Romain Rouaud, Ludovic Boussin, Angélique Picout, Myriam Guillabot, Michaël Risch, Benoît Savy, Mathieu Scarlini, Patrick Auger, Pascal Bartout, Mohamed Ibrahim, Abdallah Ghaoui, Marie Lion, Nicolas Lhéritier, Lise-Marie Glandus, etc..., et, tout particulièrement, à Carles De Andres Ruiz et Julien Dellier qui m'ont fait progresser à pas de géant. Je n'oublie pas non plus les échanges que j'ai eu avec les doctorants d'autres disciplines. Je pense, notamment, à José Tietzman e Silva, Lucyana Oliveira Porto Silvério et Christophe Krolic.

Ma réflexion tout autant que ma motivation se sont également forgées au contact des membres d'ALDER (Association limousine pour les économies d'énergie et les énergies renouvelables) qui sensibilisent sans relâche les différents acteurs de la société au phénomènes de changement climatique et de crise énergétique.

Enfin, j'ai conservé pour la fin les remerciements que j'adresse avec la plus grande sincérité à ma famille de sang et de cœur. Ma mère, pour son amour inépuisable et renouvelable, mes grands-parents, mes oncles et tantes, mes cousins, mon père pour son courage auquel je ferai honneur, Jacques, Mireille pour ses corrections. Les amis, avec lesquels je me suis construit depuis tant d'années. A Amandine. A toutes ces personnes qui m'ont donné force et stabilité.

# Sommaire

Sommaire .....	5
Introduction .....	9
<b>Partie I : Contextualisation et méthodologie .....</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre 1. Le fait urbain et l'énergie .....</b>	<b>17</b>
1.1 Le phénomène d'urbanisation et la concentration de la demande énergétique .....	17
1.2 La dépendance énergétique des sociétés urbaines contemporaines .....	18
1.3 Des mutations urbaines liées à l'énergie .....	19
<b>Chapitre 2. Contexte énergétique, socio économique et environnemental....</b>	<b>21</b>
2.1 L'énergie, incontournable ressource .....	21
2.2 Les contraintes liées à l'énergie .....	35
<b>Chapitre 3. La réaction sociopolitique .....</b>	<b>57</b>
3.1 La fluctuation des politiques énergétiques au gré des crises .....	57
3.2 La prise de conscience internationale : de la volonté aux actes .....	59
3.3 La politique européenne .....	61
3.4 Le cadre réglementaire national.....	62
3.5 Des options différentes en Allemagne, en Suisse et en Espagne .....	72
<b>Chapitre 4. Problématique et Méthodologie .....</b>	<b>75</b>
4.1 La justification du sujet.....	75
4.2 Les postulats de départ .....	76
4.3 L'évolution de la problématique de thèse .....	76
4.4 Méthodologie employée et zones d'études .....	79
4.5 Difficultés et limites rencontrées.....	91
<b>Partie II : Les villes moyennes, l'énergie et l'environnement .....</b>	<b>95</b>
<b>Chapitre 1. L'approche systémique de la ville par l'entrée « Energie » .....</b>	<b>97</b>
<b>Chapitre 2. La méthode du bilan énergétique à l'échelle d'une ville .....</b>	<b>103</b>
2.1 La difficulté de quantifier les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle infra régionale .....	103
2.2 Les différentes méthodes existantes.....	105
2.3 L'application d'une méthode d'estimation pour la ville de Limoges .....	111

**Chapitre 3. Les caractéristiques d’approvisionnement, de consommations d’énergie et d’émissions de gaz à effet de serre : les exemples de plusieurs villes moyennes..... 115**

- 3.1 Les caractéristiques de l’approvisionnement et de la production d’énergie en ville .....116
- 3.2 L’état des lieux des consommations d’énergie en milieu urbain .....132
- 3.3 Des émissions de gaz à effet de serre liées à l’utilisation d’énergie .....137

**Chapitre 4. Les grandes variables de l’énergie et des émissions de gaz à effet de serre en milieu urbain ..... 143**

- 4.1 La dépendance au trio « gaz, électricité et pétrole ».....143
- 4.2 Le poids inexorable des bâtiments .....144
- 4.3 Le trafic routier, près du quart des consommations.....149
- 4.4 Les interrelations entre la morphologie urbaine et les consommations d’énergie ..153
- 4.5 La variable industrielle .....172
- 4.6 La ville, un système ouvert .....173
- 4.7 Des émissions dépendantes des combustibles utilisés .....175

**Conclusion de la partie II ..... 177**

**Partie III : les stratégies énergétiques des villes moyennes ..... 181**

**Chapitre 1. Les compétences des collectivités locales françaises ..... 183**

- 1.1 L’état des lieux des politiques énergétiques des villes moyennes françaises .....183
- 1.2 Les actions mises en œuvre dans le cadre de la politique énergétique locale.....189
- 1.3 Les compétences des collectivités locales des villes moyennes en matière d’énergie .....192

**Chapitre 2. Les moyens d’actions des collectivités locales ..... 197**

- 2.1 Les actions sur les consommations du patrimoine .....197
- 2.2 L’information et la sensibilisation des citoyens .....198
- 2.3 La production locale d’énergie.....200
- 2.4 L’urbanisme .....239
- 2.5 La gestion de la mobilité .....270
- 2.6 La planification énergétique territoriale, une approche globale et transversale....303

**Conclusion de la partie III ..... 319**

**Partie IV : Vers la ville moyenne durable, exercice de prospective ..... 323**

**Chapitre 1. Le modèle urbain actuel est-il viable ?..... 327**

- 1.1 La consommation d’énergie dans les villes moyennes contemporaines et l’objectif « facteur 4 » .....327
- 1.2 Les objectifs visés par les villes sont-ils suffisants ?.....328
- 1.3 La rupture du modèle urbain actuel ?.....329

<b>Chapitre 2. Vers un modèle de développement urbain durable .....</b>	<b>333</b>
2.1 La répartition du gisement d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables à Fribourg.....	334
2.2 Un énorme potentiel de réduction des consommations dans les bâtiments .....	337
2.3 La remise en cause de la mobilité individuelle.....	339
2.4 Le potentiel des énergies renouvelables .....	341
2.5 Le gisement d'économie d'énergie et d'énergie renouvelable permettrait-il d'atteindre le facteur 4 dans les villes moyennes? .....	346
<b>Chapitre 3. Les incidences du facteur 4 sur l'aménagement du territoire ...</b>	<b>349</b>
3.1 Vers une nouvelle forme d'urbanisme .....	349
3.2 La modification de la relation ville/campagne .....	351
<b>Chapitre 4. Des exemples contemporains d'aménagement urbain durable ..</b>	<b>355</b>
4.1 Le quartier Vauban.....	355
4.2 L'exemple du quartier de Bedzed (Sutton) .....	363
4.3 Et à l'échelle des villes moyennes ? A-t-on franchi le pas ? .....	366
<b>Conclusion .....</b>	<b>369</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>377</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>385</b>
<b>Table des illustrations.....</b>	<b>411</b>
<b>Table des photographies.....</b>	<b>413</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>415</b>





# Introduction

Sans le soleil, il n'y aurait pas de vie sur Terre. Et sans pétrole ? Qu'en serait-il des sociétés industrielles et urbaines ? Alors que plus de deux siècles de combustibles fossiles ont permis de forger le monde occidental, les analystes pétroliers s'inquiètent d'une raréfaction des ressources et d'un choc pétrolier. D'ici 30 ans au maximum, la production de pétrole va atteindre son maximum avant de décroître. La déplétion nous guette. De leur côté, les analystes environnementaux ne sont guère plus optimistes. Le réchauffement climatique pourrait avoir des conséquences dramatiques sur les écosystèmes et les hommes. Ce siècle, tout juste commencé, sera celui d'un changement de civilisation. Le modèle urbain est en première ligne de ces profondes mutations. La gestion des villes, de leur aménagement et de leur utilisation de l'énergie sont des questions centrales.

Avec la découverte du feu, l'Homme a appris à domestiquer l'énergie présente dans son environnement. Il l'utilise désormais sous toutes ses formes : mécanique, thermique, chimique, électrique, rayonnante ou nucléaire ; pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer ou faire fonctionner la multitude d'outils qu'il a créés. Car, depuis la découverte de ressources énergétiques à fort pouvoir calorifique comme le charbon, le pétrole ou le gaz, les activités industrielles se sont massivement développées et les niveaux de vie ont énormément progressé. Parallèlement, les besoins en énergie ont suivi une courbe de croissance exponentielle si bien que la société construite par l'« Homo Industrialis » est devenue énergéto-dépendante.

Or, les combustibles fossiles sont présents en quantité limitée sur Terre et leur usage a des impacts de plus en plus prononcés sur l'environnement et sur les hommes. Epuisement des ressources, renchérissement du prix du pétrole, réchauffement climatique, « guerres des hydrocarbures », risque nucléaire, etc..., l'énergie est un sujet incontournable qui pose actuellement d'importantes problématiques d'ordre environnementale, économique, et sociopolitique. Face à cette crise énergétique et environnementale, de nombreux scientifiques et de nombreux politiques tirent la sonnette d'alarme. La société industrielle de consommation et l'« american way of life » ont-ils encore de l'avenir ?

Il est désormais urgent d'organiser les sociétés humaines autour des notions de sobriété énergétique, d'efficacité énergétique et de développement des énergies

renouvelables pour vivre dans un monde équilibré, aussi bien sur le plan environnemental que social. Les inégalités Nord-Sud face à l'énergie sont criantes. La communauté internationale tente de s'emparer de cette question planétaire mais sans grand succès pour l'instant. Peut-être les meilleurs résultats viendront-ils des actions locales ?

Les villes, qui ont vécu un développement accéléré depuis la révolution industrielle, accueillent aujourd'hui environ 50 % de la population mondiale, voire 80 % dans les pays occidentaux. Qui plus est, ces territoires concentrent les activités les plus énergivores (industrie et tertiaire). Les espaces urbains sont donc des pôles de consommation d'énergie très importants, au moins dans les pays les plus avancés.

L'énergie a non seulement été à l'origine du fait urbain mais elle a eu, par la suite, des impacts forts sur sa morphologie, sa structure et son interrelation avec les espaces ruraux. L'évolution des espaces urbains, ces quarante dernières années, va à l'encontre de la notion de développement durable : la ville s'est étalée, la ville s'est relâchée consommant toujours plus d'espace au gré de l'évolution des moyens de transport (le rail puis la route). En France, le courant du fonctionnalisme a entraîné le zonage de l'espace, multipliant les zones d'activité industrielle, les centres commerciaux ainsi que les zones d'habitat pavillonnaire en périphérie. La ville s'est métamorphosée depuis l'explosion de la mobilité individuelle qui a bouleversé les règles d'implantation des hommes. De plus, les espaces urbains, par définition dépendants de l'extérieur, fonctionnent grâce à l'importation des ressources et des matières premières nécessaires à leur fonctionnement. Les flux inter urbains et les échanges à l'échelle planétaire s'intensifient. Ainsi, le modèle urbain actuel est entièrement dépendant des agents énergétiques artificiels. Toutes ces interrelations entre le milieu urbain, l'économie, l'énergie et l'environnement nous ont amené à porter notre recherche sur la gestion de l'énergie dans et par les villes.

La majorité des travaux et des recherches existants sur le sujet portait essentiellement un regard planétaire ou national, s'interrogeant surtout sur des problématiques à l'échelle des grandes villes et des métropoles. Nous avons donc décidé d'axer notre problématique sur la question spécifique des villes européennes de taille moyenne. D'autant que les questions relatives à l'énergie, aux transports, à l'urbanisme se traitent différemment dans les grandes villes et dans les villes moyennes (voir Partie I, 4.1). Aussi parce que les villes de taille intermédiaire sont plus favorables à un développement territorial plus respectueux d'un équilibre entre les espaces ruraux et les espaces urbains. Dans l'idée d'apporter des éléments de réflexion à l'attention des chercheurs, des décideurs et des aménageurs, il nous a paru intéressant de reconsidérer la ville moyenne dans son contexte énergétique contemporain en faisant valoir une approche

géographique corrélée aux apports fondamentaux d'autres disciplines (Ecologie, Physique, Sciences Politiques, Economie...).

Une définition large des « villes moyennes » sera considérée, excluant par là les grandes métropoles et les unités urbaines de trop petite taille. Même si le seul critère du nombre d'habitants est insuffisant, la définition de « ville moyenne » pour les espaces urbains de 50 000 à 500 000 habitants proposée par l'Union Européenne correspond à notre problématique. Près de 40 % des citoyens européens vivent dans ces « villes moyennes » de moins de 500 000 habitants.

La problématique générale consiste à déterminer les différents mécanismes, les différentes stratégies et modalités de gestion des villes moyennes permettant d'aménager des espaces urbains économes en énergie et propices aux énergies renouvelables, ceci dans l'idée de réduire par quatre les émissions de gaz à effet de serre des territoires. Cette problématique détaillée dans la première partie de la thèse soulève plusieurs questionnements relatifs aux caractéristiques et aux grandes tendances de consommation des espaces urbains de taille moyenne, ainsi qu'au rôle des collectivités locales dans la mise en place de stratégies énergétiques. Le modèle urbain actuel ne semblant pas adapté pour réagir à une baisse substantielle des ressources fossiles, il sera intéressant de s'interroger également sur le modèle de la « ville durable », qu'il serait souhaitable de voir devenir dominant dans les décennies à venir.

Pour justifier l'intérêt de traiter un tel sujet, nous dresserons un tableau du contexte énergétique, environnemental et politique dans lequel il s'insère. Cette partie sur les considérations générales sera relativement étoffée à dessein de bien comprendre les enjeux complexes et divers inhérents à cette thématique.

La deuxième partie de la thèse nous permettra de mettre en avant les caractéristiques de consommations d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre des espaces urbains de taille moyenne. A partir de plusieurs exemples concrets : Limoges (Fr.), Bourges (Fr.), Dunkerque (Fr.), Fribourg (All.), Grenoble (Fr.), etc..., nous verrons comment se fait l'approvisionnement énergétique des territoires et quelle est, alors, la part des productions locales d'énergie. Après avoir décrit et analysé les différentes méthodes de quantification existantes, un chapitre sera consacré à l'étude des quantités d'énergie consommées dans les villes moyennes, en considérant la part de chacun des secteurs d'activité, et la part de chaque mode d'énergie. Enfin le lien entre les consommations d'énergie en ville et les émissions de gaz à effet de serre sera établi.

A partir de cet état des lieux, il sera possible de dresser un tableau des différentes variables qui rentrent en compte dans le bilan énergétique des villes moyennes. La nature et la quantité d'énergie consommée en ville dépendent de huit paramètres essentiels : le mode d'énergie distribuée et utilisée sur le territoire, la nature des bâtiments, les parts de marché des déplacements, la morphologie de l'espace urbain, l'intensité de l'activité industrielle ainsi que les consommations indirectes d'énergie (ex : énergie nécessaire à la fabrication et aux transports des biens de consommation...).

Ce constat sur les grandes variables de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre des villes moyennes permettra de déterminer quels sont les champs présentant le meilleur potentiel de maîtrise de l'énergie ou d'emploi des énergies renouvelables. Les principaux moyens d'actions sur le système énergétique et environnemental des villes seront mis en avant. Alors, nous nous interrogerons sur les modalités d'application de ces principes et sur le rôle des collectivités locales en la matière.

La troisième partie de cette thèse sera consacrée à cette recherche des meilleures stratégies pour des collectivités locales en vue de réduire les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans les villes moyennes. Car, les collectivités locales ont les moyens d'agir. C'est ce qui ressort des résultats de l'enquête quantitative menée auprès des unités urbaines françaises de 100 000 à 300 000 habitants et ceux de l'enquête qualitative portant sur onze villes européennes (en France, en Allemagne, en Suisse, en Espagne). Malgré leurs faibles compétences légales en matière d'énergie - particulièrement en France - les collectivités locales maîtrisent leurs propres consommations, planifient et aménagent leur espace urbain, gèrent les voiries et les transports publics, sensibilisent leurs citoyens et, même, peuvent produire et fournir de l'énergie. Ce sont autant de compétences qui peuvent couvrir une grande partie des variables exposées précédemment. D'autant que certaines collectivités ont lancé des programmes de réduction des besoins énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre pour leur territoire. Les collectivités de Grenoble ou de Fribourg, notamment, ont mis en place des politiques énergétiques globales et transversales parmi les plus efficaces, mais ces cas sont encore trop rares.

De manière plus sectorielle, il sera intéressant de constater que l'exploitation d'un réseau de chaleur qui valorise des ressources endogènes (combustion des déchets bois ou des déchets urbains, solaire...) ou d'un système de cogénération peuvent s'avérer très efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux énergies fossiles. Les énergies renouvelables ont toute leur place en ville et les collectivités locales

ont un grand rôle à jouer pour les développer. Des analyses de cas concrets prenant en compte, tout autant, les aspects énergétiques, environnementaux et économiques le démontrent.

La morphologie urbaine a un impact très important sur les consommations d'énergie. Il s'agit donc d'analyser quelles sont les politiques intégrées à mettre en place pour répondre à la problématique des transports. L'étalement urbain devrait faire place au renouvellement urbain, mais cela demande des politiques de planification urbaine volontaires qui rencontrent aujourd'hui de nombreux freins. Les stratégies d'amélioration de l'offre en transports publics urbains seront également détaillées et approfondies.

Enfin, après avoir pris conscience des limites que les collectivités locales rencontrent dans la mise en place de stratégies énergétiques efficaces à l'échelle de leur territoire, nous proposerons un modèle de développement urbain durable dans la perspective d'une baisse radicale des consommations d'énergie liée à la nécessité de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre et à la tension accrue du marché énergétique. Cette réflexion est ainsi l'occasion de s'interroger sur la viabilité du modèle urbain actuel et, tout autant, sur la faisabilité d'un modèle de « ville durable ».



# **Partie I : Contextualisation et méthodologie**





# Chapitre 1. Le fait urbain et l'énergie

## 1.1 Le phénomène d'urbanisation et la concentration de la demande énergétique

En 1800, 3 % de la population mondiale vivait en ville. En 1900, le taux avait progressé jusqu'à 15 %. Aujourd'hui, c'est plus de la moitié de la population de la planète qui vit en milieu urbain. Les études prospectives annoncent qu'en 2050, trois habitants sur quatre seront des citadins (J.-P. Paulet, 2000). Depuis un siècle, le phénomène d'urbanisation a progressé avec beaucoup de rapidité. Le phénomène est plus avancé dans les pays industrialisés. Ainsi, en Europe, l'écrasante majorité (80 %) de la population vit en ville. En France, alors qu'en 1930, la moitié des habitants étaient encore des ruraux en 1999, plus des trois quarts de la population vivent dans une aire urbaine soit 45 millions de personnes (voir figure 1).

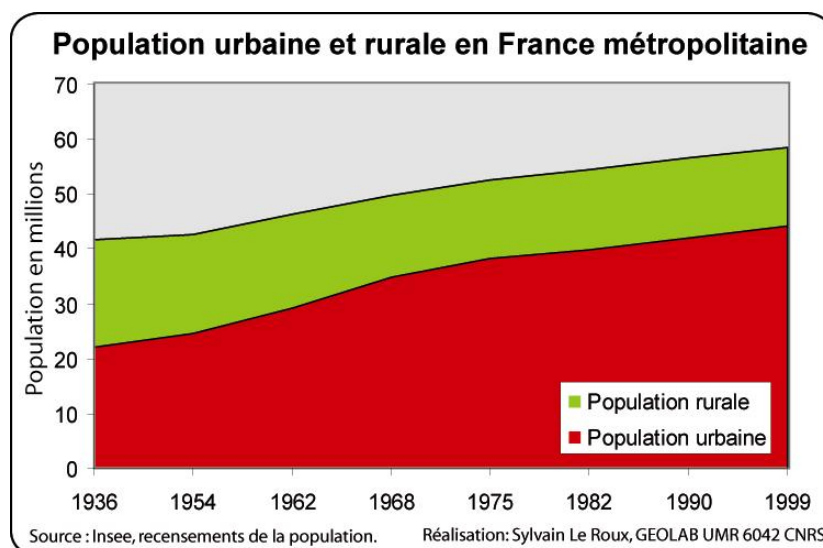


Figure 1 : L'accroissement de la population urbaine en France.

Avec cette transition urbaine, une très grande partie de la population et donc de la demande énergétique s'est concentrée dans les villes. De plus, les activités industrielles et tertiaires qui représentent des parts importantes de la demande sont directement associées au fait urbain et sont principalement localisées en ville. Finalement, l'énergie est une question essentiellement urbaine. C'est particulièrement vrai dans les pays occidentaux. Ainsi, en Europe, 75 % de l'énergie est consommée dans les espaces urbains.

Par ailleurs, l'énergie est un déterminant majeur du fait urbain. La domestication d'une énergie à fort pouvoir calorifique fut un des premiers facteurs du développement urbain. La dynamique d'urbanisation a commencé au 18<sup>ème</sup> siècle en Angleterre avec la révolution industrielle, puis elle s'est diffusée dans l'Europe de l'Ouest, aux Etats-Unis et dans le monde entier. Bien qu'à l'échelle mondiale le monde rural soit encore au moins aussi important que le monde urbain, depuis 1950, le phénomène de transition urbaine submerge aussi les pays en développement.

La ville s'est construite autour de l'essor de l'activité industrielle et de l'amélioration des techniques agricoles dans une période de transition démographique et de découvertes scientifiques et technologiques. C'est donc à partir, notamment, d'un facteur déterminant tel que le charbon - qui a permis le développement industriel grâce à son haut pouvoir calorifique - que le nombre d'habitants des villes s'est accru au détriment des campagnes. C'est aussi grâce à l'amélioration des moyens de transport (chemin de fer, motorisation...). Ce phénomène, qui a permis d'abaisser le coût des échanges et d'accroître la concurrence entre les entreprises, a poussé les industries manufacturières à s'installer dans les grands lieux de concentration de la main-d'œuvre, des pouvoirs et de l'information afin de réaliser des économies d'échelle et des économies d'agglomération<sup>1</sup>.

## **1.2 La dépendance énergétique des sociétés urbaines contemporaines**

La ville, productrice et consommatrice, est dépendante de l'extérieur. Elle ne peut exister sans l'importation des ressources nécessaires : ressources alimentaires, métaux, ressources énergétiques... Le modèle urbain est donc entièrement dépendant des agents énergétiques artificiels. La ville contemporaine ne pourrait fonctionner sans les moyens de transport modernes. Les citoyens ont besoin, notamment, d'importer les ressources nécessaires à leur survie et à leur confort. Les transports motorisés sont également devenus indispensables au fonctionnement interne des espaces urbains. D'ailleurs, nous constatons que les morphologies urbaines ont évolué avec les moyens de transport : de la ville dense du 18<sup>ème</sup> siècle (marche), à la ville étalée du 20<sup>ème</sup> siècle (automobile), en passant par la ville étoilée concentrée autour des lignes de transport public (tramway, rail).

---

<sup>1</sup> Les économies d'agglomération correspondent aux économies réalisées par les entreprises qui se regroupent sur un même site afin de partager certains coûts (ex : la formation...), afin d'échanger entre elles, de limiter les déplacements...

### 1.3 Des mutations urbaines liées à l'énergie

Un tableau critique de l'évolution des espaces urbains ces quarante dernières années nous amène à constater plusieurs phénomènes aux antipodes de la notion de développement durable préconisées à juste titre pour organiser des sociétés humaines équilibrées, en phase avec leur environnement.

La ville s'est étalée, la ville s'est relâchée consommant toujours plus d'espace. En France, le courant du fonctionnalisme<sup>2</sup> basé sur le développement du trafic routier a entraîné le zonage de l'espace, multipliant les zones d'activités industrielles et commerciales en périphérie, vidant les centres villes de leur vie. La ville s'est métamorphosée depuis l'explosion de la mobilité individuelle qui a bouleversé les règles d'implantation des hommes. Les flux intra urbains et inter urbains ne cessent de croître, en nombre comme en distance. Les échanges et les réseaux entre pôles urbains du monde entier s'intensifient.

L'augmentation des consommations d'énergie de ces quarante dernières années s'est faite en corrélation avec la modification des espaces urbains. Ceux-ci sont désormais de plus en plus dépendants des agents énergétiques artificiels. Or, en raison de la raréfaction de la ressource et de ses impacts multiples sur l'environnement, le marché de l'énergie est de plus en plus tendu, ce qui rend les villes vulnérables.

---

<sup>2</sup> Le courant du fonctionnalisme emmené par Le Corbusier n'a toutefois pas été interprété de la même manière dans les différents pays d'Europe et d'Amérique du Nord.



# Chapitre 2. Contexte énergétique, socio économique et environnemental

## 2.1 L'énergie, incontournable ressource

### 2.1.1 Un « outil » indispensable au développement humain

L'Homme s'est différencié des autres espèces vivantes de la Terre à partir du moment où il a maîtrisé l'énergie présente dans son environnement: le feu, l'énergie musculaire des animaux, le vent, la force hydraulique, puis les combustibles fossiles et, enfin, l'électricité. La domestication de l'énergie présente dans l'environnement naturel a permis à l'espèce humaine de se développer. Le feu, il y a 500 000 ans, a été un indéniable élément de survie pour l'Homme. Cette immense découverte a donné les moyens à l'espèce de prendre le dessus sur ses prédateurs. Elle lui a permis de se protéger du froid, d'effrayer les animaux dangereux, de cuire la nourriture ou enfin de fabriquer des outils en terre, en verre ou en métal. Vers moins 10 000 ans avant J-C, les hommes ont appris à domestiquer les bêtes<sup>3</sup> et à cultiver la terre. L'essor de l'agriculture s'est accompagné d'une augmentation de la population. A cette époque, l'Homme s'est mis à utiliser la force musculaire des animaux pour le labourage. Plus tard, l'énergie éolienne est exploitée par la civilisation égyptienne. La voile, nouvel outil de la navigation, a amorcé l'expansion du commerce, qui se fait plus intense encore à l'époque de la civilisation grecque. Les Romains, eux, ont inventé le moulin à eau, mais il fut peu exploité, la force des esclaves étant malheureusement l'énergie « privilégiée » pendant l'Antiquité. Il faut attendre le Moyen-Age pour que de nouvelles sources d'énergie soient valorisées. L'énergie des bêtes de somme est alors employée plus efficacement ce qui a pour conséquence d'augmenter la productivité agricole. Et surtout, vers l'an mille, le moulin à eau qui refait son apparition révolutionne plusieurs activités : l'agroalimentaire (meules à grain), le sciage du bois, le broyage des minerais et la métallurgie (activation de soufflets pour les hauts-fourneaux). Cette époque présente les prémices d'un certain développement économique et industriel mais, jusqu'au 17<sup>ème</sup> siècle, les besoins en énergie restent très limités. Cependant, ils

---

<sup>3</sup> L'homme a domestiqué les animaux pour l'agriculture grâce à l'invention de la roue et du collier d'épaule.

continuent de se porter essentiellement sur le bois, ce qui entraîne un épuisement de la ressource.

*« La déforestation de l'Europe prit des proportions inquiétantes aux XVII<sup>èmes</sup> et XVIII<sup>èmes</sup> siècles. D'où la cherté du bois. Dès cette époque, la relation énergie et environnement était déjà clairement posée, et cette situation ne put trouver d'issue qu'à la faveur de l'emploi d'une nouvelle source d'énergie, le charbon. » Pierre Radanne (2005).*

En effet, la révolution industrielle qui suivit fut avant tout une révolution énergétique. Le charbon remplace le bois, il a un pouvoir calorifique bien plus important et fait fonctionner la machine à vapeur mise au point par James Watt en 1780. Cette nouvelle technologie fait progresser l'activité industrielle à pas de géant et bouleverse les transports (locomotives et bateaux à vapeur...). A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le moteur à combustion fait son apparition<sup>4</sup>, il fonctionne grâce à une ressource encore au centre de l'actualité aujourd'hui : le pétrole. Depuis lors, la consommation de cette source d'énergie au pouvoir calorifique encore supérieur au charbon ne cesse de croître. Enfin, à la même époque avec l'invention de la dynamo (1869), du premier alternateur, de l'ampoule à incandescence d'Edison (1878) et la découverte de la « houille blanche » par Aristide Bergès, l'électricité entre sur la scène énergétique pour ne plus la quitter grâce notamment à l'invention du transport de l'électricité par Marcel Desprez.

Les augmentations de population, la baisse du taux de mortalité ou encore l'augmentation de l'espérance de vie les plus significatives apparaissent à partir des XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles et se poursuivent au XX<sup>ème</sup> siècle. Certes, à cette époque, les progrès dans le domaine de la science et de la médecine ainsi que les innovations agricoles et industrielles ont fourni des conditions particulièrement favorables à la baisse de la mortalité. Mais le développement de nouvelles capacités énergétiques a également joué un rôle primordial. L'utilisation de la force mécanique a permis d'améliorer le rendement agricole, d'avoir une nourriture plus riche et de limiter les problèmes de famine. La découverte du charbon a lancé le développement de l'activité industrielle et la production de nouveaux biens de confort qui s'en suit. Au cours du temps, les techniques se sont améliorées, valorisant les nouvelles énergies (le charbon, le pétrole puis l'électricité) avec de meilleurs rendements. Des machines fonctionnant grâce à l'énergie artificielle ont remplacé l'homme dans les tâches les plus pénibles, que ce soit dans l'industrie ou dans l'agriculture. Enfin, le chauffage, de plus en plus efficace, a permis de lutter contre les conditions climatiques les plus rudes.

---

<sup>4</sup> Le moteur à explosion a été mis au point par G.Daimler en 1885.

L'énergie n'est qu'un vecteur du développement, mais ce vecteur est à la base du système économique en place depuis la première révolution industrielle. L'énergie joue un rôle capital pour la vie humaine et son organisation socio-économique. La corrélation entre l'évolution démographique et la demande en énergie par habitant présentée dans la figure 2 en est la preuve.

L'énergie joue, non seulement, un rôle essentiel dans les sociétés urbaines qui sont complètement dépendantes des échanges mais aussi, dans le fonctionnement des villes elles-mêmes.

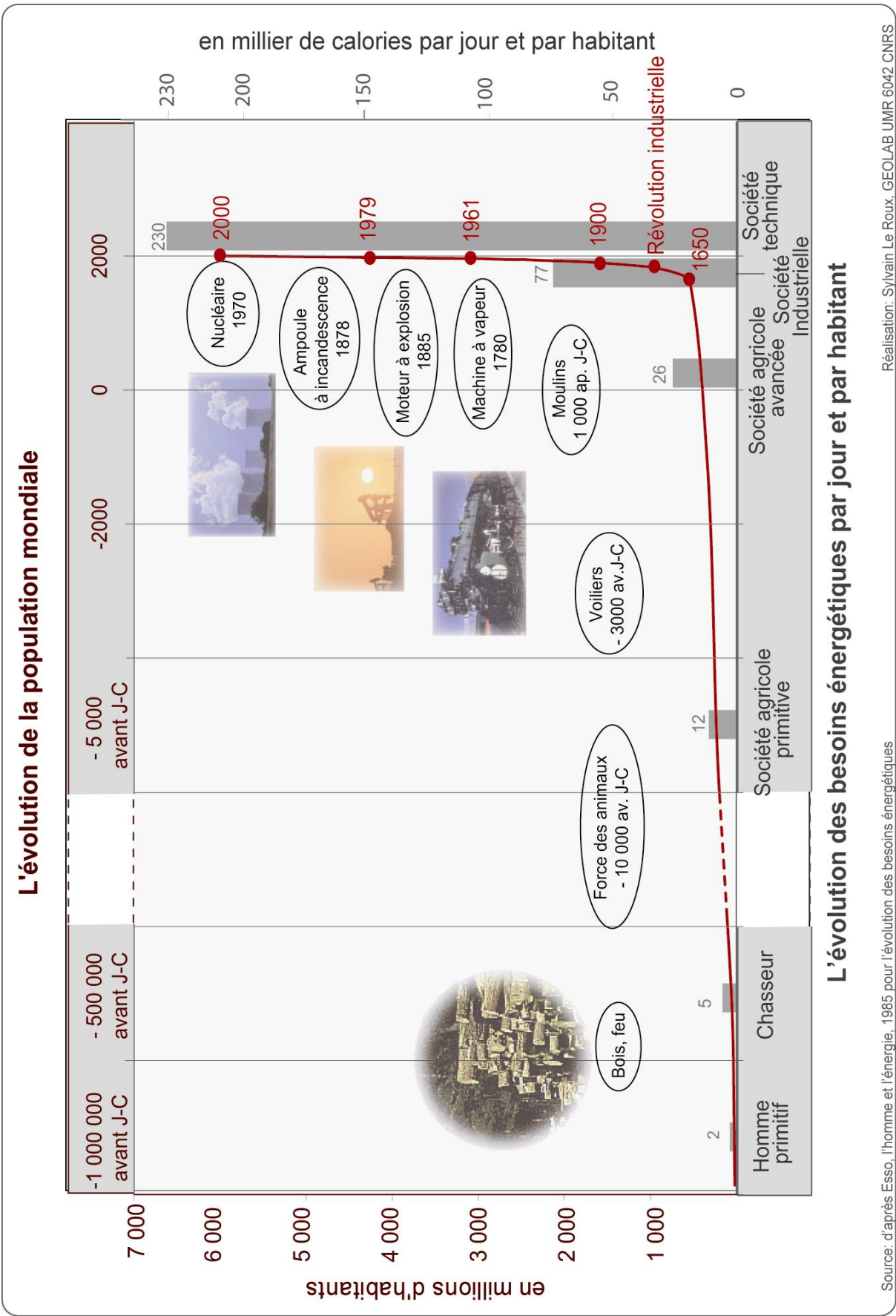


Figure 2 : L'évolution parallèle de la croissance démographique et des besoins énergétiques.



## 2.1.2 Une demande mondiale croissante

Les consommations d'énergie ont eu une forte tendance à s'accroître depuis la révolution industrielle. Elles ont, en effet, suivi une évolution exponentielle, montant en flèche dès le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, durant la révolution industrielle. L'évolution des modes de production, l'explosion démographique et l'élévation du niveau de vie des pays concernés par l'industrialisation ont décuplé la demande. A en croire les données de la figure 3, la croissance constante de 1860 à 1950 a fait place, après la seconde guerre mondiale, à une explosion de la demande. De 1945 à 2004, les besoins ont été multipliés par plus de sept, la tendance la plus accentuée des années 60 a seulement été atténuée par les périodes de récession correspondant aux deux chocs pétroliers (entre 1973 et 1975 et entre 1979 et 1982) et à la crise liée à la désagrégation de l'ex-URSS. Nous constatons qu'au cours du temps, différentes énergies émergent et viennent remplacer celles qui perdent en compétitivité. Jusqu'à la 1<sup>ère</sup> révolution industrielle, nous l'avons vu précédemment, la ressource privilégiée était le bois. A partir de la seconde moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle, le charbon supplante le bois et répond à la demande grandissante. Cela, jusque vers le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, époque à laquelle la demande en pétrole explose. On entre alors dans l'ère du pétrole, jusqu'aux chocs pétroliers qui font prendre conscience à la communauté internationale - les pays industriels essentiellement - de la nécessité de diversifier le bouquet énergétique. Dès 1970, le gaz prend une ampleur plus importante, il en est de même pour l'hydraulique mais dans des proportions moindres. Le nucléaire apparaît dans les années 70, mais ce mode d'énergie est resté très minoritaire à l'échelle planétaire.

Aujourd'hui, la première ressource énergétique consommée est le pétrole (35 %), viennent ensuite le charbon (25 %), le gaz naturel (21 %). De manière plus marginale, le bois<sup>5</sup> et autres représentent 10 % du total consommé et les consommations d'électricité primaire : 9 %<sup>6</sup>. Toutes ces énergies additionnées, la population humaine mondiale consomme 10 600 millions de Tep.

De plus, l'augmentation de la demande énergétique ne semble pas terminée. La population mondiale s'accroît considérablement. Après avoir doublé en 50 ans, elle compte actuellement 6,5 milliards d'êtres humains et elle pourrait atteindre dix milliards en 2075 selon l'hypothèse *moyenne* des Nations-Unies. Cet accroissement spectaculaire de la

---

<sup>5</sup> Même si le bois n'apparaît pas dans la figure 3, il est consommé dans des proportions non négligeables, seulement, elles sont difficiles à quantifier.

population humaine mondiale serait en très grande partie lié à l'explosion démographique des pays du Tiers Monde. Ce phénomène s'accompagne d'une augmentation des besoins en énergie, une demande d'autant plus prononcée que l'aspiration légitime des pays les moins avancés à un développement économique et à un niveau de vie calqué sur le modèle occidental passera obligatoirement par une augmentation importante de leur consommation d'énergie. Etant donné le phénomène de transition urbaine installé depuis un siècle et demi, l'augmentation de la demande énergétique est et sera majoritairement urbaine.

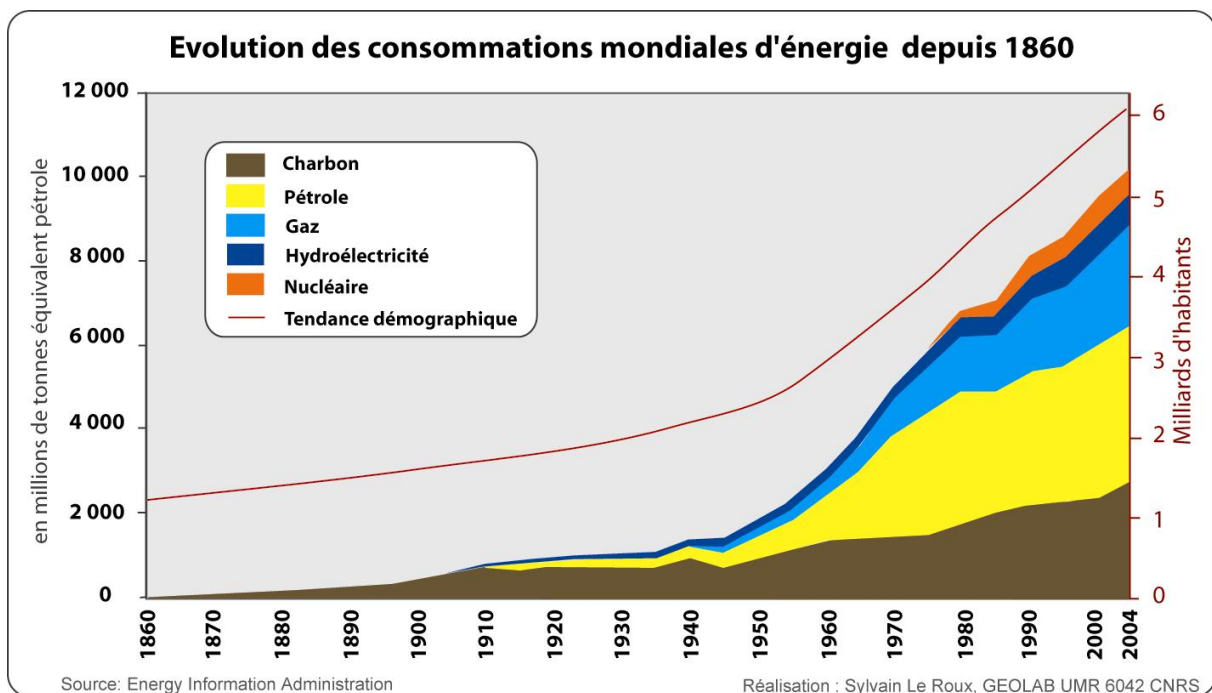


Figure 3 : L'évolution de la consommation mondiale d'énergie.

### 2.1.3 Un déséquilibre spatial

Il existe d'énormes disparités entre les différents pays et les différentes régions du monde. Les blocs les plus consommateurs sont l'Amérique du Nord (2 957 Mtep en 2002) et l'Asie/Océanie (2945 Mtep). L'Europe de l'Ouest et l'Europe de l'Est sont aussi des régions du monde fortement consommatrices. Les ratios de l'Afrique et du Moyen-Orient sont en revanche bien plus faibles. Ces ordres de grandeur n'ont que peu de valeur s'ils ne sont pas rapportés au nombre d'habitants. En effet, l'Asie consomme autant que l'Amérique du Nord mais le continent asiatique est bien plus peuplé. A titre d'exemple, le pays le plus consommateur au monde est les Etats-Unis, pourtant il ne compte que 260 millions d'habitants, moins d'un quart du géant Chinois qui consomme pourtant de deux fois moins.

<sup>6</sup> Les statistiques concernant les consommations d'énergie primaire ont pour source : *Energy statistical year book*, Enerdata.

C'est pourquoi, nous analyserons les consommations des pays rapportées au nombre d'habitants à partir de données de 2002 transcrites dans la figure 5.

Le contraste entre les pays développés et les pays en développement ou les pays émergents est flagrant. L'Asie est beaucoup moins gourmande qu'il n'y paraît puisque la région « Asie et Océanie » présente un taux de consommation de 0,84 tep/hab/an. En comparaison, l'Europe de l'Ouest et l'Europe de l'Est présentent des ratios respectifs de 3,39 et 3,75 tep/hab/an et l'Amérique du Nord a un indice qui monte à 7 tep/hab/an (voir la figure 4). A l'inverse le Moyen-Orient montre des taux qui se rapprochent des taux européens. Les pays exportateurs de pétrole présentent souvent des consommations extrêmement élevées : le Qatar (20 tep/hab/an), le Bahreïn (10 tep/hab/an). Le continent le moins consommateur reste l'Afrique. On y trouve les pays avec les taux les plus bas. Au Tchad, on consomme 0,01 tep/hab/an, au Mali 0,03 tep/hab/an. Un Africain consomme 20 fois moins qu'un Américain et dix fois moins qu'un Européen. Un Chinois consomme quatre fois moins qu'un Français. Les disparités constatées peuvent atteindre un rapport de 1 à 200.

Ces disparités sont dues en partie au climat - les besoins de la Norvège seront supérieurs à ceux du Maghreb - mais il sont surtout dus à d'autres facteurs déterminants : le niveau d'industrialisation et la structure du système de production des richesses du pays, la dotation en ressources naturelles, les modes de vie et la densité d'occupation du sol (B. Mérenne-Schoumaker, 2007). L'équilibre géographique des conditions d'accès à ce niveau d'industrialisation, de production, et de confort est loin d'être une réalité. Les disparités énergétiques Nord-Sud se retrouvent également pour les seuls espaces urbains. Cette inégalité occasionnera des réajustements et probablement des tensions dans le contexte actuel d'épuisement des ressources.

On peut également constater des déséquilibres spatiaux entre les espaces urbains et les territoires ruraux. Dans les pays occidentaux comme dans les pays en développement, les espaces urbains, plus peuplés, plus industrialisés consomment plus d'énergie que les territoires ruraux.

---

2006. l'électricité primaire est composée essentiellement et à part égale de l'énergie nucléaire et de l'hydroélectricité.

## Consommation d'énergie primaire dans le monde en Millions de Tep, en 2002

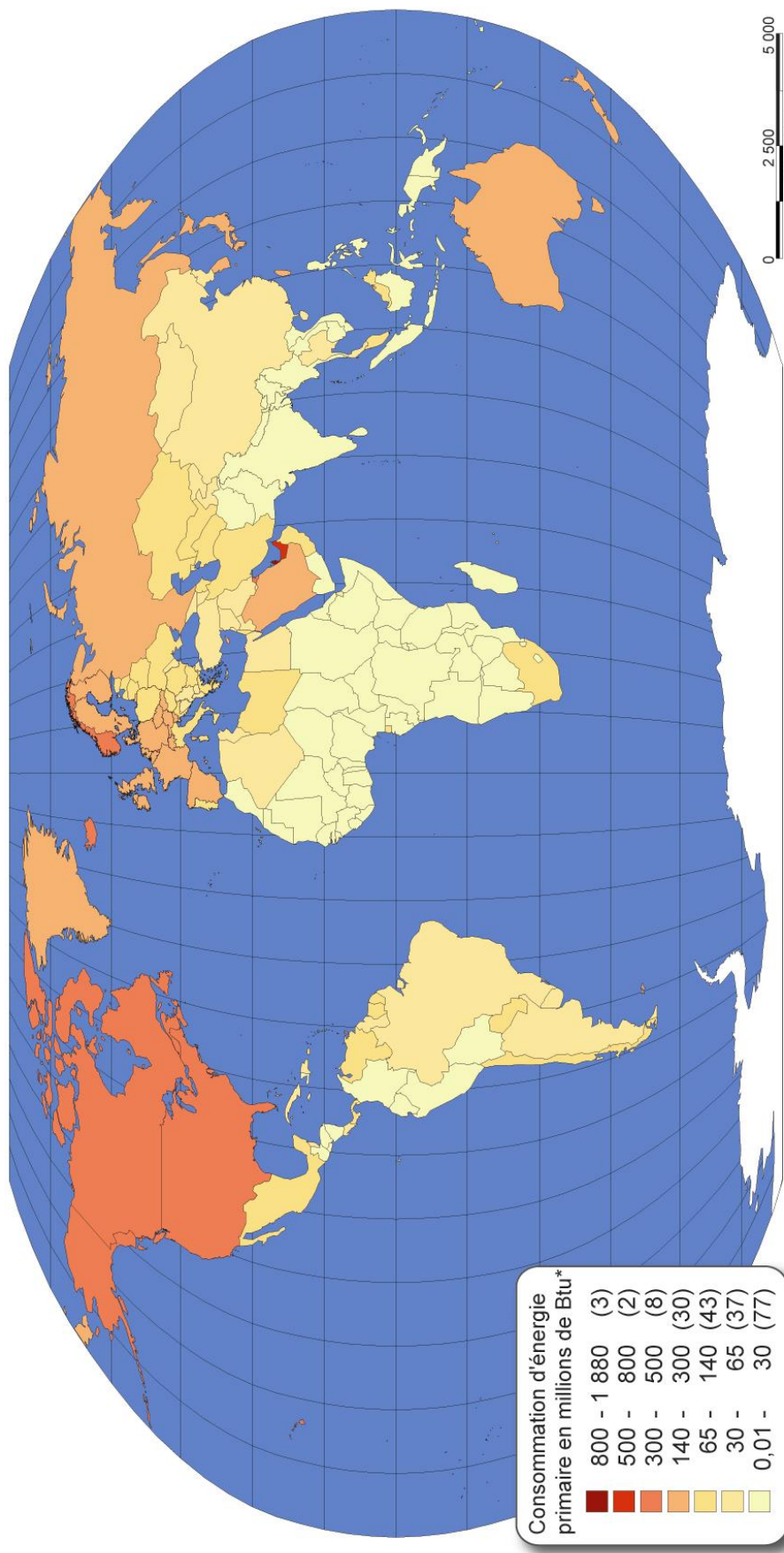
Pays/Région	en Mtep	Pays/Région	en Mtep	Pays/Région	en Mtep
Canada	329	Czech Republic	40	Algeria	32
Mexico	167	Kazakhstan	53	Egypt	59
United States	2 461	Russia	694	Mauritania	1
<b>Amérique du Nord</b>	<b>2 957</b>	Ukraine	165	South Africa	115
Argentina	62	Uzbekistan	53	<b>Afrique</b>	<b>321</b>
Brazil	217	<b>Europe de l'est</b>	<b>1 308</b>	Australia	141
<b>Amérique Latine</b>	<b>534</b>	Iran	148	Bangladesh	14
France	277	Israel	20	China	1 088
Germany	360	Kuwait	24	Japan	554
Italy	192	Saudi Arabia	130	India	352
United Kingdom	241	United Arab Emirates	53	<b>Asie et Océanie</b>	<b>2945</b>
<b>Europe de l'ouest</b>	<b>1 821</b>	<b>Moyen-orient</b>	<b>475</b>	<b>Monde total</b>	<b>10 362</b>

Source: Energy Information Administration, *International Energy Annual 2002, Juin 2005*.



Figure 4 : La consommation d'énergie primaire dans le monde.

## Consommation d'énergie primaire par habitant dans le monde en 2002



\* Btu: le British Thermal Unit est une unité d'énergie anglo-saxonne qui est définie par la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre anglaise d'eau d'un degré Fahrenheit  
 Source: International Energy Annual 2002, Energy Information Administration  
 Réalisation : Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS

Figure 5 : La consommation d'énergie primaire par habitant dans le monde.

## 2.1.4 Le contexte français

Cette thèse analysera plusieurs agglomérations de taille moyenne en Europe dont la plus grande partie sont localisées en France. C'est pourquoi, il nous faut recontextualiser le marché énergétique français. Pour faire cet état des lieux nous nous baserons sur les données publiées en 2004 par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie qui publie chaque année un ouvrage de référence : « L'énergie en France, repères » (Edition 2004) dont les résultats principaux sont exposés dans la figure 6.

### 2.1.4.1 Un bilan énergétique négatif

En 2003, la France a produit, tout mode d'énergie compris (charbon, pétrole, gaz, électricité primaire, énergie renouvelable), 137,3 millions de tonnes équivalent pétrole d'énergie primaire. Cela représente 1,3 % de la production primaire mondiale et 17 % de la production européenne (UE à 15). Cette même année, la consommation d'énergie primaire était de 275 millions de tep, soit le double de sa capacité de production. La société française est dans une situation de dépendance énergétique qui l'oblige à importer la moitié de ses besoins.

En effet, les productions de pétrole, de gaz et de matières fissiles sont aujourd'hui quasi inexistantes. Etant donné l'absence de gisements sur le territoire français, le pétrole et le gaz sont produits en quantités très marginales, respectivement 1,9 et 1,6 millions de tep. La France est inévitablement dépendante des pays exportateurs. En 2003, 85,4 millions de tep de pétrole brut, 28,6 millions de tep de pétrole raffiné et 38,2 millions de tep de gaz ont été importées. Bien qu'il existe quelques réserves dans le sous-sol français, ces combustibles ne sont plus produits qu'en très faible proportion. L'industrie du charbon subit une dégringolade depuis les années 60 en raison du déclin des consommations de charbon et de la concurrence d'autres pays (Australie, Afrique du Sud, USA, Pologne). Ce combustible a peu à peu été remplacé par le pétrole et les mines de charbon ont vu leur compétitivité chuter. Ainsi, sa production qui culminait à 60 millions de tonnes en 1960 est tombée à moins d'un million en 2004, jusqu'à la fermeture du dernier puits lorrain de La Houve. Et pourtant, on en consomme encore 20 millions de tep, le reste est donc importé.

La production d'énergie en France est entièrement consacrée à la production d'électricité. La fée électricité représente 88 % de la production d'énergie primaire du pays avec 550 TWh, soit environ 121 millions de tep générées en 2003. Economiquement, l'industrie électrique est capitale car elle est bénéficiaire sur le marché des échanges :

72 TWh sont exportés dans les pays limitrophes. Cela confère à EDF une place importante sur le marché européen.

Cette prépondérance de l'électricité dans le bilan des productions est liée en très grande partie au choix politique pris dans les années 70 lors des chocs pétroliers en vue de développer l'énergie nucléaire. Aujourd'hui, le parc nucléaire français est l'un des plus importants au monde. Si bien que ce mode de production est à l'origine de 78 % de la production d'électricité. Nous en conviendrons, le nucléaire est le cheval de bataille de la France en matière d'énergie. Ce n'est pas le cas de la plupart des autres pays européens. L'industrie nucléaire comporte des risques que la plupart des pays ne veulent pas assumer. L'Allemagne et le Danemark, par exemple, se sont engagés à mettre un terme à cette activité. L'Italie n'a aucune centrale électronucléaire sur son territoire.

Le second mode de production d'électricité en France est la grande hydraulique qui représente 11,5 %. Les centrales thermiques classiques qui fonctionnent grâce au charbon au gaz ou au fioul représentent, elles, 10,7 % de la production. Les autres énergies renouvelables (éolien, petite hydraulique, photovoltaïque...) ont une part absolument marginale pour l'instant mais si l'on en croit l'avancée de l'éolien dans de nombreux autres pays - l'énergie éolienne est à l'origine de 14 % de la production d'électricité au Danemark par exemple - les énergies renouvelables sont vouées à un avenir plus glorieux.

Hors production d'électricité, les énergies renouvelables, malgré leur apparente difficulté à décoller, représentent tout de même 9 % de la production totale d'énergie primaire française avec 12,6 Mtep en 2003 (13 % en comptant l'hydroélectricité). Cela fait de la France le premier producteur d'énergie renouvelable en Europe (hydraulique comprise). Ces 12,6 Mtep sont fournies en grande majorité par le bois et les déchets de bois mais aussi par les déchets urbains solides. Le bois a pour usage principal le chauffage domestique (feu de cheminée, poêle, chaudière...) et la production de ce type d'énergie n'est pas encore très organisée, elle relève plutôt de l'économie parallèle ou de l'approvisionnement individuel. Malgré les bons rendements affichés par les chaudières bois actuelles, leur diffusion reste limitée.

On est amené à penser que les énergies renouvelables ne sont pas exploitées de façon optimale. Pourtant le potentiel français est important. La forêt française est la première d'Europe occidentale. Il y a un fort potentiel hydraulique et géothermique et le gisement éolien est le deuxième d'Europe. Le potentiel solaire n'est pas en reste, idem pour le biogaz ou pour les agrocarburants...

#### 2.1.4.2 Une importante demande de pétrole et d'électricité

La France est un pays riche et développé et l'énergie remplit une fonction primordiale dans son économie. C'est pourquoi ce pays présente des taux de consommation très supérieurs à la moyenne mondiale. En 2003, 275 millions de tep d'énergie primaire ont été consommées, soit environ 2,8 % de la consommation mondiale. La population française ne représentant pourtant qu'1 % de la population mondiale. La consommation rapportée au nombre d'habitants est de l'ordre de 4,5 tep/hab/an soit 2,2 points au-dessus de la moyenne mondiale qui est de 1,7 tep/hab/an. Comme l'illustre le dernier graphique de la figure 6, les secteurs les plus consommateurs sont l'industrie énergétique (centrales électriques, raffineries...), le résidentiel-tertiaire, les transports et l'industrie classique. Ces secteurs économiques sont, en grande proportion, à caractère urbain.

Par contre, l'agriculture, une activité propre aux espaces ruraux, nécessite peu d'apports énergétiques. En 2003, sa consommation équivaut à 3 millions de tep et l'on peut noter qu'elle est stable dans le temps. La demande industrielle (sans prendre en compte la branche énergie) représente une part de 14 %. En 1973, sa part s'élevait à 27 %. Cette diminution est le fruit d'une nette stabilisation des consommations de l'industrie depuis les deux chocs pétroliers car, à l'époque, des politiques d'économie et de maîtrise d'énergie ont été mises en œuvre dans ce secteur pour faire face à la pénurie. Contrairement au secteur industriel, le résidentiel-tertiaire, les transports et la branche énergie n'ont pas maintenu leurs efforts. La branche énergie (raffinage, production et distribution d'électricité, usages internes, pertes et ajustements<sup>7</sup>) a vu ses besoins passer de 35 Mtep en 1973 à 99 Mtep en 2003.

Le secteur résidentiel et tertiaire présente une demande en augmentation depuis 30 ans passant de 56 millions de tep en 1973 à 68 millions de tep en 2003 (soit 25 %). Cette hausse s'explique par l'augmentation démographique, mais aussi par l'avancée du confort et des produits d'électricité spécifiques (électroménager, éclairage, informatique, hifi-vidéo...). Plus des trois-quarts de cette demande sont attribués aux populations des villes. La consommation du secteur des transports est, elle aussi, en nette augmentation. De 26 millions de tep en 1973, elle passe à 50 millions de tep en 2003. Cette hausse est directement imputable à l'essor du trafic routier - pour le fret, pour les déplacements inter urbains mais aussi les déplacements intra urbains.

---

<sup>7</sup> Les pertes et ajustements relatifs au secteur de l'énergie totalisent une consommation de 80 Mtep.

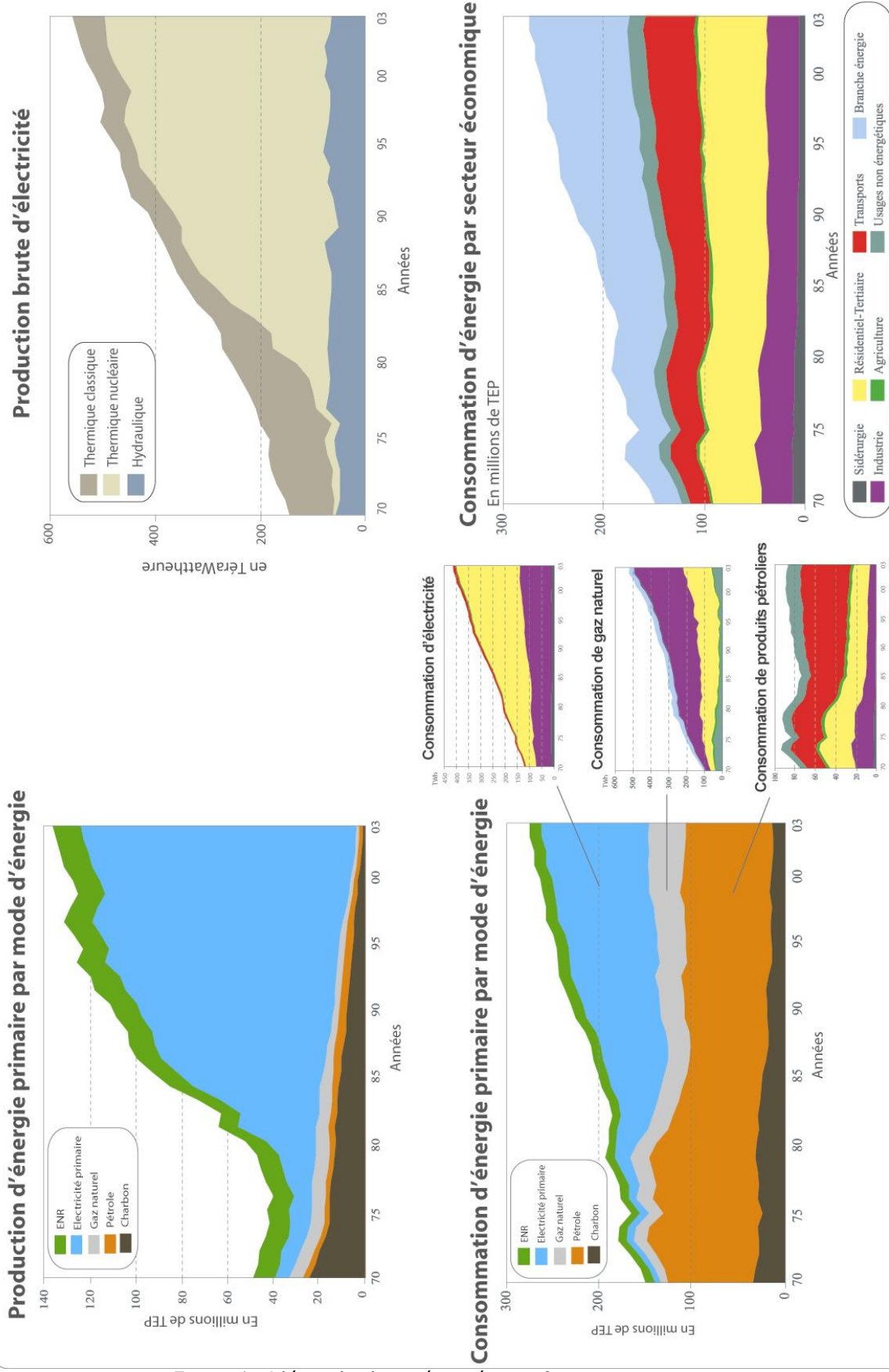


Lorsque l'on ventile ce bilan français des consommations d'énergie par mode d'énergie, on constate que les combustibles fossiles occupent toujours le premier poste, ceci malgré les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 qui avaient poussé la société française à maîtriser sa demande en pétrole. En 1983, le contre choc pétrolier avait eu l'effet inverse. Néanmoins, de 1973 à 2003, la part des consommations de pétrole dans la consommation totale d'énergie primaire est passée de 67 % à 34 %. La part du charbon a, elle, été divisée par trois. Seule la demande en gaz a progressé ; elle a d'ailleurs doublé.

L'énergie qui s'est le plus développée ces trente dernières années est l'électricité. 115 millions de Tep sont consommées en 2003 contre 8 Mtep en 1973. Le fait est que l'offre électronucléaire a comblé une partie de la demande en pétrole et en charbon. L'électricité, malgré ses nombreux avantages, présente pourtant certains inconvénients. On ne sait pas la stocker en grande quantité, il faut donc pouvoir ajuster la production en fonction de la demande prévue. Cela entraîne de nombreuses pertes dues à un surplus de production qui viennent s'ajouter aux pertes sur le réseau câblé.

Malgré sa volonté de développer l'électricité nucléaire depuis les années 70, la France reste une nation dépendante des pays exportateurs de produits pétroliers. Sa demande a, en effet, énormément crû ces quarante dernières années et elle est encore aujourd'hui à la hausse. Enfin, plus des trois-quarts de l'énergie finale est consommée dans les villes, là où se concentrent la population et les activités tertiaires et industrielles.

# L'état des lieux énergétique français



Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS  
 Source: d'après l'Observatoire de l'énergie, L'énergie en France, repères, édition 2004

Figure 6 : L'état des lieux énergétique français.

## 2.2 Les contraintes liées à l'énergie

### 2.2.1 L'épuisement des ressources

Comme nous l'avons constaté précédemment, les sources d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) et fissiles (uranium, plutonium...) sont les ressources énergétiques les plus utilisées à travers le monde, c'est également le cas pour l'Europe ou la France. Or, les ressources fossiles et fissiles sont non renouvelables, au sens où elles existent sur notre planète en quantité limitée, et bien que les estimations qui sont faites des quantités restantes soient variables, discutées et controversées, leurs stocks s'épuisent.

L'industrie pétrolière distingue les réserves des ressources. Alors que « *les réserves sont au sens strict (classification AAPG, SPE, WPC1 2000<sup>8</sup>) formées des accumulations identifiées qui sont ou seront récupérables dans les conditions techniques et économiques d'aujourd'hui, dans les gisements en exploitation ou en cours de développement* »<sup>9</sup>, les ressources correspondent aux réserves ultimes « *correspondantes aux quantités d'hydrocarbures, récupérables ou non, contenues dans le sous-sol* »<sup>9</sup>. Les réserves prouvées de pétrole sont estimées à 1 000 Gigabarils, soit 140 milliards de tonnes environ, l'équivalent de la production d'une quarantaine d'années au rythme actuel (voir figure 7). Les réserves de gaz représentent une quantité énergétique quasiment similaire pour une durée de production d'environ 60 ans. Enfin, les réserves de charbon seraient de 509 Gtep, soit une durée d'extraction d'environ 200 ans. Lorsque l'on sait qu'une grande partie de l'économie et du fonctionnement de nos sociétés est basée sur les combustibles fossiles, ces données sont alarmantes.

Cependant, ces données sont à relativiser. Les réserves ne sont pas les ressources. Le concept de « réserve » correspond à une vision statique et arrêtée dans le temps qui prend uniquement en compte les gisements actuellement découverts et exploitables. Quel est donc l'état des ressources ? Il est difficile de répondre à cette question étant donné qu'elles sont, par définition, à découvrir. En ce qui concerne le pétrole, il existe, d'un côté, les courants optimistes emmenés par des économistes tels que Morris Adelman qui appuient leur argumentaire, entre autres, sur le fait que les estimations déjà émises dans le passé ont toujours été révisées à la hausse - en effet les réserves prouvées de pétrole et de gaz ont doublé depuis 1980 - et, d'un autre côté, il y a les pessimistes comme C. Campbell s'appuyant plutôt sur les connaissances géologiques qui constatent qu'aucune

---

<sup>8</sup> AAPG : American Association of Petroleum Geologists, SPE : Society of Petroleum Engineers, WPC1 : World Petroleum Congress.

découverte d'importance n'a été relevée ces trente dernières années. La fourchette des estimations est donc très large, le Groupe de travail sur le Pétrole formé en 2007 pour participer à la Commission française *Energie et Changement climatique* a retenu une vision intermédiaire fondée sur les résultats de différents spécialistes (IHS, Energy File, USGS, Institut Français du Pétrole). « Cette dernière estime les réserves ultimes de pétrole conventionnel à 3 000 Gigabarils (milliards de barils), dont 1 000 environ ont déjà été consommés, un peu plus de 1 000 de réserves prouvées, le reste correspondant aux réserves à découvrir principalement dans les bassins à exploration incomplète ou encore inexplorés comme les bassins péri-arctiques ».

### Les réserves énergétiques mondiales par continent (2003)

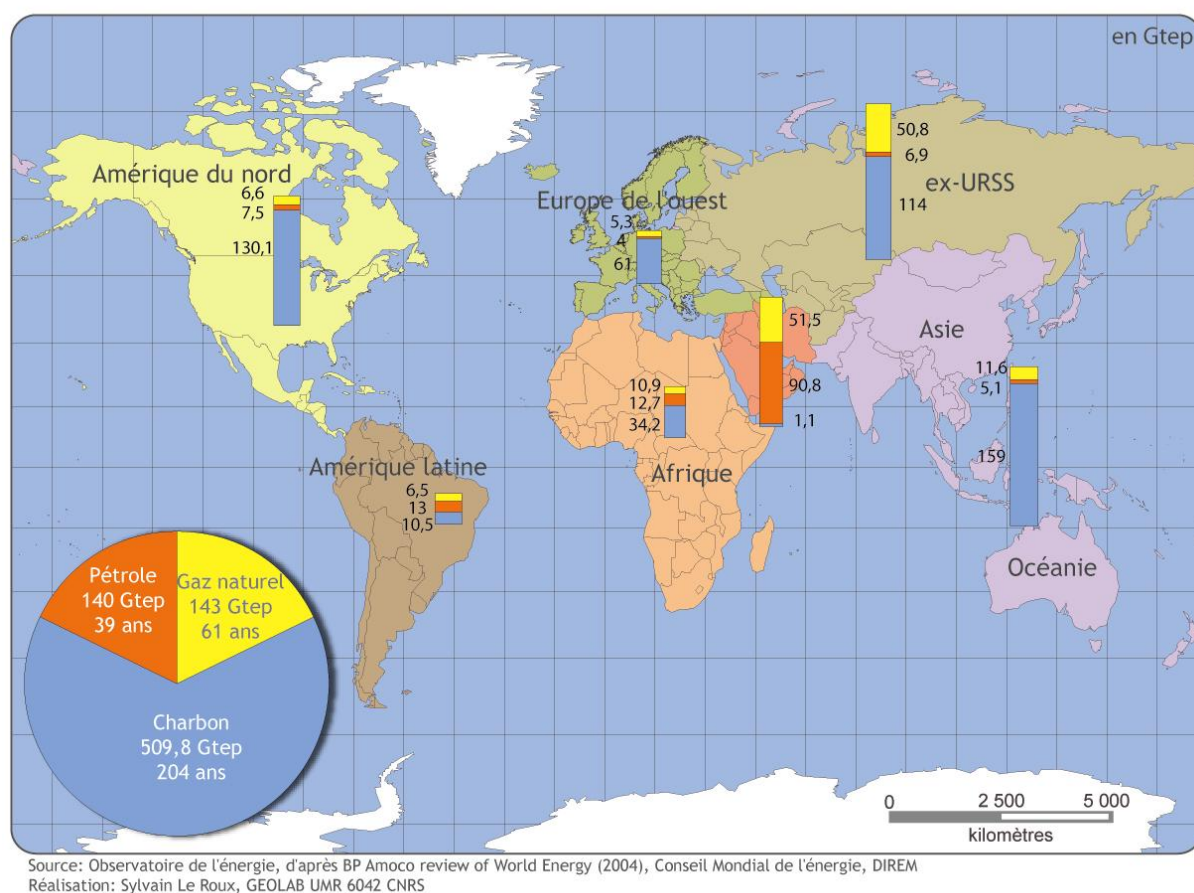


Figure 7 : Les réserves énergétiques mondiales par continent.

A cela s'ajoutent les réserves dites non conventionnelles<sup>10</sup> qui ne sont pas exploitées aujourd'hui en raison de leur coût déraisonnable par rapport au marché : les huiles extra-lourdes du Venezuela et les sables asphaltiques du Canada qui présentent des ressources considérables de 1 500 Gigabarils - bien qu'elles ne constituent des réserves

<sup>9</sup> Source : *Que penser de l'épuisement des réserves pétrolières et de l'évolution du prix du brut ?* Académie des technologies, Commission Energie et Changement climatique, Groupe de travail Pétrole, mars 2007.

<sup>10</sup> Les réserves dites non conventionnelles sont des gisements nécessitant de nouvelles techniques d'extraction ou de traitement autres que celles employées actuellement.

techniquement et économiquement exploitables aujourd'hui que de 300 Gb et de 600 Gb en 2030 vraisemblablement - mais aussi les schistes bitumineux du Colorado.

Enfin, le taux de récupération de l'huile dans les gisements pourrait être amélioré grâce au progrès technique. Aujourd'hui, les compagnies ne récupèrent en moyenne que 35 % de ce qui est sous-terre. L'augmentation de ce taux, grâce à l'injection de gaz<sup>11</sup> par exemple, mettrait à disposition des ressources complémentaires substantielles. Bref, la ressource existe. Peut-être, y aura-t-il encore du pétrole à extraire en mer profonde dans plus d'un siècle. Mais à quel prix ? La notion économique prend le pas sur la notion d'épuisement physique. Car à partir du moment où la production de pétrole ou de gaz aura atteint son pic (Peak oil ou pic d'Hubert) et qu'elle amorcera son déclin, les conditions d'extraction deviendront de plus en plus difficiles et coûteuses. Ce pic, pour certains auteurs est déjà dépassé. Les plus optimistes le prévoient pour 2030, c'est à dire demain. Il est d'ailleurs encore plus probable que ce concept de pic de production soit remplacé dans la réalité par « *plusieurs sommets de production pour des prix très différents à des périodes historiques très distantes* » (Pierre Radanne, 2005).

Les ressources non conventionnelles, pratiquement inexploitées pour l'heure en raison de leur coût excessif, constitueront peut-être un jour le relais des produits pétroliers d'aujourd'hui. Il faut donc relativiser le risque, à court terme, de pénurie physique mais prendre très au sérieux la crise énergéico économique qui s'annonce. Le renchérissement actuel du prix du baril - qui a dépassé la barre fatidique des 100 \$ fin 2007 - laisse penser qu'un climat de tension se forme autour des hydrocarbures qui sont des ressources à la base du système de développement économique contemporain.

En ce qui concerne les réserves d'uranium, il est estimé que les ressources exploitables à 80 dollars le kilo pourraient être exploitées au rythme actuel durant 50 ans, les ressources à 130 dollars le kilo durant 65 ans. Cependant le recensement des gisements n'est pas exhaustif et les ressources sont sans doute plus importantes. De plus, les progrès technologiques pourraient permettre de décupler les rendements des centrales nucléaires. Toutefois, nous sommes face à une ressource finie qui présentera les mêmes problématiques que le pétrole ou le gaz. Seul le charbon présente des réserves plus importantes, et il se pourrait qu'il revienne sur le devant de la scène, en particulier lorsque la hausse du prix du pétrole rendra viable économiquement la production de carburants à partir du minerai carbonifère.

---

<sup>11</sup> L'injection de gaz carbonique dans les gisements pourrait permettre d'accroître les rendements d'extraction et permettre de séquestrer du carbone sous-terre.

L'épuisement des ressources est donc une réalité. La hausse des prix des combustibles fossiles et fissiles qui en découlera risque de poser de sérieux problèmes dans les prochaines décennies. D'autant que la ressource est répartie de manière très inégale dans le monde. Ce déséquilibre spatial entraîne des stratégies, des tensions et des conflits géopolitiques, les deux guerres du golfe en sont les malheureux exemples.

### **2.2.2 Les impacts socio-économiques et géopolitiques liés à l'énergie**

D'après la figure 7, le Moyen-Orient concentre 65 % des réserves de pétrole, le gaz est concentré en ex-URSS (35 %) et au Moyen-Orient (35 %) et le charbon, un peu mieux réparti, se trouve principalement dans trois régions : l'Asie, l'Amérique du Nord et l'ex-URSS. Or, l'essentiel de la demande en énergie se concentre en Amérique du Nord, en Europe et en Chine (voir figure 4). Cet écart géographique entre l'offre et la demande fait naître des tensions voire des conflits autour de la ressource.

« En matière énergétique, l'expérience montre que les relations qui s'établissent sur la scène internationale dans la production, la transformation et le commerce des matières énergétiques sont, pour l'essentiel, commandées par des rapports de force. » (B. Mérenne Schoumaker, 2007). Avec la croissance de la demande et le déclin de la ressource, les pays producteurs de pétrole et de gaz et les pays fortement consommateurs ont engagé un bras de fer. La ressource à bas prix s'épuise, les groupes humains et les pays s'organisent autour de ces gisements. Nous voyons se dessiner des stratégies, des alliances, des tensions ou des conflits, on parle de « guerre de l'énergie ». La plupart du temps, les tensions se règlent par la voie diplomatique et la guerre de l'énergie conserve un aspect uniquement économique. Mais l'attrait de la ressource va jusqu'à engendrer les plus importants conflits armés du monde contemporain (voir figure 8). Les ressources gaz et pétrole ont également été utilisées comme des armes. Couper l'approvisionnement énergétique d'un pays revient à le mettre à terre. L'une des causes du premier choc pétrolier fut l'embargo mené par les pays arabes exportateurs de pétrole contre les pays alliés d'Israël durant la guerre du Kippour.

A travers la figure 8, nous avons tenté de recenser les plus importants conflits ou troubles qui se sont développés sur fond de tensions liées à l'énergie et en particulier aux hydrocarbures. Le plus grand nombre de conflits de ce type se retrouve dans la région du monde où la ressource est la plus grande, au Moyen-Orient. Nous constatons que des conflits importants se déroulent et se sont déroulés en Afrique et en Asie, et que l'Amérique du Sud a connu certains troubles. Ces conflits sont liés à l'organisation de l'exploitation de cette richesse par un pays ou un territoire, à sa capacité à redistribuer ou

répartir équitablement les bénéfices liés à la ressource ou enfin, à des stratégies de domination des pays importateurs pour contrôler les gisements et les voies d'approvisionnement. Nous illustrerons ces propos à travers plusieurs exemples de conflits qui sont accompagnés de tensions et de stratégies sur le plan pétrolier.

Le sous-sol du Venezuela et de la Bolivie recèle d'importantes ressources de pétrole et de gaz. Ces deux pays ont pris le parti de faire de cette ressource une arme économique et politique pour lutter contre « l'impérialisme des Etats-Unis »<sup>12</sup>. L'histoire de la politique énergétique démontre que de sérieux troubles ont eu lieu dans ces deux pays socialistes. Le Venezuela est le sixième exportateur mondial de pétrole. Jusqu'en 2001, ses ressources naturelles étaient exploitées par des multinationales à capitaux occidentaux. Arrivé au pouvoir, le président Hugo Chavez a modifié cet état de fait et a nationalisé les gisements pétrolifères. Ce choix politique avait été suivi d'une importante contestation et d'une grève des travailleurs du secteur privé et de la compagnie pétrolière. Ce soulèvement était fomenté par les forces d'opposition au gouvernement qui ont tenté, par là même, de renverser le chef d'Etat en avril 2002. L'opposition pro-libérale est aujourd'hui affaiblie et divisée. En Bolivie, c'est, à l'inverse, le processus de privatisation débuté en 1996 qui a été très controversé. En 2003, la répression par le gouvernement d'un mouvement social de protestation contre la réalisation d'un projet d'exportation du gaz vers les Etats-Unis via le Chili fit 80 morts. Le Président Sanchez de Lozada, dans l'obligation de démissionner, s'est vu remplacé par Evo Morales qui s'est empressé de re-nationaliser la ressource gazière.

Ces deux exemples démontrent, d'une part, le poids des ressources d'hydrocarbures sur les relations internationales et, d'autre part, la difficulté d'un territoire à gérer ce gisement, à organiser son exploitation ainsi qu'à rester unifié tout en subissant les pressions extérieures.

En Afrique, une importante partie des ressources en hydrocarbures concentrées dans le delta du Niger sont exploitées par des compagnies internationales (Shell, Chevron Texaco, Total...). Le Nigeria est ainsi le premier producteur africain mais, malgré une croissance économique de 6,9 % en 2005 grâce au pétrole, les populations (20 millions d'habitants) très pauvres du delta n'ont connu aucune amélioration de leur niveau de vie. La rente pétrolière semble avoir servi à développer d'autres parties du pays. Depuis des décennies, des groupes séparatistes armés mènent des actions de guérilla et de déstabilisation à l'encontre du pouvoir et des sociétés étrangères. Dans un pays où

l'économie repose à 75 % sur l'or noir, on constate que la stabilité dépend pour beaucoup de la capacité du pays à répartir les dividendes de la manne pétrolière.

Les trois conflits pris pour exemple, bien que dépendants des relations internationales, relèvent de troubles internes au pays. D'autres conflits mettent en scène plusieurs protagonistes. Dans ce cas, l'un veut asseoir sa domination sur l'autre pour contrôler sa ressource ou son acheminement vers les lieux de consommation ou de vente. Les trois guerres successives incluant l'Irak en sont des exemples criants. Lors de la guerre opposant l'Irak à l'Iran, de 1980 à 1988, l'Irak avait, entre autres, pour objectif d'annexer la région du Kouzhistan riche en pétrole. En 1990, les troupes irakiennes ont envahi le Koweït dont les réserves officielles étaient à l'époque de 95 milliards de barils. La communauté internationale s'est mobilisée massivement pour protéger cet « El Dorado » de l'or noir. Enfin, en 2003, l'invasion du deuxième producteur mondial de pétrole par les Etats-Unis et la coalition a un lien évident avec la ressource énergétique. Officiellement, cette invasion avait pour objectif de libérer l'Irak et les Irakiens d'un dictateur, d'y apporter la démocratie et l'unité entre les Chiites, les Sunnites et les Kurdes, d'annihiler la menace militaire que représentait le régime en possession d'armes de destruction massive et de détruire les groupes terroristes islamiques. Officieusement, nous constatons que les Etats-Unis se sont installés au Moyen-Orient, dans la région la plus pétrolifère au monde, avec leur toute puissance militaire et plusieurs entreprises américaines exploitent déjà des puits irakiens.

De la même façon, certains conflits ont pour origine le maintien ou l'annexion d'une zone de transit de la ressource. C'est le cas en Afghanistan, où nous pouvons penser que les Etats-Unis, en plus de servir les intérêts d'une lutte anti-terroriste, ont mis sous leur contrôle une zone qui est le passage obligé pour transporter le gaz turkmène exploité par des compagnies américaines et britanniques. Les enjeux cristallisés au sein des pays caucasiens pour l'acheminement du pétrole de la Caspienne donnent un autre exemple de ce genre. Les Russes, les Européens et les Américains s'affrontent à travers les oléoducs. Bien que ce ne soit pas le seul facteur, le passage d'un oléoduc en provenance de la mer Caspienne et à destination du port de Novorossisk sur la mer Noire renforce la Fédération de Russie dans sa conviction de conserver dans ses frontières la Tchétchénie et d'en réprimer les indépendantistes (Atlas du Monde Diplomatique, 2006).

---

<sup>12</sup> Rapport de la commission des Affaires Etrangères en conclusion des travaux d'une mission d'information constituée le 8 février 2006 sur *Energie et géopolitique*, Président M. Paul QUILÈS, Rapporteur M. Jean-Jacques GUILLET.



Le renchérissement et l'épuisement des ressources hydrocarbures pourrait accroître les tensions et les conflits géopolitiques avec, en toile de fond, des problématiques énergétiques de plus en plus prégnantes.

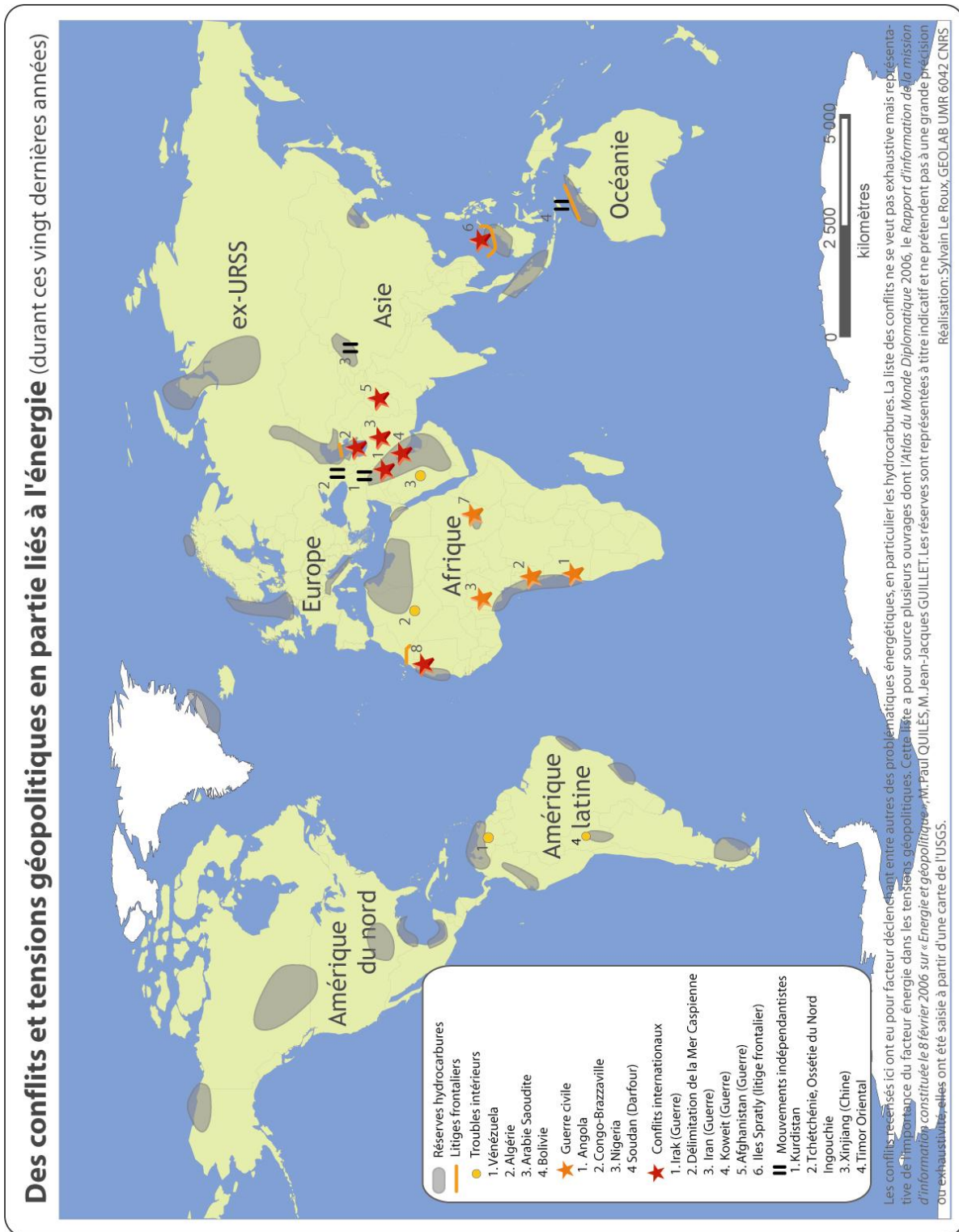


Figure 8 : Des conflits et des tensions géopolitiques avec pour toile de fond l'énergie.

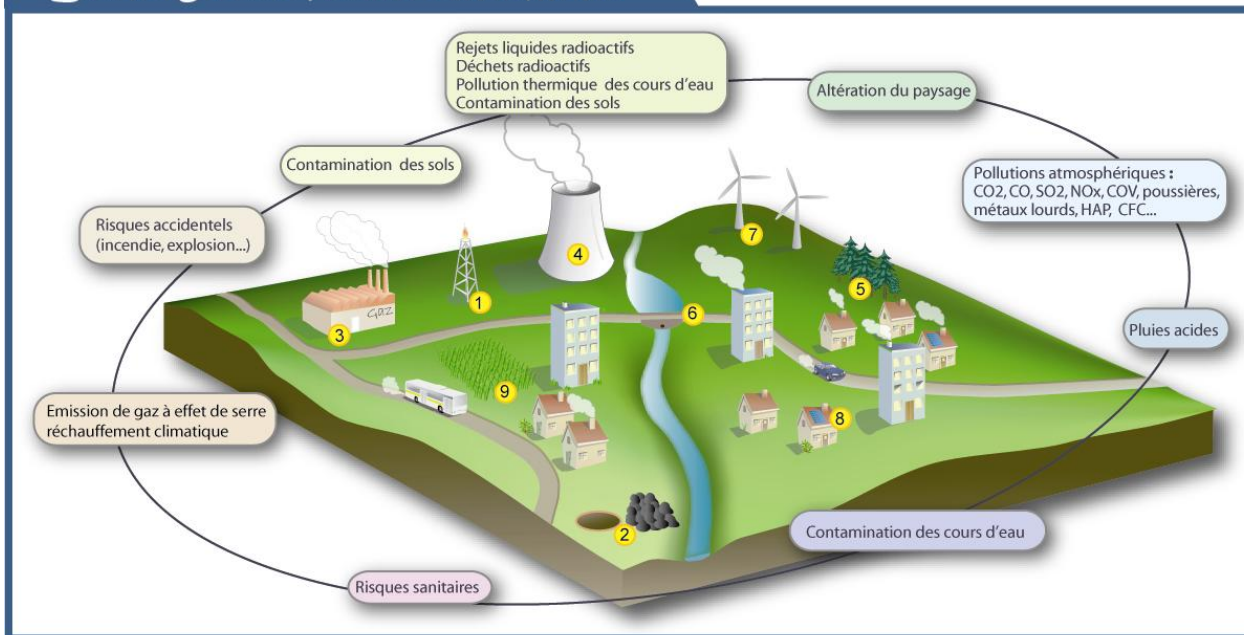
### 2.2.3 Les impacts environnementaux et humains liés à l'énergie

Que ce soit les énergies fossiles, l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables, tous les modes d'énergie ont des impacts sur l'environnement. Ils sont toutefois plus ou moins nuisibles (voir figure 9) et recouvrent des échelles variables, du local au mondial. Les impacts environnementaux sont multiples et de toutes natures: rejet de gaz à effet de serre, de polluants atmosphériques, contamination des sols et des milieux aquatiques, risques technologiques et radioactifs, déchets, altération du paysage... L'un des problèmes qui s'impose actuellement comme majeur est le changement climatique causé par l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Lorsque l'on évalue et compare les différents modes d'énergie entre eux par niveau d'impacts, il convient de constater que les énergies renouvelables engendrent les plus faibles contraintes environnementales et sanitaires. La combustion de ressources fossiles a pour principale contrainte d'émettre des gaz à effet de serre (principalement du CO<sub>2</sub>) et des gaz polluants (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COV...) qui provoquent des dégradations de l'écosystème (pluies acides, eutrophisation, problèmes de santé...). L'énergie nucléaire n'émet que très peu de gaz à effet de serre en comparaison des combustibles fossiles, elle a cependant le désavantage de produire des déchets radioactifs de longue durée de vie et de présenter un risque d'accident radiologique de fort impact sur l'environnement.

Les énergies renouvelables : le bois, l'éolien, le photovoltaïque, le solaire thermique, les agrocarburants, l'hydraulique exercent des pressions beaucoup plus modérées sur le milieu environnant. Le cas du bois est un peu particulier. C'est une ressource qui est utilisée dans de grandes proportions à travers le monde. La moitié du bois exploitée est utilisée pour la production d'énergie, en particulier dans les régions les moins avancées en terme de développement (Afrique centrale, Asie du Sud, Amérique du Sud). L'utilisation du bois est à l'origine de l'émission de gaz polluants (CO, NO<sub>x</sub>...) et de gaz à effet de serre. C'est d'ailleurs vrai pour la biomasse en général. Toutefois, le carbone émis par la combustion étant capté lors de la photosynthèse par les plantes ou arbres qui ont été remplacés, le bilan carbone du bois énergie est considéré comme nul. Utiliser le bois comme combustible n'est pas, à priori, un problème si les reboisements sont équivalents ou supérieurs aux déboisements. Toutefois, la production de bois de feu est un facteur de la déforestation dans certaines régions du monde. Le solaire, l'éolien ou l'hydraulique n'engendrent pas d'émissions atmosphériques et ne participent pas au changement climatique. Les énergies renouvelables provoquent des contraintes beaucoup plus localisées telles que la modification du régime d'un cours d'eau ou l'altération du paysage.

# L'énergie et l'environnement



Type d'énergie primaire	Nuisances environnementales et risques
<b>1 Pétrole</b>	Rejets atmosphériques de gaz à effet de serre, de SO <sub>2</sub> , de CO, NO <sub>x</sub> , COV, HAP, PS Pollution des sols et des milieux aquatiques à proximité des installations de stockage et de transformation Dégazage des pétroliers, marées noires Risques technologiques (incendies, explosions) Emprise au sol et modification du paysage (raffineries, oléoducs...), bruit, déchets (résidus)
<b>2 Charbon</b>	Rejets atmosphériques de gaz à effet de serre, de SO <sub>2</sub> , de CO, NO <sub>x</sub> , COV, HAP, PS Pollution des sols et des milieux aquatiques à proximité des installations de stockage et de transformation Ruissellement de la pluie sur les cendres et contamination des sols, pollution thermique des cours d'eau Déchets (les stériles, les cendres et les boues de désulfuration après combustion) Risques technologiques (incendies, explosions des centrales, effondrement des mines) Emprise au sol et modification du paysage (centrales thermiques, mines...), bruit
<b>3 Gaz</b>	Idem pétrole excepté rejets de SO <sub>2</sub> et pollutions marines
<b>4 Nucléaire</b>	Production de déchets radioactifs Risque d'accident radiologique (centrale électro-nucléaire, centre de traitement des déchets, transport de matières dangereuses) Rejet de faibles quantités radioactives de chaleur et de vapeur des centrales Pollution thermique des cours d'eau, bruit, modification du paysage
<b>5 Bois</b>	Déforestation, Rejets atmosphériques de gaz à effet de serre et de polluants
<b>6 Hydraulique</b>	Inondation de vallées et destruction d'écosystèmes terrestres (grande hydraulique avec retenue) Modification du régime des cours d'eau (si retenue) Modification des systèmes aquatiques en amont (si retenue)
<b>7 Eolien</b>	Modification du paysage
<b>8 Photovoltaïque</b>	Occupation d'espace et modification du paysage, traitement en fin de vie
<b>9 Agrocarburants</b>	Occupation de surfaces agricoles, irrigation et pollution par les pesticides et les engrais

D'après *L'Homme et l'énergie, des amants terribles*, Revue des anciens élèves de polytechnique, sept.2004, J-M Jancovici (dans *Géographie de l'Énergie* de B. Mérenne-Schomaker) et *Les risques et les impacts sur l'environnement liés à l'énergie* de l'IFEN.

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS

Figure 9 : Les impacts environnementaux liés à l'énergie.

### **2.2.3.1 Les rejets de gaz à effet de serre**

Les scientifiques ont observé une augmentation de la présence en chlorofluorocarbures (CFC), protoxydes d'azote, ozone, vapeur d'eau, méthane et surtout en dioxyde de carbone dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle. Les gaz à effet de serre sont à l'origine du réchauffement climatique. Précisément, le CO<sub>2</sub> joue un rôle primordial. Bien qu'il soit en partie émis par des phénomènes naturels - les océans, les volcans et la respiration des êtres vivants - il provient essentiellement de la combustion de ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz).

Pour expliciter ce phénomène de changement climatique lié aux gaz à effet de serre et le rôle de l'énergie dans ce phénomène, nous nous baserons sur les données récemment exposées par le GIEC dans leur quatrième rapport exposé en 2007. Le GIEC est le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat créé par l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme des Nations Unies regroupant 2 500 experts de 130 pays différents et de toutes disciplines confondues (climatologie, économistes, biologistes, spécialistes de l'énergie...).

#### **Observation des changements climatiques récents**

Onze des douze dernières années sont à comptabiliser parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850 (date des premiers enregistrements de la température de surface du globe). L'augmentation totale de la température moyenne du globe de 1850 à 2005 est de 0,76 °C (+ ou - 0,19 °C). Cette augmentation s'est accélérée durant les cinquante dernières années. Ce réchauffement a entraîné des modifications physiques et climatiques.

En raison de la dilatation thermique des océans qui ont absorbé 80 % de la chaleur ajoutée au système climatique, de la fonte des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, ainsi que des glaciers, le niveau moyen de la mer a crû de 17 cm. Les mesures satellitaires indiquent une diminution en trente ans de 10 % de la banquise arctique, elle a également perdu 40 % de son épaisseur sur cette même période. Les pergélisols qui renferment d'importants stocks de méthane ont vu leur surface maximale décroître d'environ 7 % depuis le début du 19<sup>ème</sup> siècle sous l'augmentation de 3 °C des températures au niveau du cercle polaire Arctique. Des tendances lourdes d'augmentation des précipitations moyennes ont été constatées sur la façade est de l'Amérique, au nord de l'Europe, en Asie du nord et en Asie centrale. A l'inverse, des phénomènes d'assèchement ont été observés dans le Sahel, en Méditerranée, au sud de l'Afrique et dans le sud de l'Asie. D'autres aspects tels que la modification de la salinité des océans, des structures de vent ou l'augmentation des événements météorologiques extrêmes

(sécheresse, fortes pluies, cyclones, canicules...) sont à mettre en relation avec le changement climatique.

### **L'augmentation des gaz à effet de serre**

L'énergie disponible sur Terre provient du rayonnement solaire. 27 % de l'énergie solaire émise en direction de la Terre est directement réfléctée par les nuages de la haute atmosphère, 20 % traverse l'atmosphère pour être directement renvoyée par la surface du globe, et 47 % de l'énergie du soleil est absorbée par la Terre. En réponse à cet apport d'énergie, la terre se réchauffe et réémet sous forme d'infrarouges la moitié de la chaleur du soleil directement absorbée par la surface terrestre. Une partie des infrarouges réémis part directement dans l'espace, l'autre partie est stoppée par les gaz à effet de serre contenus dans l'atmosphère. Cela permet de réchauffer la surface du globe grâce à un « effet de serre naturel », sans lequel la température à la surface du globe serait de - 18° C au lieu de +15° C.

Le réchauffement de la planète est dû à un forçage radiatif, autrement dit, il y a eu une modification de l'équilibre entre l'énergie entrante dans l'atmosphère et l'énergie sortante de l'atmosphère, ce qui a pour effet de modifier le bilan énergétique de la planète. Quatre phénomènes peuvent être à l'origine d'une telle modification : l'albédo, le rayonnement solaire, les aérosols et les gaz à effet de serre. Les aérosols émis par des processus naturels (éruptions volcaniques, embruns de l'océan) ou les activités anthropiques (émissions automobiles et industrielles) provoquent un forçage négatif en augmentant la réflexion du rayonnement solaire. L'albédo dépend de la propriété de surface du sol (à noter que les surfaces qui ont le plus fort albédo sont les surfaces glacées et enneigées). Bien qu'en 2005 par rapport à l'an 2000, le forçage radiatif lié à l'albédo soit négatif, le réchauffement de la température pourrait inverser cette tendance dans les décennies à venir principalement du fait de la fonte des glaces et des neiges. L'activité solaire connaît des cycles à l'échelle d'un ou deux siècles. Les experts du changement climatique ont recensé à ce jour 42 gaz à effet de serre. Ceux qui influent le plus sur le bilan énergétique de la Terre sont les gaz radiatifs directs : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et les hydrocarbures halogénés (CFC, HCFC, HFC, PFC et SF<sub>6</sub>) et les gaz indirects : les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO) et les composés et l'ozone atmosphérique (O<sub>3</sub>).

L'impact des gaz à effet de serre sur le bilan radiatif de la Terre est le plus important, loin devant les fluctuations de l'activité solaire, les éruptions volcaniques ou l'albédo. C'est précisément le cas depuis leur augmentation significative débutée au 19<sup>ème</sup> siècle. En effet, la concentration du dioxyde de carbone qui est le plus important gaz à

effet de serre a crû de 280 ppm<sup>13</sup> en 1800 à 380 ppm en 2005, valeur qui n'a jamais été atteintes durant les 20 millions dernières années d'après les études menées sur des carottes de glace. La concentration atmosphérique de méthane a, elle, progressée de 715 ppb à 1774 ppb pour cette même période. Or, l'augmentation de la quantité de ces gaz à effet de serre accroît d'autant la quantité d'infrarouges piégés dans l'atmosphère et donc la température moyenne à la surface de la terre.

### **Le rôle avéré des activités anthropiques**

Le réchauffement climatique et l'augmentation des gaz à effet de serre sont actuellement des phénomènes de moins en moins sujets à la controverse, il s'est établi un certain consensus autour de faits constatés par la grande majorité de la communauté scientifique mondiale. Cependant la controverse, bien que de moins en moins farouche, continue de porter sur le rôle des activités humaines dans ce processus. Pourtant, d'après le GIEC : « L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle est très vraisemblablement dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques ». Les augmentations du dioxyde de carbone sont principalement dues à l'utilisation des combustibles fossiles, à la déforestation et au changement d'utilisation des terres. Ce gaz représente 53 % des émissions dues à l'Homme. La moitié des émissions de méthane qui, vraisemblablement, aurait pour origine l'activité humaine est liée à l'agriculture (élevage animal, riziculture), à l'utilisation d'énergie fossile (extraction, transport et consommation de gaz) et au traitement des déchets. Ce gaz représente 17 % des émissions liées à l'activité humaine. Le protoxyde d'azote qui représente 5 % de l'effet de serre additionnel<sup>14</sup> est pour plus d'un tiers lié aux émissions anthropiques, tout particulièrement à l'agriculture (emploi d'engrais azotés). Les halocarbures ont un pouvoir de réchauffement global très important et, malgré leur faible présence dans l'atmosphère, ils sont presque entièrement dus à l'homme (fuite des systèmes de réfrigération, bombes aérosols, production de mousses isolantes...). Les halocarbures représentent 14 % de l'effet de serre additionnel (Radanne, 2005).

### **Conséquences et prospective**

Durant le dernier interglaciaire<sup>15</sup>, alors que la température était supérieure de 3 à 5 °C à aujourd'hui en raison de l'orbite terrestre, le niveau moyen des mers était 4 à 6 m plus haut. A l'inverse, 5 °C de moins ont suffi pour que l'Inlandsis atteigne l'Europe du Nord il y a 20 000 ans pendant le dernier âge glaciaire. A l'époque, le niveau de la mer

---

<sup>13</sup> Les gaz à effet de serre sont comptabilisés en partie par million, soit un millionième de volume (380 ppm correspond à 0,038 % des gaz de l'atmosphère). Ppb signifie partie par billion.

<sup>14</sup> L'effet de serre additionnel est l'effet de serre dû aux émissions humaines.

avait baissé de 100 mètres environ et la France n'était qu'une steppe (J-M Jancovici). Ces deux exemples démontrent que des variations de température de quelques degrés ne sont pas anodines pour l'ensemble du système terrestre.

Le GIEC, dans son quatrième rapport a produit six modélisations à partir de scénarii différents qui permettent de présager plusieurs futurs possibles. En fonction de l'évolution démographique, du développement économique, de l'essor de nouvelles technologies, du système énergétique ou de l'action politique, les chercheurs estiment que le réchauffement climatique pourrait s'accroître de 1,8 (1,1-2,9) à 4 (2,4-6,4) °C<sup>16</sup> d'ici 2100 par rapport aux températures de 2000. Ce réchauffement ne sera pas uniforme sur la planète, il serait plus important sur les terres émergées aux latitudes élevées.

Dans certains scénarios, la glace Arctique disparaîtrait entièrement dès 2050. Les phénomènes météorologiques extrêmes pourraient devenir plus fréquents. Les répartitions des vents, des précipitations et des températures pourraient être modifiées. L'élévation du niveau de la mer est à prévoir dans des proportions plus importantes que ce qui a été observé au 20<sup>ème</sup> siècle. Il est possible que les pays des milieux tempérés subissent la recrudescence de virus tels que le palus. Un changement climatique aussi rapide pourrait être extrêmement préjudiciable pour de nombreuses espèces végétales et animales qui verront leur milieu naturel évoluer plus vite que leur capacité d'adaptation ne le leur permet. Le bouleversement du climat aurait bien entendu des conséquences considérables sur la production agricole et sur l'économie. Les coûts du changement climatique sont estimés à une perte d'au moins 5 à 20 % du PIB mondial chaque année (rapport Stern, 2007).

Les établissements humains qui concentrent les individus dans un espace restreint ne sont pas préparés à un tel changement climatique. Beaucoup de villes se sont construites sur les côtes et seraient très sensibles à la montée des eaux (ex : villes de la Rinstad aux Pays-Bas). D'une manière générale, les villes, de part leur densité de population, présentent des sensibilités plus aiguës face aux événements climatiques extrêmes (crues, cyclones...). Enfin, les villes concentrent la chaleur et sont plus sensibles aux phénomènes de canicules que les territoires ruraux.

Le CO<sub>2</sub> est le principal gaz à effet de serre, il a augmenté de 90 % depuis 1970 (GIEC, 2007). Les émissions anthropiques de ce gaz sont d'environ 6,8 Gt de carbone, soit une moyenne mondiale de 1,07 tC/hab/an (2002). Un consensus des chercheurs travaillant

---

<sup>15</sup> Période située entre 135 et 115 000 ans avant J-C.

<sup>16</sup> Les chiffres entre parenthèse sont les plages de vraisemblance.

sur la question établit qu'il est nécessaire de réduire ces émissions à 3 Gt pour limiter le réchauffement à + 2°C et le rendre acceptable pour l'ensemble de l'écosystème et des hommes. Autrement dit, il faudrait que les rejets des six milliards et demi d'habitants ne dépasse pas 500 kg<sup>17</sup> de carbone par habitants par an.

### **Une distribution spatiale calquée sur les consommations d'énergie**

Le groupe de pays le plus émetteur de gaz à effet de serre est l'Asie, devant l'Amérique du Nord et l'Europe. Cependant, l'Europe, l'Amérique du Nord et le Japon (20 % de la population mondiale) représentent à eux seuls près des deux tiers des émissions. Et lorsque nous comparons les émissions de CO<sub>2</sub> par pays rapportées au nombre d'habitants (figure 10), nous constatons que cet indicateur est particulièrement variable et qu'il y a de grandes distorsions selon les pays, autant que pour les consommations d'énergie par habitant et par an. Un habitant du Qatar émet 12,6 teC/hab/an. Un Américain rejette 5,4 teC, Un Français 1,8 et un Indien 0,3. Les pays de l'OCDE (Amérique du Nord, Europe, Japon, Australie...) présentent une moyenne d'émissions de plus de 3 tonnes de carbone, soit plus de six fois supérieure à la limite de 0,5 teC à atteindre pour stabiliser le climat. Même la Chine présente une moyenne plus élevée. Les organisations énergétiques, les structures économiques et les modes de vie des pays développés et d'une grande partie des pays émergents sont à remettre en question.

Avec un ratio de 1,8 teC/hab/an, les Français sont au-delà de la moyenne mondiale (1,05 teC/hab/an) mais bien en dessous de la moyenne des Pays de l'OCDE ou de l'Europe de l'Ouest. Cet écart est dû à l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité. En effet, un kWh nucléaire produit seulement 5 g. équivalent CO<sub>2</sub> alors qu'un kWh produit au charbon émet 962 g. équivalent CO<sub>2</sub>. Malgré tout, les émissions françaises par habitant sont quatre fois plus élevées que les cibles préconisées pour stabiliser le climat. C'est pourquoi, le Président français Jacques Chirac, précédé par d'autres personnes du gouvernement (Jean-Pierre Raffarin en 2003, Nelly Ollin en 2005...), a affirmé en juillet 2006 la nécessité d'atteindre le « facteur 4 » expression consacrée à la division par quatre des émissions françaises de gaz à effet de serre.

Les gaz à effet de serre les plus émis en France sont par ordre décroissant le CO<sub>2</sub> (74,2 %), le protoxyde d'azote (12,7 %), le méthane (10,5 %) et les halocarbures (2,7 %). Plus des trois quarts des émissions sont donc causées par la combustion de ressources fossiles. Les secteurs les plus émetteurs de CO<sub>2</sub> sont, en premier lieu, les transports, en

---

<sup>17</sup> 500 kg/hab/an est le ratio communément admis et exprimé dans les ouvrages de référence, seulement, il a été déterminé lorsqu'il n'y avait que 6 milliards d'habitants. Etant donné que la population mondiale est aujourd'hui plus proche des 6,5 milliards d'habitants, ce ratio est passé à 460 kg/hab/an.



second lieu les bâtiments et l'industrie et en troisième lieu, la production/transformation d'énergie et dans de faibles proportions, l'agriculture (voir figure 10). Le CO<sub>2</sub> est donc rejeté pour une très grande partie dans les villes qui sont très consommatrices de combustibles fossiles. Par contre le méthane et le protoxyde d'azote sont des gaz à effet de serre qui proviennent essentiellement des territoires ruraux. Le méthane est plutôt produit par l'agriculture, mais aussi le traitement des déchets, tandis que le protoxyde d'azote est pour l'essentiel lié à l'agriculture.

Dans le Monde et encore plus en France, les émissions de gaz à effet de serre proviennent majoritairement des espaces urbains. C'est pourquoi, nous nous attacherons à traiter de façon corrélative l'énergie et le CO<sub>2</sub> dans notre analyse.

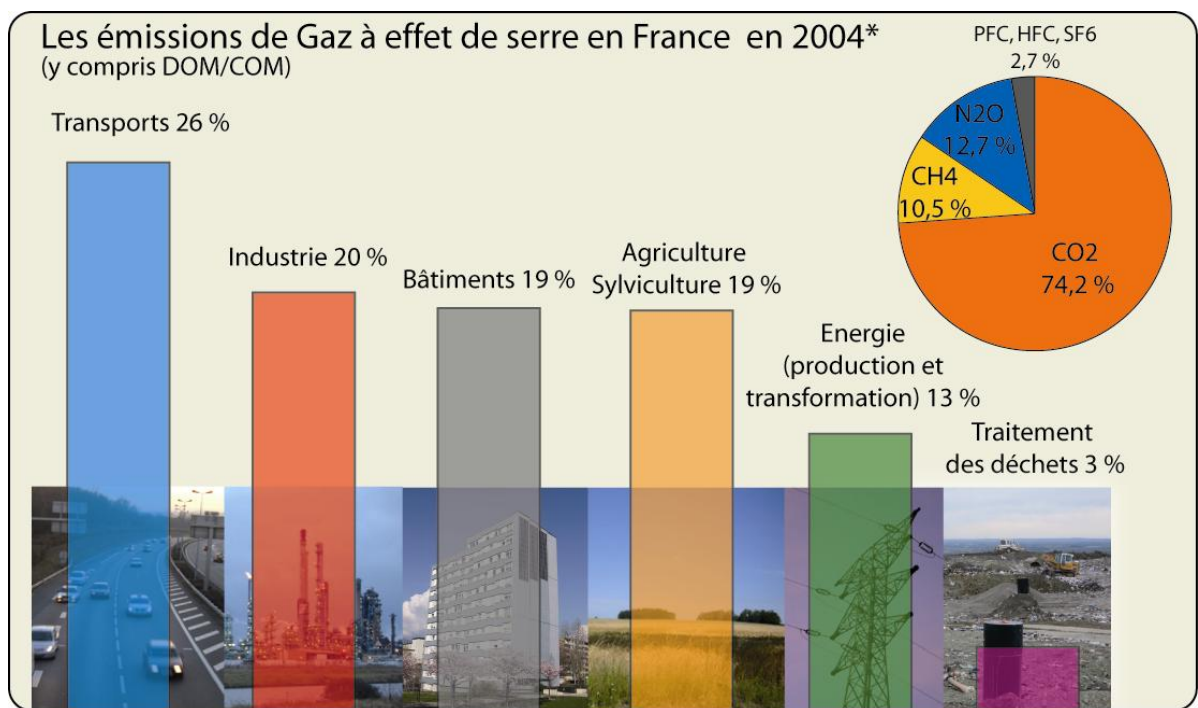
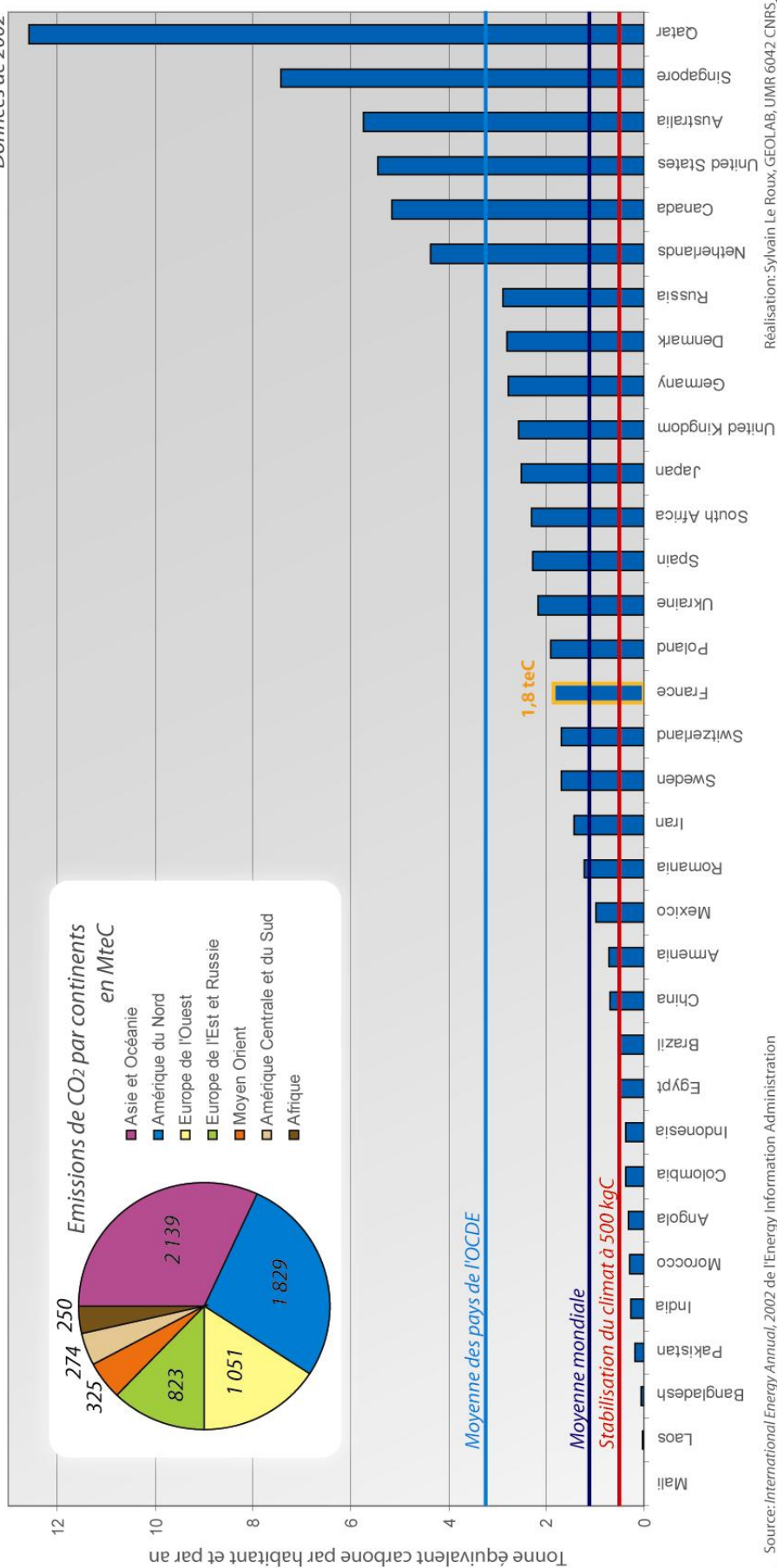


Figure 10 : Les émissions de gaz à effet de serre en France.

# Emissions de dioxyde de carbone liées à la combustion d'énergie fossile par pays

Données de 2002



Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS

Source: International Energy Annual, 2002 de l'Energy Information Administration

Figure 11 : Les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à la combustion d'énergie par pays.

### 2.2.3.2 Les polluants atmosphériques

Même si d'autres activités humaines rejettent des composés nuisibles dans l'atmosphère (la sidérurgie, l'industrie chimique, les cimenteries, les engrais des activités agricoles...), une grande partie des pollutions atmosphériques a pour origine la production ou l'utilisation d'énergies fossiles et plus précisément la combustion de charbon, de houille, de lignite, de pétrole (coke, fioul lourd, fioul domestique, gazole, essence) ou de gaz. Les premiers émetteurs pointés du doigt sont les centrales électriques thermiques classiques, les raffineries de pétrole, les installations de combustion industrielles (le chauffage, les hauts-fourneaux, les procédés de fabrication...), les chaudières individuelles (fioul, charbon, gaz), et les véhicules routiers grands consommateurs de carburants (essence, gasoil). La question des polluants atmosphériques nous intéressent d'autant plus que la majorité des émetteurs sont localisés en milieu urbain (logements, industrie véhicules motorisés...). De plus, ces gaz polluants ont généralement un impact direct sur les citoyens. Les gaz d'échappement automobile, par exemple, occasionnent des problèmes de santé publique dans les agglomérations.

Les polluants atmosphériques générés par la combustion des ressources fossiles sont: le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), de monoxyde d'azote ( $\text{NO}_x$ ), de monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ), de composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM), de particules en suspension (PS) et d'autres gaz nocifs pour la santé et pour l'environnement. En France, les combustibles seraient responsables de 80 % des émissions de  $\text{SO}_2$  et de 60 % des émissions de  $\text{NO}_x$ .

- La combustion de matières fossiles soufrées produit du dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ). Ces matières fossiles sont le fioul, le gazole, des résidus de raffinerie et surtout le charbon. Ils sont de différentes teneurs en soufre selon la provenance du pétrole brut, selon le type de charbon (lignite, houille ou anthracite) ou en fonction des moyens mis en œuvre pour leur désulfuration. Le gaz naturel, le GPL (gaz de pétrole liquéfié) et le bois sont eux des combustibles très peu soufrés.

- Les particules en suspension sont des poussières de nature très variable. Elles proviennent autant de la combustion du pétrole et du charbon que d'autres activités humaines (sidérurgie, la cimenterie ou l'incinération des ordures).

- Le monoxyde de carbone est un hydrocarbure imbrûlé résultant de la combustion de matières carbonées (produits pétroliers, charbon, bois) en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante pour une combustion complète.

- Les composés organiques volatiles sont rejetés par évaporation ou comme produit final de la combustion. Les activités utilisant des produits raffinés d'hydrocarbures tels que les solvants (industries des peintures, imprimeries) ou les carburants (raffinage, transport et transvasements de produits pétroliers) sont mises en cause. Les composés sont aussi issus de la combustion d'hydrocarbures (pétrole, gaz, charbon) dans les centrales thermiques classiques, les turbines à gaz ou les moteurs automobiles.
- L'oxydation d'un carburant par l'oxygène de l'air produit, entre autres, le monoxyde d'azote, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Les premières causes humaines du rejet de ce gaz sont les transports, mais également les centrales thermiques et la fabrication d'engrais.
- L'ozone est un polluant secondaire qui résulte d'une réaction photochimique. Il se forme à partir des COV et NO<sub>x</sub> sous l'effet des rayonnements ultraviolets du soleil. Ce gaz est engendré par des émissions de NO<sub>x</sub> et COV qui sont en grande partie liées à la combustion d'énergies fossiles.

La pollution atmosphérique liée à l'utilisation d'énergies fossiles								
Polluant	SO <sub>2</sub>	PS	CO	COV	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Plomb	Mercure
Origine	Combustion des fuels, gazoles et charbon (chauffage, industrie)	Combustion (industrie, chauffage, transport) Incinération, Sidérurgie, Cimenterie	Combustion incomplète	Combustion d'hydrocarbures (produits pétroliers, charbon, gaz)	Combustion (autos, industrie, centrales thermiques) Industrie d'engrais, d'explosifs et d'acide nitrique	Se forme à partir des COV et des NO <sub>x</sub> avec les rayons UV	Combustion des carburants plombés	Combustion du charbon, Usine chimique

D'après *Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets* de Bliieffert et Perraud aux éditions DeBoeck Université  
*Pollution de l'air : causes, conséquences, solutions* de P. Arques publié chez Edisud en 1998

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 042 CNRS

Figure 12 : La pollution atmosphérique liée à l'utilisation d'énergies fossiles.

### Les conséquences de ces polluants sur l'écosystème et la santé humaine

La combustion de ressources fossiles pour le chauffage, pour les centrales thermiques, pour l'industrie ou pour les transports - des activités majoritairement urbaines - émet des polluants qui ont des effets importants sur l'environnement et la santé publique. Ces polluants ont des impacts locaux mais aussi des impacts régionaux quand ils sont transportés sur de plus grandes distances. Citons trois des impacts sur l'écosystème les plus néfastes (l'acidification, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et l'eutrophisation) avant d'exposer les questions de santé publique qui touchent particulièrement les populations urbaines des grandes villes et des villes moyennes.

#### - L'acidification :

Le phénomène des pluies acides est rattaché à l'émission, par les activités humaines, de polluants acides tels que le SO<sub>2</sub>, le NO<sub>x</sub> qui, comme on l'a présenté auparavant sont liés à la combustion de ressources fossiles. Durant leur séjour dans l'air, les composés se transforment : dans une atmosphère sèche, les particules acides (sulfates, nitrates) retombent à proximité des sources émettrices et, dans une atmosphère humide, les particules acides se combinent à l'eau, dans les nuages, pour retomber sous forme de « pluies acides » à proximité ou à distance des sources. L'écosystème souffre de cette acidification car celle-ci a des effets sur les milieux d'eau douce et sur le milieu forestier. Les arbres sont endommagés par des retombées qui réduisent et clairsement leur feuillage, ils sont ensuite incapables de réaliser leur photosynthèse. Les sols modifiés chimiquement s'appauvrissent en minéraux. Les rivières et les lacs voient leur équilibre détruit et parfois leur végétation atrophiée.

#### **- L'eutrophisation :**

L'eutrophisation est, par définition, l'enrichissement d'un milieu aquatique en sels minéraux entraînant la prolifération de la végétation... un phénomène bénéfique ; Toutefois, l'eutrophisation accélérée due aux activités humaines peut devenir nocive pour la biodiversité des lacs. Les retombées sèches des pluies acides participent à l'augmentation des sels minéraux dans les sols puis dans l'eau. L'équilibre des lacs est modifié par la croissance de la faune et de la flore aquatique, jusqu'à l'appauvrissement en oxygène et la diminution de la biodiversité.

#### **- L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique :**

L'ozone atmosphérique est plus abondamment présent dans la stratosphère. Le gaz y est produit par l'action des rayons UV du soleil sur l'O<sub>2</sub>. Dans cette stratosphère, l'ozone est favorable à l'équilibre terrestre puisqu'il absorbe une partie des rayons UV. Par conséquent, il préserve les êtres humains des brûlures du soleil, de conjonctivites, d'affaiblissement du système immunitaire, de cancers de la peau, voire même de mutations génétiques. De plus, les rayons UV auraient des incidences négatives sur l'activité photosynthétique des végétaux. Or, il a été découvert que certaines substances chimiques transformaient l'ozone et donc, appauvrissaient la couche d'ozone : OH, H, NO<sub>x</sub>, Cl, Br, HO<sub>2</sub>. Les produits montrés du doigt dans les années 90 étaient les CFC (chlorofluorocarbures) utilisés pour les bombes aérosols, ils sont aujourd'hui bannis néanmoins il reste les produits bromés, le chlore, l'hydrogène et... les oxydes d'azote. Ces derniers, on le sait sont en grande partie issus de la combustion d'énergies fossiles.

## Les risques sanitaires engendrés par les polluants atmosphériques :

Les polluants atmosphériques ont des conséquences plus ou moins graves sur la santé publique. Tout dépend des éléments absorbés et de la dose. Certains effets peuvent être relativement bénins et complètement réversibles. Les COV entraînent des problèmes d'irritations des yeux et des muqueuses. L'ozone troposphérique qui provoque le « smog photochimique », ce voile flou au dessus des villes, provoque des irritations oculaires ainsi que des irritations des voies respiratoires. Il est aussi un facteur aggravant de l'asthme... Les particules en fonction de leur taille, de leur nature et de leur quantité peuvent provoquer des pathologies allergiques et respiratoires (rhinites, asthme) plus ou moins graves. Les NOx entraînent des irritations des bronches et des yeux, des endommagements des tissus pulmonaires voire des oedèmes aux poumons. En ce sens, ils ont un lien étroit avec les pathologies asthmatiques. Ces impacts sont localisés le plus souvent en milieu urbain.

D'autres effets sont plus dommageables. S'il est inhalé en grande quantité le monoxyde de carbone provoque l'asphyxie. On recense de nombreux accidents, le CO est à l'origine de 300 à 400 décès en France et 5 000 hospitalisations, devenant la première cause de mortalité accidentelle par toxique du pays. Les chauffages à combustion (fioul, charbon) défectueux ou mal aérés en sont souvent l'origine. Certains hydrocarbures aromatiques, entre autres les benzènes, contenus dans l'air sont cancérigènes. Les particules en suspension peuvent également véhiculer des éléments cancérigènes.

La pollution atmosphérique liée à l'utilisation d'énergies fossiles								
Polluant	SO <sub>2</sub>	PS	CO	COV	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Plomb	Mercur
Effets	Altération de la fonction pulmonaire (toux, gêne respiratoire)	Irritation des bronches (facteur d'asthme, de rhinite) Facteurs cancérigène	Troubles respiratoires et sensoriels, Effet asphyxiant à forte dose	Irritation des yeux et des muqueuses, Effet cancérigène (benzène)	Irritation des bronches et des yeux (facteur de l'asthme)	Conjonctivite, Irritation des bronches, Facteur de l'asthme	Anémie, Coliques, Saturnisme	Les rejets dans l'air ont peu d'impact

D'après *Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets* de Blieffert et Perraud aux éditions DeBoeck Université

*Pollution de l'air : causes, conséquences, solutions* de P.Arques publié chez Edisud en 1998

*La pollution de l'air et notre santé* publié par l'ORS Ile de France, la Préfecture et le conseil régional d'Ile de France

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 042 CNRS

Figure 13 : Les impacts sanitaires liés à la pollution atmosphérique.

### 2.2.3.3 Les contaminations des sols et des milieux aquatiques

L'activité énergétique recourt à des activités industrielles de grande envergure, de l'extraction de la matière première à la production d'énergie finale en passant par le transport et la transformation. Ces activités ont inévitablement un impact sur les sols, les nappes phréatiques ou les eaux de surface. Nous ne passerons pas en revue l'ensemble des

impacts aquatiques et pédologiques liés à l'énergie mais nous présenterons les plus importants.

Les effluents des raffineries ou des mines de charbon contaminent le milieu. L'extraction d'uranium est une forte source de pollution. Toutes ces installations nécessitent au préalable des études d'impact sur l'environnement approfondies. Le transport des hydrocarbures (oléoducs, camions-citernes...) est souvent sujet à des fuites ou des accidents qui entraînent des déversements importants de produits pétroliers sur le sol. Les eaux maritimes ne sont pas épargnées. Outre les naufrages de pétroliers, le déballastage et le dégazage des tankers entraînent le rejet d'une quantité importante de pétrole dans les océans. La production d'agrocultivants peut induire l'utilisation d'engrais et de pesticides qui polluent les sols et les eaux de rivières. Les déchets (résidus de raffineries, terrils de charbon, les cendres, les boues de désulfuration...) sont difficilement traitables. La question de la gestion des déchets radioactifs est particulièrement insoluble. Les retombées des polluants atmosphériques jouent également un rôle insidieux dans l'acidification des sols et la dégradation de l'écosystème. Il faut aussi citer la pollution thermique des rivières dont l'eau est utilisée pour le refroidissement des centrales thermiques classiques et nucléaires. Cette pollution thermique peut altérer l'écosystème du cours d'eau. Par ailleurs, l'équipement hydroélectrique d'un cours d'eau peut entraîner la modification de son régime, ce qui a des conséquences sur la faune comme sur la flore aquatique.

#### **2.2.3.4 Les risques technologiques**

Toute activité industrielle présente un risque technologique. L'industrie énergétique manipule des produits inflammables, explosifs et radioactifs. Elle présente quatre types de risques : les risques industriels (incendies dans des raffineries ou des dépôts d'hydrocarbures, explosions et effondrements dans des mines de charbon), les risques liés au transport de matières dangereuses (inflammation d'hydrocarbures), les risques de rupture de barrage - le dernier accident majeur en France (Malpasset) avait fait 421 victimes, il remonte à 1959 - et le risque nucléaire. La catastrophe de Tchernobyl est toujours dans les esprits. En 1986, le réacteur à filière graphite de cette ancienne centrale électronucléaire ukrainienne a explosé à la suite d'une erreur de manœuvre. L'enveloppe de protection détruite, une masse considérable d'éléments radioactifs s'est dispersée sur l'Ukraine, la Biélorussie puis vers le reste de l'Europe (Scandinavie, Pologne, Allemagne, France, Italie). Officiellement, la catastrophe a fait 32 décès directs. Cependant, plus de 100 000 personnes sont mortes prématurément à la suite de cet événement. Sachant que la contamination par les retombées radioactives peut entraîner des cancers, des

leucémies, la cataracte, la stérilité ou des mutations génétiques, les conséquences d'un tel accident sont dramatiques.

### 2.2.3.5 Les autres nuisances

Les autres nuisances importantes à citer sont les impacts paysagers, le bruit ou l'occupation d'espace (l'utilisation du sol par les outils de production ou de transport d'énergie). Les centrales thermiques, les grands barrages hydrauliques, les oléoducs, les fermes d'éoliennes et les champs de panneaux solaires (etc.) sont sujets à controverse en terme d'impacts paysagers mais aussi par ce qu'ils occupent un espace parfois en concurrence avec une activité jugée plus utile au bien public, c'est le cas des agrocarburants qui remplacent, au Brésil, les cultures vivrières (B. Mérenne-Schoumaker, 2007).

#### **Synthèse du chapitre II**

L'énergie est un vecteur nécessaire du développement humain, indispensable à la pérennité des structures sociétales, économiques et productives contemporaines. Cependant, les besoins énergétiques grandissants (évolution démographique, amélioration des niveaux de vie et des modes de vie) s'accompagnent de contraintes et de tensions de plus en plus prononcées. Les sociétés contemporaines doivent faire face à une hausse de la demande conjuguée à une baisse de la ressource première fossile et fissile. Les pressions environnementales aussi diverses que variées sont de nouvelles problématiques - en particulier le changement climatique - auxquelles les sociétés devront répondre par des mesures draconiennes, à même de changer leurs structures actuelles ; ceci, en assurant un développement énergétique et économique équitable des pays émergents et des pays les moins avancés. L'ensemble de ces pressions crée d'ores et déjà des tensions cristallisées pour l'instant autour des ressources fossiles, mais qui porteront peut-être dans le futur sur les territoires les moins touchés par le réchauffement planétaire. Cet ensemble de paramètres nous amène à conclure sur l'indispensable nécessité de maîtriser la demande d'énergie, d'accroître l'efficacité énergétique et développer les énergies renouvelables. Les villes étant, dans les pays industrialisés et particulièrement en Europe, les lieux principaux de consommation d'énergie, de rejets de gaz à effet de serre et de polluants. Il est nécessaire d'agir directement sur ces territoires locaux.



## Chapitre 3. La réaction sociopolitique

Face à l'adversité, les sociétés s'organisent et mettent en place des politiques et un cadre réglementaire pour tenter de surpasser les contraintes de la crise énergétique et d'atténuer les dégradations environnementales. Seulement ces politiques seront-elles à même de répondre à d'aussi importants enjeux ? Quelles sont les politiques publiques européennes et françaises qui s'appliquent particulièrement aux espaces urbains ? Il est nécessaire que nous présentions ce cadre réglementaire dans lequel s'insère notre sujet afin de différencier le rôle de l'Europe, le rôle de l'Etat français et le rôle alloué aux collectivités locales en matière d'énergie (voir Partie III).

### 3.1 La fluctuation des politiques énergétiques au gré des crises

L'évolution des politiques énergétiques, en France comme dans les autres pays développés, démontre une apparente fluctuation au gré des prix de l'énergie et des alertes environnementales.

Avec le premier choc pétrolier, c'est une véritable prise de conscience. La hausse des prix de l'énergie amène les pays industrialisés à s'interroger sur les potentiels d'économie et d'augmentation des rendements énergétiques. Ces questions sont traitées en France par l'Agence pour les Economies d'Energie créée à la même époque. Ce n'est pas un hasard si la première réglementation thermique des bâtiments entre en vigueur en 1974. C'est aussi à cette période que sont lancés les programmes nucléaires. En 1978, le deuxième choc pétrolier consécutif au premier renforce l'idée qu'il faut faire « la chasse au gaspi »<sup>18</sup>. Et pour cause, à cette date, le prix du baril de pétrole est multiplié par dix par rapport au niveau de 1972 (P. Radanne, 2005). La machine politique et économique ayant profité des six années précédentes pour se construire, les résultats ne tardent pas à se mettre en place : programmes d'isolation, nouvelle réglementation thermique, des véhicules plus performants sont distribués sur le marché - en 10 ans la consommation des voitures est réduite de 2 l au 100 km (P. Radanne, 2005) -, les courses automobiles suspendues... Des innovations technologiques apparaissent : les turbines gaz à double cycle (rendement de 55 % au lieu de 30 %), les cogénérations (rendement de 80 % au lieu de 30 %), la programmation horaire des chauffages... Les économies d'énergie liées à cette

---

<sup>18</sup> Slogan de l'époque.

politique de maîtrise de l'énergie sont estimées et évaluées à 30 Mtep en France. Les énergies renouvelables voient ou revoient le jour : le solaire et la géothermie font leurs débuts dans le monde de l'énergie, tandis que le bois énergie progresse. La filière géothermique d'Ile de France est un très bon exemple. Elle s'est développée fortement entre 1980 et 1986 avec une cinquantaine d'opérations de réseaux de chaleur urbains exploitant l'énergie du sous-sol. Il reste aujourd'hui 34 sites en fonctionnement qui fournissent en tout 100 000 tep, soit 150 000 équivalents-logements (ADEME Ile de France).

A cela viennent s'ajouter au début des années 1980, de nouvelles préoccupations liées à la pollution atmosphérique. La communauté internationale et les pouvoirs publics s'emparent de la question des pluies acides. Dans le cadre de la convention de Genève de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance, divers protocoles ont établi des objectifs d'émissions des gaz polluants<sup>19</sup>. En France, la création de Agence de la qualité de l'air a pour but de gérer cette problématique.

Fin 1985, le contexte énergétique s'inverse. L'énergie devient abondante. Il y a une surcapacité de raffinage et de production d'électricité des compagnies européennes et nord américaines (P. Radanne, 2005). Le pétrole retrouve son tarif d'avant la crise. A cette époque, la majeure partie des pays développés qui avaient lancé leur programme de maîtrise de l'énergie pour des raisons de sécurité de l'approvisionnement n'y voient plus d'intérêt. D'autant plus que leurs compagnies de fourniture d'énergie sont en situation de surcapacité de production, ce qui les fragilisent économiquement. C'est pourquoi les consommations repartent à la hausse pendant 15 ans.

A la même époque, paradoxalement, à partir de l'étude de carottages de glace prélevés dans l'Antarctique, les scientifiques mettent en corrélation la teneur en gaz carbonique dans l'air liée à la combustion d'énergie fossile et la température à la surface de la Terre. La communauté internationale est alertée. Et, dès juin 1992, une convention sur le Climat est tenue par l'ONU à Rio de Janeiro (Brésil). Bien que peu contraignante, cette convention reconnaît la réalité du changement climatique et la nécessité d'agir à l'échelle internationale comme à l'échelle locale. En France, bien que cette date corresponde à la création de l'ADEME (fusion de l'AFME, l'AQA et l'ANRED), peu de moyens sont mis en œuvre pour lutter contre la hausse des consommations d'énergie. Il faut attendre 1997 et le protocole de Kyoto, pour entrevoir une relance de la politique énergéico-environnementale. Dans les années 1990, d'autres préoccupations environnementales sont au goût du jour : la pollution de l'air et les problèmes de santé

dans les villes ainsi que le trou de la couche d'ozone. Le protocole de Göteborg, le 1<sup>er</sup> décembre 1999, fixe de nouveaux plafonds pour tous les polluants (SO<sub>2</sub>, COV, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>...) pour l'horizon 2010. En France la loi sur l'Air et sur l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de 1996 impose entre autres la création d'agences de mesure de la qualité de l'air et la planification des déplacements urbains.

A la fin de la première année du 21<sup>ème</sup> siècle, de nouvelles tensions apparaissent sur le marché de l'énergie. Elles correspondent à un décalage entre les capacités de production et la demande de brut. Alors que les prix étaient restés en dessous de la barre des 25 \$ depuis 15 ans, ils sont à la hausse depuis décembre 2000 atteignant un pic à 100 \$ fin 2007. Cette pression économique imposée par la fin d'une énergie bon marché ajoutée aux préoccupations environnementales sous-jacentes depuis les années 90 est à l'origine d'un renouveau de la politique énergétique dans le monde, en Europe et en France. On observe un regain d'intérêt pour les questions d'économie et d'efficacité d'énergie ainsi que pour les énergies renouvelables.

## **3.2 La prise de conscience internationale : de la volonté aux actes**

Depuis les années 90, en réponse aux débats internationaux sur l'énergie et l'environnement et face à la contrainte du réchauffement planétaire, des réflexions communes ont été engagées menant à des accords, des protocoles et des conventions à l'échelle mondiale. Deux évènements majeurs dans le processus d'élaboration d'une action internationale visant à réduire les impacts environnementaux liés à l'énergie sont portés par l'ONU en l'absence d'instance internationale consacrée. Ce sont la convention de Rio (1992) et le protocole de Kyoto (1997).

### **3.2.1 La première pierre est posée à Rio**

En 1992, une conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement donne lieu à la déclaration de Rio et son Agenda 21 (les objectifs). Cette déclaration est le texte fondateur pour un développement durable et pour la lutte contre le réchauffement planétaire. Ce texte n'a aucune portée coercitive, il est « sans engagement ». Il permet cependant à l'époque de reconnaître de façon unanime la problématique du changement climatique et d'inviter les 178 pays signataires à s'engager dans une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les mesures concrètes sont renvoyés à des réunions ultérieures lors des conférences des parties (COP)

---

<sup>19</sup> Le protocole d'Helsinki, protocole de Sofia, protocole d'Oslo, protocole d'Aarhus donnent des seuils d'émission pour le

prévues chaque année. C'est dans le cadre de ces conférences qu'a été élaboré le protocole de Kyoto.

### 3.2.2 L'ouvrage se consolide à Kyoto

Des discours aux actes, il a fallu attendre 1997 pour qu'une nouvelle initiative internationale voit le jour alors que peu d'actions avaient été engagées à travers le monde malgré les vœux pieux de 1992. Le protocole de Kyoto, après un profond enlisement de quatre ans dû aux controverses entre les Etats-Unis et l'Europe, est adopté à Marrakech en Novembre 2001 par les pays développés et les pays en transition (les pays émergents et les PMA ne sont pas engagés dans le protocole)... mais, sans l'Australie et les Etats-Unis dont le nouveau président Georges W. Bush a profité de sa réélection pour retirer le pays de l'accord et sans la Russie qui ne le ratifiera qu'en 2004 après d'âpres négociations. Le protocole prévoit une réduction globale de 5,2 % des gaz à effet de serre (et donc des consommations de combustibles fossiles) pour l'horizon 2008-2012 par rapport aux émissions de 1990. Les pays européens ont ratifié le protocole de Kyoto, engageant ainsi l'ensemble communautaire à réduire ses rejets de 8 % d'ici 2008-2012 (l'Allemagne doit réduire ses émissions de 21 %, et la France doit les stabiliser). Le Japon doit diminuer ses émissions de 6 %, la Russie doit les stabiliser<sup>20</sup>... Deux règles importantes ont été amendées au protocole : la possibilité d'échanger les permis d'émission entre les pays qui ont dépassé leurs objectifs et ceux qui ne les ont pas atteint ainsi que la possibilité pour les pays signataires d'intervenir à l'étranger en réalisant des opérations de réduction des émissions dans les pays non signataires pour en bénéficier dans les comptes du protocole. Ce nouvel accord international est la réponse des Etats à la volonté émise en 1992 de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique », mais d'après la communauté scientifique (GIEC) la capacité maximale annuelle des océans et de la biosphère d'absorption est de 3,7 GteC, il faut au minimum diviser par deux les émissions pour stabiliser le climat. Cette réponse des Etats est plus un compromis en faveur de la protection de l'économie qu'une solution au réchauffement climatique. Par ailleurs, en 2007, les objectifs sont loin d'être atteints. Au contraire, Les émissions ont crû de 24 % depuis 2004 (GIEC, 2007). Quoi qu'il en soit, l'ONU n'a aucune compétence en matière de sanction et le protocole n'est pas coercitif. Le bon déroulement de l'opération dépend de la volonté des Etats signataires.

---

SO<sub>2</sub>, le NO<sub>x</sub>, les COV, le NH<sub>3</sub> et les métaux lourds.

<sup>20</sup> Pourtant la crise économique Russe a déjà fait baisser ses émissions de 40 % depuis 1990, elle a donc des permis d'émission à vendre dès le départ.

### 3.3 La politique européenne

Alors que le secteur énergétique a joué un rôle majeur dans la construction de l'Union Européenne (CECA, Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier<sup>21</sup>), la Communauté Européenne peine à s'approprier une thématique sur laquelle les états membres préfèrent rester souverains. Il n'y a pas en Europe de politique énergétique commune (B. Mérenne-Schoumaker). En effet, entre la France « tout nucléaire », l'Italie « zéro nucléaire » et l'Allemagne « moteur des énergies renouvelables », il y a de grandes différences.

Malgré tout, depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle, l'Europe construit sa politique énergétique en prenant en considération les nouvelles préoccupations environnementales. En 2000, le Livre vert sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique vise à multiplier les sources énergétiques pour minimiser la dépendance des Etats membres. Elle a promulgué des lois sur l'utilisation des énergies renouvelables et sur l'efficacité énergétique. Le Parlement et le Conseil Européen ont voté la directive 2001/77/CE du 27 septembre 2001 relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables. Dans ce texte, l'Europe s'engage à porter de 6 à 12 % la part des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie en 2010 et de porter à 22 % en 2010 la part de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables. La commission européenne a également fortement accompagné la libéralisation du secteur du gaz et de l'électricité. Ainsi dans le Livre vert de 2006 intitulé « Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable », six domaines prioritaires sont mis en exergue :

- Achever l'ouverture et la libéralisation des marchés intérieurs du gaz et de l'électricité en Europe d'ici 2007,
- Améliorer la sécurité de l'approvisionnement (politique extérieure et intérieure commune),
- Assurer un bouquet énergétique plus durable, efficace et diversifié en introduisant une proportion minimum de sources d'énergie sûres et à faible teneur en carbone,
- Développer une approche intégrée pour lutter contre le changement climatique (ex : poursuivre le système communautaire d'échange de quotas d'émission,

---

<sup>21</sup> La CECA est créée en 1951 pour superviser et de répartir la production de charbon et d'acier, deux piliers de l'économie.

réaliser un plan d'action sur l'efficacité énergétique<sup>22</sup>, accroître les énergies renouvelables et piéger le carbone),

- Encourager l'innovation: un plan européen pour les technologies énergétiques stratégiques,
- Vers une politique extérieure cohérente qui donne plus de poids à l'UE en matière d'énergie à l'échelle internationale.

Les objectifs en faveur de la maîtrise de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction des gaz à effet de serre ont été renforcés dans le plan d'action européen sur l'énergie adopté le 9 mars 2007, une « politique énergétique pour l'Europe », qui a pour ambition de donner une orientation commune à tous les Etats. Il stipule que 20 % des énergies consommées seront d'origine renouvelable en 2020, que 10 % d'agrocultures seront incorporés aux carburants conventionnels, que les consommations énergétiques devront s'abaisser de 20 % et que les gaz à effet de serre seront réduits de 20 % par rapport à 1990 , voire 30 % si d'autres pays industrialisés s'y engagent.

### 3.4 Le cadre réglementaire national

Malgré de nombreux freins, depuis 1996 la politique énergéico-environnementale française a évolué dans le sens indiqué par la commission européenne avec le vote de plusieurs lois mettant en avant la protection de l'air, le développement durable et plus tard la maîtrise de l'énergie et le développement des énergies renouvelables : la *loi sur l'air et sur l'utilisation rationnelle de l'énergie* de 1996 avec notamment la mise en place des Plans de Déplacements Urbains, la *loi d'aménagement et de développement durable du territoire*<sup>23</sup> (LOADDT) en 1999 avec les Schémas de services collectifs de l'énergie, la *loi relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité*<sup>24</sup>, la *loi solidarité renouvellement urbain* (SRU) qui oriente l'aménagement urbain vers un modèle plus durable et plus équilibré. Le 13 juillet 2005, la *loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique ou loi POPE*<sup>25</sup> est votée, ce nouveau texte élaboré après le débat national sur l'énergie organisé en 2003 et la publication du livre blanc réglemente la politique énergétique française.

---

<sup>22</sup> Le plan d'action pour l'efficacité énergétique (2007-2012) a été adopté par le conseil européen des 8 et 9 mars 2007 et a pour objectif de réduire les consommations européennes de 20 % d'ici 2020.

<sup>23</sup> Loi n° 99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire.

<sup>24</sup> Loi n° 2000-108 du 10 février 2000.

<sup>25</sup> Loi No. 2005-781.

Des objectifs ont été affichés par le gouvernement français hors législation. En 2000, Lionel Jospin et Dominique Voynet avaient validé un Programme National de Lutte contre le Changement Climatique ; quatre ans plus tard, le nouveau gouvernement en la personne de Serge Lepelletier, Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable, a présenté le Plan Climat 2004, dans lequel le gouvernement invite les collectivités locales à réaliser des Plans Climat territoriaux. Ces deux derniers programmes sont des réponses successives aux engagements internationaux du protocole de Kyoto. La France s'y est engagée à maintenir ses émissions au niveau atteint en 1990, seuil d'ailleurs dépassé depuis.

Les dernières élections présidentielles se sont cristallisées en début d'année 2007 autour de la question du réchauffement climatique avec l'entrée fracassante de Nicolas Hulot dans la campagne. Le nouveau gouvernement a désigné un « deuxième premier ministre » à la tête d'un nouveau Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement Durable du Territoire. Le Grenelle de l'Environnement organisé à l'automne 2007 a considéré la question écologique dans son ensemble. La France est-elle à un nouveau tournant de son histoire énergéico-environnementale ? L'avenir le dira.

Pour l'instant, c'est la loi d'orientation sur l'énergie qui régit la politique énergétique. Elle reprend les objectifs traditionnels d'indépendance énergétique, de poursuite du nucléaire (EPR), d'égalité d'accès, de compétitivité des prix, de protection de l'environnement et pour la première fois, elle introduit l'objectif majeur d'une division par 4 des émissions françaises de GES d'ici 2050. Seulement, les objectifs chiffrés (la production de 10 % des besoins énergétiques à partir de sources d'origine renouvelable d'ici 2010, une production d'électricité d'origine renouvelable à hauteur de 21 % de la consommation en 2010, une augmentation de la production de chaleur d'origine renouvelable de 50 %) ne semblent pas constituer une panoplie suffisante pour répondre à des ambitions « facteur 4 ». Nous verrons dans cette thèse comment le principe du « facteur 4 » peut être appliqué à une ville moyenne.

Malgré des déclarations d'intention louables, nous constatons que la mise en application rencontre de grandes difficultés. Voyons néanmoins quel est le dispositif réglementaire mis en place pour réduire les consommations, développer les énergies renouvelables et réduire les émissions de gaz à effet de serre. C'est, entre autres, dans ce contexte législatif qu'il faudra intégrer notre problématique. Nous tenterons d'établir une liste des réglementations françaises par secteur, en nous attachant à détailler spécifiquement les lois et les réglementations qui portent sur l'énergie, l'environnement et la ville.

### 3.4.1 Le secteur industriel et la branche énergétique

Le secteur industriel est le seul à avoir baissé ses consommations d'énergie depuis les années 70, il reste cependant un secteur gros consommateur, en particulier la branche *Energie* de l'industrie. Plusieurs outils réglementaires ont été créés pour agir sur ce champ. Selon la loi d'orientation sur l'énergie, la France devrait atteindre un rythme de baisse de 2 % par an d'ici à 2015 de l'intensité énergétique finale<sup>26</sup> et de 2,5 % sur la période 2015 à 2030. Autrement dit, la France doit baisser ses besoins en énergie pour une production de biens et de richesse équivalente. Cet objectif aura un impact majeur sur les consommations des activités industrielles et tertiaires qui participent pour une grande part au bilan énergétique des espaces urbains.

- Les certificats blancs<sup>27</sup> : Chaque fournisseur d'énergie se voit imposer de faire faire des économies d'énergie à ses clients. Le système mis en place est inspiré du protocole de Kyoto. Les opérateurs doivent respecter des quotas mais ont la possibilité d'échanger les certificats d'économie d'énergie (certificat blanc) sur le marché français. Toute action réalisée par une personne morale ou des collectivités publiques hors de leurs activités habituelles peut donner lieu à la délivrance de certificats d'économie d'énergie. Ce système sera intéressant pour inciter les collectivités publiques à multiplier leurs actions. Cependant, des manques importants sont relevés par B. Dessus (2005), la loi ne fixe pas le niveau des obligations et elle exclut les carburants automobiles.
- La construction de l'EPR : La loi POPE de 2005 prévoit la poursuite de l'option nucléaire dans le bouquet énergétique français argumentant que ce mode d'énergie participe à trois objectifs de la politique énergétique : l'indépendance énergétique nationale, la lutte contre l'émission des gaz à effet de serre et la compétitivité des prix. Le remplacement des centrales actuelles intervenant dans moins d'une décennie, la question de lancer d'ici 2012 la construction d'une centrale de dernière génération EPR est ouverte.
- Le plan national d'allocation des quotas des émissions de CO<sub>2</sub>: la directive européenne 2003/87/CE transposée en France par l'ordonnance n°2004-330 du 15 avril 2004 a établi un marché d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre pour les entreprises les plus émettrices (industrie de l'énergie, industrie

---

<sup>26</sup> L'intensité énergétique finale est le rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

<sup>27</sup> Décret n° 2006-600 du 23 mai 2006 relatif aux obligations d'économies d'énergie dans le cadre du dispositif des certificats d'économie d'énergie.



manufacturières, certains services). Ces quotas, auxquels doivent répondre les entreprises, sont négociables et échangeables.

### 3.4.2 Les énergies renouvelables et la cogénération

La France s'est donc donnée pour objectif de produire 10 % de sa consommation d'énergie finale à partir des énergies renouvelables d'ici 2010 (loi Pope, 2005) et d'atteindre 20 % en 2020 (Grenelle de l'Environnement, 2007). Ce taux est actuellement de 6,2 %. L'Etat a mis en place des mesures en vue d'atteindre ces objectifs finalement ambitieux. Les mesures qui sont mises en application pour atteindre ces objectifs sont d'ordre économique. L'Etat impose des tarifs de rachat de l'électricité d'origine renouvelable avantageux et propose des réductions fiscales (crédits d'impôts et réductions d'impôts).

La loi relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité prévoit que certaines installations de production d'électricité d'origine renouvelable ou provenant de cogénération puissent bénéficier d'un tarif de rachat avantageux, dans le but de développer des filières en plein essor qui sont vouées à être sollicitées plus massivement dans le futur. La loi actualisée par de nombreux arrêtés fixe les tarifs de rachat de cette électricité d'origine renouvelable par les fournisseurs.

Filière	Tarifs de rachat pour les nouvelles installations	Durée des contrats
	Tarif à 1 composante : 6,07 c€/kWh (prime de 0,5 à 2,5 c€/kWh pour les petites installations et prime de qualité de 0 à 1,68 c€/kWh)	
Hydraulique	Tarif à 2 composante : 8,38 c€/kWh en hiver et 4,43 c€/kWh en été (+ les primes) Etc...	20 ans
Photovoltaïque	30 c€/kWh en France continentale et 40 c€/kWh en Corse et dans les DOM 55 c€/kWh si l'équipement est intégré au bâti <sup>28</sup>	20 ans
Eolien terrestre	8,2c€/kWh pour les 10 premières années et 8,2 à 2,8 c€/kWh pour les cinq dernières années selon la durée annuelle de fonctionnement de référence, 11c€/kWh pour les DOM	15 ans

<sup>28</sup> La prime d'intégration au bâti est délivrée si l'équipement assure une fonction technique ou architecturale : toiture, ardoises ou tuiles photovoltaïques, brise-soleil, allèges, verrière, garde-corps de fenêtre, bardages, mur rideau.

Eolien offshore	13 c€/kWh pour les dix premières années et 13 à 3 c€ pour les dix dernières années selon la durée annuelle de fonctionnement de référence	20 ans
Biogaz et méthanisation	7,5 c€/kWh à 9 c€/kWh en France métropolitaine selon la puissance installée 10,3 à 8,6 c€/kWh dans les DOM (+prime à l'efficacité énergétique)	15 ans
Géothermie	12 c€/kWh en France métropolitaine 10 c€/kWh dans les DOM (+prime à l'efficacité énergétique)	15 ans
Cogénération	6,1 à 9,15 c€/kWh en fonction du prix du gaz, de la durée de fonctionnement et de la puissance	12 ans

Figure 14 : Tarifs de rachat de l'électricité d'origine renouvelable.

Tous ces modes d'énergie peuvent être employés en milieu urbain, avec plus ou moins de contraintes. Le solaire photovoltaïque s'implante sur les toits des bâtiments bien orientés. Il y a donc un très fort potentiel en ville. La petite hydraulique est très bien adaptée pour équiper les cours d'eau qui traversent l'espace urbain. La grande hydraulique, par contre n'est pas adaptée au milieu urbain. Le grand éolien peut tout à fait équiper des sites périphériques de la ville, des zones d'activité par exemple. Bien que le petit éolien soit actuellement surtout développé en site isolé, il est tout à fait adapté au milieu urbain et peut profiter des vents élevés sur les toits des immeubles. Même si le potentiel est peut-être plus important en milieu agricole, le biogaz issu des centres d'enfouissement technique ou des stations d'épuration peut être valorisé en électricité. Les systèmes de cogénération sont particulièrement adaptés pour les sites ayant une forte demande en chaleur et les quartiers assez denses. Enfin nous avons en France plusieurs exemples de réseaux de chaleur urbains fonctionnant à partir de l'énergie du sous-sol.

L'hydroélectricité est une filière rentable depuis longtemps. Les premières productions d'électricité étaient générées par l'énergie des chutes d'eau, que ce soit au fil de l'eau ou avec une retenue d'eau, en grande ou petite hydraulique. Le tarif de rachat de l'électricité d'origine renouvelable rend l'opération financière rentable.

Pendant longtemps, le photovoltaïque est resté au point mort en France alors que l'on pouvait observer un boom en Allemagne, au Japon ou en Espagne... Cette stagnation était due au tarif de rachat de l'électricité qui se trouvait alors largement en dessous du seuil de rentabilité. Le prix de rachat<sup>29</sup> déterminé en 2002 était de 15,25 c€/kWh alors que

<sup>29</sup> En France, la production annuelle d'un système photovoltaïque d'une puissance crête de 1 000 W orienté au sud et incliné de 30° varie entre 900 kWh au nord et 1 100 kWh au sud. Les coûts moyens d'un système raccordé au réseau de 2 kWc (enquête d'octobre 2006 de l'association Outils-solaire) s'élèvent à environ 5 €/Wc (crédit d'impôt compris) pour une

le coût d'un système électrique solaire peut être compris actuellement entre 23 et 28 c€/kWh. La taux de rachat fixé en juillet 2006 impose un tarif de 30 c€/kWh pour les installations classiques ce qui dépasse légèrement le point mort économique. Dans ce cas là, le temps de retour sur investissement brut est estimé entre 16 et 20 ans mais il dépasse souvent l'espérance de vie des panneaux si l'on tient compte de la dépréciation de l'argent et de la maintenance. L'opération financière ne se fait plus forcément à perte mais elle n'est pas rentable. Par contre, le gouvernement français a souhaité mettre en place une politique de soutien aux systèmes photovoltaïques intégrés architecturalement et techniquement au bâti. Pour ce faire, les tarifs de rachat ont été rehaussés à 55 c€/kWh pour ces installations. Dans ces conditions, la filière a vu sa rentabilité augmenter. Car, même si le coût moyen d'un système photovoltaïque intégré au bâti<sup>30</sup> est plus élevé (5,85 €/Wc), le temps de retour sur investissement actualisé<sup>31</sup> d'un système de 2 kWc est compris entre quinze ans (à Lille) et 8 ans (à Toulon). Au même titre, le taux de rentabilité interne va de 5 à 12 %. Cette démonstration nous permet de comprendre que le solaire photovoltaïque est devenu une opération financière rentable uniquement dans le cas des installations intégrées au bâti et depuis juillet 2006 seulement. Cette attractivité financière est suivie d'une nette progression du marché photovoltaïque en France comme cela a été le cas en Allemagne lorsque les tarifs de rachat ont atteint 50 c€/kWh. En France, ce mode d'énergie est donc particulièrement intéressant s'il est intégré au bâti, les espaces urbains qui présentent un grand nombre de bâtiment y sont donc favorables.

Même si, en France, la courbe de progression n'a rien eu de comparable avec la tendance observée en Allemagne, au Danemark ou en Espagne, l'éolien est la source d'énergie renouvelable qui se développe le plus dans l'hexagone depuis la fin des années 90. L'essor est tout particulièrement important depuis l'arrêté du 8 juin 2001<sup>32</sup> qui fixait le tarif de rachat à 8,38 c€<sup>33</sup> alors qu'à l'époque, le coût réel de production du kWh se situait dans une fourchette de 2,5 c€/kWh à 6 c€/kWh<sup>34</sup>. Aujourd'hui, le tarif de rachat a été réactualisé à 8,2 c€/kWh pour les 10 premières années et 8,2 à 2,8 c€/kWh pour les cinq dernières années selon la durée annuelle de fonctionnement de référence. Et, malgré la hausse des prix des machines de 50 %, les temps de retour sur investissement sont compris

---

installation classique, non intégrée au bâti, soit 5 000 € pour une installation de 1 000 Wc. Le coût du kWh est par conséquent compris entre 23 c€/kWh et 28 c€/kWh.

<sup>30</sup> avec une TVA de 19,6 % et le crédit d'impôt de 50 %.

<sup>31</sup> Ces données ont été calculées avec le logiciel de simulation des panneaux photovoltaïques : Calsol. Le TRA est le nombre d'années de production de l'installation photovoltaïque pour rembourser l'investissement en tenant compte du coût de l'argent et de la maintenance.

<sup>32</sup> Arrêté du 8 juin 2001 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie mécanique du vent telles que visées à l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000.

<sup>33</sup> Plus exactement, le tarif de rachat était fixé à 8,38 c€/kWh pendant 5 ans puis de 3,05 à 8,38 c€/kWh pendant 10 ans selon les sites.

<sup>34</sup> Calcul pour des coûts d'installation de 1 000 €/kW appliqués à des taux de travail à pleine puissance de 1 700 à 4 000 heures.

entre 7 et 15 ans selon les sites. Le taux de rentabilité interne s'échelonne entre 7 et 25 %<sup>35</sup>. Depuis la loi POPE, l'éolien est soumis à la circulaire ZDE : l'exploitant éolien devra avoir implanté ses aérogénérateurs dans une zone de développement éolien délimitée par les collectivités locales et approuvée par le préfet si il veut bénéficier du tarif de rachat. Si cette circulaire introduit de la cohérence territoriale dans l'implantation des aérogénérateurs sur le sol français, elle bloque tout développement de l'éolien urbain.

### 3.4.3 Les crédits d'impôts

Plusieurs équipements ayant trait à l'efficacité énergétique ou aux énergies renouvelables bénéficient de crédits d'impôt. Le crédit d'impôt est un dispositif fiscal qui permet aux ménages de déduire de leurs impôts une part des dépenses réalisées. Les personnes non imposables en bénéficient également. Ce crédit d'impôt concerne les équipements mais pas les travaux d'installation. Il s'applique pour des mesures d'efficacité énergétique (chaudière à condensation, matériaux d'isolation thermique et les appareils de régulation de chauffage), les énergies renouvelables ou, depuis peu, des équipements de raccordement à un réseau de chaleur.

Montant	Équipement
15 %	Chaudières basse température
25 % ou 40 %	Chaudières à condensation
	Matériaux d'isolation thermique : sur parois opaques (Planchers bas, toitures-terrasses, murs en façade, toitures) Parois vitrées, Volets isolants, Calorifugeage de tout ou partie d'une installation de production ou de distribution de chaleur ou d'eau chaude sanitaire
	Appareils de régulation de chauffage
25 %	Équipement de raccordement à un réseau de chaleur alimenté majoritairement par des énergies renouvelables ou par une installation de cogénération
50 %	Équipement de chauffage et d'eau chaude fonctionnant à l'énergie solaire
	Système électrique photovoltaïque
	Système électrique fonctionnant à l'énergie éolienne, hydraulique ou biomasse
	Équipement de chauffage et d'eau chaude fonctionnant à la biomasse : poêles, foyers fermés et inserts, cuisinières / chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, chaudières avec des rendements > 65 %
	Pompes à chaleur géothermiques à capteur fluide
	Autres pompes à chaleur géothermiques et air/eau
	Pompes à chaleur air/air

Figure 15 : Les crédits d'impôts sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

<sup>35</sup> Selon la SARL ENCIS WIND.

### 3.4.4 La construction et le bâtiment

Le chauffage, la climatisation ou l'éclairage des bâtiments représente 43 % de la consommation d'énergie en France et 25 % des émissions de CO<sub>2</sub>. C'est un poste essentiel dans le bilan énergétique des villes qui offre un potentiel extraordinaire d'économie d'énergie à moindre coût.

La directive européenne sur la performance thermique des bâtiments<sup>36</sup> entrée en vigueur en janvier 2003 a tardé à être transposée dans le droit français. Alors qu'elle devait être transcrite en janvier 2006 au plus tard, les mesures les plus importantes sont sorties après cette date. La réglementation thermique 2005, sortie au printemps 2006<sup>37</sup> est dans la continuité de la RT 2000. La RT 2005 accentue de 15 % les exigences thermiques des bâtiments neufs comme il était prévu de le faire tous les cinq ans pour obtenir une réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments neufs de 40 % à l'horizon 2020 par rapport à 2000. Le législateur a pris en compte des éléments essentiels qui ne l'étaient pas jusque là. La consommation maximale est exprimée en énergie primaire, la climatisation est prise en considération, il y a une incitation aux énergies renouvelables et à la conception bioclimatique. Deux arrêtés récents ont ajouté des notions complètement nouvelles, l'un sur les labels de Haute Performance Energétique<sup>38</sup> et l'autre sur les bonifications de coefficient d'occupation du sol (COS) pour les bâtiments ayant un label. Le principal manque de cette mesure est qu'elle ne s'applique qu'aux bâtiments neufs. Sachant que le parc immobilier ne se renouvelle qu'à un taux de 1 % par an, il faudrait un siècle pour que l'ensemble des bâtiments soit soumis à cette norme thermique. Pourtant, plus des trois quarts des bâtiments français ont été construits antérieurement à la première réglementation thermique de 1974.

Il a fallu attendre 2007 pour que le décret n°2007-363 fixe les contours de la réglementation thermique dans l'existant. Les bâtiments de surface hors œuvre nette supérieure à 1 000 m<sup>2</sup> dont les coûts des travaux s'élèvent à plus de 25 % de leur valeur devront répondre à un seuil de consommation d'énergie pour le chauffage comme pour la climatisation, la ventilation, la production d'eau chaude ou l'éclairage.

---

<sup>36</sup> Directive performance énergétique des bâtiments n°2002/91/CE

<sup>37</sup> Le décret n°2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions.

<sup>38</sup> Arrêté du 27 juillet 2006 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique ». Le « label haute performance énergétique, HPE 2005 », correspond à une consommation d'énergie inférieure de 10 % à la consommation conventionnelle de référence. Le « label très haute performance énergétique, THPE 2005 », correspond à une consommation conventionnelle d'énergie inférieure de 20 %. Il existe aussi les labels HPE Enr, THPE Enr et BBB (bâtiment basse consommation).

De plus, les maîtres d'ouvrage devront réaliser une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie pour évaluer différents scénarios mettant en scène les coûts d'investissement et d'exploitation mais aussi les émissions de gaz à effet de serre. Cette étude permettra d'étudier des solutions plus respectueuses de l'environnement (énergies renouvelables, réseau de chaleur...). Cet article s'applique au neuf à partir du 31 décembre 2007 et à l'existant à partir du 1<sup>er</sup> avril 2008.

Enfin, depuis l'entrée en vigueur<sup>39</sup> des diagnostics de performance énergétique, la vente, la location ou la construction d'un bâtiment doit être accompagnée d'un bref document permettant à l'acheteur ou au locataire de faire son choix en fonction des estimations des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre du bien immobilier.

### **3.4.5 L'aménagement urbain, un nouvel enjeu**

En réponse au phénomène d'étalement urbain à la consommation d'espace grandissante des milieux urbains au détriment des milieux naturels, la loi SRU (solidarité renouvellement urbain) a été votée en 2000. Elle a été pensée de manière à lutter contre les déséquilibres sociaux, environnementaux et économiques. Elle exprime la volonté d'avoir une politique sur la ville cohérente. On peut distinguer trois idées fortes : la *solidarité et le partage*, la *ville lieu d'échange* et le *développement durable*. Ces thèmes accompagnent la réflexion sur quatre principes fondateurs de l'organisation urbaine : le développement équilibré des territoires, la mixité, une gestion maîtrisée des ressources et de l'environnement, la démocratisation des procédures.

L'objectif premier est de retrouver un équilibre territorial grâce au renouvellement urbain (« reconstruire la ville sur la ville »), à la maîtrise du développement urbain et à la protection des espaces ruraux. Le second volet exprime la volonté de diversifier les fonctions urbaines et la mixité sociale, entre autres, en imposant un taux de 20 % minimum d'habitat social dans chaque commune d'une communauté d'agglomération. La loi impose une utilisation de l'espace plus économe, la maîtrise des déplacements et la préservation de l'environnement et du patrimoine.

Grâce à cette loi, les documents d'urbanisme sont rénovés, donnant naissance aux PLU (Plan Local d'Urbanisme) et aux SCOT (Schéma de Cohérence Territorial). Les SCOT sont des documents de stratégie d'aménagement à l'échelle d'une agglomération. Ils ont

---

<sup>39</sup> Depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2006 pour la vente et depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2007 pour la location. Les bâtiments publics pour lesquels l'affichage des consommations et des émissions sera obligatoire, l'entrée en vigueur est pour le 1<sup>er</sup> janvier 2008.

pour but de mettre en cohérence différentes politiques sectorielles en matière d'urbanisme, de développement économique, d'habitat et de vie sociale, de déplacements, d'environnement et de paysage et de fédérer les documents de planification (POS ou PLU, Plan de Déplacement Urbain, Plan local de l'habitat ...). Les PLU qui remplacent les POS sont les traductions d'un projet urbain sur une échelle de temps de 5 à 10 ans. Ils offrent un cadre plus souple que leurs prédécesseurs : les POS étaient strictement planificateurs.

Les SCOT et les PLU sont l'un comme l'autre accompagnés d'un PADD (Plan d'Aménagement et de Développement Durable du territoire). Ces nouveaux outils sont la traduction de l'intention des élus locaux en terme de développement durable, ils sont sensés, entre autres, inciter la maîtrise de la croissance urbaine, la diversité des fonctions et la réduction des déplacements. C'est pourquoi ce sont des outils indispensables pour agir indirectement sur les consommations d'énergie des espaces urbains.

### **3.4.6 La politique des transports**

La politique des transports en France s'est attachée pendant une longue période à développer les infrastructures routières et à accroître les performances de mobilité sans se soucier des questions de maîtrise de l'énergie. Les préoccupations environnementales sont entrées dans la problématique dans les années 90 avec la loi LAURE qui a promulgué la nécessité d'organiser les déplacements urbains et de privilégier les déplacements alternatifs à l'automobile.

Depuis 1971, l'Europe régleme les émissions des véhicules routiers. A partir de 1988, ce sont les normes Euro qui fixent des valeurs limites pour les véhicules neufs. Ces normes ont permis de baisser considérablement les rejets de polluants des véhicules entrant sur le marché et ont participé à l'amélioration de la qualité de l'air au niveau local, Cependant, la majorité des véhicules occupant la voirie est antérieure aux dernières normes. Par ailleurs, les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont toujours pas réglementées. Les constructeurs se sont engagés à baisser ces émissions au niveau moyen de 140 g/km en 2008 auprès de la Commission européenne qui projette de proposer un cadre législatif plus contraignant.

Au niveau de la politique française, la loi d'Orientation des Transports Intérieurs (Loti) du 30 décembre 1982 est la première à proposer un cadre. Elle est arrivée dans un contexte du « tout routier » en vigueur à l'époque et n'encourage pas la maîtrise de l'énergie. Il faut attendre les années 90 pour que la loi intègre dans les transports les

préoccupations environnementales liées à la pollution de l'air avec la LAURE qui redéfinit et rend obligatoires les PDU<sup>40</sup> (Plan de Déplacements Urbains) pour les villes de plus de 100 000 habitants. Ce sont des documents de planification d'une importance majeure dans la maîtrise des consommations d'énergie liées aux déplacements urbains.

En 2000, la loi SRU encourage les Plans de Déplacements Entreprises et les Plans de Déplacements Administrations afin de favoriser les modes de déplacements alternatifs dans les pôles d'emplois. La même année, le programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique (PNAEE) fixe comme objectif d'encourager les véhicules propres en accordant un crédit d'impôt aux particuliers qui achètent des véhicules au GPL, au GNV, des véhicules électriques ou hybrides. Plus récemment, en 2006, une taxe sur la carte grise a été affectée aux véhicules les plus consommateurs et les plus émetteurs (+ de 200 g/km) et une « étiquette CO<sub>2</sub> » est apposée sur les véhicules neufs.

La politique des transports devrait se tourner vers la nécessité de réduire le trafic routier, aussi bien le trafic de fret que le trafic de personnes, aussi bien les déplacements inter urbains que les déplacements intra urbains, mais la tâche est lourde, l'inertie est grande et les freins nombreux, d'autant que les aménageurs et les élus sont nombreux à considérer le développement économique de leur territoire indissociable du développement des infrastructures routières. Les contraintes réglementaires actuelles ne permettent pas pour l'instant d'atteindre la nécessaire division par quatre des émissions de gaz à effet de serre.

### **3.5 Des options différentes en Allemagne, en Suisse et en Espagne**

Les politiques adoptées dans les autres pays européens sont différentes et l'on rencontre des initiatives volontaires porteuses de résultats, notamment dans les pays nordiques, en Allemagne, en Suisse (hors U.E) et en Espagne.

Nous prendrons l'exemple de l'Allemagne qui est le moteur des énergies renouvelables et des économies d'énergie en Europe. Le secteur des énergies renouvelables y vit une croissance phénoménale depuis la promulgation de la loi sur les énergies renouvelables du 29 mars 2004, modifiée en 2004 par la loi portant réforme au droit relatif aux énergies renouvelables dans le domaine de l'électricité. Ce cadre réglementaire a permis le développement de l'énergie solaire photovoltaïque, de l'éolien, de l'hydroélectricité ou la production d'électricité à partir de la biomasse. A titre d'exemple, l'électricité produite à partir de la biomasse est rémunérée entre 8,4 et 11,5

---

<sup>40</sup> Déjà institués par la LOTI.



centimes d'euros/kWh avec des majorations si l'électricité est produite via un système de cogénération. L'énergie photovoltaïque est rachetée entre 45,7 et 54 centimes d'euros/kWh. Ces deux taux de rachat sont nettement supérieurs aux taux français qui ont pourtant été majorés en 2005, en tout cas en ce qui concerne le photovoltaïque. Depuis plusieurs années, l'Espagne a aussi adopté une politique de soutien de l'électricité d'origine renouvelable par des prix d'achat garantis et intéressants. Ces deux pays pionniers sont récompensés aujourd'hui par leur avancée dans ce secteur porteur.

La politique énergétique allemande s'est également attaquée aux questions d'économies d'énergie dans son décret EnEV en 2004 qui encourage la rénovation thermique des anciens bâtiments et qui fixe un seuil pour la performance thermique des bâtiments neufs de 80 kWh/m<sup>2</sup>/an. C'est plus ambitieux que la réglementation française. La Suisse aussi a imposé une performance énergétique des bâtiments ambitieuse. Par ailleurs, l'Allemagne a généralisé l'usage de la cogénération depuis plus de vingt ans.

C'est pourtant l'Allemagne qui émet le plus de gaz à effet de serre liés à l'énergie en Europe. Les 228 Millions de teC rejetées en 2002 sont dues en grande partie à un système électrique basé sur le charbon et la lignite. Le choix de cesser l'activité nucléaire ayant été pris par le précédent chancelier, la réduction de ces gaz à effet de serre en sera d'autant plus problématique. C'est pourquoi la politique énergétique appuie fortement les actions de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies renouvelables.

### **Conclusion du chapitre 3 :**

Les politiques de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies renouvelables sont nées dans les années 80, suite aux deux chocs pétroliers. Les alertes environnementales des années 90 ont orienté la réflexion sur le réchauffement climatique. Il faut attendre 1997 et Kyoto pour voir les premières actions se mettre en place. L'analyse des politiques énergétiques à l'échelle internationale, européenne, ou française, de ces 30 dernières années nous laisse à penser que le moteur est l'urgence. Les politiques les plus efficaces sont mises en œuvre quand la société est au pied du mur. Le principe de précaution n'aurait-il qu'une valeur théorique en matière d'énergie ? En cette période mouvementée, des portes s'ouvrent : le protocole de Kyoto fixe des objectifs, l'Europe se donne de l'ambition dans son dernier plan d'action sur l'énergie, le gouvernement français compte diviser par 4 les émissions de son territoire. Mais en pratique, la France présente un certain retard par rapport à d'autres pays européens en matière de développement des énergies renouvelables, de performance thermique des bâtiments...

En France, le rôle donné aux collectivités locales est relatif. C'est au niveau national que se prennent les décisions majeures dans l'industrie, pour la réglementation thermique des bâtiments, pour le développement des énergies renouvelables, pour les transports. Toutefois, les collectivités ont bénéficié des lois de décentralisation qui leur ont donné des compétences en matière d'urbanisme, de transports publics ou d'aménagement du territoire. Nous verrons dans la Partie III que les collectivités locales ont finalement un rôle à jouer plus grand qu'il n'y paraît, aussi bien en terme d'aménagement urbain que de transports et de production d'énergie.

# Chapitre 4. Problématique et Méthodologie

## 4.1 La justification du sujet

S'attacher à comprendre les mécanismes et les stratégies permettant d'aménager des villes plus économes en énergie et plus favorables aux économies d'énergie nous est apparu être un axe de recherche porteur et susceptible d'enrichir la connaissance scientifique ayant trait à l'énergie, l'environnement et à l'aménagement du territoire. Qui plus est, ce travail a été réalisé dans l'objectif de répondre à des aménageurs et des gestionnaires des territoires qui s'interrogent sur ces questions énergetico-environnementales. Grâce à une démarche appliquée de géographie, nous présentons des « principes applicables ». C'est la volonté de contribuer à la maîtrise de l'énergie, la lutte contre le changement climatique et plus précisément la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre qui a motivé la recherche de solutions efficaces par la modélisation de l'espace urbain dans la perspective du « facteur 4 ».

En effet, la baisse de l'offre énergétique doublée de l'augmentation de la demande et les pressions environnementales de plus en plus prononcées nous ont amené à engager une réflexion sur un autre mode de « développement » des territoires. Il semble judicieux de se pencher tout particulièrement sur la ville qui, aujourd'hui, concentre la grande majorité de la population européenne et par conséquent des consommations et des émissions.

Nous avons choisi d'axer notre recherche sur les villes moyennes après avoir constaté que les efforts de la connaissance scientifique et de la recherche ainsi que les efforts d'application politique étaient principalement portés sur les grandes villes. Pourtant les espaces urbains de taille moyenne représentent une part importante de la population totale. Près de 40 % des citoyens européens vivent dans des « villes moyennes » de moins de 500 000 habitants. Or, les problématiques d'aménagement ne sont pas proportionnelles, la façon d'aménager une ville moyenne diffère de celle d'aménager une métropole. Aussi bien en terme de transport que d'habitat, d'urbanisme ou de moyens de production d'énergie, les mécanismes à mettre en œuvre ne sont pas les mêmes. Dans une grande métropole, la densité est en général bien plus importante que dans une ville moyenne, la part de l'habitat collectif est beaucoup plus élevée, les finances locales permettent de mettre en œuvre des transports collectifs d'une plus grande envergure (ex :

le métro), la part modale des transports en commun est nettement supérieure, à l'inverse la ville moyenne offre souvent plus d'espace pour les énergies locales et renouvelables, les déplacements sont moins longs... Ce sont autant de variables qui incitent à repenser les stratégies énergétiques à l'échelle de la ville moyenne.

## 4.2 Les postulats de départ

Les réalités de départ sont celles que nous avons abordées dans les trois chapitres précédents. Nous les résumerons ici en huit points capitaux :

- Les prix de l'énergie sont en hausse,
- la demande énergétique est en hausse alors que l'offre est en baisse,
- les pressions environnementales liées à l'énergie sont de plus en plus prédominantes,
- il est nécessaire de maîtriser l'énergie et de développer les énergies renouvelables,
- les villes concentrent les trois-quarts des consommations d'énergie en Europe,
- le modèle de développement urbain des cinquante dernières années est très consommateur d'énergie,
- la consommation et la structure énergétique dépendent en partie des stratégies de développement et de l'aménagement urbain, au sens large,
- les autorités locales des villes ont un rôle majeur à jouer dans la maîtrise de l'énergie et dans le développement des énergies renouvelables sur leur territoire.

## 4.3 L'évolution de la problématique de thèse

Au cours de la recherche, la problématique a quelque peu évolué. De nouvelles hypothèses et questionnements sont apparus avec l'avancée des résultats. L'objectif premier de la thèse était de mettre en avant les différentes modalités de développement, d'aménagement et de gestion locale permettant de créer des espaces urbains économes en énergie et d'y favoriser le développement des différentes énergies renouvelables. De ce principe directeur étaient nés deux questionnements majeurs qui ont orienté la réflexion dès le travail de DEA: comment améliorer les économies d'énergie, favoriser les énergies

renouvelables et limiter les impacts environnementaux liés à l'énergie dans les villes moyennes européennes ? Et quel est le rôle des collectivités locales en la matière ?

En fonction des données collectées, des résultats obtenus, de l'évolution du contexte énergéico-environnemental (hausse des prix de l'énergie, nouveaux rapports du GIEC, options politiques retenues...), de l'actualité scientifique sur le thème (etc), les objectifs et la problématique du travail de thèse ont évolué et de nouveaux questionnements ont été formulés.

**Au final, la problématique générale consiste à déterminer les différents mécanismes, les différentes stratégies et modalités de gestion permettant d'aménager des espaces urbains de taille moyenne économes en énergie et propices aux énergies renouvelables, ceci dans le but de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre du territoire. Ainsi, pour remplir cet objectif, nous tenterons de répondre aux questionnements suivants :**

**- Quelles sont les caractéristiques des consommations d'énergie des espaces urbains de taille moyenne ?**

**- Quelles sont les meilleures stratégies pour réduire les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans les villes moyennes ? Quel est le rôle des collectivités locales face à cet enjeu ?**

**- Quel pourrait être le nouveau visage des espaces urbains de taille moyenne en 2050, dans la perspective d'une baisse radicale des consommations d'énergie liée à la nécessité de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre et à la tension accrue du marché énergétique ?**

Avant toute chose, il est nécessaire de préciser plus explicitement les notions employées dans les objectifs. Les grandes notions sont celles de « ville moyenne », d' « énergie », d' « économie d'énergie » et d' « énergies renouvelables ».

#### **La notion de ville moyenne :**

En France, une ville moyenne est une ville dont la population est comprise entre 20 000 et 100 000 habitants. Pour l'Union Européenne, la fourchette va de 50 000 à 500 000 habitants.

Dans leur dictionnaire de la Géographie, Pierre Georges et Fernand Verger qualifient une ville moyenne de « *ville occupant par son nombre d'habitants, par ses*

*dimensions, par ses fonctions et surtout par ses modes et ses rythmes de vie, une situation intermédiaire entre les métropoles régionales et les petites villes* ». Comme l'explicitent Pierre Georges et Fernand Verger, la tentative de définition d'une ville moyenne ne réside pas dans l'unique critère quantitatif du nombre d'habitant.

Etant donné que nous travaillons à l'échelle européenne, nous adapterons notre définition. Dans le cadre de cette recherche, nous considérerons, comme étant une ville moyenne, un espace urbain qui se trouve à l'interface entre les grandes métropoles françaises européennes et les petites villes. Nous pouvons considérer que les grandes métropoles d'équilibre françaises (classement de la DATAR de 1963) qui ont un impact européen sont : Paris, Lyon, Marseille, Lille-Roubaix-Tourcoing, Toulouse, Nice, Bordeaux, Nantes, Strasbourg ou Nancy-Metz-Thionville. Nous considérerons également qu'à l'échelle européenne, les aires urbaines de moins de 50 000 habitants sont des petites villes (Union Européenne). Les espaces urbains intermédiaires seraient des villes moyennes.

#### **La notion d'énergie :**

L'étymologie du mot énergie provient du grec « *Energeia* » qui signifie « force en action ». En effet, le terme énergie au sens où il sera employé dans le cadre de ce travail de recherche englobe l'ensemble des ressources ou des vecteurs qui par un phénomène mécanique, thermique, chimique, électrique, rayonnant ou nucléaire permet de produire une force de travail. Nous distinguerons deux types de sources d'énergie, les énergies dites de stock qui comprennent les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel ou dérivés) et les métaux fissibles (uranium...) et les énergies de flux dites renouvelables. Nous adopterons une vision la plus étendue possible de l'*énergie*, il s'agit bien là de ne pas restreindre cette notion à quelques ressources (ex : le pétrole ou l'électricité), à quelques usages (ex : le chauffage ou les transports) mais bien de considérer le système *Energie* dans sa globalité de la production à la consommation sans oublier son transport ou ses impacts environnementaux. Par exemple, nous tenterons, si les données disponibles nous le permettent, de distinguer les besoins en énergie primaire et les consommations d'énergie finale. L'approche systémique de l'énergie est une démarche semble-t-il plutôt rare, le problème est généralement abordé de manière sectorielle, les recherches sur le sujet privilégient généralement un angle d'attaque réduit (les gaz à effet de serre, les déplacements urbains...) ce qui ne permet pas d'avoir un horizon complet de la problématique *Energie* en milieu urbain.

### **La notion d'économie d'énergie :**

L'économie d'énergie au sens où nous l'employons dans la problématique s'apparente à la maîtrise de l'énergie. Elle réunit les actions de sobriété énergétique et d'efficacité énergétique. Respectivement, ces deux concepts sont l'action de ne pas utiliser de l'énergie lorsque c'est évitable et d'utiliser les mécanismes et les technologies les plus efficaces permettant d'obtenir le même travail pour une ressource énergétique moindre et par conséquent de limiter les pertes.

### **Les énergies renouvelables :**

Les énergies renouvelables sont des énergies de flux qui sont générées par des processus naturels réguliers tels que le rayonnement solaire, le vent, les végétaux, la chute de l'eau par gravitation ou la chaleur de la terre. L'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie issue de la géothermie, l'énergie hydraulique, l'énergie issue de la combustion et de la décomposition de la biomasse, l'énergie valorisant les courants marins ou les mouvements des marées sont par conséquent inépuisables. On considère aussi comme ressource énergétique renouvelable les déchets produits par l'activité humaine.

## **4.4 Méthodologie employée et zones d'études**

### **4.4.1 La démarche hypothético-déductive**

Le travail de recherche mené durant l'année de DEA était un travail exploratoire qui nous a permis de mettre à plat nos diverses interrogations, de définir les champs de l'étude et de commencer à donner quelques éléments de réponse qui, à la fin de cette pré-enquête, ne sont que des hypothèses a-posterioristes. Cette étude préparatoire nous a conduit à la recherche de thèse pour laquelle nous avons emprunté une démarche hypothético-déductive. Nous sommes partis du général, de la théorie et des concepts pour formuler des questionnements et des énoncés hypothétiques de base faisant état de notre connaissance en début de recherche. Ces énoncés ou hypothèses ont été confrontés à la réalité empirique. Grâce à divers moyens elles ont été testées pour être réfutées, confirmées ou reformulées. C'est un aller-retour incessant entre la théorie et la praxis via ces questionnements et ces hypothèses à travers une démarche itérative qui nous a conduit à proposer les résultats exposés dans cette thèse.

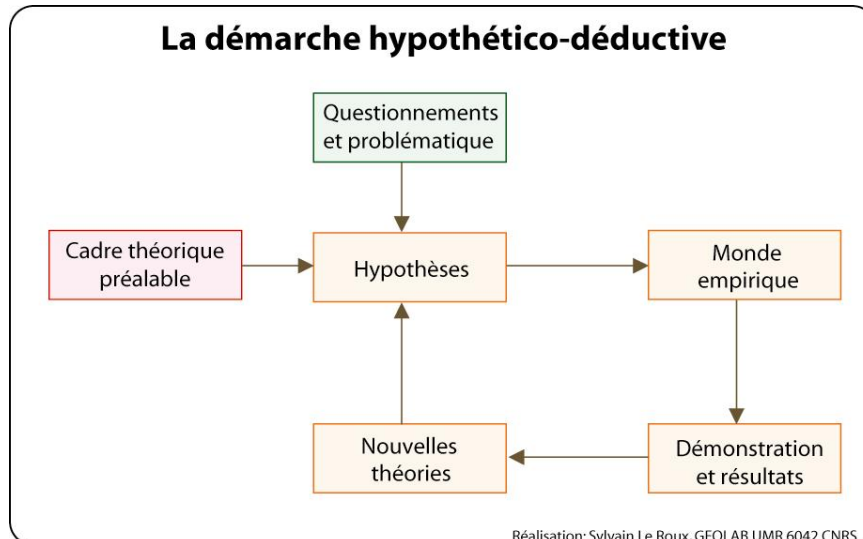


Figure 16 : La démarche hypothético-déductive.

#### 4.4.2 La collecte de données

L'argumentaire présenté dans cette thèse et les réponses aux questionnements de la problématique ont été construits à partir des résultats extraits de l'analyse de multiples données. Nous pouvons distinguer deux types de données : les données de « première main » et les données de « seconde main ». Les données dites de « seconde main » sont des données qui ont déjà été construites, mises en forme voire analysées par une tierce personne. Nous avons utilisé des bases de données thématiques, des ouvrages scientifiques, des documents institutionnels, des revues de presse... Les données de première main sont l'essence de la thèse, ce sont des données brutes, directement collectées par l'auteur pour être analysées par ses soins. En plus d'avoir mis en forme des données brutes telles que des bases de données, des cartes, des données SIG (etc.) pour les analyser sous l'angle de notre problématique, nous avons réalisé des enquêtes : une enquête quantitative par questionnaire et une enquête qualitative d'observation de terrain et d'entretiens avec les acteurs.

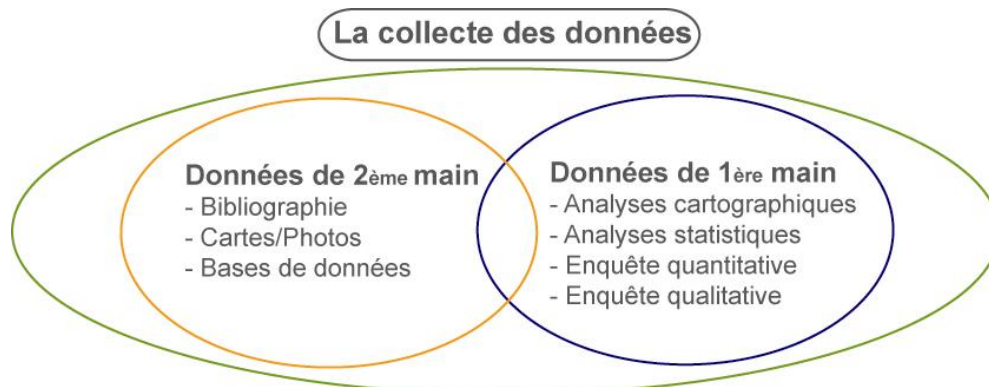


Figure 17 : La collecte de données.



#### 4.4.2.1 Les données de « seconde main »

##### L'analyse documentaire

La première question à se poser est : Qu'est-ce qui a déjà été écrit et pensé sur le sujet ? Pour répondre à cette question la seule solution est de constituer une bibliographie exhaustive ; recenser et appréhender tous les ouvrages, tous les articles scientifiques, toutes les revues ainsi que tous les autres médias (internet, revue en ligne...) abordant parallèlement ou simultanément les thèmes de l'*Energie*, de l'*Urbanisme* et de l'*Environnement*. Or, aboutir à l'exhaustivité d'un tel travail est difficilement pensable. C'est pourquoi, pour des raisons de faisabilité, nous nous avons tenté d'élaborer une bibliographie la plus complète possible dans des langues accessibles. La construction de cet inventaire documentaire s'est faite selon un cheminement méthodique dont voici une présentation :

##### La détermination des mots-clés, du général au particulier... :

Nous avons commencé par déterminer les mots-clés et les thèmes définissant au mieux notre sujet dans l'optique d'une recherche bibliographique par index (voir le figure 18). Différents moyens nous ont permis de trouver des ouvrages spécialisés dans le domaine étudié (les catalogues de bibliothèque, les bibliographies commerciales de type *Electre*)

Thèmes	Mots-clés et expressions
Général	énergie, climat, urbanisme, développement durable, gestion locale, collectivités locales, « facteur 4 »,...
Urbanisme	Densité urbaine, la ville compacte, la ville durable, le zonage, la Charte d'Athènes, loi SRU, étalement urbain, mixité urbaine, déplacements domicile-travail, déplacements urbains, documents d'urbanisme, ZAC, PLU, SCOT...
Transports	Mobilité, déplacements, Coordination urbanisme-transport, PDU, Transports en commun, transports alternatifs, Ratios énergétiques par véhicules, émissions par véhicules, transports durables...
Production d'énergie	Histoire de l'énergie, rôle des communes, Histoire de l'électricité, libéralisation du marché électrique, régie municipale, énergies renouvelables, énergie éolienne, hydroélectricité, bois-énergie, solaire thermique, photovoltaïque, Cogénération, biogaz, chauffage urbain...
Consommation d'énergie	Economie d'énergie, sobriété énergétique, efficacité énergétique, éclairage public, chauffage...
Planification énergétique	Bilan énergétique, bilan carbone, prospective énergétique, potentiel d'économie d'énergie, gisement en énergies renouvelables...

Figure 18 : Les mots-clés et expressions de la recherche bibliographique.

##### La recherche documentaire :

Nous avons consulté les ouvrages et publications traitant des thématiques suscitées. La littérature sur le sujet est très variée cependant les ouvrages géographiques portant sur l'énergie et la ville sont peu nombreux, il était donc nécessaire d'étendre notre recherche aux autres disciplines. Les ouvrages et documents consultés peuvent être classés comme suit.

- Les ouvrages généraux : les encyclopédies générales et les atlas, les encyclopédies spécialisées dans le domaine de la Géographie (ex : *l'Encyclopédie de Géographie*, sous la direction de Bailly, 1995), les manuels de synthèse (ex : *La Géographie urbaine*, Paulet 2000...).

- Les ouvrages spécialisés de Géographie, Droit, Science et Technique, Sciences Politiques...

- La « littérature grise » : les rapports internes commandés ou réalisés par les organismes publiques ou les collectivités (ex : le *Bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble* réalisé par le bureau d'études *Explicit* pour le compte de la *Métro*, 2004).

- Les revues spécialisées : nous avons recherché les articles d'actualité à même d'enrichir notre recherche dans les revues de Géographie générale, les revues de Géographie spécialisée, les revues spécialisées en énergie, en urbanisme et en environnement (*Urbanisme, Technique et environnement, Energie plus, Système solaire, La maison écologique...*).

- Les sites internet spécialisés (*Carrefour Géo, Energie-cité, Urba.met, l'ADEME* etc...)

- Les documents d'orientation politique et de planification des collectivités locales (Plan Local d'Urbanisme, Plan d'Aménagement et de Développement Durable, Schéma de Cohérence Territorial, Plan de Déplacements Urbains, Etudes d'impacts sur l'environnement, Plans Climat Territoriaux...)

### **Les bases de données et la cartographie:**

Qu'elles soient écrites ou électroniques, les bases de données offrent une immense quantité de données brutes. Nous avons sélectionné les bases de données qui nous étaient utiles en fonction de nos interrogations, puis nous les avons triées et analysées. Les domaines observés sont très variés, essayons donc de recenser les volumes d'information que nous avons les plus utilisés.

- La base de données de l'agence internationale de l'énergie (AIE) sur les consommations et les productions d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans le monde
- La base de données de la direction générale des matières premières (DGEMP) sur la production et les consommations d'énergie en France
- La base de données du CITEPA sur les émissions atmosphériques en France
- Le recensement de la population de 1999 établi par l'INSEE (population, densité, évolution démographique, moyens de transport, type de chauffage...)
- La base de données du Ceren sur les consommations d'énergie en France par usage et par mode d'énergie
- La base de données Enquête Ménage Déplacement du Centre d'études et de recherche sur le Transport Urbain (Certu)
- La recensement de la population de l'office de statistique du Baden-Würtemberg (Statistisches Landesamt Baden-Würtemberg)
- L'annuaire national des transports publics du GART (Groupement des Autorités Responsables des Transports)...

Nous nous sommes également servi de documents graphiques et cartographiques : Atlas, cartes IGN, cadastre, photos aériennes, la base de données Corine Land Cover<sup>41</sup>, les documents cartographiques des documents d'orientation et de planification politiques (PLU, PDU, PADD, SCOT)...

#### **4.4.2.2 Les données de première main**

##### **4.4.2.2.1 Les enquêtes statistiques et les analyses spatiales**

A partir de bases de données existantes, nous avons pu croiser des données sur la densité de population, sur le type d'habitat, sur la mobilité, sur les consommations d'énergie ou les émissions de gaz à effet de serre. Nous avons également produit des analyses cartographiques mettant en relation les morphologies urbaines (densité, affectation du sol), les flux de déplacement (circulation automobile, desserte des transports en commun...) et les consommations d'énergie.

---

<sup>41</sup> Corine Land Cover est une base de données cartographique représentant l'occupation du sol pour l'ensemble du territoire européen.

Pour répondre à la problématique et au questionnement de départ nous avons dû régler au préalable des problèmes d'ordre méthodologique. Nous avons mis en place une démarche de quantification des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Cette méthode est explicitée dans la partie 2 et détaillée en annexe 1.

#### 4.3.2.2.2 La pré enquête « quantitative »

Nous avons réalisé une enquête quantitative par questionnaire sur les villes moyennes françaises et les stratégies énergétiques dont le double objectif était de recenser les compétences des collectivités locales en matière d'énergie et de dresser une typologie des politiques énergétiques des villes moyennes. Nous avons envoyé par courrier un questionnaire (voir annexe 4) semi-directif à quarante-deux municipalités ou communautés d'agglomération disséminées sur le territoire français.

#### Les interlocuteurs :

Les deux premiers courriers ont été adressés selon les convenances de chaque administration au Maire, à son cabinet, à la direction générale des services ou à la direction générale des services techniques. Les « personnes ressources » qui ont renseigné notre questionnaire sont d'horizon assez différents (voir figure 19). 20 % des réponses ont été fournies par des responsables qui ont une vue d'ensemble de l'activité municipale, c'est-à-dire le « Cabinet du Maire », la « Direction générale des services » ou la « Direction générale des services techniques ». Un tiers des réponses provient d'agents en charge de la gestion énergétique patrimoniale et souvent plus précisément du service « Architecture et bâtiment ». Enfin, presque 50 % des enquêtés travaillent dans un service « Environnement et Développement Durable ».

**Répartition des enquêtés en fonction du service municipal**

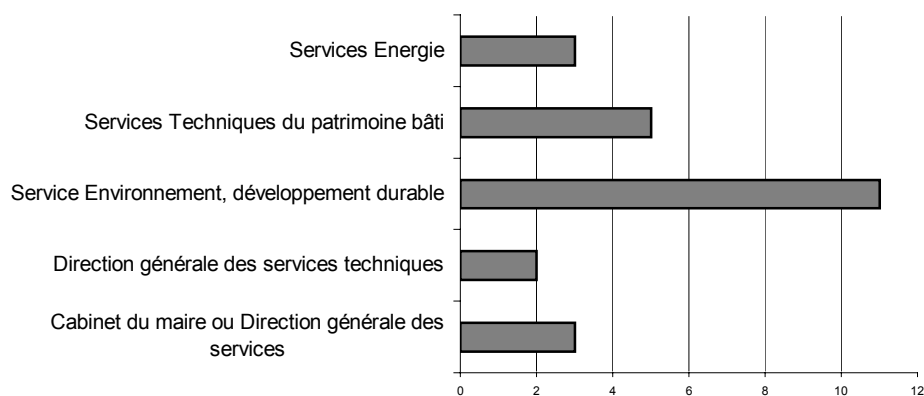


Figure 19 : Les interlocuteurs de l'enquête par questionnaire.

#### Les villes retenues :

Le panel d'étude des villes moyennes a, par déduction, été arrêté aux unités urbaines françaises de 100 000 à 300 000 habitants. Bien sûr, la définition de l'aire urbaine s'avère plus pertinente pour d'autres problématiques, lorsqu'il s'agit d'étudier les déplacements domicile-travail ou de mesurer l'influence d'une ville sur son arrière-pays par exemple mais l'addition des habitants due à cette définition va du simple au double. Au lieu de nous informer sur le périmètre administratif de l'autorité locale et sur son pouvoir économique et fiscal, cet écart pourrait nous induire en erreur. Etant donné le fait que nous travaillons sur les entités gouvernantes de ces espaces urbains (commune ou communautés de commune), le périmètre des unités urbaines<sup>42</sup> semble plus approprié. Nous avons donc retenu les 42 unités urbaines constituées par l'INSEE de 100 000 à 300 000 habitants (voir figure 20).



Figure 20 : Les villes étudiées pour l'enquête par questionnaire.

## Les réponses :

<sup>42</sup> L'unité urbaine représente une ou plusieurs communes dont le territoire est partiellement ou totalement couvert par une zone bâtie d'au moins 2 000 habitants. Dans cette zone bâtie, les constructions sont séparées de leurs voisines par moins de 200 m. Cette définition prend comme variable principale la continuité du bâti. La carte suivante situe les villes enquêtées sur le territoire français (hors DOM-TOM).

Quelques réponses nous ont été retournées dans les trois mois suivant le premier envoi de questionnaires (début 2005), mais elles ne constituaient pas un panel suffisant pour en extraire des résultats. Les collectivités n'ayant pas répondu à l'enquête ont donc été relancées en mai 2005. Nous avons ensuite procédé à une seconde relance en octobre 2005, mais cette fois-ci, nous avons cherché à contacter une « personne ressource » directement par téléphone. Au total, nous avons eu un retour de 24 questionnaires, soit un taux de réponse de plus de 50 % qui nous a permis d'avoir un panel relativement représentatif du contexte général.

### **La méthode d'analyse du questionnaire :**

Le but de cette enquête était de dresser un état des lieux des politiques et des pratiques en matière de maîtrise de l'énergie dans les villes moyennes françaises. L'hypothèse autour de laquelle nous avons construit le questionnaire était la suivante : « Les collectivités locales ont la compétence de mener des politiques et pratiques de maîtrise de l'énergie, de développement des énergies renouvelables et de limitation des impacts environnementaux en menant des actions dans le domaine de la gestion du patrimoine, de la fourniture d'énergie, de la mobilité, de l'aménagement urbain et de la sensibilisation ».

Notre enquête n'étant pas assez avancée à l'époque pour que nous puissions proposer des questions fermées sur des points précis, nous avons choisi d'ouvrir les interrogations afin d'avoir des réponses les plus diverses et riches possibles. Nous avons, grâce à cette procédure, pu collecter la matière nécessaire à notre état des lieux. Ce parti pris pour l'ouverture présente un revers : le traitement des données obtenues est plus complexe et moins automatique que pour un sondage à choix multiples.

Pour ce qui est du traitement des réponses aux quatre premières questions, nous avons procédé par recensement des thématiques, des segments<sup>43</sup> et des mots-clés les plus récurrents. Les segments et mots-clés ont ensuite été regroupés par thématiques et comptabilisés. Ainsi, nous avons pu savoir quels étaient les champs et les domaines les plus souvent cités ou abordés. Dans un second temps, nous avons recensé toutes les réponses concernant les actions mises en place par les collectivités locales et nous les avons comptabilisées par ville. Les résultats ont été saisis dans un tableau à double entrées puis synthétisés.

### **- L'enquête qualitative :**

---

<sup>43</sup> Ensemble de mots.

Nous avons réalisé une enquête qualitative sur la gestion locale de l'énergie dans les villes moyennes européennes considérées comme « exemplaires ». Cette enquête a été mise en place pour répondre à la sous-problématique : **Quelles sont les meilleures stratégies pour réduire les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans les villes moyennes ? Quel est le rôle des collectivités locales face à cet enjeu ?** L'objectif était d'analyser et d'évaluer un éventail de politiques et d'actions assez complet pour déterminer une panoplie de mesures visant à la réduction des consommations d'énergie, au développement des énergies renouvelables et à la réduction des gaz à effet de serre de façon efficiente. L'enquête a également permis de faire ressortir les freins et les limites d'une politique énergétique à l'échelon local français.

### **Les zones d'études sélectionnées :**

Durant notre recherche, nous avons étudié et visité de nombreuses villes. Pour construire notre argumentaire, nous en avons retenu onze (voir figure 21). Les villes que nous avons étudié ont été sélectionnées principalement pour leurs politiques en matière d'énergie et d'environnement et pour les mesures et les actions qu'elles ont mis en place. En effet, lors du travail exploratoire de DEA, nous avons pu constater que certaines autorités locales françaises et surtout des collectivités appartenant à d'autres pays européens - en particulier l'Allemagne, la Suisse, l'Espagne, les Pays-Bas et les pays Nordiques... - redoublaient d'initiatives plus innovantes et plus utiles les unes que les autres. Ce travail de thèse sur l'aménagement urbain et la gestion locale de l'énergie n'aurait pu être complet sans présenter quelques-unes de ces politiques et de ces pratiques les plus intéressantes. Ces expériences sont autant d'informations et de données utiles à la création d'un modèle de gestion durable de l'énergie en ville.

Nous avons choisi des villes présentant des stratégies, des expériences, et des politiques énergétiques profitables à notre recherche. Par exemple, la ville de Grenoble a été choisie notamment parce qu'elle possède une Agence Locale de l'énergie et parce qu'elle a réalisé un Plan Climat Territorial. La ville de Lausanne a été retenue car elle avait reçu un prix - European Energy Award - attestant qu'elle menait une politique énergétique exemplaire, etc...

Nous avons développé une approche globale et complète pour six d'entre elles : La Rochelle (Fr), Limoges (Fr), Clermont-Ferrand (Fr), Grenoble (Fr), Lausanne (S) et Fribourg en Brisgau (All) (voir la présentation géographique de ces territoires en annexe 2). Parallèlement, nous avons étayé notre argumentation par l'approche d'un ou deux secteurs de la politique énergétique de cinq autres villes : la gestion de la mixité des usages du sol et l'ordonnance solaire à Barcelona (Es), l'approvisionnement énergétique,

les premières éoliennes et la thermographie aérienne de Dunkerque (Fr), l'intégration des éoliennes à Perpignan (Fr) et le quartier écologique Bedzed à Sutton (R-U).

Bien que ce ne soit pas un critère de sélection, nous n'avons pas été indifférents aux aspects du climat dans le sens où les sites retenus se situent dans des zones climatiques éclectiques. La taille des villes est également rentrée en ligne de compte. Les six villes pour lesquelles nous avons réalisé une approche complète de la politique énergétique sont des villes moyennes européennes. Les autres zones d'études comptent des villes comme Barcelone et Sutton (banlieue de Londres) qui ne sont pas des villes moyennes mais de grandes métropoles européennes. Cependant, les exemples fournis par ces deux cas sont très enrichissants. Il sont, aussi, tout à fait adaptables à des villes intermédiaires, c'est pourquoi nous avons choisi de les présenter malgré tout.



Figure 21 : Les zones d'études sélectionnées pour l'enquête qualitative.

#### La procédure de collecte des données :

Grâce à la pré-enquête quantitative, nous avons déterminé quels étaient les compétences et les champs d'action privilégiés des collectivités locales en matière



d'énergie et nous avons également déterminé quels étaient les gestionnaires de la municipalité ou de la communauté d'agglomération les plus concernés par ces questions énergéto-environnementales. La méthode de l'enquête qualitative a été construite à partir des résultats de cette enquête quantitative.

En ce qui concerne les zones d'études où nous avons fait une analyse globale de la politique énergétique, l'enquête s'est déroulée de cette façon :

- Pré-enquête : analyse documentaire, consultation de sites internet, contacts téléphoniques, prise de rendez-vous et production de grilles de questions.
- Enquête de terrain : visites de sites (quartier basse consommation d'énergie, réseau de chaleur au bois, ligne de tramway...), entretiens avec des « personnes ressources », collecte de documents sur place (« littérature grise », documents d'orientation et de planification politiques...), collecte de données chiffrées sur les consommations d'énergie, les sites de production, les émissions de GES, les résultats financiers...
- Mise en forme et analyse des données collectées : retranscription des entretiens et rédaction de monographies.

#### **Les services et les « personnes ressources » :**

Pour chaque ville, il nous a fallu avoir un entretien avec au moins un acteur pour chacune des compétences à même d'interagir sur le système énergétique du territoire (voir la liste des personnes rencontrées en annexe 3). En début d'enquête qualitative, les résultats de la pré-enquête nous ont permis de formuler l'affirmation que la collectivité locale pouvait actionner potentiellement les compétences suivantes (voir figure 22): la planification énergétique du territoire ou la programmation de la politique énergétique, l'urbanisme et la construction (permis de construire, PLU, orientations d'aménagement...), la gestion de la mobilité (transports publics, voirie...), la gestion de systèmes de production locale d'énergie, les actions sur le patrimoine public, la sensibilisation. C'est pourquoi, dans chacune des six villes étudiées globalement, nous avons tenté d'analyser chacun de ces pans afin d'observer s'ils étaient actionnés et, si c'était le cas, par quels mécanismes. C'est pourquoi, nous avons rencontré entre six et dix acteurs par ville.

#### **La monographie :**

Suite à l'enquête de terrain, nous avons retranscrit les entretiens, analysé et mis en forme les données statistiques (population, mobilité, consommations d'énergie...), réalisé

des cartes et effectué des analyses spatiales pour intégrer l'ensemble des données collectées dans une monographie d'une quarantaine de pages qui décrit l'ensemble des politiques et pratiques menées sur le territoire étudié pour réduire les consommations d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre et développer les énergies renouvelables. Nous avons également analysé les modalités d'application et les résultats de ces politiques et pratiques.

En ce qui concerne les zones d'étude où nous n'avons fait l'analyse que d'un ou deux secteurs de la politique énergétique, nous avons procédé de la même façon (entretiens, visites de sites, retranscription des entretiens, monographie...) mais en adoptant une approche sectorielle et en concentrant notre travail sur un seul ou quelques aspects particulièrement intéressants de la politique énergétique locale.

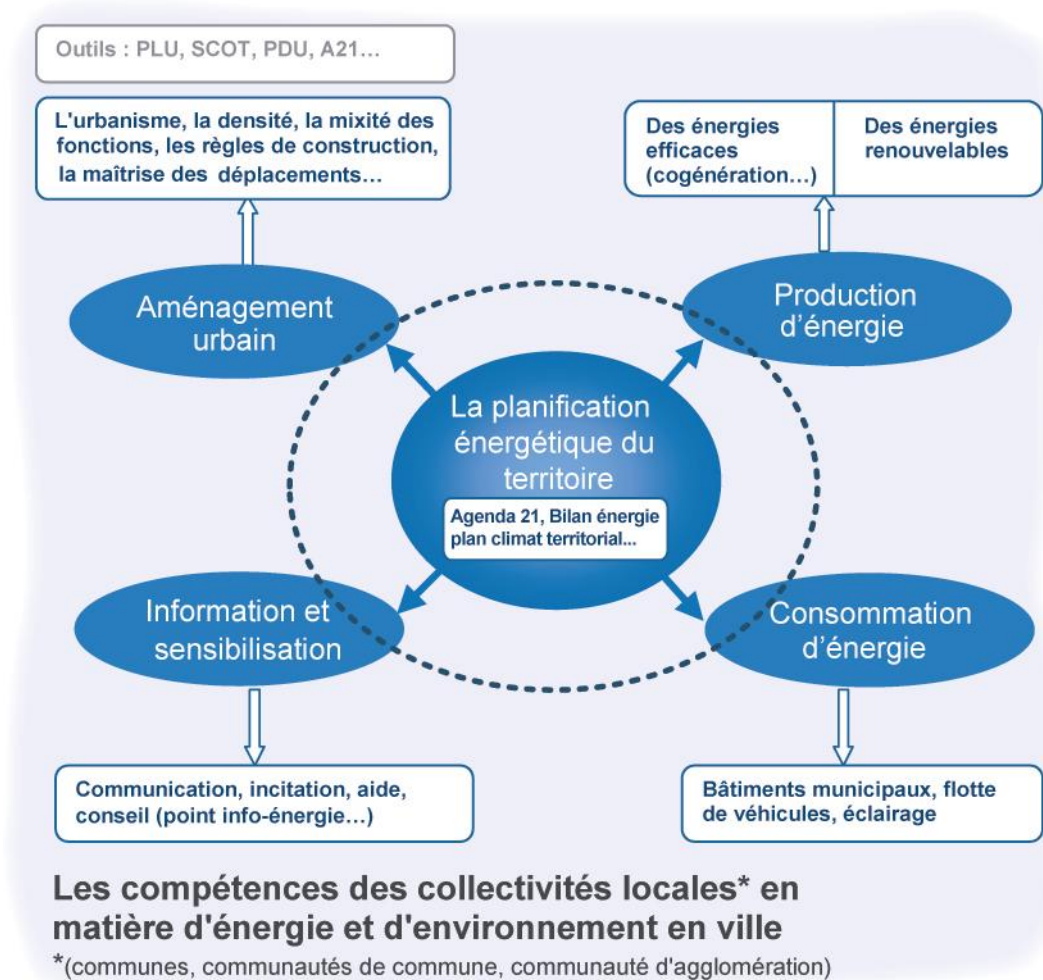


Figure 22 : Les compétences des collectivités locales en matière d'énergie.

## **4.5 Difficultés et limites rencontrées**

### **4.5.1 L'étendue des recherches**

Afin d'avoir une approche transversale et novatrice, nous avons délibérément abordé un sujet étendu qui recoupe plusieurs champs (production d'énergie, transports, urbanisme...) à l'échelle du territoire. Seulement, nous avons rencontré certaines difficultés à synthétiser une problématique aussi vaste qui pourrait probablement demander plusieurs travaux de doctorat pour être traitée de façon exhaustive. Nous nous sommes donc limités à répondre à trois questions majeures que nous retrouvons dans la problématique, à savoir : l'état des lieux de l'énergie dans les villes moyennes, le rôle des collectivités locales et les perspectives des villes d'après un modèle « facteur 4 ».

### **4.5.2 Un sujet très évolutif**

D'autre part, notre sujet de recherche est très évolutif. Les technologies se perfectionnent, le contexte politique est mouvant, les alertes environnementales sont croissantes, l'actualité scientifique est très prolifique... Il est difficile de faire une photographie à un instant T avec un appareil qui se démode aussi rapidement. C'est pourquoi, certaines parties de la thèse présentent des chiffres ou des données qu'il faut recevoir avec, en tête, l'idée que les recherches ont débuté en 2004 (ex : l'état des lieux énergétique français présente des chiffres de 2003, des événements importants tels que le Grenelle de l'Environnement en France ne sont pas analysés...).

### **4.5.3 Les grandes inconnues de la prospective**

Un tel sujet d'actualité nous amène à travailler à partir de postulats conditionnels. La question de l'épuisement des ressources, de l'évolution démographique ou du réchauffement climatique sont des notions qu'il faut traiter avec nuance. La quatrième partie de la thèse propose une analyse prospective qu'il faut également considérer avec discernement. Nous nous sommes basés sur les rapports du GIEC ainsi que sur le courant français du « facteur 4 ». Dans quelques années, les données de base auront peut-être subi des modifications qui altéreront notre argumentaire. Dans ce travail de prospective, nous avons malgré tout tenté de prévoir certaines tendances pour apporter des solutions efficaces.

#### 4.5.4 Les biais des enquêtes

##### 4.5.4.1 Les biais de l'enquête quantitative

###### *Le panel :*

Il semble impossible que le panel ayant répondu à notre questionnaire soit exactement représentatif de l'ensemble des villes moyennes françaises. Un biais pourrait être introduit si l'on ne prenait pas en compte les non réponses. En effet, il y a de fortes probabilités pour que les collectivités qui ont répondu à ce questionnaire sur leur politique énergétique soient celles qui sont les plus actives dans ce domaine. Au contraire les villes qui ne se sont pas prononcées ont peut-être une attitude plus attentiste. Bref, on peut penser que les collectivités qui présentaient les politiques énergétiques les plus structurées ont probablement plus souvent répondu au questionnaire que les autres collectivités.

###### *Les réponses :*

Dans une collectivité locale (commune, communauté de commune ou communauté d'agglomération), la question de l'énergie est traitée par plusieurs services différents : le service en charge de la gestion du patrimoine, le service en charge des transports, celui qui entretient et gère les chaufferies, le service de l'urbanisme etc... Cet état de fait a pu être à l'origine d'un second biais à prendre en compte dans nos résultats.

Bien que la grande majorité des courriers aient été adressés au maire ou à son cabinet, il est possible que les courriers aient été dirigés vers des interlocuteurs qui n'était pas les plus appropriés. Les personnes chargées de nous répondre appartiennent souvent à un service cloisonné et ont eu parfois certaines difficultés (manque d'information, refus de parler à la place des responsables...) à transmettre une vue d'ensemble de la politique énergétique de l'autorité locale. A cela s'est ajouté le fait que certaines compétences relèvent de la communauté de communes ou d'agglomérations. Cette répartition des compétences est d'ailleurs variable d'une ville à une autre. Dans la plupart des cas par exemple, la communauté d'agglomération est l'autorité organisatrice des transports publics. La lourdeur administrative et la multiplicité des services concernés ont été autant d'entraves au bon déroulement de notre enquête.

Mais soyons prudents, ce biais n'en est pas toujours un. Toutes les villes ne possèdent pas une politique globale et transversale de l'énergie. Au contraire, il semble qu'un grand nombre des municipalités enquêtées applique une politique sectorielle de

l'énergie. Elle concerne d'ailleurs généralement la seule gestion du patrimoine et des installations thermiques. Il sera donc nécessaire de constater quel est le modèle de gestion énergétique dominant dans les villes moyennes françaises tout en prenant en considération les possibles biais liés au choix de l'interlocuteur.

#### 4.5.4.2 Les biais de l'enquête qualitative

La première difficulté fut de choisir des exemples représentatifs d'une politique énergétique exemplaire et volontariste. Malgré une pré-enquête (conversations téléphoniques, documentations, enquête quantitative précédente), les cas concrets analysés ont été choisis d'après l'image véhiculée dans la documentation existante, notamment d'après la communication que les collectivités locales avait fait de leur politique énergétique (association Energie-Cites, revue de presse...). Ce n'est que sur place que nous avons pu juger de l'efficacité des actions et de la politique menée par la ville. Nous avons d'ailleurs parfois constaté sur place que l'aspect communication prenait une place prépondérante pour des sujets aussi sensibles et aussi populaires que l'énergie ou le réchauffement climatique car les collectivités bénéficient par là d'une image positive. Si bien que les exemples très riches que nous proposons ne sont pas nécessairement les meilleurs d'Europe et il est certain que nous sommes passés à côté de cas très intéressants.

Le second biais introduit dans les enquêtes qualitatives (entretien, observation) est lié au choix de l'interlocuteur. Nous avons tenté, autant que possible, de rencontrer des acteurs de chacun des domaines (gestion du patrimoine, urbanisme, transports, production d'énergie, sensibilisation...) et des acteurs de statuts différents (fonction publique/privé, élus/gestionnaires...). Seulement, en raison de contraintes pratiques, nous n'avons peut-être pas toujours rencontré les personnes les mieux à même de répondre à nos interrogations, ce qui a probablement pénalisé notre travail de recherche.

Malgré tout, nous avons le sentiment d'avoir collecté de très nombreuses données que nous avons consigné dans des monographies. La difficulté fut donc, avec autant de données à disposition, de construire une typologie, d'extraire l'essentiel et de discerner quels étaient les actions et les stratégies les plus efficaces de la part des collectivités locales.



## **Partie II : Les villes moyennes, l'énergie et l'environnement**





# Chapitre 1. L'approche systémique de la ville par l'entrée « Energie »

Depuis le phénomène d'exode rural débuté au XIX<sup>ème</sup> siècle, les espaces urbains profitant d'une intense activité industrielle puis tertiaire, se sont imposés comme les réceptacles de la population. Regroupant 80 % de la population européenne, la ville concentre les consommations d'énergie. D'après Gérard Magnin, « *en Europe, comme dans l'ensemble du monde industrialisé, 75 % de l'énergie est consommée sur le territoire des villes. Les émissions atmosphériques polluantes au niveau local, comme les gaz à effet de serre et en particulier le CO<sub>2</sub>, ont leur origine en milieu urbain dans des proportions semblables.* » (Actes du colloque Ville, énergie et environnement tenu à Beyrouth par l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie en 2001). C'est pour cette raison que nous consacrerons cette partie à l'analyse des caractéristiques des consommations, des productions et des approvisionnements énergétiques dans les villes en nous attachant à comprendre les particularités des villes moyennes.

Tentons en premier lieu de définir l'interrelation entre la ville, l'énergie et l'environnement à travers une approche systémique. Comme l'indique la figure 23, la ville est un système ouvert avec des entrées et des sorties. Les entrées d'énergie « primaire » sont constituées en grande partie par les apports anthropiques de réseau. Les produits pétroliers (fioul, essence, gasoil, GPL) sont acheminés par camion citerne des raffineries ou des grands sites de stockage jusqu'aux points de livraison (stations de carburant...).

Le gaz est conduit des quatorze grands sites de stockage du territoire français jusque vers les agglomérations grâce à des canalisations de transport ; ensuite, un réseau de distribution prend le relais et dessert directement les consommateurs urbains. Cette desserte ne s'étend pas forcément sur les zones les moins denses d'une agglomération pour des raisons de rentabilité ; dans ce cas là, des fournisseurs de gaz en bouteille ou en citerne (butane, propane, GPL) proposent une alternative au gaz en réseau.

L'électricité - dont les sites de production se trouvent généralement hors des périmètres des villes - est transportée vers les centres urbains grâce à des lignes électriques de transport d'une tension de 400 kV, 225 kV ou 90 kV. Cette tension est transformée dans des postes de répartition, du 20 kV est ainsi directement acheminé vers

les utilisateurs de moyenne tension ou retransformé dans des transformateurs de quartier en 220 V pour les clients de basse tension.

D'autres énergies sont importées, les combustibles matières solides (charbon, houille...) ou même des énergies renouvelables comme le bois ou les déchets. Il n'empêche que la « production » d'une ou plusieurs de ces ressources énergétiques peut se faire en ville ou à proximité selon le degré de nuisance de l'activité énergétique. L'activité de raffinerie se fait dans les ports qui sont aussi de grands pôles urbains. De nombreuses villes du nord de la France se sont organisées autour de mines de charbon dont l'activité est aujourd'hui au point mort.

D'autres entrées d'énergie sont à relever : ce sont les apports naturels. Bien qu'aujourd'hui leur potentiel ne soit pas exploité comme il le pourrait, ils constitueront sûrement dans le futur une proportion plus importante. La ville est un écosystème qui, comme un autre, bénéficie des énergies de flux, renouvelables et inépuisables : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la force hydraulique, la biomasse et les déchets ou la chaleur de la terre. Malgré une demande forte sur un espace restreint, le potentiel de ces énergies de flux est important.

Cette énergie acheminée jusqu'en ville, là où la demande est la plus forte est ensuite transformée et consommée par les usagers urbains. En effet, ce qui intéresse les consommateurs, ce n'est pas l'énergie en tant que telle mais le service qu'elle rend par l'utilisation d'agents énergétiques (Observatoire Universitaire de la Ville et du Développement Durable, 2003). Nous distinguerons trois services essentiels: la chaleur ou le froid, la mobilité et l'électricité spécifique. Ils sont employés par les secteurs les plus importants de la ville ; aussi bien les secteurs résidentiels et tertiaires que les transports ou l'activité industrielle. Prenons par exemple les bâtiments : ils sont équipés d'un chauffage et/ou d'une climatisation, d'une ventilation et d'électricité spécifique pour l'éclairage ou pour le fonctionnement des « produits blancs » et des « produits bruns ».

La répartition des consommations par secteur et par mode d'énergie est sensiblement différente selon les villes, selon leur structure et selon l'activité qui y est implantée. A titre d'exemple, l'activité industrielle représente 42 % des consommations à Grenoble contre 17 % à Limoges. Il ne semble pas exister de données concernant la répartition des consommations d'énergie en milieu urbain à l'échelle nationale, cependant nous sommes amenés à penser que les tendances sont relativement les mêmes que celles présentées pour l'ensemble français, milieu rural compris. Les deux énergies primaires les plus demandées sont l'électricité et le pétrole, le gaz naturel est sensiblement plus

représenté dans les milieux urbains qui bénéficient des réseaux de gaz de ville. Les énergies renouvelables sont très minoritaires, au même titre que le charbon. Les trois secteurs résidentiel-tertiaire, transport et industrie doivent présenter des parts de consommation d'énergie primaire relativement égales, peut-être légèrement inférieures pour le domaine des transports. Cependant, ce secteur est celui qui émet le plus de gaz à effet de serre de part sa dépendance aux produits pétroliers.

L'énergie convertie ou plus communément « consommée » fournit un service électrique, mécanique (mobilité...) ou thermique qui est directement utilisé par les consommateurs. Mais il y a également des pertes d'énergie sous forme de lumière ou de chaleur. Ne parle-t-on pas de la ville comme d'un « îlot de chaleur » ? Cela est dû aux rendements de conversion de l'énergie qui n'atteignent pas 100 %. Au contraire, une centrale de production d'électricité en cycle simple a un rendement qui ne dépasse pas 35 %, un moteur automobile essence convertit seulement 36 % de l'énergie du carburant en énergie utile à faire avancer le véhicule, une chaudière a un rendement de 80 %... L'énergie perdue, comptabilisée dans les sorties, se dissipe en général sous forme de chaleur ou de rayonnement lumineux (voir figure 23). Les autres sorties du système sont les émissions de gaz à effet de serre et de polluants liés à la combustion de ressources fossiles et les émissions de polluants vers les sols ou les milieux aquatiques.

Il ressort de manière apparente de cette approche systémique que les villes sont caractérisées par une importante consommation d'énergie concentrée sur un espace restreint. Les espaces urbains sont, par conséquent, en grande partie dépendants énergétiquement des apports extérieurs anthropiques. Cette dépendance n'est pas le monopole de l'énergie, elle concerne également de très nombreuses autres ressources naturelles, matières premières et biens de consommation qui ne sont pas produits sur leur lieu de consommation (voir figure 23). Par définition, la ville est un lieu carrefour où se font les échanges. Les villes ne sont pas des poches imperméables, elles occasionnent des flux liés à l'importation et l'exportation de produits mais aussi de personnes. Tous ces flux sont consommateurs d'énergie. En particulier dans une économie mondialisée où les produits proviennent d'un peu partout dans le monde. La production de ces biens sur d'autres territoires (ruraux ou urbains) a nécessité de l'énergie, que l'on peut attribuer indirectement aux citoyens qui les consomment. L'alimentation, les matières premières utilisées dans l'industrie et dans l'activité du bâtiment sont à l'origine de consommations d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre non négligeables. A titre d'exemple, notons que l'acheminement d'1 kg de fruits en provenance de la Réunion par avion émet 3 à 4 kg équivalent carbone tandis qu'1 kg de fruits en provenance d'Espagne par camion a

entraîné l'émission de 25 à 50 g de carbone et qu'1 kg de fruits en provenance du producteur local émet seulement 1 à 3 g de carbone, soit mille fois moins que depuis la Réunion<sup>44</sup>. Enfin, les villes sont traversées par des flux de transit nécessitant encore de l'énergie (transports routiers, ferroviaires, maritimes ou aériens). Il est ambigu d'attribuer ces dernières consommations au territoire traversé.

---

<sup>44</sup> *L'Effet de serre : allons-nous changer de climat ?*, Hervé Letreult et Jean-Marc Jancovici, Flammarion 2001.

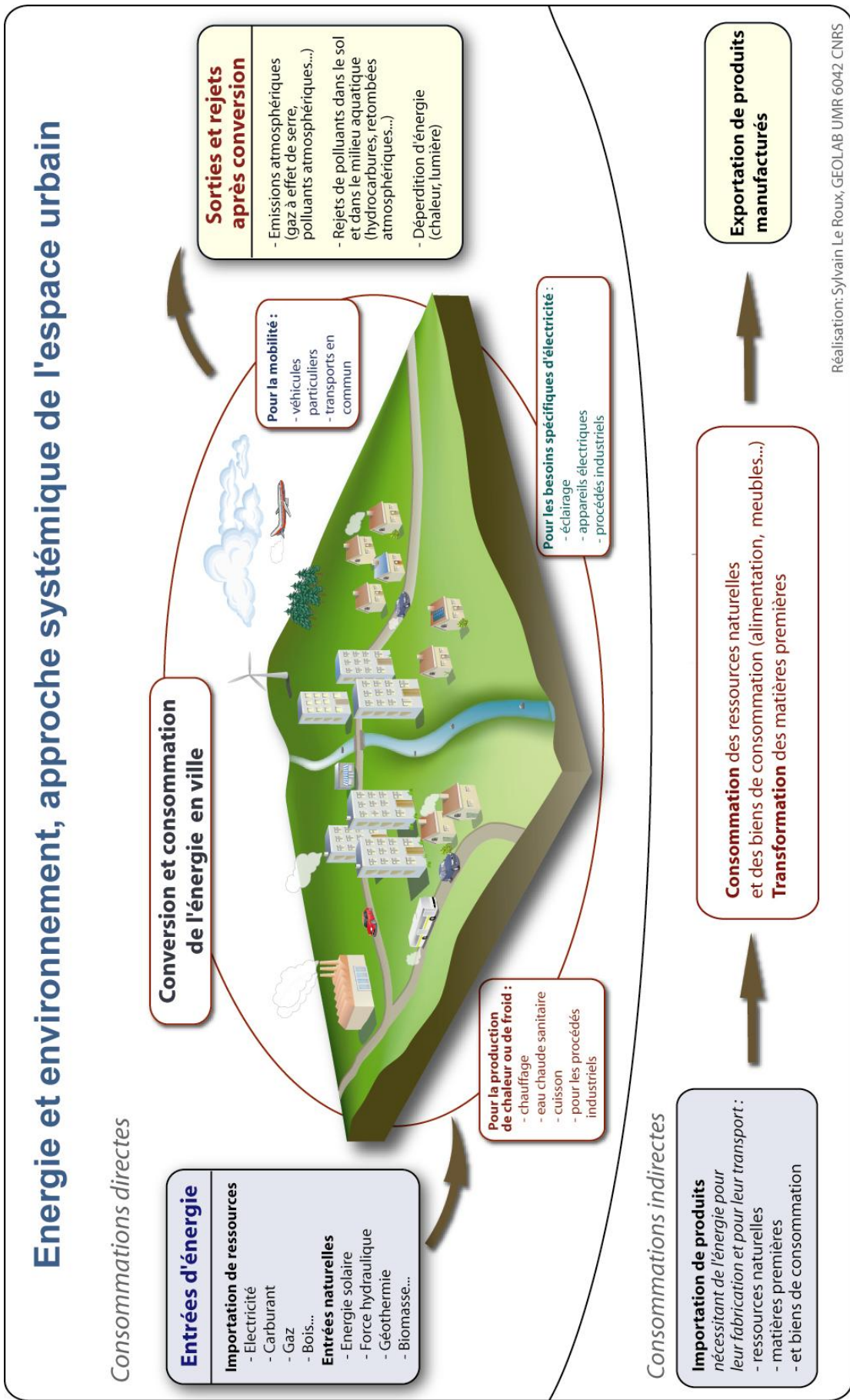


Figure 23 : Energie et environnement, approche systémique de l'espace urbain.



## Chapitre 2. La méthode du bilan énergétique à l'échelle d'une ville

Pour comprendre plus précisément les caractéristiques et les variables essentielles de la demande d'énergie à l'échelle des espaces urbains de taille moyenne ou pour savoir d'où provient cette énergie et quelles sont les ressources les plus utilisées, il est nécessaire de disposer de données à l'échelon territorial communal ou intercommunal. En pratique, peu de données existent à cet échelon en raison de la difficulté à quantifier les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle infra régionale. Nous présenterons les principales méthodes existantes, leur mise en application et leurs limites avant de proposer une analyse des caractéristiques et des variables de quelques villes.

### 2.1 La difficulté de quantifier les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle infra régionale

La quantification des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre pour un territoire donné met à disposition des aménageurs, des gestionnaires et des décideurs des données très enrichissantes pour décider des orientations à donner à un territoire. Elle nous permet à nous, en tant que géographes, de souligner les principales tendances et les principales interrelations entre la Ville et l'Energie : la part de tel ou tel secteur, les sources d'énergie les plus demandées, les relations entre la morphologie urbaine et les consommations...

Quantifier les consommations d'énergie à l'échelle d'un territoire infra-régional s'avère être plus complexe qu'il n'y paraît. Les données statistiques de l'Observatoire de l'énergie (DGEMP, MINEFI) ne sont disponibles qu'au niveau national et au niveau régional. Il reste la possibilité de se tourner directement vers les distributeurs et les fournisseurs. Toutefois, les entreprises privées (EDF, Gaz de France, Total, les distributeurs de combustibles de chauffage...) qui ont pour priorité de protéger leur marché ne souhaitent pas divulguer d'information à la dimension communale. La confidentialité est d'autant plus respectée par les fournisseurs d'électricité et de gaz qu'il existe un article de loi<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> L'article 20 de la loi 2000-108 du 10 février 2000 et l'article 9 2003-8 du 3 janvier 2003.

condamnant quiconque aurait délivré des données portant sur les énergies électrique et gazière pouvant nuire au bon déroulement de l'ouverture des marchés et à la libre concurrence. Ce délit est passible d'une amende de 15 000 €. On est à même de se demander si cette loi n'a pas plutôt été érigée pour protéger le monopole d'EDF et de Gaz de France. Malgré tout, les distributeurs sont, eux, tenus de mettre à disposition de chacune des autorités concédantes, c'est-à-dire les communes, des informations d'ordre économique, commercial, industriel ou financier dont notamment les chiffres concernant les ventes effectuées sur leur territoire<sup>46</sup>. Devant cette réelle difficulté à obtenir des données réelles en France, la majorité des bilans énergétiques se font grâce à des estimations et des méthodes de calcul.

D'autres difficultés sont rencontrées dans la conduite d'un bilan énergétique. Comme nous l'avons constaté dans la sous-partie précédente, à travers l'approche systémique, la ville est un système ouvert, il est par conséquent difficile de déterminer la limite des consommations propres à cet espace. Nous distinguerons plusieurs axes d'ambiguïté :

- Doit-on aborder la question en énergie finale ou en énergie primaire et par conséquent attribuer les pertes liées à la transformation et à l'acheminement de l'énergie aux consommateurs urbains ?
- Doit-on uniquement s'attacher aux consommations relevées dans le périmètre ou doit-on prendre en compte les consommations indirectes induites par l'ensemble des activités du territoire ? Voici deux exemples : Les habitants d'une ville se déplacent à l'intérieur des limites du territoire mais ils se déplacent également hors de ce territoire. Une industrie importe et exporte des produits en provenance et vers d'autres territoires, ces flux consomment de l'énergie. Doit-on comptabiliser ces flux dans le bilan énergétique du territoire ?
- Doit-on prendre en considération les cycles de vie complets<sup>47</sup> des matériaux, des produits et des biens utiles au territoire ?
- L'énergie liée au transport de transit doit-elle être attribuée au territoire ou non ?

Bien que les études de bilans énergétiques ne soient pas encore très répandues, il existe plusieurs méthodes de quantification différentes qui révèlent des options

---

<sup>46</sup> Article L 2224-31 du code général des collectivités territoriales créé par l'article 17 de la loi 2000-108 du 10 février 2000 et par les articles 14, 26 et 33 de la loi 2003-8 du 3 janvier 2003 sur le gaz et l'électricité.



différenciées quant aux réflexions présentées ci-dessus. Ces options ne sont pas forcément favorisées pour des questions d'épistémologie mais plus généralement pour des raisons de faisabilité. Nous comparerons certaines d'entre elles parmi les plus usitées.

## 2.2 Les différentes méthodes existantes

D'après le Rapport final de l'étude *Quantification territoriale des émissions de gaz à effet de serre* réalisée en juillet 2003 (MIES, MEDD, Energie cités), les deux logiciels les plus utilisés dans le monde sont CCP et GEMIS. Le CCP : Cities for Climate Change Protection (Origine Canada/Australie, licence accordée à ICLEI<sup>48</sup>) qui s'applique pour un territoire mais aussi pour un patrimoine municipal permet de faire un inventaire et une analyse des émissions de polluants, dont les GES. Il aurait été appliqué à plus de 160 villes en Amérique, en Australie, au Mexique et dans les Philippines. L'application GEMIS : modèle global d'émissions pour les systèmes intégrés (*Okö Institut*, Allemagne) permet de mesurer aussi bien la consommation d'énergie primaire que les émissions de substances nocives ou les flux de matières. Plus de 1 000 utilisateurs étaient recensés en 2000. Des villes telles que Berlin, Fribourg en Brisgau, Hannovre, Heidelberg (All), Newcastle (UK), Bologne (I), Delft (NL), Aarhus (DK), Vienne (A), ou Barcelone (ES) ont utilisé ce modèle pour mesurer leurs consommations d'énergie et leurs émissions.

En France, plusieurs organismes publics ou privés ont mis au point des méthodes de quantification des consommations d'énergie d'un territoire. En France, le bureau d'études *Explicit* a été précurseur en la matière en développant la démarche ETAP dans les années 90. D'autres organismes délivrent ce genre de prestation depuis plusieurs années: les bureaux d'étude *Energie Demain*, *Green*, *Ice*, *La Calade*, l'association *APCEDE* (Agence Poitou Charente Energie Déchets Eau).

### 2.2.1 L'estimation des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre qui y sont liées dans la limite du périmètre

#### 2.2.1.1 La démarche ETAP du bureau d'études *Explicit*

Construite dans les années 90, la méthodologie ETAP visait à répondre à la nécessité de connaître les émissions de polluants liées au transport dans le cadre de la loi

---

<sup>47</sup> Le cycle de vie d'un produit comprend l'extraction de la matière première, la transformation en produit manufacturé, son transport et son traitement en fin de vie.

<sup>48</sup> ICLEI Local Governments for Sustainability est une association internationale d'autorités locales, régionales ou nationales qui ont engagé une dynamique de développement durable de leur territoire.

LAURE<sup>49</sup>. L'objectif est d'établir, sur un territoire donné, un bilan des consommations d'énergie et des émissions de polluants associées. La méthode est constituée de deux phases. La première est fondée sur des données locales de l'INSEE (recensement de la population, fichier SIRENE), de l'UNEDIC (nombre d'emplois privés par commune), de l'enquête EACEI du SESSI sur les consommations d'énergie dans l'industrie et de la modélisation du trafic et permet d'obtenir un bilan énergétique par secteur. La deuxième phase consiste à confronter les résultats de la première aux données réelles obtenues auprès des producteurs et fournisseurs d'énergie. Le coût moyen d'un diagnostic de ce type se situe entre 40 000 et 80 000 €. La méthode que nous avons employée pour dresser le bilan énergétique de la ville de Limoges est relativement similaire à cette démarche. Nous l'explicitons plus en détail dans le chapitre 2.3 et en annexe 1.

#### **2.2.1.2 La démarche mise au point par le bureau d'études *La Calade* pour EDF**

Le modèle d'estimation CO<sub>2</sub> d'EDF mis au point en 2005 par le bureau d'études La Calade (Philippe Outrequin) permet de faire une évaluation des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation et à la production d'énergie sur le territoire de la ville. Ce modèle dont l'objectif est de donner des « ordres de grandeur acceptables à un coût raisonnable »<sup>50</sup> révèle une méthode similaire à celle d'ETAP. La méthode de calcul appliquée aux secteurs résidentiel et tertiaire se base sur les données du recensement de la population, des fichiers SIRENE de l'INSEE (concernant les entreprises et l'emploi), de la CCI, de l'éducation nationale, de la DRASS. Ces données fournissent des informations qui, associées à des consommations unitaires, fournissent les chiffres des consommations d'énergie. L'évaluation des consommations du secteur industriel se base sur l'enquête sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI). Les transports de personne sont estimés à partir d'un modèle d'analyse des déplacements des ménages. Enfin, les transports de marchandises sont analysés en fonction des points d'enlèvement et de livraison. Des facteurs d'émission par énergie permettent de déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation et à la production d'énergie dans la ville. Il est à noter qu'EDF a pris le parti de quantifier les émissions en amont des ressources énergétiques du territoire (extraction, transformation, acheminement...) et les déplacements de personnes générés par des habitants du territoire hors des limites de la ville.

---

<sup>49</sup> Loi sur l'air et sur l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996.

<sup>50</sup> *Modèle CO<sub>2</sub>, un modèle pour mesurer les émissions de CO<sub>2</sub> sur un territoire*, Philippe Outrequin, élaboré à la demande d'EDF R&D, avril 2005.

## 2.2.2 La modélisation des émissions de polluants d'un territoire

L'ASPA est l'association de la surveillance et de la protection de la qualité de l'air d'Alsace. L'approche développée par cet organisme en 2003 a pour objectif d'établir un cadastre des émissions<sup>51</sup> de polluants et de gaz à effet de serre à l'échelle de la région, cela implique de calculer les consommations d'énergie du territoire à une échelle la plus fine possible. L'inventaire des émissions prend en compte près d'une trentaine de polluants. Pour cela 400 activités de base et 11 secteurs sont pris en compte dont la combustion dans les industries de production et de transformation de l'énergie, la combustion dans le résidentiel et le tertiaire, la combustion de l'industrie, le transport routier et l'agriculture. Bien que cette démarche soit ciblée en premier lieu sur la qualité de l'air, il nous semblait intéressant de la présenter car l'étude *Quantification territoriale des émissions de gaz à effet de serre* confiée par la MIES à l'association Energie cités conclue que ce modèle est le plus pertinent pour une quantification des émissions de gaz à effet de serre. « Energie cités » avait, à cette occasion, proposé de diffuser cette prestation dans le réseau ASSQA (la fédération des associations de surveillance de la qualité de l'air). De cette manière, les méthodes auraient été uniformisées sur l'ensemble du territoire français.

*« L'idéal serait que, dans le cadre de son Plan Climat, le gouvernement apporte les modifications à la loi afin de confier aux ASSQA - lesquelles deviendraient ainsi ASSQAC (climat) la responsabilité de la création et de la mise à jour de la base des données relatives au climat sur les territoires de leur compétence et la mise à disposition de ces données, aux collectivités territoriales et régionales, aux consultants travaillant pour leur compte dans l'élaboration des Plans Territoriaux Action Climat. » Quantification territoriale des émissions de gaz à effet de serre, (MIES, MEDD, Energie cités, 2003)*

Cette proposition de bon sens est restée lettre morte, certainement au vu des coûts d'une telle opération. A l'époque, la mise en place d'un tel cadastre des émissions était estimé entre 163 000 et 253 000 € par zone.

---

<sup>51</sup> Le cadastre des émissions est le résultat d'un croisement entre un inventaire des émissions et une grille kilométrique.

	Résidentiel	Tertiaire	Industrie	Transports
Méthode Explicit Bilan énergie de Grenoble	Recensement général de la population (modes de chauffage) x consommations unitaires (CEREN, Observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions CO2	Fichiers UNEDIC, Fichiers SIRENE (INSEE), données sur la fonction publique x consommations unitaires (CEREN, Observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions CO2	Enquête EACEI*, données sur l'emploi industriel des fichiers UNEDIC	Couplage du modèle de trafic de Grenoble, et du modèle IMPACT de l'ADEME
Méthode EDF Bilan énergie de La Rochelle	Recensement général de la population (modes de chauffage) x consommations unitaires (CEREN, Observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions CO2	Fichiers SIRENE (INSEE), données CCI, Education nationale, DRASS... x consommations unitaires (CEREN, Observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions CO2	Enquête EACEI*	Modèle d'analyse des déplacements des ménages, Evaluation des transports de marchandises en fonction des points d'enlèvements et de livraisons
Méthode ASPA Région Alsace	Recensement général de la population (modes de chauffage) x consommations d'énergie (observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions polluants et CO2	Fichiers SIRENE (INSEE), enquêtes de branches plus précises x consommations par branches (CEREN, Observatoire de l'énergie) x facteurs d'émissions CO2	Enquête EACEI*, données de la DRIRE sur la TGAP**, données SESSI, statistiques de branche	Consommation de carburant calculé à partir du parc automobile (Modèle COPERTIII) données du trafic aérien données SNCF x facteurs d'émission

**Bouclage et réajustement du bilan avec les données des fournisseurs d'énergie (commune), du CPDP\*\*\* (département) et de l'Observatoire de l'énergie (région)**

\*Enquête Annuelle des Consommations d'Énergie dans l'Industrie \*\*Taxe générale sur les activités polluantes \*\*\*Comité des professionnels du Pétrole

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEEOLAB UMR 6042 CNRS

Figure 24 : Analyse comparée de plusieurs méthodes de quantification des consommations d'énergie et des gaz à effet de serre.

## 2.2.3 L'estimation des émissions de gaz à effet de serre impliquant les consommations indirectes et l'analyse des cycles de vie

### 2.2.3.1 Le modèle GEMIS

Le modèle GEMIS datant des années 90 a la particularité d'intégrer une analyse de type « cycle de vie ». Fondé sur une base de données très fournie, GEMIS permet de reconstituer les consommations énergétiques d'un territoire national, régional ou local tout en comptabilisant l'exploitation de l'énergie primaire (extraction, raffinage, production d'électricité...), la mise à disposition des matériaux et leur traitement en fin de vie. Cette méthode fournit donc une analyse complète qui dépasse les seules limites de la ville et comptabilise les effets externes du système.

### 2.2.3.2 La méthode Bilan Carbone

Cette méthode a été mise au point par le bureau d'études Manicore (J-M Jancovici) pour le compte de l'ADEME. Il existait déjà une version pour les entreprises, mais la version destinée aux collectivités locales (*Bilan Carbone Collectivité et Territoire*) a été diffusée début 2007<sup>52</sup> après une expérimentation en 2005-2006 sur une dizaine de villes (Paris, Marmande, Nanterre, Chalon/Saône, Niort, Bourges, Nice ...). Cette démarche a été développée par l'ADEME dans l'objectif de mettre à disposition des collectivités une méthodologie de référence. C'est une approche via l'évaluation des gaz à effet de serre, mais elle renseigne également sur les consommations d'énergie. La méthode comptabilise les émissions générées par l'activité du territoire au sens large, de façon directe ou indirecte.

*« Le bilan carbone propose un module territoire permettant la prise en compte d'une large partie des flux d'énergie et de matière qui sont associés aux activités des personnes physiques et morales résidentes sur le territoire ou qui y passent. »*<sup>53</sup> (ADEME, 2007).

Les différents postes pris en compte sont l'Industrie de l'énergie (centrales thermiques...), les émissions de procédés industriels (utilisation de combustibles fossiles pour les procédés industriels situés sur le territoire, émissions engendrées par l'achat d'électricité ou de vapeur produites à l'extérieur du territoire), le tertiaire (chauffage, eau chaude, vapeur, électricité), résidentiel (chauffage, eau chaude, vapeur, électricité), agriculture, fret (trafic de marchandises lié au territoire), transport de personnes (transit

---

<sup>52</sup> Notons que nous avons élaboré notre méthodologie antérieurement à la publication de cette méthode et que, pour ce faire, nous nous sommes basés uniquement sur les méthodes de cadastre d'émission limitées au périmètre de la ville.

<sup>53</sup> Guide méthodologique -version 5.0- objectifs et principes de comptabilisation (janvier 2007), ADEME, MIES.

routier, trafic lié aux résidents, trafic lié aux visiteurs), construction et voiries (flux de construction annuel), fin de vie des déchets (traitement de fin de vie des déchets solides ou liquides), fabrication des futurs déchets (émissions liées à la fabrication des produits jetés par les résidents).

De l'approche interne à l'approche globale en passant par l'approche intermédiaire, la démarche Bilan Carbone propose plusieurs degrés de quantification des gaz à effet de serre. L'approche interne consiste à se limiter à l'estimation des émissions liées aux utilisations d'énergie pour le fonctionnement du territoire et dans les limites de ce territoire. L'approche globale consiste à intégrer en plus les émissions liées à la construction des bâtiments et des infrastructures de la ville et à prendre en compte les émissions des produits importés et exportés ainsi qu'à leur traitement en fin de vie. Par exemple, lorsque le trafic de transit de l'A6 a été comptabilisé dans l'étude pour le Grand Chalon (source : bureau d'études Synagir), précisément 18 % des émissions étaient dues à la fabrication des véhicules ainsi qu'à l'extraction et la transformation des carburants en amont. Cet exemple nous démontre que nous sommes face à une approche plus complète pour analyser les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre d'un système urbain. Cependant, cette méthode paraît la plus complexe à mettre en place au vu de la somme de données à collecter. Par ailleurs, la méthodologie employée rend impossible la comparaison entre territoires car la quantité de gaz à effet de serre dépend de la quantité de données collectées et du degré de l'approche considérée (d'interne à global).

### **2.2.3.3 Les limites des méthodes de quantification**

Après ce rapide tour d'horizon des méthodes existantes, nous conviendrons du fait qu'aucune méthode n'est parfaite. Il est nécessaire de conserver en tête qu'un bilan énergétique, aussi élaboré qu'il soit, ne transcrit pas l'exacte réalité. De plus, l'hétérogénéité des méthodes rend la comparaison entre les territoires hasardeuse. C'est pourquoi, nous ne nous risquerons pas à cette exercice dans les analyses suivantes. Par ailleurs, le contexte n'est paradoxalement pas favorable à l'amélioration de ce genre d'estimation, les bureaux d'études signalent que les données réelles (enquête EACEI, ventes EDF et Gaz de France) qui permettent de boucler leurs calculs sont de plus en plus difficiles à obtenir dans ce nouveau contexte de mise en concurrence des opérateurs historiques.

Par ailleurs, les moyens humains et financiers nécessaires à la mise en place d'un tel diagnostic ne sont pas négligeables. La collecte des données peut durer de six à dix

mois et la quantité de données à collecter est faramineuse, particulièrement dans le cas du Bilan Carbone. Les coûts d'un diagnostic sont variables, mais ils sont compris entre 40 000 € et plus de 100 000 € selon les territoires, le degré de précision requis et la méthode employée. Cela explique en partie la difficile percée de ce type d'études pourtant riches en information pour une collectivité qui veut passer à l'action. L'état des lieux permet de montrer du doigt les pôles les plus consommateurs et les dysfonctionnements majeurs du territoire. Il permet de sensibiliser les gestionnaires et les décideurs locaux et de leur démontrer que l'avenir est entre leur mains en proposant des scénarios et des objectifs. C'est un préalable au lancement d'une stratégie (Quantification des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle territoriale, MIES, MEDD, Energie-cités, 2003). Les bilans énergétiques ont le mérite de fournir des tendances plus ou moins précises pour les territoires. C'est pourquoi nous utiliserons quelques études réalisées dans plusieurs villes moyennes afin de tenter de comprendre et d'analyser ces grandes tendances.

### **2.3 L'application d'une méthode d'estimation pour la ville de Limoges**

Dans le cadre de la thèse, nous avons élaboré une méthode de quantification des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre causées par ces consommations. Cette méthode est une démarche simplifiée, issue de la comparaison de plusieurs méthodes existantes en France, en Allemagne et en Espagne, dont nous avons présenté les principales précédemment. La démarche a pour vocation d'estimer les consommations d'énergie au sein du périmètre d'un territoire donné en se limitant aux énergies de fonctionnement, soit en excluant les besoins indirects (construction, importation de produits...) trop complexes à quantifier. Avec cette façon de procéder, nous avons élaboré un bilan énergétique du territoire de la ville de Limoges pour le compte de la municipalité (service de l'Action économique dirigé par Arlette Martin-Cueille et de la DIMAP dirigée par Pascal Hamelin).

L'objectif était de dresser un état des lieux de la consommation d'énergie dans le périmètre de l'agglomération de Limoges en fonction de plusieurs paramètres :

- la quantité consommée (rapportée en tonnes équivalent pétrole),
- le mode d'énergie utilisé (électricité, gaz, fioul, carburant, combustible matière solide, énergie renouvelable),

- le secteur et les usages (industrie, résidentiel, tertiaire, transports, agriculture),
- la répartition géographique (par commune et par quartier).

Comme nous l'avons souligné précédemment, les informations infra-régionales sont peu nombreuses et/ou confidentielles ce qui pose d'importants obstacles à la réalisation d'un bilan communal ou intercommunal. C'est pourquoi la méthode de collecte multiplie les sources, les interlocuteurs et les méthodes de calcul. Le bilan quantitatif de la demande énergétique du territoire est le résultat d'une estimation. Etant donné les difficultés à obtenir les chiffres des ventes des différents distributeurs d'énergie (en particulier en ce qui concerne les produits pétroliers), les résultats ne traduisent pas des données réelles mais une estimation obtenue par une méthode de calcul qui comporte une marge d'incertitude. Les tendances sont incontestables mais les valeurs absolues sont plus aléatoires.

Après une première phase consacrée à la collecte de données quantitatives auprès de différents organismes statistiques (INSEE, UNEDIC...) et d'institutions publiques (Municipalité de Limoges, DRE...), nous avons pu estimer et reconstituer la demande en énergie du territoire grâce à la méthode de calcul que nous allons tenter de synthétiser dans le paragraphe suivant. Notez que la méthodologie complète et détaillée est consignée en annexe 1.

### **2.3.1 Les estimations de démarche « Butom/up »<sup>54</sup> par secteur**

#### **2.3.1.1 La demande du résidentiel**

Pour des raisons de disponibilité des données, l'étude a été effectuée à l'échelle de la commune de Limoges. Les résultats obtenus ne sont pas des données réelles mais des estimations basées sur la réalité du parc résidentiel Limougeaud en 1999 et sur des ratios de consommation par logement. Les données sur le parc ont pour source le recensement de la population de 1999 effectué par l'INSEE. Elles renseignent sur le type de logement, l'année de construction, le type de chauffage et le mode d'énergie. Seules les résidences principales sont prises en compte car les quelques résidences secondaires sont très peu consommatrices et les logements vacants, eux, ne le sont pas du tout. Les consommations unitaires françaises sont calculées par le CEREN<sup>55</sup> et sont ventilées selon les mêmes variables que les données sur le parc résidentiel.

---

<sup>54</sup> « Buttom/up » : de bas en haut

<sup>55</sup> CEREN : Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie



### **2.3.1.2 La demande du tertiaire**

L'activité tertiaire englobe toutes les activités de service et de commerce. La typologie des sous-secteurs employée pour cette étude est la suivante : Bureaux, Café-Hôtel-Restaurant, Commerces, Enseignement, Santé, Sport-Loisir-Culture, Transports (locaux uniquement). L'estimation des consommations d'énergie de ce secteur a été obtenue à partir de données réelles du nombre d'emplois dans chacun des sous-secteurs d'activité (source: Unedic, Insee, statistique de la fonction publique). Nous avons déduit les surfaces chauffées correspondantes à ce nombre d'emplois par branche puis nous leur avons appliqué les consommations unitaires (tep/m<sup>2</sup>/an) publiées par le CEREN. Ainsi, une tendance de la consommation d'énergie dans le tertiaire a été obtenue. Les résultats sont ventilés en fonction de la commune, du sous-secteur d'activité et de la source d'énergie.

### **2.3.1.3 La demande des transports**

La demande en énergie du secteur des transports a été estimée en mettant en relation trois types de variables: le nombre de véhicules motorisés par tronçons ou par voies (comptages ou modélisations existants), les parts de marché des différents modes de transport motorisés (données nationales sur les parts de marché en milieu urbain) et enfin, les consommations unitaires des différents modes de transport. Ainsi, après avoir déterminé les distances totales parcourues en une année par les véhicules motorisés à partir d'une modélisation du trafic routier réalisé dans le cadre du schéma de voirie de l'agglomération, nous avons pu supposer, à partir du taux de circulation des différents modes de transport et de leurs consommations unitaires (en kep/100 km) quels étaient les besoins énergétiques du secteur des transports.

### **2.3.1.4 La demande du secteur industriel**

L'estimation des consommations d'énergie dans l'industrie à l'échelon local est une opération marquée d'incertitude. En effet, les données concernant ce secteur sont peu nombreuses. La demande régionale est connue : elle atteint 307 000 Tep selon la DGEMP et l'observatoire de l'énergie. Le résultat pour la commune de Limoges a été obtenu au pro-rata du nombre d'employés dans ce secteur. Cette estimation a été réajustée à partir des consommations déjà calculées pour les autres secteurs et des données réelles obtenues par la démarche « top-down » additionnant les chiffres des ventes mis à disposition par certains fournisseurs d'énergie : EDF et Gaz de France à l'échelle communale et le Comité des Professionnels du Pétrole à l'échelle départementale.

### 2.3.2 comparées aux données réelles de la démarche « top-down »<sup>56</sup>

La démarche « top-down » prend pour données de base les chiffres existants à une échelle communale ou supra communale. Ces chiffres sont les données réelles de vente d'agents énergétiques délivrées par les fournisseurs eux-mêmes. Malgré les tensions liées à l'ouverture des marchés gaziers et électriques et le principe de confidentialité, les distributeurs de gaz et d'électricité, Electricité Réseau de Distribution (ERD) et Gaz Réseau de Distribution (GRD) sont tenus de fournir aux communes qui sont propriétaires des réseaux électriques de moyenne et de basse tension et des réseaux de distribution du gaz les chiffres des ventes de gaz et d'électricité sur leur territoire, tous fournisseurs confondus. Les ventes de produits pétroliers détaillées (essence, gasoil, fioul, GPL...) sont accessibles auprès du CPDP<sup>57</sup> à l'échelle du département. Cela permet d'établir un ratio de consommation par habitant applicable à une partie du territoire afin de connaître l'échelle de grandeur des ventes sur ce territoire.

Les estimations obtenues après application des consommations unitaires aux différents postes du territoire et les résultats des données réelles des fournisseurs sont comparées afin de constater les différences entre les deux méthodes. Lorsqu'il y a des écarts, nous cherchons à les expliquer et s'il le faut, nous ajustons les résultats pour qu'ils soient plus représentatifs de la réalité des ventes<sup>58</sup>.

### 2.3.3 Le calcul des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie sur le territoire

Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie sont dépendantes des consommations d'énergie du territoire. Ainsi, nous avons appliqué un facteur d'émission de gaz à effet de serre à chaque source d'énergie consommée. L'indicateur retenu est l'équivalent carbone, par définition, un kg de CO<sub>2</sub> vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone, c'est à dire le poids du carbone seul dans le composé dioxyde de carbone. Le calcul est donc le suivant :

***Emissions de carbone = Facteur d'émission par mode d'énergie x Consommations d'énergie primaire par mode d'énergie.***

---

<sup>56</sup> « top-down » : du haut vers le bas

<sup>57</sup> Comité professionnel du pétrole

<sup>58</sup> Attention, il ne faut confondre les ventes avec les consommations, en particulier pour les produits transportables facilement : les produits pétroliers, les CMS. Par exemple, le gasoil peut être vendu en un point du territoire étudié pour être consommé sur un ou plusieurs autres territoires.

## Chapitre 3. Les caractéristiques d’approvisionnement, de consommations d’énergie et d’émissions de gaz à effet de serre : les exemples de plusieurs villes moyennes

Le chapitre suivant est consacré à l’analyse de l’approvisionnement, de la production, des consommations d’énergie et des émissions de gaz à effet de serre dans les villes moyennes. Pour réaliser cet objectif nous nous appuyons sur l’exemple de plusieurs villes moyennes dont les données sont disponibles et pour lesquelles un diagnostic ou un bilan énergétique a été réalisé. Ces bilans énergétiques ont, en général, été réalisés par les collectivités locales avec l’assistance d’un bureau d’études :

- Le *Bilan énergétique de l’agglomération de Grenoble (Fr.)*, réalisé en 2001 par le bureau d’études Explicit à la demande de l’Agence Locale de l’Energie, fournit les chiffres des consommations et des productions d’énergie et des émissions de gaz à effet de serre qui y sont associées pour les 23 communes de la METRO (périmètre de l’époque).

- Le *Bilan énergétique de la commune de Limoges (Fr.)*, réalisé par nos soins en 2006 pour le compte de la municipalité de Limoges, fournit des données sur l’approvisionnement, sur les consommations d’énergie et les émissions de gaz à effet de serre associées pour la commune de Limoges.

- L’*Etude de programmation énergétique de Rennes (Fr.)*, réalisé à l’échelle de la commune en 2003 par les deux bureaux d’études GREEN et ICE, apporte des informations sur les consommations et la production locale d’énergie ainsi que les émissions de gaz à effet de serre résultantes pour la commune de Rennes

- Le diagnostic énergétique de Dunkerque (Fr.) a été réalisé par l’Agence d’urbanisme de la région Flandres Dunkerque en 2003 dans le cadre de l’élaboration du *Schéma de Cohérence Territoriale de la région Flandre-Dunkerque*. Cette étude ne propose pas d’estimation des consommations d’énergie ou des émissions de CO<sub>2</sub>, mais elle renseigne sur le contexte de la production et de l’approvisionnement énergétique du territoire.

- Le bilan des émissions de gaz à effet de serre de Fribourg (All.) réalisé par l'Ôko Institut en 1996 dans le cadre du *Klimaschutzkonzept* (plan climat) de la ville met à disposition une modélisation des émissions de gaz à effet de serre par secteur, des consommations d'énergie par source et une estimation du potentiel de réduction des gaz à effet de serre.
- Le *Bilan CO<sub>2</sub> de l'agglomération de La Rochelle (Fr.)*, réalisé par le LEPTAB et EDF dans le cadre de l'élaboration du contrat ATEnEE de la ville en 2005, propose une analyse des consommations d'énergie ainsi qu'une modélisation des émissions de CO<sub>2</sub> associées.
- Le *Bilan Carbone<sup>®</sup>-Collectivités & Territoires de la ville de Bourges (Fr.)*, réalisé par le cabinet Bernard, quantifie les émissions de gaz à effet de serre liées aux énergies de fonctionnement du territoire de la ville, mais aussi liées aux opérations de construction et aux consommations indirectes des matériaux et des produits.

### **3.1 Les caractéristiques de l'approvisionnement et de la production d'énergie en ville**

Nous débuterons cette analyse des interrelations entre la ville et l'énergie en détaillant les caractéristiques de l'approvisionnement et de la production d'énergie dans plusieurs villes moyennes. Les exemples de Limoges, Grenoble et Rennes démontrent à quel point la ville peut être dépendante des importations d'énergie primaire. La production locale d'énergie finale y est très minoritaire. L'énergie est produite sur des sites distants des lieux de consommations mais elle y est acheminée par les réseaux. Les sites de production ou de transformation de l'énergie peuvent être des zones urbaines, c'est le cas de Dunkerque où se côtoient une centrale nucléaire, des raffineries et une centrale thermique classique. Dans d'autres pays de tradition décentralisée comme l'Allemagne, les productions locales d'énergie sont plus importantes, nous le verrons à travers l'exemple de Fribourg.

#### **3.1.1 La dépendance énergétique des villes**

A travers les exemples de Limoges, Grenoble et Rennes, nous montrerons combien les villes sont dépendantes énergétiquement de l'extérieur.

### 3.1.1.1 L'approvisionnement et la production d'énergie à Limoges

La production d'énergie est plutôt rare en milieu urbain. D'ailleurs, à Limoges précisément, on ne dénombre pas de sites importants de production. Seules quelques productions locales de petite puissance sont recensées.

#### Une importante dépendance énergétique

L'agglomération de Limoges n'accueille aucune grande centrale électrique : ni centrale électronucléaire, ni centrale thermique classique, ni équipement de grande hydraulique. Les sites de production d'EDF les plus proches sont les centrales hydroélectriques de Peyrat-le-Château, de Saint-Marc, de Bujaleuf distantes de plus de 40 km de l'agglomération. Une centrale nucléaire est implantée à environ 100 km, à Civaux dans la Vienne (86). Il n'empêche que la quasi-totalité de l'électricité fournie provient du réseau de distribution de l'électricité (ERD), deux points d'injection - des dérivations des deux lignes Très Haute Tension (RTE) qui traversent le département - permettent d'alimenter l'agglomération en électricité.

Il n'existe pas non plus de sites d'extraction de gaz naturel, ni même d'activité de transformation ou de stockage sur l'agglomération de Limoges. D'ailleurs, le combustible n'est ni produit ni stocké dans la région Limousin. Le gaz est importé en France de Norvège (32 %), de Russie (24 %), d'Algérie (23 %)<sup>59</sup>, des Pays-Bas ou du Royaume-Uni par méthaniers ou par gazoducs terrestres ou sous-marins. *Gaz de France* exploite deux terminaux méthaniers à Fos/Mer et Montoir-de-Bretagne et quatorze sites de stockage souterrains sur le territoire français. Le dépôt le plus proche de l'agglomération se trouve à Blois. L'alimentation de la ville de Limoges se fait à partir de la canalisation de grand transport qui relie l'Aquitaine (à l'origine l'ancien puit de Lacq) à la région parisienne. Ce tuyau de 1,50 mètre de diamètre passe à l'ouest du département, la capitale Limousine est raccordée à cette canalisation de grand transport par des canalisations de distribution.

L'agglomération limougeaude ni même la région Limousin n'accueillent de sites de production pétrolière (extraction, raffinerie). Il n'y a pas non plus d'oléoducs. Les distributeurs, pour alimenter la région et sa capitale utilisent au maximum le transport routier. Les stations sont ainsi, pour la plupart, fournies par des camions citernes en provenance des grands sites de raffinage et de stockage (Vallée de la Seine, Côte Atlantique : La Rochelle, Bordeaux...). On recense quelques dépôts en Limousin, mais ils sont de moins en moins nombreux. En effet, ils jouent surtout un rôle stratégique, assurant

---

<sup>59</sup> Source : Gaz de France, 2003.

une sécurité d’approvisionnement de 22 jours en cas de pénurie. Ils sont eux desservis par le rail à partir des complexes pétroliers de la côte atlantique<sup>60</sup>. En ce qui concerne l’agglomération, l’ensemble de la distribution se fait à flux tendus par camions citernes.

### **Quelques productions décentralisées**

Même si la fourniture d’énergie à partir de la production locale représente une part très minoritaire des besoins, un certain nombre de sites produisent de la chaleur ou de l’électricité, directement consommées sur place ou revendues à EDF. Les modes de production sont divers. Les sites les plus importants sont les réseaux de chauffage urbain, concessions de la municipalité de Limoges, qui approvisionnent en chaleur 8 000 logements. A cette production de chaleur s’ajoute une production d’électricité par cogénération. Notons que les trois réseaux de chaleur de Limoges alimentés par les deux cogénérations au gaz et par une récupération de chaleur sur la centrale déchet (incinérateur) fournissent 3 % de la demande totale d’énergie de la commune. D’autres sites sont à noter, des chaudières et des cogénérations industrielles, des microcentrales hydroélectriques, la récupération de biogaz à la station d’épuration ou quelques sites de production d’énergie solaire thermique et photovoltaïque chez des particuliers... Mais ils représentent une part dérisoire dans le bilan énergétique de la ville.

#### **3.1.1.2 La part de la production locale d’énergie dans le bilan grenoblois**

L’observation du cas grenoblois confirme la tendance, la production locale d’énergie dans les villes moyennes françaises est minoritaire. Pourtant, la ville de Grenoble a conservé une entreprise locale d’énergie : GEG et une compagnie de chauffage : CCIAG. Non seulement GEG fournit du gaz et de l’électricité sur la commune mais elle est également productrice d’hydroélectricité, il faut dire que la topographie alpine se prête bien à ce mode de production. La CCIAG possède le second plus grand réseau de chaleur en France derrière Paris. La compagnie met à disposition du réseau d’importantes centrales pour fournir en chaleur les 85 000 équivalents logements desservis<sup>61</sup>. Pourtant, à la vue du bilan énergétique illustré figure 25, 85 % de l’énergie du territoire est importée. Seulement 198 ktep sont produites localement.

La production d’énergie conventionnelle prend la forme de production de chaleur et d’électricité dans les centrales de la Compagnie de Chauffage (CCIAG) ainsi qu’à partir de cogénérations installées dans des établissements industriels et un hôpital. Cette production d’énergie finale suppose l’importation de combustibles (charbon, fioul, gaz,

---

<sup>60</sup> Source : Schéma de service collectif de la région Limousin.

bois). La production d'énergie renouvelable représente une part majoritaire des productions avec 107 ktep/an. Elle est essentiellement composée d'électricité d'origine hydraulique et d'ordures ménagères. Le bois représente 13 % de la production à partir de ressources renouvelables, entre l'utilisation pour l'habitat individuel et collectif et la combustion de plaquettes de bois déchet dans certaines centrales de la compagnie de chauffage (voir partie III). Bien sûr, quelques systèmes de production solaire thermique et photovoltaïque ont été mis en place, la ville de Grenoble n'est d'ailleurs pas en reste par rapport à d'autres secteurs du territoire français mais leur part dans la production locale est négligeable.

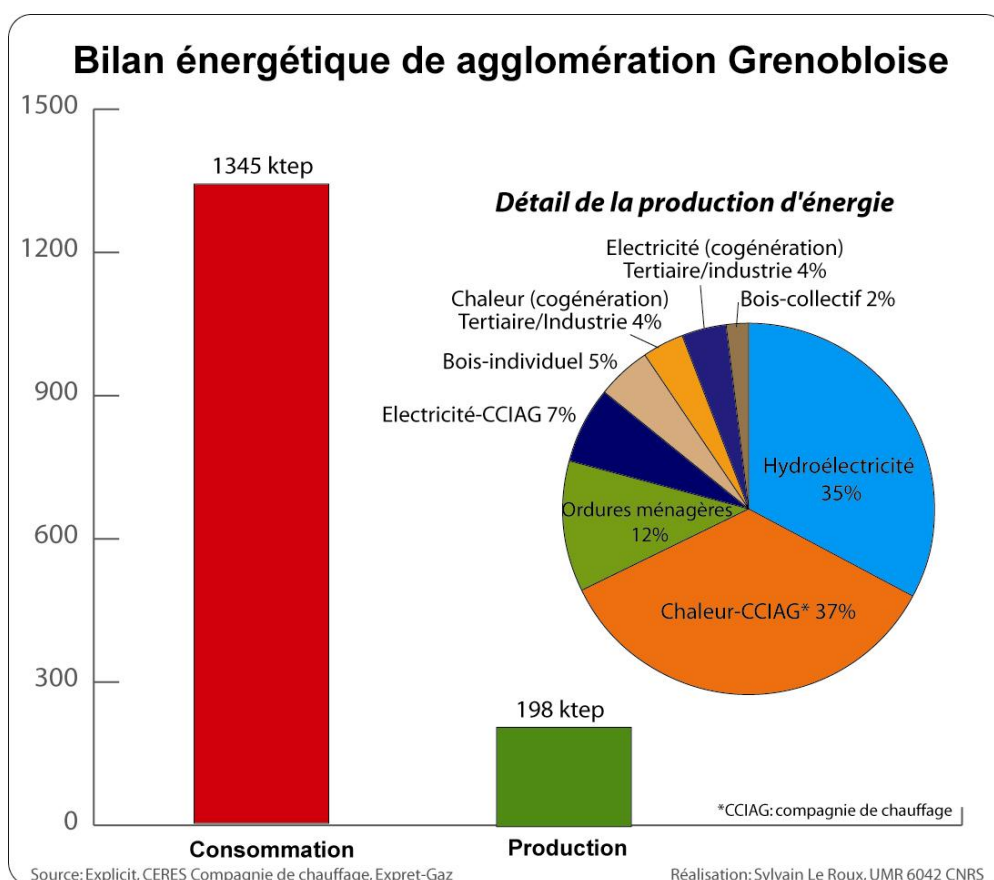


Figure 25 : Le bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble.

### 3.1.1.3 La part de la production dans le bilan rennais :

Le bilan de la ville de Rennes nous amène à faire des constatations similaires. Les productions locales ne contrebalancent en aucun cas les consommations puisqu'elles ne représentent que 5 % de la demande d'énergie. C'est le chauffage urbain qui assure la production pour près de 90 % grâce à la valorisation des déchets ainsi qu'à une installation de cogénération au gaz. Toutefois, l'écrasante majorité de l'énergie finale consommée à

<sup>61</sup> Pour plus de détails sur GEG et la CCIAG, se référer à la partie III.

Rennes provient de l'extérieur du territoire. C'est le cas, par exemple, pour l'installation de cogénération. Les seules ressources locales utilisées sont les ordures ménagères, le bois (s'il n'est pas importé) et le solaire (moins de 1 % de la production totale).

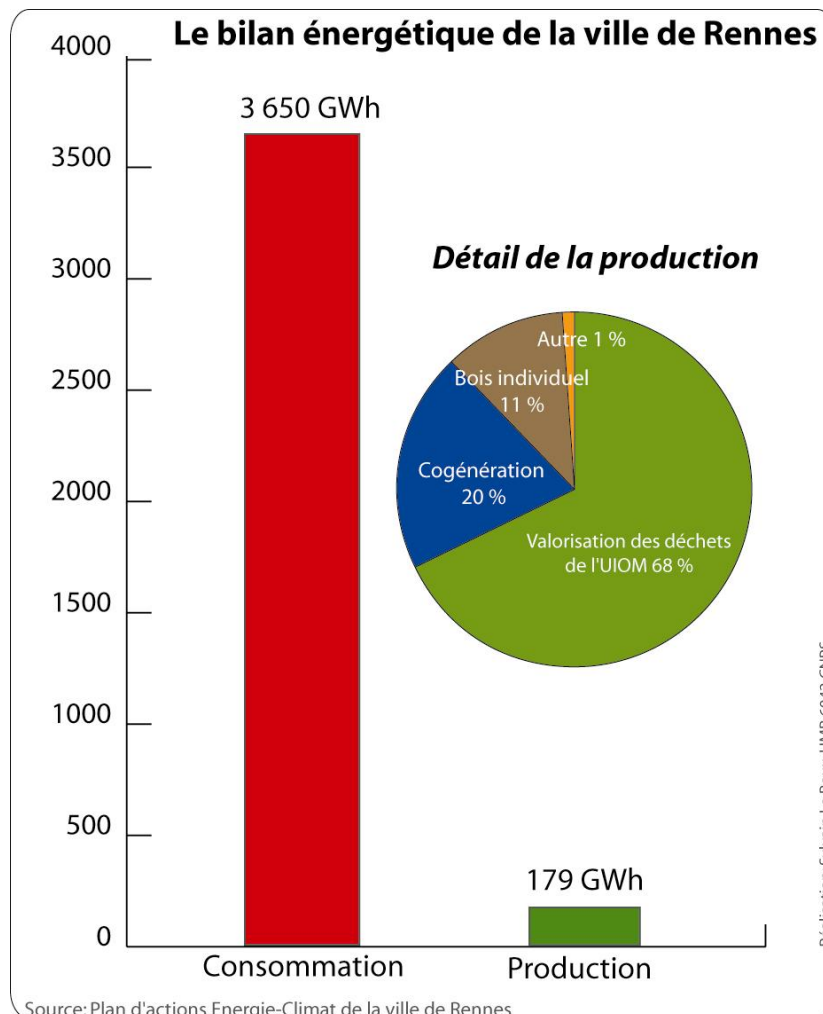


Figure 26 : Le bilan énergétique de la ville de Rennes.

### 3.1.2 Le particularisme portuaire de Dunkerque

#### 3.1.2.1 Des centrales de production énergétique d'ampleur nationale

Le contexte industrialo-portuaire fait de Dunkerque un pôle de transit pour les ressources énergétiques importées : le pétrole brut et raffiné, le gaz et le charbon. Cela explique la présence d'outils de production et d'infrastructures énergétiques très importants. En effet, le territoire de l'agglomération accueille une centrale électronucléaire qui profite de la proximité de la mer pour refroidir ses réacteurs, une centrale de production d'électricité à cycle combiné et des raffineries.



Le centre électronucléaire de Gravelines mis en service en 1980 est à environ 15 km du centre de Dunkerque. Il est composé de six réacteurs de 910 MW, ce qui en fait la centrale la plus puissante d'Europe. Cette installation produit annuellement 35 TWh<sup>62</sup>, soit l'équivalent de plus de 8 % de la consommation finale d'électricité en France (420 TWh en 2004). La centrale est interconnectée avec les autres sites de grande production français et européen par une ligne de grand transport de 400 kV.

Depuis 2005, une centrale à cycle combiné (DK6)<sup>63</sup> remplace l'ancienne centrale thermique d'EDF qui produisait 1 500 GWh par la valorisation de 400 000 tonnes/an de rejets gazeux issus de l'activité sidérurgique. Gaz de France a construit une installation plus puissante à côté. Elle est composée de deux tranches de 400 MW qui utilisent les gaz des hauts fourneaux de la très importante usine sidérurgique Sollac et le gaz naturel de Norvège acheminé par un gazoduc offshore. Cette électricité est destinée à l'usine Sollac et au marché libéralisé.

Dunkerque est un important port pétrolier qui accueille deux raffineries. La raffinerie des Flandres (Total France) qui est implantée sur la zone d'activité de Dunkerque/Mardyck (voir la photographie 1) et la Société de la Raffinerie de Dunkerque. La première est une des plus récentes en France, elle possède une capacité de distillation de pétrole brut de sept millions de tonnes par an<sup>64</sup>. Le brut y est acheminé par tanker jusqu'au terminal pétrolier du grand port ouest de Dunkerque. La raffinerie est ensuite approvisionnée par une conduite. Les réservoirs du site peuvent stocker jusqu'à 1,2 million de m<sup>3</sup>. Les produits raffinés sont essentiellement des produits énergétiques : carburants pour véhicules, fioul domestique, propane, butane mais aussi des éléments pétrochimiques, du propylène ou du soufre. Ces produits sont transportés et distribués dans toute la France ou l'Europe par la route, par voie ferrée, par voie navigable et par gazoduc.

---

<sup>62</sup> *Elaboration du Schéma de Cohérence Territoriale de la région Flandre-Dunkerque, Diagnostic*, Agence d'urbanisme de la région Flandres Dunkerque, 2003.

<sup>63</sup> C'est la centrale à cycle combinée la plus puissante de France.

<sup>64</sup> *Dunkerque, pôle énergétique*, Communauté urbaine de Dunkerque, 2005.



Photographie 1 : Le complexe pétrolier Total du port de Dunkerque.

### 3.1.2.2 Le port, un point de transit obligé des flux énergétiques

L'agglomération de Dunkerque est construite autour du troisième port français. C'est d'ailleurs le premier port charbonnier français. Cinq millions de tonnes de ce combustible y transitent chaque année. En ce qui concerne les pétroliers, le port autonome est équipé de cinq terminaux permettant l'appontement des produits pétroliers. Ainsi, 12 millions de tonnes sont importées et raffinées sur place à Dunkerque avant d'être exportées dans toute l'Europe. Depuis 1998, le pôle énergétique a vu son poids renforcé par l'arrivée du plus long gazoduc offshore du monde en provenance de Norvège (voir figure 27). 18 Milliards de m<sup>3</sup> passent chaque année par Dunkerque. C'est l'équivalent de plus de 30 % de la consommation française de gaz. Il est ensuite acheminé vers les consommateurs français, espagnols et italiens via une canalisation (l'artère des hauts de France) en direction d'un important centre de stockage et de redistribution dans l'Oise. Ce nouveau réseau s'est ajouté au réseau existant de l'Artère Artois qui desservait originellement la région Flandres-Dunkerque.

# L'approvisionnement et la production d'énergie à Dunkerque

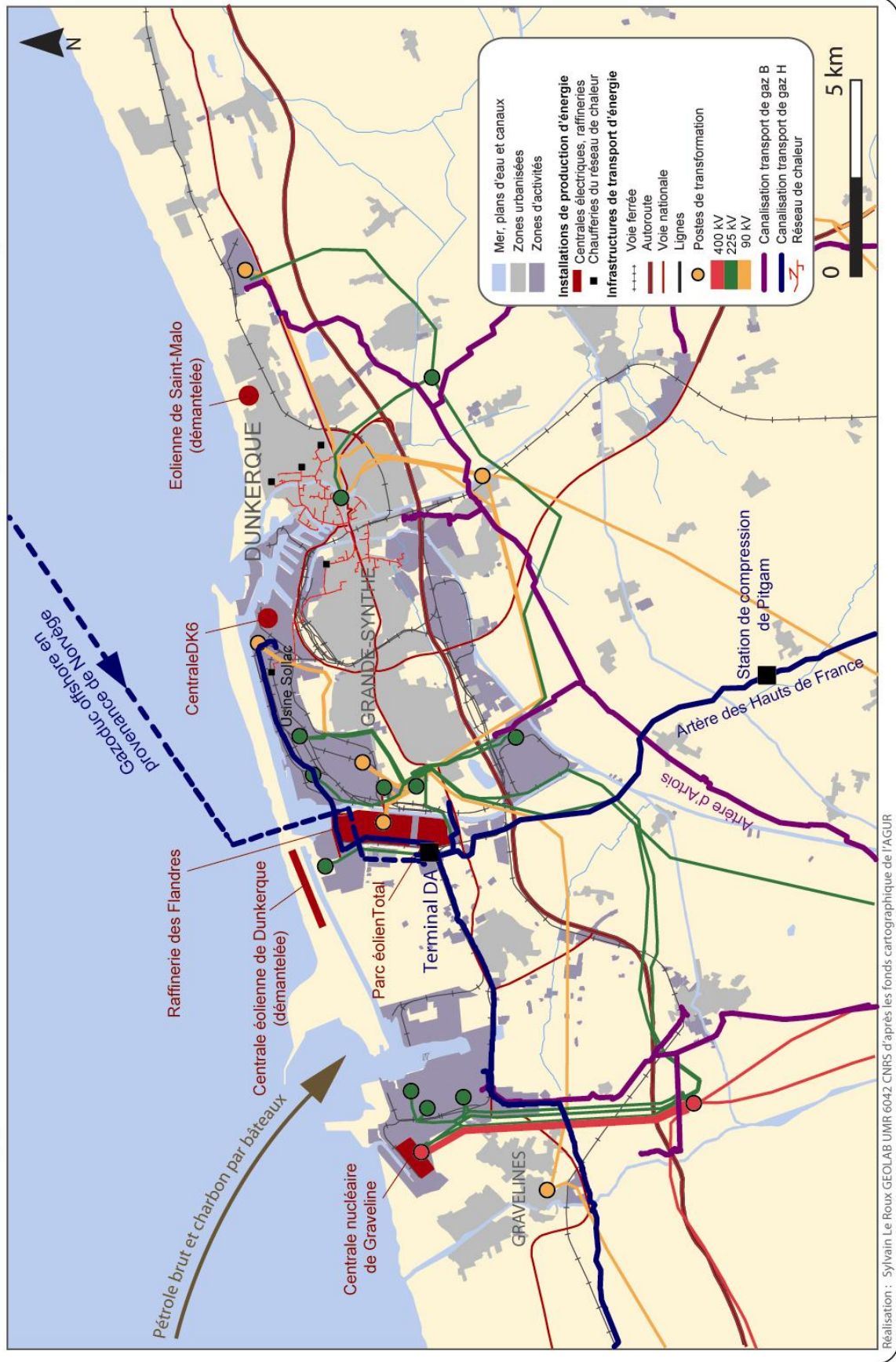


Figure 27 : L'approvisionnement et la production d'énergie à Dunkerque.

Le réseau électrique de l'agglomération est très dense. Une ligne de très grand transport part de la centrale nucléaire de Gravelines, des lignes Haute Tension de 225 kV et 90 kV approvisionnent aussi les nombreuses industries très consommatrices d'électricité. L'activité sidérurgique est en première ligne : SOLLAC, mais aussi l'aluminium (Aluminium Dunkerque), l'industrie pétrolière (COPENOR), Air liquide...

### 3.1.2.3 Des productions d'énergie plus localisées

Comme dans d'autres villes, nous retrouvons des installations de production d'énergie à vocation plus locale. Un réseau de chauffage urbain, un centre de valorisation énergétique des déchets et des systèmes de production d'énergie d'origine renouvelable. Le réseau de chaleur exploité par le SICURD (syndicat intercommunal d'études, de réalisation et d'exploitation du réseau de chauffage urbain de Dunkerque) fournit 129 GWh de chaleur, soit les besoins de 8 000 équivalents logements. Il est alimenté par une installation de récupération de la chaleur « fatale » de l'usine de Sollac de Dunkerque (20 MW)<sup>65</sup>, deux chaudières (une d'appoint et de secours de 45 MW et une autre de 10 MW), et deux centrales de cogénération de 12 et de 2,3 MW. La chaleur obtenue provient à 44 % de la captation de l'aciérie de Sollac. Les chaudières qui fournissent plus de 40 % du total fonctionnent au fioul et au gaz et les cogénérations représentent 10 %. Le centre de valorisation des déchets exploité par la communauté urbaine de Dunkerque produit 5,8 MWh d'électricité à partir de la combustion des déchets.

Enfin, l'éolien français est né à Dunkerque. La première éolienne a été installée sur la dune de Malo-les-bains en 1991. Cette machine de 300 kW - une puissance qui paraît aujourd'hui très faible compte tenu des progrès technologiques survenus depuis - permettait de produire 280 MWh/an. Elle est démantelée depuis 2005. De plus, le premier parc éolien a été installé le long du canal des dunes, dans le port de Dunkerque, il comprenait neuf aérogénérateurs de 300 kW et produisait 3 100 MWh, l'équivalent de la consommation électrique de 3 000 personnes hors chauffage. Bien qu'il soit aujourd'hui démantelé, il était projeté à l'époque de l'enquête de rééquiper le site avec des machines plus puissantes. Car, à quelques kilomètres de là, l'exemple est donné par Total qui a installé les aérogénérateurs continentaux les plus puissants de France en 2005. Les cinq éoliennes de la raffinerie des Flandres présentent des puissances respectives de 2 x 2 MW, 2 x 2,5 MW et 1 x 3 MW, pour un total de 12 MW, soit une production annuelle estimée au moins à 36 GWh électriques. Cette centrale constitue un centre d'expérimentation pour l'éolien offshore.

---

<sup>65</sup> L'installation est en projet d'extension à l'époque de l'enquête.



Photographie 2 : Le parc éolien de la raffinerie des Flandres.

L'exemple de ce cas particulier de Dunkerque est à l'antipode des trois cas précédents de Limoges, Grenoble et Rennes. Le bilan des productions d'énergie du territoire surpasse très nettement celui des consommations. Cependant, pour l'essentiel, il ne s'agit pas d'une production urbaine d'énergie primaire, ce sont des énergies importées et transformées (pétrole, gaz, nucléaire). Les installations de production, de transformation et de transport de très grande envergure sont destinées à approvisionner l'ensemble du territoire et à exporter vers l'étranger. Les raffineries, les terminaux de gaz, les centrales thermiques classiques, les centrales électronucléaires sont disséminées sur quelques sites en France. Il existe douze raffineries sur le sol français généralement à proximité des côtes, dans des ports. La France dans sa tradition jacobine a centralisé les sites de production d'électricité. Les 58 réacteurs électronucléaires d'EDF sont implantés sur 19 sites en France, en général des sites à distance des espaces urbains, proche des cours d'eau ou des littoraux - le cas de Gravelines est une exception. dix sites accueille des centrales thermiques à flamme de plus de 250 MW qui produisent de l'électricité à partir du fioul ou du charbon... Ces centrales de production interconnectées sont soit sur des sites industriels urbains comme à Dunkerque, soit en milieu rural (Civaux, 86). C'est

pourquoi, certains espaces urbains plus propices au transit des énergies (port, centralité situation géographique...) présentent un taux de production élevé. Mais, d'une manière générale, nous pouvons penser que le bilan énergétique d'une ville moyenne française est déficitaire.

### **3.1.3 Fribourg, un cas allemand de production décentralisée**

Le système énergétique allemand est très différent du système français. A l'image de la politique allemande, il est décentralisé. Les territoires locaux ont beaucoup plus de compétences en terme d'énergie. Jusqu'à il y a quelques années, la municipalité de Fribourg était totalement propriétaire et responsable d'une compagnie de distribution et de vente d'électricité, de chaleur et d'eau comme c'était le cas dans la plupart des villes allemandes. La compagnie de Fribourg se nommait la FEW (Freiburger Energie und Wasserversorgungs-AG). A la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, l'Europe a décidé d'ouvrir et de libéraliser le marché de l'énergie, ce qui a sonné la fin des monopoles et l'ouverture des capitaux des sociétés de service publique. La FEW est devenu Badenova, la même compagnie locale de distribution d'électricité, de gaz, de chaleur et d'eau, mais privée et concurrencée. A cette date, malgré la libéralisation totale du marché de l'énergie en Allemagne, la ville reste propriétaire à 35 % de Badenova. Aujourd'hui, un habitant de Fribourg peut continuer à acheter son énergie à la compagnie locale - ce que fait encore la majorité d'entre eux - mais il peut également le faire auprès d'une compagnie régionale, nationale ou étrangère. Trois des conséquences majeures de cette participation historique des territoires locaux à la production d'énergie sont la décentralisation des systèmes de production d'électricité, la distribution de chaleur par le chauffage urbain et la valorisation des ressources locales. A l'inverse des villes françaises, ces trois caractéristiques sont particulièrement développées dans les villes allemandes, à Fribourg notamment.

#### **3.1.3.1 Une production d'électricité décentralisée assurée par la cogénération**

A Fribourg, 54 % de l'électricité est produite localement<sup>66</sup>. 50 % provient de centrales de cogénération qui produisent de l'électricité et valorisent la chaleur perdue et moins de 4 % provient des énergies renouvelables. Le reste de l'électricité consommée est importé, acheté à la compagnie d'électricité du Baden Wurtemberg, à une grande compagnie allemande comme E-ON ou à une compagnie étrangère comme EDF. Les 46 % restants proviennent donc de la combustion de charbon, de gaz ou de la fission nucléaire. Ainsi, plusieurs installations de cogénération sont disséminées dans la ville (voir figure 28).

---

<sup>66</sup> Source : Municipalité de Fribourg, 2006.

Neuf d'entre elles fonctionnent au gaz. Trois utilisent la biomasse (bois et biogaz). Il en reste une qui est alimentée au charbon, c'est celle qui approvisionne le quartier de l'hôpital universitaire. Cependant, il est prévu que cette installation soit remplacée par un système de cogénération au bois. Ce système de production de l'électricité basé sur des cogénérations est associé à une culture importante des réseaux de chauffage urbain. En effet, les centrales de cogénération au charbon, au gaz et à la biomasse couplées à des chaudières de plus petite puissance fournissent de la chaleur pour des bâtiments résidentiels et tertiaires. Sur la figure 28, nous pouvons distinguer les six plus importants réseaux de chaleur de la ville. Leur part de marché n'est pas si grande à Fribourg comparée à d'autres villes comme Ulm ou Munich, mais elle reste largement supérieure à la majorité des villes françaises - Grenoble étant une exception.

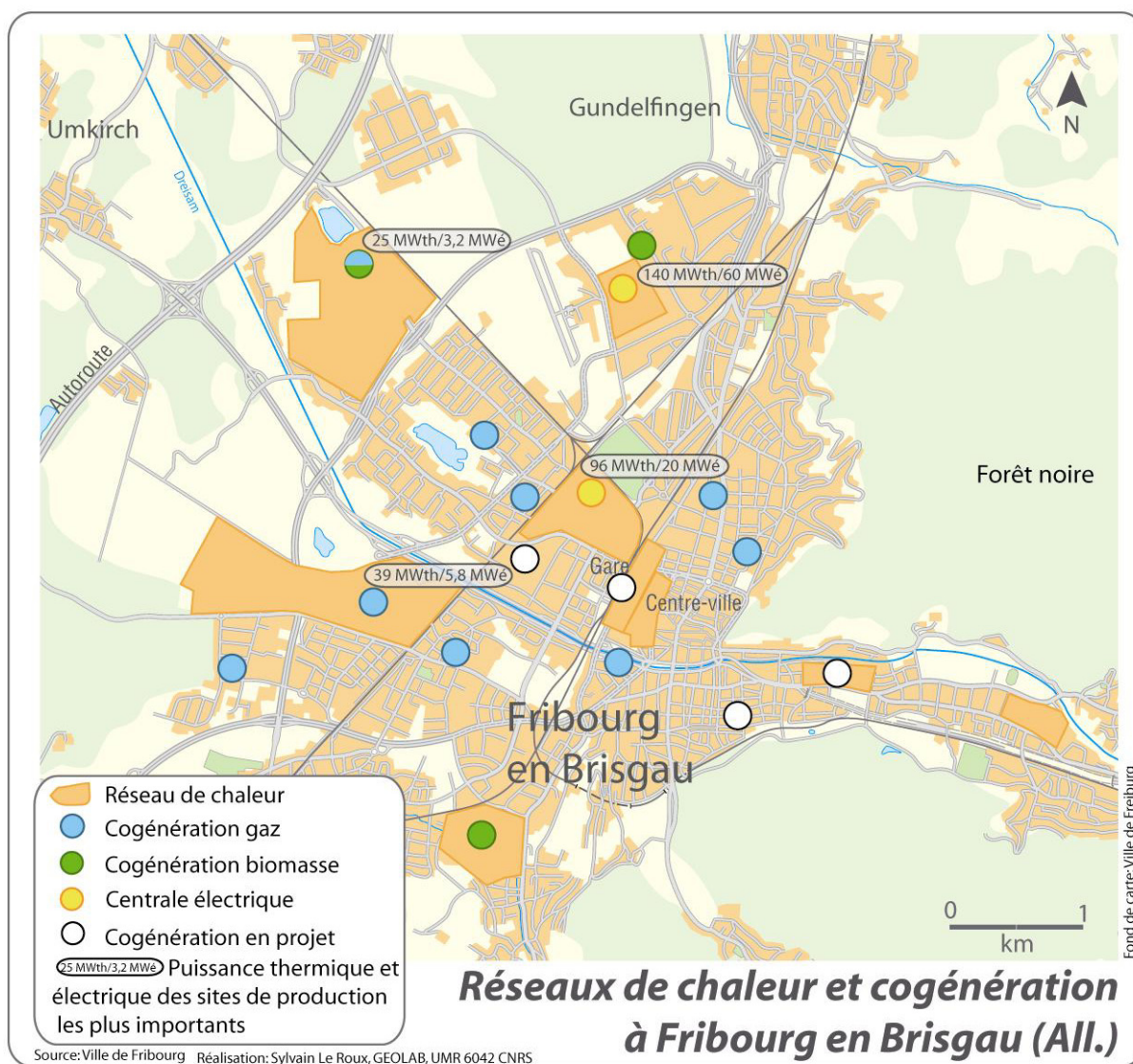


Figure 28 : Les réseaux de chaleur et les cogénérations de Fribourg.

### 3.1.3.2 La pénétration des énergies renouvelables

Fribourg a la réputation d'être exemplaire du point de vue de la valorisation des énergies renouvelables. Des aménageurs, des architectes et des décideurs des quatre coins de l'Europe viennent constater l'intégration des énergies renouvelables (solaire, biomasse, biogaz, éolien...) dans le système énergétique de Fribourg. La « ville solaire » s'est, en effet, fixée un plan volontaire de développement de la filière. Elle est remarquée pour son action en faveur du photovoltaïque. Pourtant, les énergies renouvelables y restent toujours très minoritaires dans le bilan énergétique. Voyons ce qu'il en est par filière.

#### - Le solaire photovoltaïque

Fribourg est la ville qui possède le plus de panneaux solaires photovoltaïques par habitant en Allemagne, et par conséquent, en Europe. Il existe des installations très importantes. La plus importante est sur le toit du palais des expositions. Cette centrale d'une puissance de 700 kW date de juin 2006 (voir photo 3). Une autre centrale très symbolique de 200 kW a été installée sur le toit du stade de football depuis 1995 (voir photo 3). Pourtant, malgré les 8 500 kW installés en 2006 dans toute la ville, les six à sept millions de kWh produits annuellement représentent moins de 1 % de la consommation totale d'électricité.



Photographie 3 : Deux centrales photovoltaïques de Fribourg en Brisgau.



## - L'éolien

Cinq éoliennes ont été érigées dans les limites du Stadtkreis<sup>67</sup> de Fribourg en Brisgau. Elles sont donc à proximité de la ville, à environ 2 km. Une sixième est implantée sur une commune limitrophe. Les aérogénérateurs sont des Enercon de 1,8 MW. Il y a donc une puissance installée totale de 9 MW. Le parc éolien fournit 14 GWh soit l'équivalent des besoins électriques (hors chauffage) de 14 000 personnes. Il y avait d'autres projets mais le secteur a été gelé par l'Etat du Bade-Würtemberg pour des raisons de protection du paysage.



Photographie 4 : Le parc éolien de Fribourg.

## - La micro hydroélectricité

L'eau est un élément fondamental du paysage urbain de Fribourg. Elle provient des collines voisines de la Forêt Noire qui subissent une forte pluviométrie. Ainsi, la ville est non seulement traversée par une rivière relativement importante, la Dreisam, mais elle est également parcourue de canaux. Les chutes sont exploitées mais le potentiel reste maigre. La compagnie d'électricité, Badenova, recense une vingtaine de centrales dans la ville avec des puissances comprises dans une fourchette de 10 à 700 kW. La production annuelle est de 2 GWh en 2005. Sur la photo 5, nous pouvons observer une centrale datant de 1927.

Elle est équipée de deux turbines de 9,7 kW et 17,5 kW, la chute d'eau est de 1,4 m. Sa production annuelle est donc égale à 25 MWh (cela correspond environ aux besoins électriques - hors chauffage et eau chaude de 10 ménages), ainsi 15 tonnes de CO<sub>2</sub> sont évitées. La seconde centrale présente une puissance de 12 kW. Ces deux centrales ont pour particularité d'être situées en plein centre ville.

### Les équipements microhydroélectriques de Fribourg, deux exemples en centre ville

Environ 20 micro centrales sur le territoire pour une production totale annuelle : 2 GWh



Clichés: Sylvain Le Roux

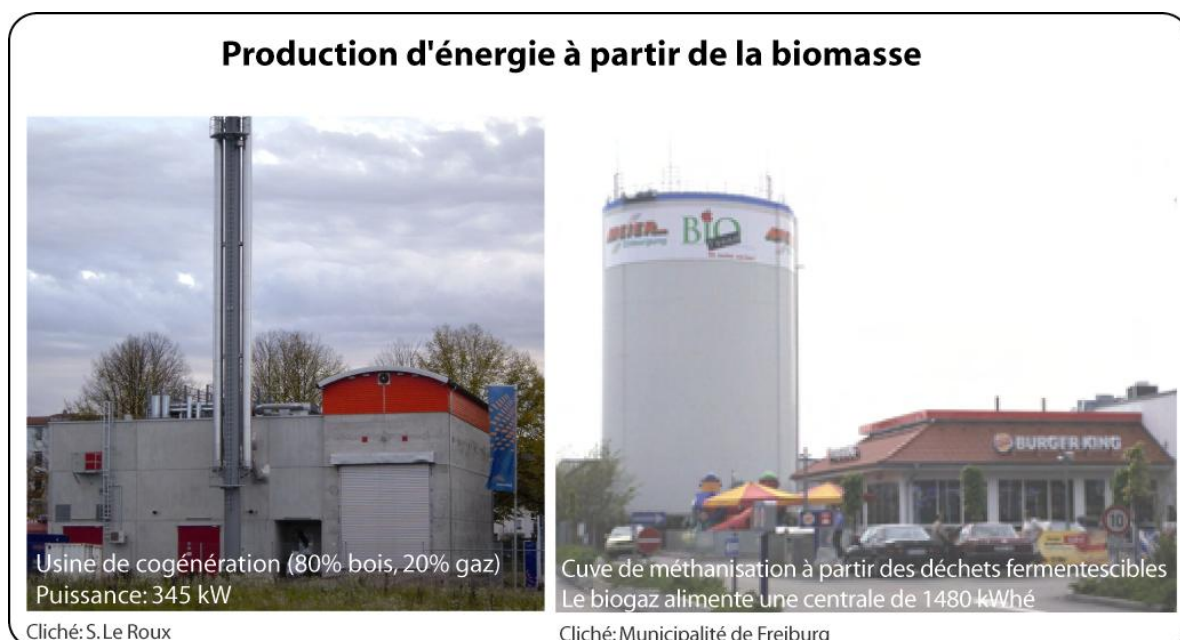
Photographie 5 : Deux équipements microhydroélectriques à Fribourg.

#### - La biomasse :

La biomasse constitue une ressource un peu plus utilisée que l'eau puisque 16 GWh d'électricité étaient produits grâce au biogaz (fermentation des déchets ménagers de ville, déchets des agriculteurs à la campagne, enfouissement des déchets) et au bois (plaquettes) en 2005. Lorsque l'on parle de production d'électricité à partir de la biomasse à Fribourg, il faut entendre : production combinée de chaleur et d'électricité dans des systèmes de cogénération alimentant des réseaux de chaleur. A titre d'exemple : la première photographie présente la centrale de Vauban, c'est une usine de cogénération construite par la ville de Fribourg et Badenova, elle est alimentée à 80 % par des copeaux de bois et à 20 % par du gaz naturel. Sa puissance atteint 345 kW. Sur la seconde photographie apparaît un site de production de biogaz, et précisément, la cuve où le méthane est produit par un phénomène de digestion anaérobie. Ce sont 36 000 t/an de déchets fermentescibles collectés dans les poubelles des particuliers qui fournissent le gaz

<sup>67</sup> Le Stadtkreis est l'équivalent d'un canton en milieu urbain en France.

après un processus de fermentation. On obtient 110 à 120 Nm<sup>3</sup> par tonne de déchets entrant en méthanisation. Ce biogaz est valorisé en produisant de la chaleur et de l'électricité. A partir d'une centrale d'une puissance de 1 480 kWélectrique, 9 GWh sont fournis par an, ce qui équivaut à la demande de 3 000 ménages.



Photographie 6 : Production d'énergie à partir de biomasse à Fribourg.

En 2005, la production locale d'électricité à partir d'énergies renouvelables atteignait 3,7 %, les différentes ressources étaient réparties comme suit : 14,4 GWh en éolien, 6 GWh en photovoltaïque, 16 GWh à partir de biomasse et 2 GWh en hydroélectricité. Le constat n'est finalement pas très favorable aux énergies renouvelables. Malgré la volonté affichée par la Ville de Fribourg, les énergies de flux représentent une part très minoritaire de la consommation d'électricité de la ville de Fribourg.

#### - La production de chaleur à partir de ressources renouvelables :

Les chiffres exacts concernant la production de chaleur à partir des énergies renouvelables ne sont pas connus, cependant nous pouvons nous faire une idée des ordres de grandeur. En ce qui concerne le solaire thermique, la ville recensait en mai 2006 environ 11 220 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques. Le potentiel n'est pas valorisé. Par un rapide calcul, nous pouvons dire que grâce à cela environ 8 000 personnes peuvent être fournies en eau chaude solaire à 60 %<sup>68</sup> de leurs besoins. Bref, le solaire thermique fournit environ 4 % des habitants de Fribourg en eau chaude solaire. Il faut ajouter à cela les trois

systèmes de chauffage urbain qui utilisent la biomasse (copeaux bois et biogaz). L'ordre de grandeur est donc peut-être légèrement supérieur à celui de l'électricité mais reste minoritaire.

En conclusion, le cas allemand de Fribourg démontre une organisation différente des cas français. Bien que les ressources primaires, comme pour les exemples français de Dunkerque, Limoges, Grenoble et Rennes, soient majoritairement importées, la production de chaleur finale et d'électricité s'effectue dans une grande partie sur le territoire local. Plus de la moitié de l'électricité est produite localement à Fribourg, ce qui n'est pas le cas des exemples français. Mais, moins de 4 % proviennent de ressources locales (bois, solaire, éolien, hydraulique, biogaz). Nous constatons que même dans une ville allemande bénéficiant d'une réglementation avantageuse pour le développement de ces énergies de flux et ayant adopté une stratégie de développement locale volontaire (voir partie III), leur part dans le bilan énergétique reste très faible. Les énergies primaires : le pétrole, le gaz et le charbon apparaissent comme les pièces maîtresses de l'approvisionnement.

## **3.2 L'état des lieux des consommations d'énergie en milieu urbain**

Pour fournir un état des lieux des consommations d'énergie dans des villes « moyennes », nous présenterons les exemples de trois villes pour lesquelles les données existantes sont relativement détaillées : Limoges, La Rochelle et Grenoble. Nous constaterons que les villes moyennes présentent une très grande dépendance aux hydrocarbures (pétrole, gaz) qui représentent près de 60 % des consommations des villes étudiées. Nous constaterons également que les bâtiments occupent une très grande place dans le bilan énergétique suivis du secteur des transports et de façon plus irrégulière du secteur de l'industrie.

### **3.2.1 Limoges et La Rochelle, une demande forte des bâtiments et des transports**

Nous avons estimé qu'au sein de la commune de Limoges, 460 000 tonnes équivalent pétrole sont consommées en une année (sur la période 1999-2003). A titre de comparaison, cette quantité correspond à douze pétroliers tels que l'ERIKA. La commune de Limoges compte 134 000 habitants, on peut donc affirmer que la demande par habitant atteint 3,5 tep. La moyenne nationale étant de 3,8 tep/habitant, les limougeauds n'ont

---

<sup>68</sup> Calcul réalisé sur le logiciel CALSOL de simulation d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire.

pas une consommation qui excède cette moyenne. D'une part, cela s'explique par le fait que certaines variables n'ont pas été prises en compte (l'agriculture, les transports aériens...). D'autre part, l'industrie présente un taux qui reste plutôt faible. Il n'est pourtant pas surprenant de remarquer des taux relativement élevés en milieu urbain pour ce secteur. 42 % des consommations de l'agglomération de Grenoble sont ainsi englouties par le secteur industriel alors qu'à l'échelle nationale, son pourcentage est de 24 %<sup>69</sup>. A Limoges, cette activité ne représente que 17 % soit 80 000 tep. En troisième position, le secteur des transports, avec 120 000 tep, représente 26 % de la demande énergétique du territoire. Finalement, comme le montre le graphique (figure 29), les entités les plus consommatrices sont les bâtiments. En effet, le résidentiel et le tertiaire, s'ils sont regroupés, constituent plus de la moitié de la consommation globale. Le résidentiel n'absorbe pas moins de 135 000 tep et le tertiaire presque tout autant avec 125 000 tep. Les deux sources d'énergie majoritairement utilisées sont les produits pétroliers et l'électricité puisqu'elles présentent des taux respectifs de 38 % et de 33 %, soit 175 000 tep pour les produits pétroliers (le gasoil, le fioul, l'essence et le GPL) et 150 000 tep pour la fée électricité. Le gaz naturel vient en troisième position avec 110 000 tep. Notons que les trois réseaux de chaleur de Limoges alimentés par deux cogénérations au gaz et par une récupération de chaleur sur la centrale déchets (incinérateur) fournissent une part non négligeable de la demande.

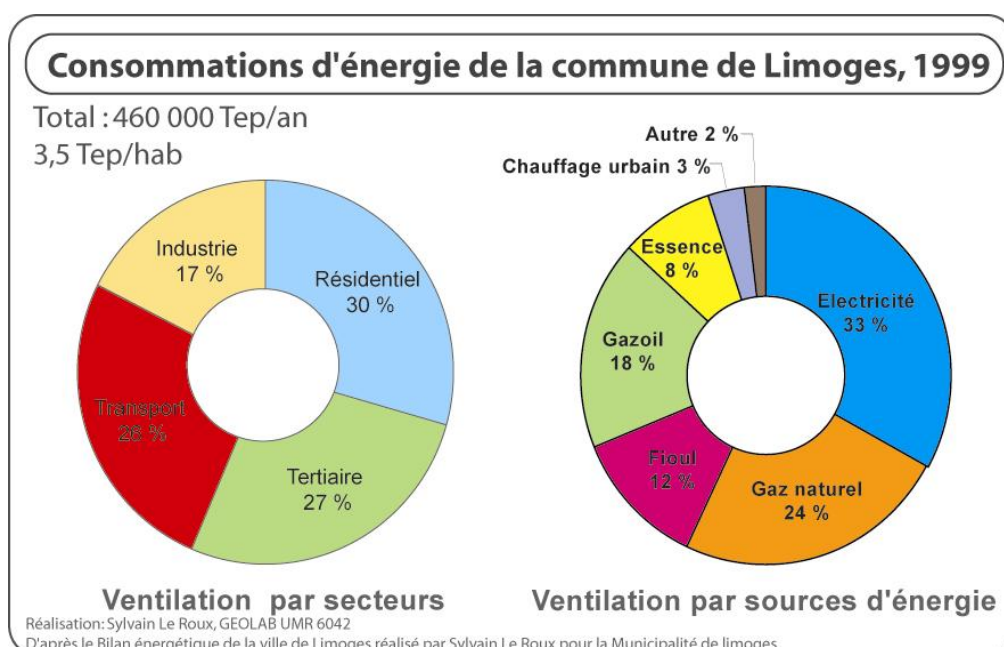


Figure 29 : Consommations d'énergie de la commune de Limoges, 1999.

<sup>69</sup> Données hors usages non énergétiques et branche énergie tirée de la publication *L'énergie en France, repères, édition 2004*, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

Les consommations totales de la ville de La Rochelle et de sa première couronne ont été estimées grâce à l'outil d'EDF, *Modèle CO<sub>2</sub>*, à 2,3 TWh soit 2,3 milliards de kWh. Ramené au nombre d'habitants de la zone d'étude, le ratio est égal à 24 000 kWh/hab<sup>70</sup>. Nous pouvons constater sur le graphique (figure 30) suivant que les bâtiments sont à l'origine de près de la moitié des consommations. En effet, le résidentiel et le tertiaire représentent à eux deux 48 % des consommations. Les transports comme l'industrie totalisent chacun plus du quart des besoins. Les sources d'énergie les plus consommées sur le territoire sont, comme dans l'exemple de Limoges, les produits pétroliers (gasoil, essence, fioul pour les plus importantes), le gaz (33 %) et l'électricité (25 %).

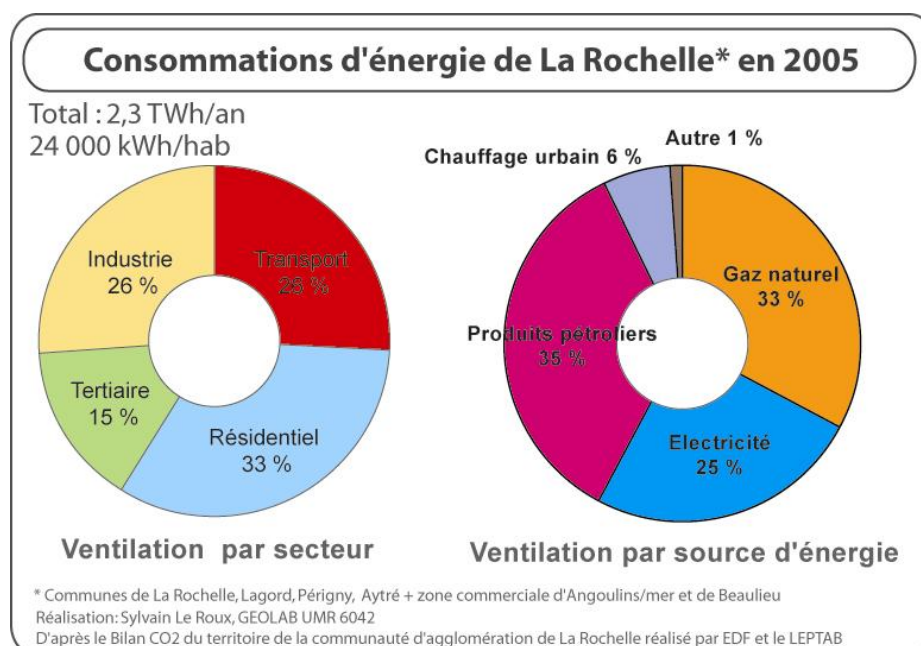


Figure 30 : Consommations d'énergie de l'agglomération de La Rochelle.

### 3.2.2 La demande énergétique de Grenoble et la variable industrielle

L'étude du bilan énergétique de Grenoble réalisé par le bureau d'études Explicit en 2001 à la demande de l'Agence Locale de l'Energie de Grenoble révèle que 1 345 kTep sont consommées dans le périmètre de l'agglomération ; ce qui équivaut à la quantité de pétrole transportée par 50 tankers du type de l'Erika. Rapportée au nombre d'habitants, la consommation est donc de 3,6 tep/hab, un taux légèrement en dessous de la moyenne française.

L'agglomération de Grenoble présente une ventilation des consommations d'énergie par secteur caractéristique de son activité (voir figure 31). En effet, l'activité industrielle totalise 42 % des consommations d'énergie de l'agglomération. Le résidentiel, quand à lui,

<sup>70</sup> L'étude réalisée par EDF et le LEPTAB ne traduit pas ces données en Tep.

nécessite 23 % des besoins et le tertiaire 18 %. Etant donné que le résidentiel et le tertiaire en France représentaient, en 2004, 43 % des consommations finales d'énergie<sup>71</sup>, les chiffres sont relativement comparables. Par contre, en ce qui concerne les transports, leur part est de seulement 17 % à Grenoble contre 30 %<sup>16</sup> au niveau national. Comme l'indique la figure 31, l'énergie la plus utilisée est le gaz (36 %), quasiment ex- æquo avec l'électricité (34 %). Les produits pétroliers représentent 22 % du marché. Enfin, le chauffage urbain totalise seulement 4 %.

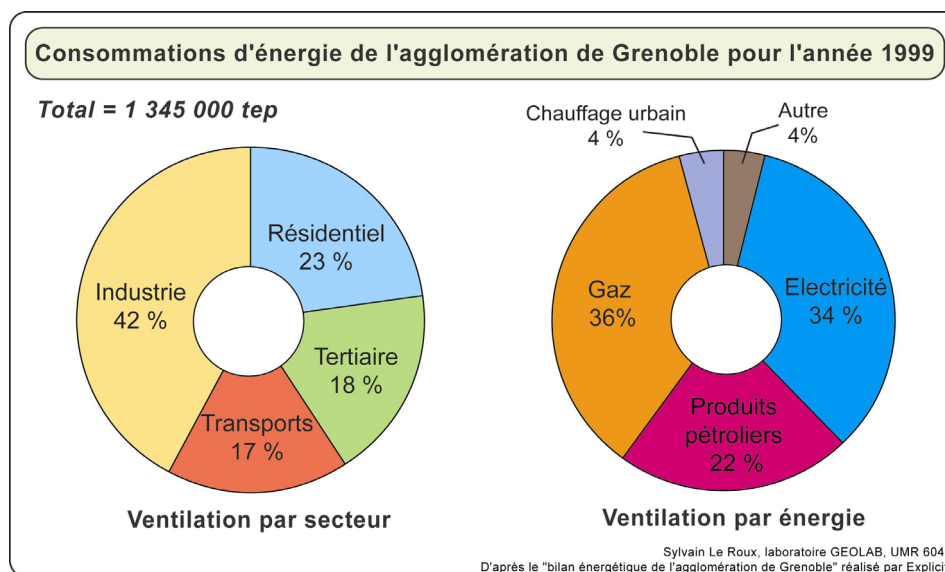


Figure 31 : Consommations d'énergie de l'agglomération de Grenoble.

### 3.2.3 Des disparités géographiques, l'exemple de Grenoble

Nous constatons une très forte disparité géographique des consommations d'énergie entre les différentes communes de l'agglomération de Grenoble (voir figure 32). Les deux communes qui présentent les plus fortes consommations sont Pont de Claix (403 667 tep) et Grenoble (350 348 tep) ; au second plan arrivent les communes de Saint-Egrève (83 770 tep), Saint-Martin-d'Hères (68 634 tep), Echirolles (64 844 tep), Domène (63 605 tep) et Meylan (53 807 tep). A l'inverse, les consommations sont très faibles sur des communes telles que Murianette (1 311 tep) ou Bresson (2 202 tep). Ces disparités s'expliquent par la part qu'occupe l'industrie et par le nombre d'habitants sur ces communes. Lorsque l'on ramène les consommations au nombre d'habitants, les communes les plus consommatrices sont les communes où l'industrie est la plus développée. Les quatre communes qui montrent une forte consommation énergétique au regard du nombre d'habitants de la commune (en tep/hab) sont toutes quatre des communes où la part de l'industrie dans les

<sup>71</sup> Donnée hors usages non énergétiques et branche énergie tirée de la publication *L'énergie en France, repères, édition 2004*, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

consommations d'énergie est majoritaire ; le cas le plus prononcé est celui de Pont-de-Claix puisque, non seulement, la consommation d'énergie y est la plus élevée mais le taux de consommation par habitant y est huit fois supérieur à la moyenne. Il atteint 34,3 tep/hab. 386 500 tep y sont absorbées par l'industrie, ce chiffre équivaut à 68 % des besoins de l'industrie sur l'agglomération. Les autres taux les plus élevés se trouvent à Domène (9,9 tep/hab), à Veurey-Voroize (6,51 tep/an) et à Saint-Egrève (5,34 tep/an). A l'inverse, certaines communes présentent des taux très bas : 1,24 tep/an pour Poisat, 1,41 tep/an pour Fontaine... La commune de Grenoble qui concentre 40 % de la population de l'agglomération a un taux de consommation par habitant de 2,24 tep/hab. Les autres communes les plus consommatrices - Echirolles, Saint-Martin-d'Hères ou Meylan - sont les communes les plus peuplées derrière Grenoble. Le résidentiel et le tertiaire y occupent une place prépondérante. Tout particulièrement, Grenoble concentre 38 % des consommations résidentielles de la METRO et 46 % des consommations tertiaire.

Ces disparités géographiques des consommations observées pour l'agglomération de Grenoble se constatent aussi bien sur d'autres territoires. Elles sont révélatrices du nombre d'habitant, du développement de l'activité industrielle ou tertiaire, des modes d'habitat et des modes de transport.

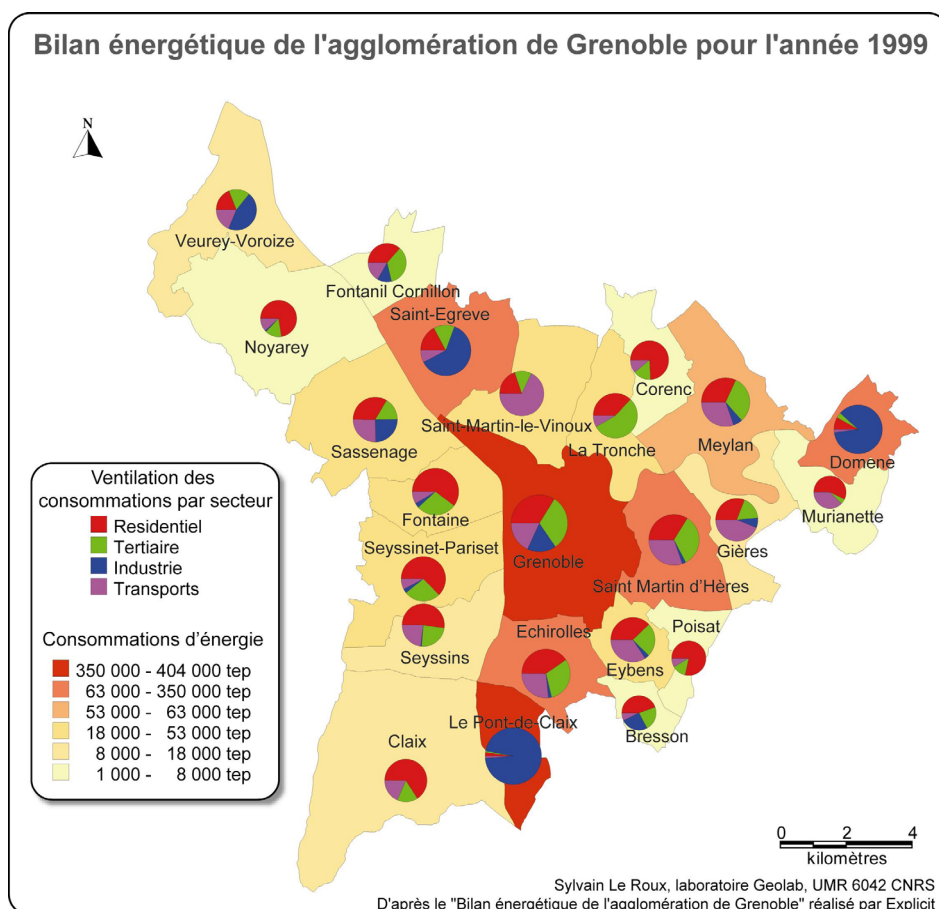


Figure 32 : Le bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble par communes.



### 3.3 Des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie

#### 3.3.1 Les émissions de gaz à effet de serre de la ville de Fribourg (All) majoritairement liées à l'utilisation de l'énergie

L'étude menée par l'Öko-Institut<sup>72</sup> fait état de la situation en 1992. Même si ces données sont anciennes<sup>73</sup>, il est intéressant d'en faire l'analyse. Le « Klimaschutzkonzept » révèle qu'environ deux millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> ont été émises par les activités du territoire de Fribourg, soit 10,7 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par habitant. C'est un taux bien supérieur aux taux constatés dans les villes françaises en raison notamment de la nature de l'énergie primaire utilisée pour produire de l'électricité (ressources fossiles). Les domaines les plus émetteurs étaient l'utilisation de l'énergie dans les secteurs du résidentiel, du tertiaire, des transports et de l'industrie. La gestion des déchets, l'agriculture et la forêt sont des secteurs marginaux. Etant donné l'importance de l'activité tertiaire dans l'économie locale, la ville de Fribourg a la particularité de présenter un taux d'émission important pour ce secteur. A contrario, l'industrie est peu développée sur ce territoire, elle totalise donc une part légèrement plus faible des émissions. Finalement, plus de 50 % des émissions sont liées à l'utilisation d'énergie dans les bâtiments. A noter que 19 % des émissions de GES de Fribourg étaient rejetés par les véhicules individuels motorisés.

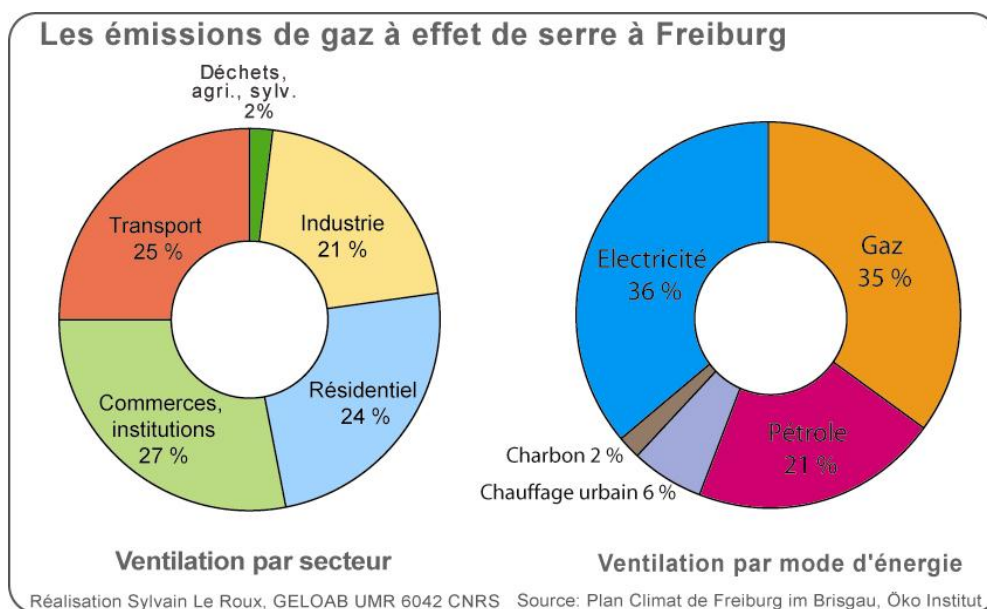


Figure 33 : Les émissions de gaz à effet de serre à Fribourg.

<sup>72</sup> L'Öko Institut est un institut de recherche et d'étude travaillant dans le domaine de l'écologie qui a porté assistance au maître d'ouvrage dans le cadre de l'élaboration du plan climat.

<sup>73</sup> La ville de Fribourg était en train de lancer une nouvelle étude lorsque nous avons réalisé l'enquête de terrain, les données sont normalement disponibles depuis mi-2007.

Bien que la moitié de la demande énergétique soit pourvue par le gaz naturel, 22 % par le pétrole, 8 % grâce aux réseaux de chaleur, 3 % par le charbon et seulement 18 % par l'électricité (voir figure 33), c'est l'électricité le mode d'énergie qui émet la plus grande partie des gaz à effet de serre. Cela s'explique par le fait que la production de l'électricité en Allemagne se fait pour une grande part à partir de l'énergie fossile. De plus, le taux d'émission utilisé pour les estimations est basé sur les besoins en énergie primaire. Etant donné les rendements de production et les pertes sur le réseau électrique, la production d'un kWh électrique d'énergie finale nécessite la combustion de 3 kWh d'énergie primaire. Par conséquent, en Allemagne et en l'occurrence à Fribourg, l'utilisation de l'électricité entraîne d'importants rejets de gaz à effet de serre. Si bien que le gaz qui représentait en 1992 plus de 50 % des consommations d'énergie ne comptait pourtant que 35 % des gaz à effet de serre - ce qui, quoi qu'il en soit, constituait une part importante. Le pétrole représentait quant à lui 21 % des émissions totales.

### **3.3.2 La Rochelle et Limoges, à nouveau le poids des transports et des bâtiments**

La consommation d'énergie sur la commune de Limoges n'est pas sans conséquences puisqu'elle implique le rejet atmosphérique de 275 000 teC<sup>74</sup> ou un million de tCO<sub>2</sub>, ainsi 2,05 teC (ou 7,5 tCO<sub>2</sub>) sont émises par habitant par an en raison de l'utilisation d'énergie. Cette moyenne est légèrement supérieure à la moyenne française des gaz à effet de serre dus au secteur de l'énergie qui est de 1,8 teC/hab/an ou 6,6 tCO<sub>2</sub>/hab/an<sup>75</sup>. Alors que les bâtiments constituaient la majeure partie de la demande, le secteur des transports est cette fois-ci majoritairement responsable car les produits pétroliers affichent les facteurs d'émission de gaz à effet de serre les plus élevés après le charbon. Les bâtiments sont également fortement représentés puisque le secteur de l'habitat émet 85 000 teC et le secteur tertiaire 45 000 teC.

A La Rochelle, la moitié des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie provient du résidentiel et du tertiaire, c'est-à-dire du conditionnement des bâtiments. Près de 40 % sont dus au transport. Les produits pétroliers (47 %) et le gaz (34 %) sont les deux sources d'énergie les plus émettrices de gaz. Nous constatons que le ratio des consommations ramenées au nombre d'habitants est inférieur de près d'1,5 TCO<sub>2</sub>

---

<sup>74</sup> Tonnes équivalent carbone : Les différents gaz à effet de serre (le CO<sub>2</sub>, le méthane, le N<sub>2</sub>O...) n'ont pas le même pouvoir de réchauffement (puissance radiative et durée de vie), il a donc été créé un indicateur permettant de mettre ces gaz sur un pied d'égalité. Equivalent carbone = PRG du gaz\* x 0,2727\*\* (\* pouvoir de réchauffement global \*\* poids du carbone dans le CO<sub>2</sub>). Une tonne de dioxyde de carbone correspond à 3,67 tonnes de carbone

<sup>75</sup> *L'énergie en France, repères, édition 2004*, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Ce taux comprend uniquement les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie.

à la moyenne nationale. Cela peut certainement s'expliquer, entre autres<sup>76</sup>, par le climat océanique plus clément qui engendre moins de consommations d'énergie pour le chauffage.

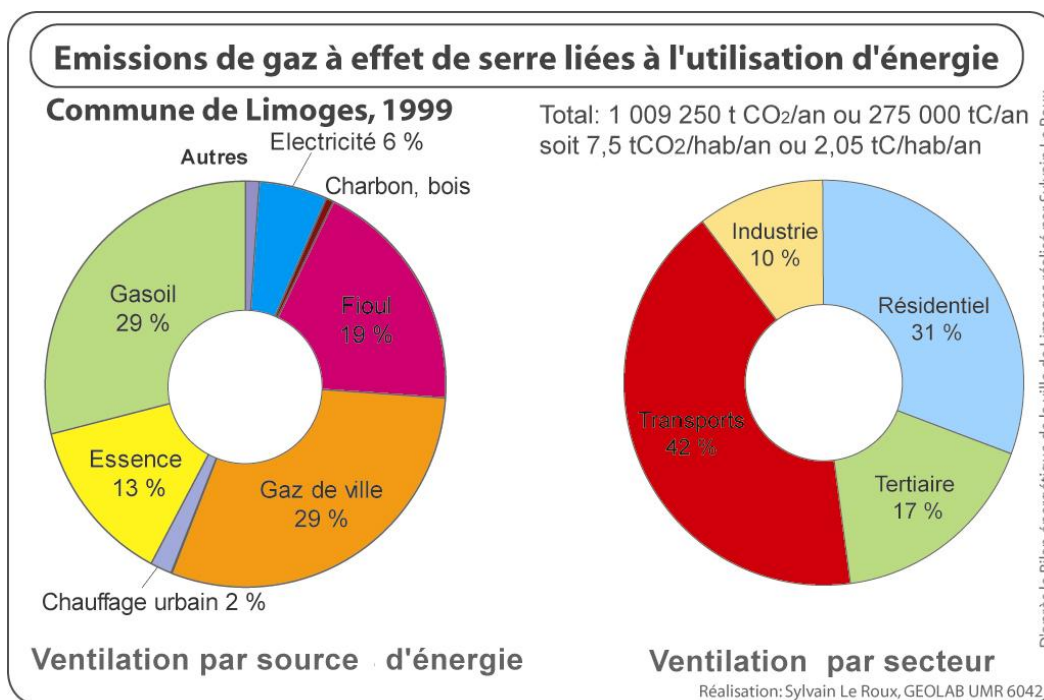


Figure 34 : Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie à Limoges.

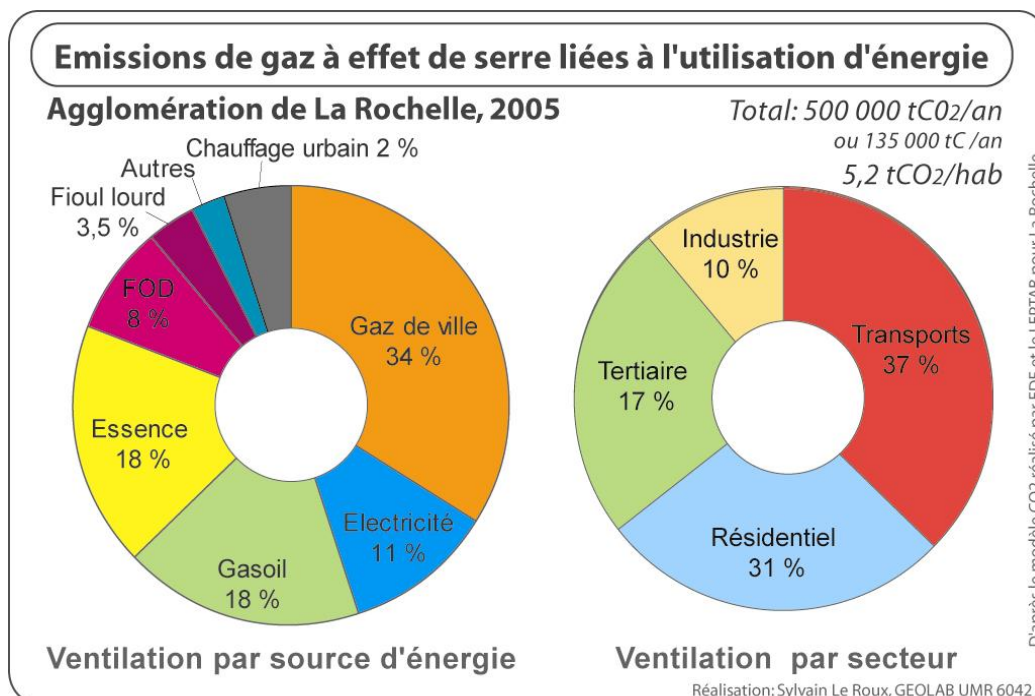


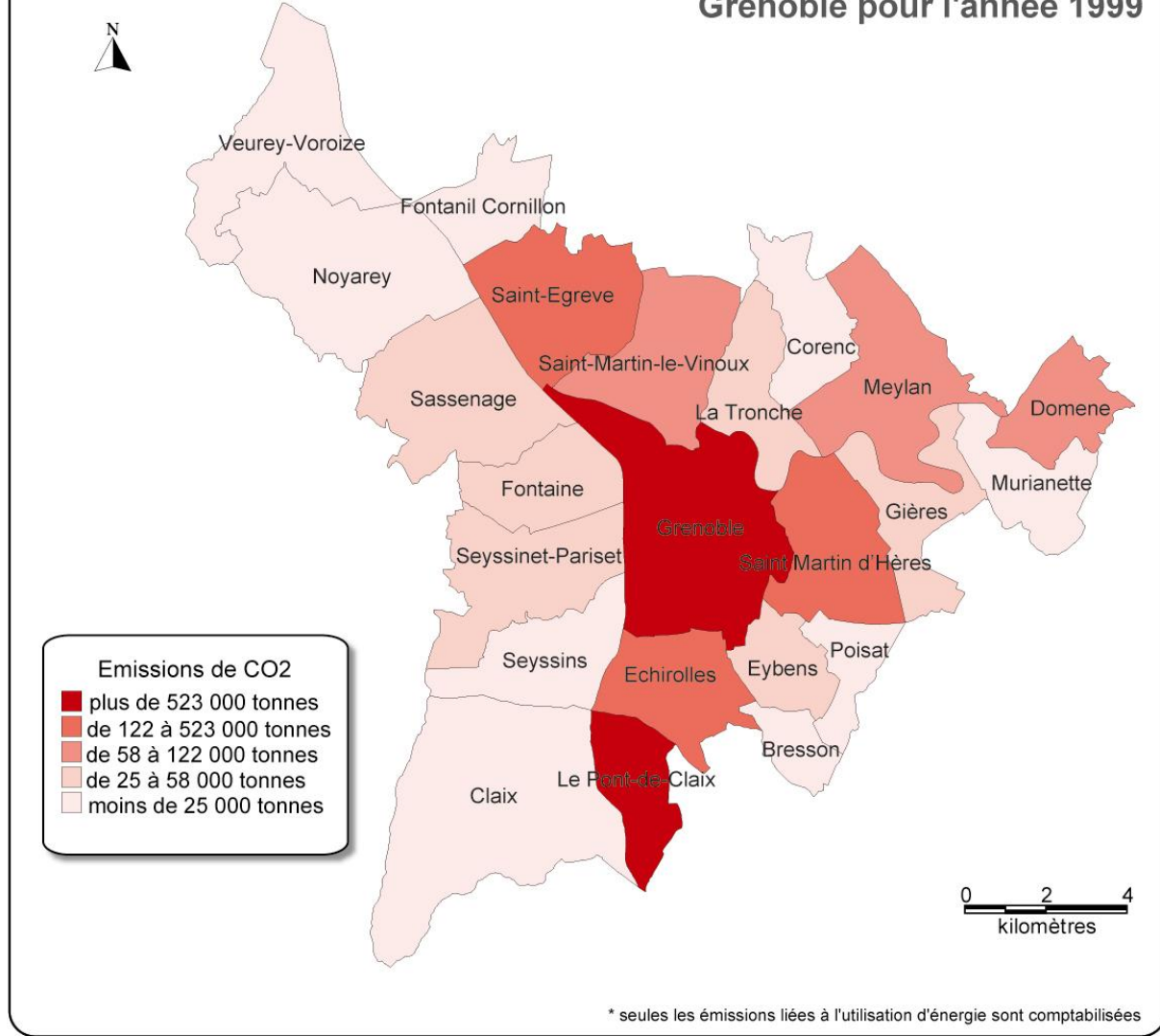
Figure 35 : Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie à La Rochelle.

<sup>76</sup> La méthodologie employée est aussi une variable très importante à prendre en compte.

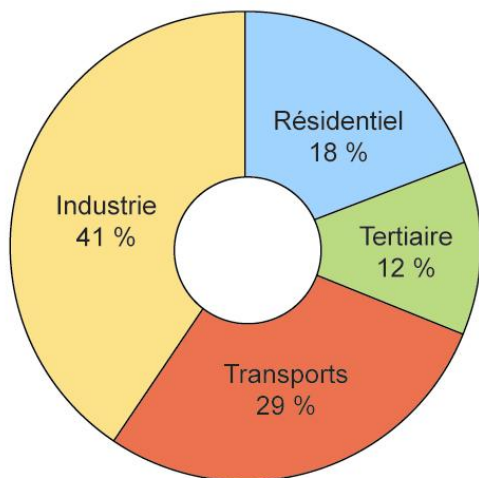
### 3.3.3 L'Industrie, premier facteur des émissions de gaz à effet de serre à Grenoble

A Grenoble, la consommation d'énergie engendre l'émission de 2 537 000 tonnes de CO<sub>2</sub> ou 700 000 tonnes d'équivalent carbone, soit un taux de 6,7 tonnes de CO<sub>2</sub>/hab (ou 1,85 teC/hab) qui est par conséquent en phase avec la moyenne française égale à 6,6 tCO<sub>2</sub>/hab. La carte (figure 36) des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie est proche de celle des consommations d'énergie (figure 32). Les communes les plus émettrices de carbone sont Grenoble et Pont de Claix, les deux communes où les consommations sont les plus importantes. Viennent ensuite les trois communes de Saint-Martin-d'Hères, Echirolles et Saint-Egrève. La distribution géographique des émissions se calque sur les consommations d'énergie. A ceci près que certains modes d'énergie sont plus émetteurs que d'autres. Dans l'ordre : le charbon, les produits pétroliers, le gaz, le GPL et le chauffage urbain. L'utilisation d'électricité n'engendre que peu de dioxyde de carbone et les énergies renouvelables encore moins. C'est pourquoi l'industrie qui est majoritairement dépendante du gaz comptabilise 43 % des rejets de gaz à effet de serre et les transports qui ne consomment que 17 % de l'énergie sont à l'origine de l'émission de 29 % de carbone. Les secteurs résidentiels et tertiaires donnent l'avantage à l'électricité et voient leur part d'émission réduite en comparaison des pourcentages de consommation.

## Bilan des émissions de Gaz à effet de serre\* de l'agglomération de Grenoble pour l'année 1999



### Ventilation par secteur



**Total des émissions :**  
**2 519 000 tonnes équivalent CO2**  
**ou 686 000 tonnes équivalent carbone**

**Soit 6,7 t.CO2 par habitant**  
**1,82 tC/hab/an**

Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB, UMR 6042  
 D'après le "bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble" réalisé par Explicit.

Figure 36 : Les émissions de gaz à effet de serre à Grenoble.

### 3.3.4 La prise en compte des consommations indirectes à Bourges

Si le taux d'émissions de carbone par habitant de la ville de Bourges est nettement supérieur à ceux des autres villes françaises étudiées, et à la moyenne française, c'est essentiellement lié à la méthodologie de quantification. Le bilan carbone de Bourges intègre des données supplémentaires. D'une part, les émissions de gaz à effet de serre n'étant pas uniquement liées à la combustion énergétique sont également compatibles (agriculture, déchets, une partie des procédés industriels). D'autre part, les gaz à effet de serre qui relèvent des consommations d'énergie et des émissions indirectes du territoire sont prises en compte. Par exemple, les émissions liées à la combustion d'énergies nécessaires à la construction des bâtiments (le secteur « urbanisme » comprend 6 % des émissions totales), à l'importation de matériaux ainsi qu'aux trajets effectués par les visiteurs. Ainsi, le territoire de la ville de Bourges est à l'origine de l'émission de plus de 200 000 teC par an, soit 2,75 teC/hab/an ou 10,1 teCO<sub>2</sub>/hab/an.

Les transports sont les premiers émetteurs avec plus de 40 % du total, les bâtiments comptent 22 % des émissions, tandis que les matériaux entrants représentent tout de même 11% des rejets. Les émissions liées à des actions indirectes - c'est à dire : extérieures au territoire - représentent au moins un tiers des émissions totales.

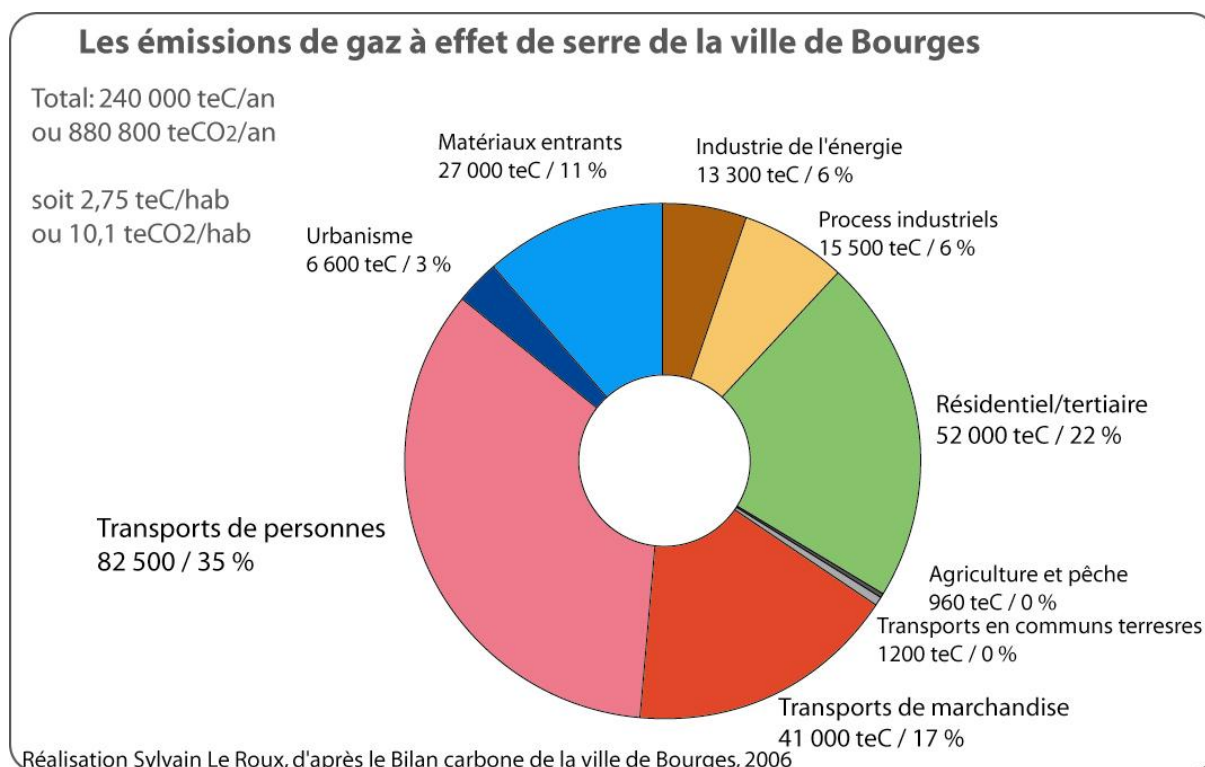


Figure 37 : Les émissions de gaz à effet de serre à Bourges.

## Chapitre 4. Les grandes variables de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre en milieu urbain

De l'analyse de ces exemples concrets se dégagent des tendances. Chaque ville présente des particularités propres. Cependant, malgré des différences liées au climat, à l'activité, au nombre d'habitants, à la topographie, aux politiques locales ou nationales des territoires étudiés, nous constatons des axes de convergence et des principes généraux.

Les espaces urbains sont en général dépendants énergétiquement. Le poids des bâtiments et tout particulièrement le poste du chauffage sont considérables. Les transports dont la demande représente près de 25 % des consommations sont caractérisés par la prépondérance du trafic routier très émetteur de gaz à effet de serre. La morphologie urbaine - la densité et la structure spatiale - a un impact substantiel sur les consommations d'énergie. La variable industrielle est très fluctuante. Les consommations indirectes liées aux produits consommés sur le territoire sont loins d'être négligeables. Et enfin, les émissions de gaz à effet de serre sont dépendantes des combustibles employés.

### 4.1 La dépendance au trio « gaz, électricité et pétrole »

Nous constatons que trois énergies se partagent le marché de la demande énergétique en ville: les produits pétroliers, le gaz et l'électricité. Leurs parts sont variables selon les villes mais sont comprises entre 22 et 36 %. Le chauffage urbain collectif est à chaque fois très minoritaire en France (entre 3 et 8 %) alors qu'il s'est imposé dans une ville allemande comme Fribourg. Le gaz et l'électricité sont utilisés pour l'alimentation des bâtiments (résidentiels, tertiaires) et pour l'activité industrielle (process industriels, chauffage des locaux, éclairage). Ces deux énergies ont supplanté les produits pétroliers (fioul lourd, fioul domestique, GPL) et le charbon dans ces deux domaines. Les produits pétroliers (essence et gasoil) restent l'apanage des transports. Nous constatons une différence notable entre la répartition modale des énergies à l'échelle nationale et celle à l'échelle des villes « moyennes ». En effet, les parts de marché nationales ne donnent pas au gaz une proportion aussi grande<sup>77</sup>. Cette pénétration

---

<sup>77</sup> A l'échelle nationale en 2006, l'électricité primaire représente 43 %, le pétrole : 35 % et le gaz : seulement 15 %.

du marché par le gaz dans les villes s'explique par le fait même que le gaz est une énergie de ville, les réseaux de distribution n'approvisionnent en gaz naturel que les territoires les plus densément peuplés car l'extension du réseau est coûteuse. En ville, c'est le trio : gaz, électricité et pétrole.

Or, le constat qui ressort des états des lieux de la production locale et de l'approvisionnement d'énergie à Limoges, Grenoble, Rennes, Dunkerque et Fribourg est relativement tranché. Les villes « moyennes » françaises et européennes sont dépendantes énergétiquement de ces trois énergies primaires. De manière générale, les lieux d'extraction du pétrole et du gaz sont très distants des lieux de consommation. Et d'après B. Mérenne-Schoumaker, la présence de gisements n'a pas favorisé le développement d'organisations urbaines à proximité. Au contraire, l'utilisation de sources d'énergie relativement aisées à transporter a libéré les activités humaines des contraintes de localisation liées à l'énergie qu'ont pu engendrer le bois, la petite hydraulique ou le charbon en d'autres temps.

## 4.2 Le poids inexorable des bâtiments

Les consommations d'énergie des bâtiments tertiaires et résidentiels représentent un poids considérable des consommations d'énergie en milieu urbain, plus de la moitié à Limoges, La Rochelle et Fribourg et 41 % dans une ville comme Grenoble qui présente une forte activité industrielle. Les consommations de l'habitat ont pour première origine le chauffage. Le gaz de ville qui est majoritairement employé pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est la première source d'énergie du résidentiel à Limoges et La Rochelle. L'électricité qui est utilisée pour les usages spécifiques (éclairage, produits « blancs » et « produits bruns ») et pour le chauffage vient en général en seconde position excepté à Grenoble où elle devance le gaz. Dans le tertiaire, l'électricité remporte les parts de marché à plus de 50 %.

Le bâtiment représente 47 % de la consommation d'énergie en France, les deux tiers sont consommés dans l'habitat et un tiers dans le tertiaire. Malgré une amélioration de la performance moyenne des bâtiments - les logements consommaient 372 kWh/m<sup>2</sup>/an en 1973 et ils ne consomment plus que 245 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2003 - la consommation a progressé de 24 % entre 1973 et 2004. Par conséquent, pour réduire les consommations d'énergie en milieu urbain, l'action doit porter en premier lieu sur l'isolation des bâtiments et sur les usages spécifiques de l'électricité. Nous verrons dans la partie IV que les secteurs résidentiel et tertiaire offrent précisément un potentiel d'économies d'énergie important.



#### **4.2.1 Le poste principal du résidentiel : le chauffage**

A Limoges, en 1999, les consommations d'énergie du secteur résidentiel de Limoges correspondent à une demande d'environ 135 000 tep dont 88 000 tep pour le chauffage (y compris la production d'eau chaude lorsqu'elle est associée au chauffage central), 31 000 tep pour l'électricité spécifique, 9 000 tep pour la production d'eau chaude avec appareil indépendant et enfin 7 000 tep pour la cuisson. Le chauffage est donc l'usage énergétique majeur avec 65 % de la demande du secteur.

La source d'énergie la plus utilisée pour ce poste est de loin le gaz. 55 % des résidences principales limougeaudes sont équipées d'une installation au gaz naturel soit 51 % des consommations d'énergie pour le chauffage. Dans une proportion moindre mais toutefois importante, les logements sont chauffés à l'électricité ou au fioul, l'un et l'autre représentent environ 20 % des installations. En terme de consommation d'énergie, le fioul représente 21 % alors que le chauffage électrique ne représente que 6 % du total. L'électricité affiche une consommation unitaire faible mais cela s'explique notamment par le fait que c'est un mode de chauffage coûteux souvent utilisé avec un appoint (poêle, cheminée). De plus, ce mode de chauffage équipe plutôt les petits logements. En quatrième position, il y a le chauffage urbain collectif, 7 % des logements de Limoges sont raccordés à un réseau de chaleur. Les estimations de gaz en bouteille ou en citerne (GPL: butane, propane), de charbon ou de bois sont d'ordre mineur. Notons néanmoins que les consommations de bois de chauffage, très difficiles à recenser, sont souvent sous-estimées. Le chauffage est véritablement le poste majoritaire mais la part des autres usages n'en est pas pour autant négligeable. A Limoges, l'usage spécifique d'électricité (éclairage, appareils électriques...) vient en second poste avec 23 % des besoins énergétiques.

#### **4.2.2 Les variables de consommation de l'habitat : le mode d'habitat et l'année de construction, l'exemple de Limoges**

Le territoire de Limoges compte 65 000 résidences principales. Sur ces 65 000 logements, 46 500 sont dans des immeubles collectifs soit 70 % et 18 500 en maisons individuelles soit 30 %. Etant donné qu'un logement collectif français consomme en moyenne un tiers de moins d'énergie qu'un logement individuel, ces caractéristiques sont fondamentales. L'année de construction de ces logements est également une variable lourde, les logements construits avant 1975 l'ont été avant les premières réglementations thermiques et sont sensiblement plus énergivores. Or, les trois-quarts du parc français ont

été construits avant 1975. La ville de Limoges ne déroge pas à cette règle : 47 000 logements ont été construits avant la première réglementation thermique et 18 000 après.

Le graphique suivant (figure 38), présentant les consommations unitaires du chauffage dans le résidentiel français, démontre que les immeubles collectifs construits après 1975 sont bien moins consommateurs que les maisons individuelles et a fortiori que les maisons datant d'avant la première réglementation.

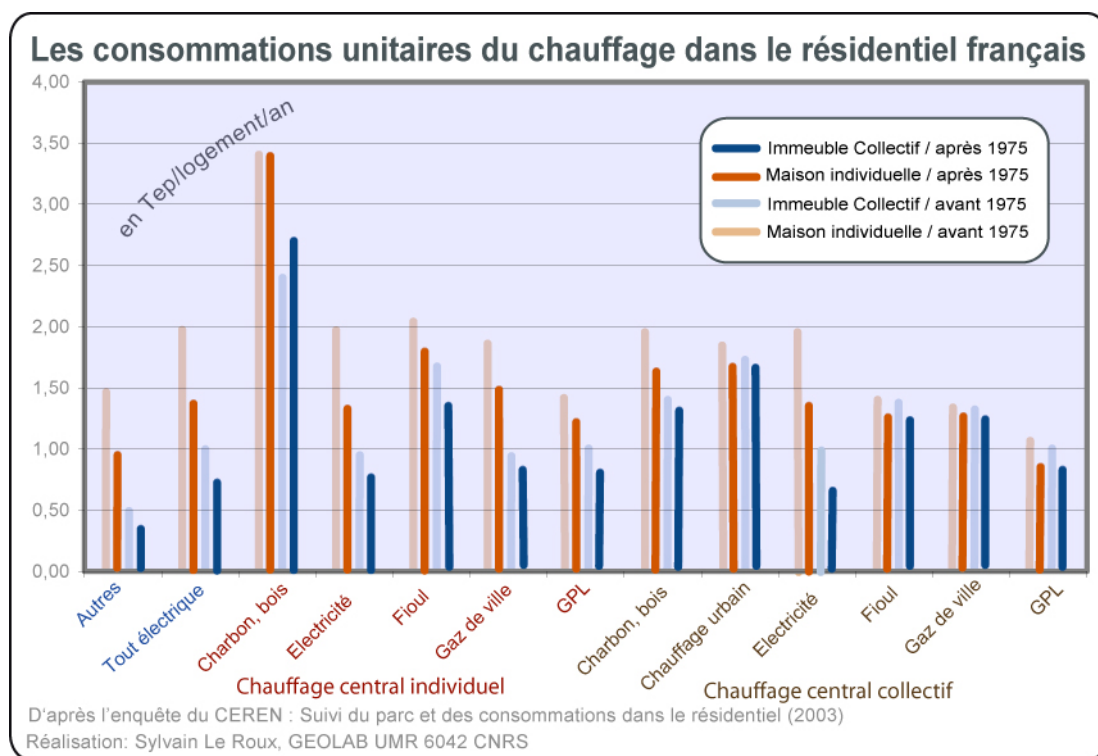


Figure 38 : Les consommations unitaires du chauffage dans le résidentiel français.

#### 4.2.3 Le tertiaire et l'électricité

Dans le tertiaire comme dans l'habitat, les deux modes d'énergie principaux sont le gaz et l'électricité, à la différence que l'électricité prend le pas sur le gaz. Elle représente 60 % des consommations à Grenoble, 63 % à Limoges, 52 % à La Rochelle. Le gaz présente des taux respectifs de 19 %, 20 % et 35 %.

Dans les trois villes, la demande la plus forte est pour les bureaux et les commerces. Ils totalisent respectivement 40 % et 26 % à Grenoble, 40 % et 24 % à Limoges, 23 et 40 % à La Rochelle. Les secteurs de la Santé et l'Enseignement nécessitent également des ressources non négligeables.

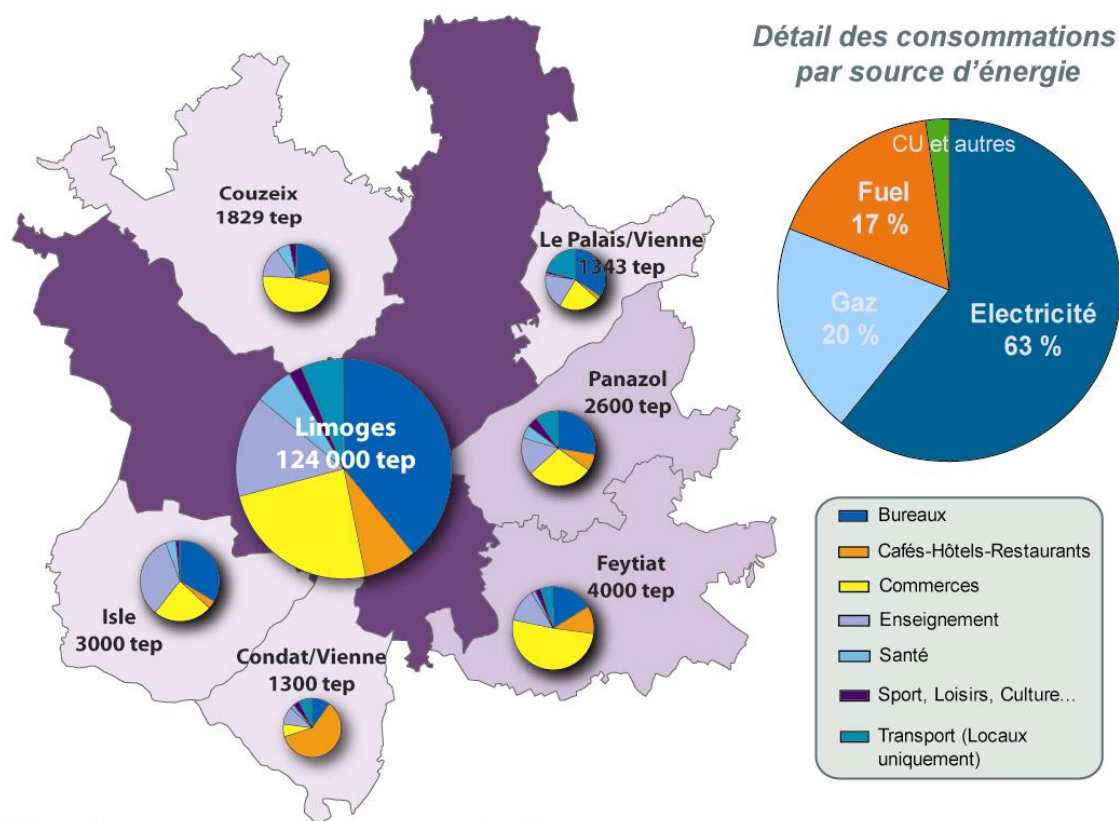
#### 4.2.3.1 L'exemple de Limoges

L'unité urbaine de Limoges compte 67 000 emplois dans le secteur tertiaire (source Insee) dont 29 000 dans les bureaux, 11 000 dans les commerces, 11 000 dans l'enseignement, 10 000 dans la santé, 2 600 dans les transports, 2 500 dans les cafés-hôtels-restaurants, et 1 500 dans les sports-loisirs-culture. 61 000 de ces emplois se situent sur la commune de Limoges, cela correspond à 91 % du secteur tertiaire de l'unité urbaine. Cette prépondérance de la ville centre se ressent bien évidemment au niveau des consommations d'énergie. Le secteur tertiaire de l'unité urbaine de Limoges a des besoins énergétiques d'environ 138 000 Tep/an. Sur ces 138 000 tep/an, pas moins de 124 000 tep/an sont absorbées par la commune de Limoges. Les communes périphériques de la première couronne ne représenteraient que 10 % de la demande totale.

Trois sous-secteurs d'activité tertiaire constituent la majeure partie de la demande. Les bureaux (51 500 tep), les commerces (35 000 tep) et l'enseignement (21 500 tep) représentent 80 % de la consommation énergétique du secteur. En ce qui concerne la seule commune de Limoges, la demande se répartit ainsi : Les bureaux en absorbent 40 % , les commerces 24 %, l'enseignement 15 %, les cafés-hôtels-restaurants 8 %, les locaux des transports et la santé 6 %. Et enfin, les sports-loisirs-culture représentent 2 %. Sur les communes périphériques, les ventilations sont de structures diverses. Les commerces constituent la part majoritaire sur les communes périphériques de Panazol, Feytiat, Isle, Couzeix alors que pour Condat/Vienne, ce sont plutôt les cafés-hôtels-restaurant. Au Palais/Vienne, les transports et les bureaux et les commerces sont à parts égales.

Dans les sept communes étudiées, l'énergie utilisée de manière prépondérante est l'électricité. Elle atteint les taux de 61 % pour le secteur tertiaire de Limoges et de 63 % pour l'ensemble de l'unité urbaine. Le gaz et le fuel sont employés dans des proportions minoritaires, respectivement 20 % et 17 %.

## Ventilation des consommations d'énergie du secteur tertiaire de Limoges



La taille des cercles n'est pas exactement proportionnelle aux consommations d'énergie  
 Réalisé par Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS, dans le cadre du bilan énergétique de la ville de Limoges

Figure 39 : Ventilation des consommations d'énergie du secteur tertiaire de Limoges.

## 4.3 Le trafic routier, près du quart des consommations

La mobilité est à l'origine de près du quart des consommations dans les villes moyennes. C'est le cas à Limoges et à La Rochelle. La part est plus réduite à Grenoble en raison de la part de l'activité industrielle et en raison des modes de transports utilisés. En effet, les consommations unitaires des différents véhicules de transport sont très variables.

### 4.3.1 La prépondérance du trafic routier

A Limoges comme à Grenoble, les consommations liées aux transports se partagent entre les véhicules particuliers et les véhicules de transport de marchandise. A La Rochelle, la première cause des consommations est le déplacement des habitants en voiture (près de 60 %). Le déplacement des personnes non résidentes pour des motifs professionnels ou personnels est la seconde cause (24 %) dans le secteur des transports. Les transports de marchandise ne représentent que 12 % des consommations. Cependant, dans les trois villes comme à l'échelle nationale, l'immense majorité des consommations d'énergie des transports est liée au trafic routier. La figure 40 présentant les résultats des *Enquêtes Ménages-Déplacements* dans 40 villes confirme largement cette tendance.

Le trafic routier dépasse 43 % des parts de marché à Paris et atteint jusqu'à 80 % dans l'Espace urbain de la Côte Basque. Nous noterons qu'en général, plus une ville est grande, plus son trafic en véhicules routiers individuelles par habitant se réduit... Cela s'explique par le fait qu'une grande ville est généralement plus dense et qu'elle met à disposition des transports en commun de meilleure qualité. Nous noterons, d'ailleurs la très faible part des transports en commun dans les déplacements, précisément dans les villes de taille moyenne. Alors qu'ils atteignent 20 % à Paris, ils représentent moins de 5 % des déplacements des ménages à Pau par exemple.

## Enquête Ménages-déplacements, résultats des études réalisées de 1996 à 2006

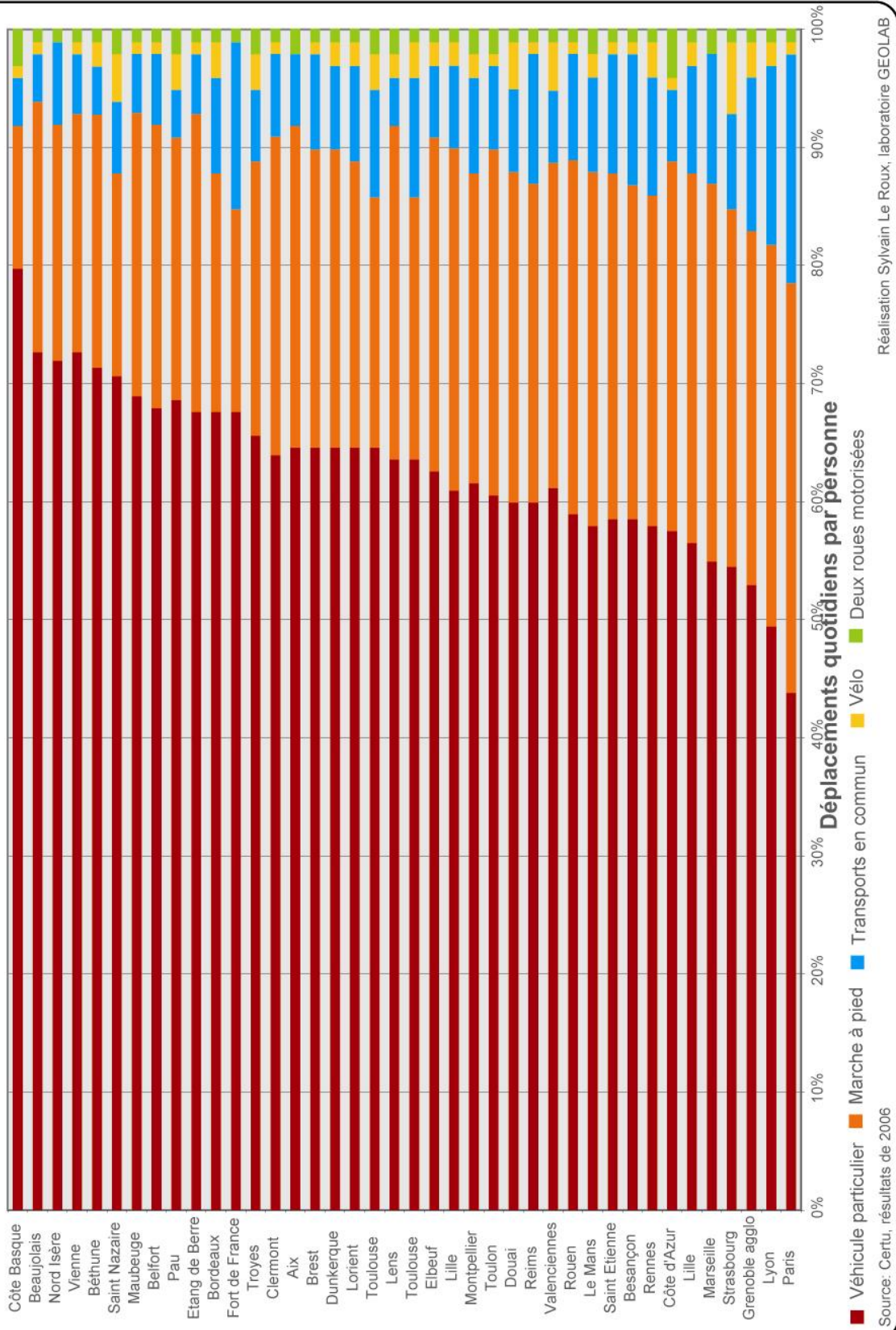


Figure 40 : Résultats de l'enquête ménages-déplacements dans 40 villes françaises.

### 4.3.2 Des consommations dépendantes des modes de transport

Les véhicules automobiles remplissent la majorité des déplacements. Or les modes de transports les plus consommateurs, les moins efficaces et par conséquent les plus émetteurs sont les véhicules motorisés individuels. Comme l'indiquait le MINEFI (Ministère des Finances et de l'Industrie), leur ratio voyageur-km/kep est deux à trois fois plus faible que celui des transports en commun (voir figure 41). Il l'est d'autant plus si la voiture ne transporte qu'une personne.

Le constat offert par la comparaison des modes de transport parisiens (RATP, 2007) est encore plus catégorique. Les équipements les plus efficaces sont ceux qui utilisent le rail : le tramway, le métro ou le train urbain. La ligne 2 du tramway de Paris consomme six à huit fois moins d'énergie qu'un bus et 13 fois moins qu'une automobile (voir 2.5.5.1, Partie III).

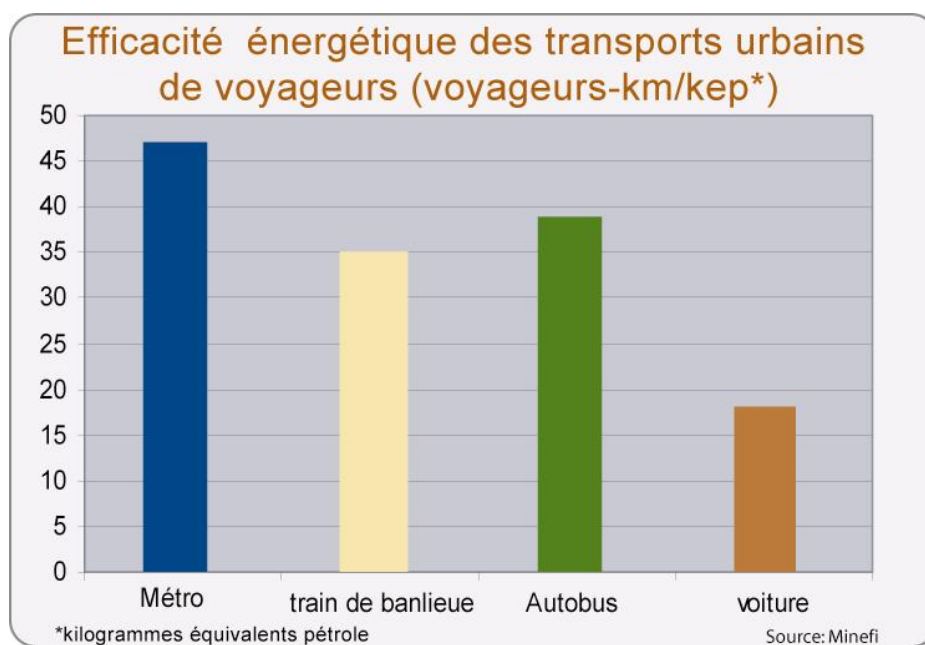


Figure 41 : Etude comparée de l'efficacité énergétique des modes de transports urbains.

### 4.3.3 Formes urbaines et mobilité, l'exemple de Clermont-Ferrand

Nous constatons donc que la répartition modale des transports a un impact fort sur les consommations d'énergie de la ville. Or, la façon de se déplacer dans une ville dépend de plusieurs paramètres interdépendants. La topographie et le climat qui sont des facteurs extérieurs ont leur importance. La culture et les modes de vie entrent évidemment en compte. Mais, l'aménagement urbain et la politique des transports en commun locaux sont des paramètres fondamentaux. La répartition modale dépend de la densité, de l'occupation du sol ou de l'efficacité des transports publics par exemple.

L'automobile occupe à Clermont-Ferrand aussi une place majeure dans la répartition des modes de transport de l'agglomération. L'Enquête Ménages Déplacements effectuée en 2003 sur un périmètre de 58 communes affiche un taux de déplacement en automobile relativement important au regard du panel de villes ayant réalisé une Enquête Ménages Déplacements. De plus, le taux de mobilité est en hausse, il a pris près de 0,4 point en 10 ans. En conséquence, le nombre de déplacements en transports en commun et en vélos ont baissé. Les gains sont donc majoritairement pour la voiture, mais aussi pour la marche à pied.

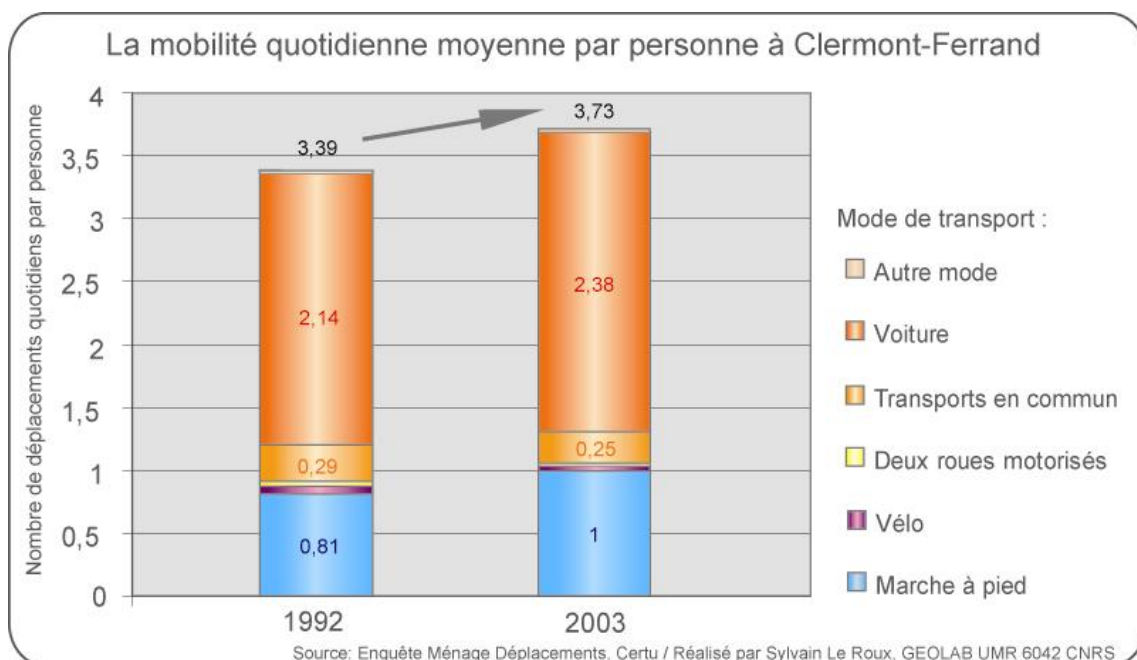


Figure 42 : La mobilité quotidienne à Clermont-Ferrand.

Durant notre enquête à Clermont-Ferrand, les aménageurs Clermontois nous ont fait observer une disparité géographique dans la répartition des modes de transport. L'espace urbain semble être découpé en plusieurs sous-ensembles de mobilité cohérente.

« L'idée, c'est qu'il y a des offres de transport par territoires pertinents. En hyper centre, c'est le vélo, la marche à pied et le tram. Si on s'écarte un peu, c'est le bus avec un peu plus de voiture. Si vous vous écartez encore, la voiture a le monopole des déplacements, avec éventuellement des transports à la demande et des lignes de transport interurbaines (TER). A chaque territoire correspond une offre de transport alternative à l'offre du 20<sup>ème</sup> siècle qu'est la voiture. Ce type de territoire se définit par deux critères qui sont sa densité et son rapport à la centralité. Plus le territoire est dense et proche du centre, plus l'offre de transport public va être lourde et va gagner des parts de marché par rapport au reste. » Yvan Astier, Ingénieur au SMTC (Syndicat Mixte des Transports en Commun)



Et c'est une réalité, les territoires périphériques présentent des taux de motorisation et des parts de marché de l'automobile supérieurs aux espaces centraux. D'une manière générale, le taux de motorisation a tendance à augmenter au fur et à mesure que l'on s'éloigne de Clermont-Ferrand. A titre d'exemple, il est supérieur à 1,8 véhicule par ménage à Orcines, en périphérie, alors qu'il est inférieur à 1,2 dans la commune centre. De la même façon, le nombre moyen de déplacements par jour et par personne augmente à mesure que l'on s'éloigne de Clermont, il est supérieur à 2,75 à Volvic, Riom ou Romagnat alors qu'il est inférieur à 2 à Clermont.

## **4.4 Les interrelations entre la morphologie urbaine et les consommations d'énergie**

### **4.4.1 Des processus de développement urbain fondés sur l'essor de la mobilité individuelle**

Le phénomène spatial qui caractérise les villes des pays développés depuis les années 70 est l'étalement urbain. La banalisation du mode de transport automobile a totalement modifié le visage des villes en quelques décennies.

#### **4.4.1.1 L'étalement urbain**

Bien qu'elle fut plus marquée ces dernières décennies, l'extension urbaine ne date pas de ce siècle, les cités antiques ou du Moyen-Age possédaient leurs faubourgs près des portes ou des entrées de ville. En France, l'exode rural débute réellement avec la révolution industrielle. A cette époque, les espaces urbains voient leur nombre d'habitants se multiplier. Les villes et leurs faubourgs ne pouvant pas contenir cette expansion, on voit se développer les banlieues industrielles (habitat collectif et sites industriels) en continuité des zones déjà urbanisées et le long des réseaux de transport (voies ferrées et voies d'eau). C'est dans ce contexte que naissent les premiers transports en commun. Les agglomérations devenues trop grandes pour les seuls déplacements à pied, les omnibus<sup>78</sup> et les tramways tirés par des chevaux permettent aux populations de se rendre sur leurs lieux de travail ; le train intra urbain arrivera plus tard (P. Merlin, 1995).

Durant l'entre deux-guerres, un phénomène nouveau apparaît, la population ouvrière, aidée en 1928 par l'intervention de l'Etat, accède à la propriété privée : la loi

---

<sup>78</sup> Les premiers omnibus de Paris apparaissent en 1828 (Pierre Merlin, *Les Banlieues des villes Françaises*, La documentation Française )

Loucheur permet des emprunts bancaires aux intérêts très bas. Une multitude de petits pavillons se construisent étirant encore la zone urbaine.

Après la seconde guerre mondiale et dans les années 60, vient l'ère des grands ensembles. Tout d'abord prônés par Le Corbusier, ils sont ensuite codifiés par un décret de 1958 sous le nom de ZUP. Parallèlement, l'activité industrielle et les centres commerciaux qui commencent à voir le jour à cette époque migrent vers la périphérie pour des besoins en surface.

Enfin, à partir des années 70, la banalisation de l'automobile et l'aspiration à un habitat plus spacieux - une réponse directe à la politique des grands ensembles - dirige les populations en périphérie où le foncier est plus abordable. Cela se traduit généralement par la création de lotissements pavillonnaires. Jusque dans les années 80, l'ensemble de ces extensions radioconcentriques reste dans la continuité du bâti existant, on parle de péri-urbanisation.

Mais, ce phénomène tend à s'accroître avec le développement des infrastructures routières et les progrès de l'automobile qui permettent d'allonger les distances tout en réduisant les temps de parcours. L'influence de la ville s'étend vers la campagne où habitent de plus en plus de personnes travaillant dans l'agglomération. Les campagnes périurbaines françaises se densifient peu à peu, le taux est passé de 43 hab/km<sup>2</sup> en 1975 à 53 hab/km<sup>2</sup> en 1990. Ce penchant pour l'espace rural conduit, entre autres, à un habitat individuel épars et mité. Il n'y a plus nécessairement de continuité du bâti entre la ville proprement dite et ces zones de périphérie lointaine, de telle manière qu'on parle de « rurbanisation ».

L'extension toujours croissante des villes entraîne de multiples contraintes. L'étalement s'est fait au détriment de la ville centre qui a vu sa population la plus aisée migrer vers la périphérie ; cette dynamique a entraîné une dévitalisation des centres-villes caractérisée par la fermeture de certains commerces et services de proximité rendus plus fragiles encore par la concurrence des centres commerciaux périphériques.

Les transports et, précisément, la diffusion généralisée de l'automobile ont facilité l'étalement de la ville. Par voie de conséquence, les périurbains sont désormais dépendants de ce mode de transport. L'extension urbaine a multiplié de façon exponentielle les déplacements et les consommations énergétiques qui en découlent. De 1975 à 1990, les déplacements domicile-travail ont doublé, passant de 7,4 km à 14 km<sup>79</sup>.

---

<sup>79</sup> Source : Recensement de la population française de 1999, INSEE.

Parallèlement, la consommation française de produits pétroliers<sup>80</sup> pour le secteur des transports est passée de 31 millions de Tep en 1970, soit 15 % de la consommation d'énergie totale, à 51,1 millions de tep en 2000 soit 20 % de la consommation d'énergie. Bien sûr, cette hausse n'est pas imputable uniquement aux déplacements intra-urbains, mais la diffusion de l'automobile en ville y a joué pour beaucoup. Prenons l'exemple d'un cas concret, celui de Clermont-Ferrand.

#### **4.4.1.2 Clermont-Ferrand, une commune dense au centre d'une agglomération étalée**

D'après l'observatoire des déplacements<sup>81</sup>, la population du bassin de vie (154 communes) de Clermont-Ferrand a quasiment doublé en 50 ans. Elle a augmenté de 248 000 habitants en 1952 à 412 000 habitants en 1997. Or, cet accroissement ne s'est pas effectué de façon équilibrée sur l'ensemble du territoire. Dans les figures 43 et 44, nous distinguons le pôle centre de Clermont-Ferrand, six pôles secondaires (Riom, Gerzat, Cournon, Aubière, Chamalières...) et sept couronnes périurbaines. Nous constatons que la population de la commune centre a augmenté de manière significative jusqu'à la fin des années 80, date après laquelle elle a perdu 20 000 habitants en 15 ans. Les communes périphériques ont entamé leur progression plus tardivement. Nous constatons une accentuation de l'augmentation dans les pôles secondaires entre 1954 et 1982, qui s'est freinée durant les vingt dernières années. L'accentuation de la croissance démographique des couronnes périurbaines est encore plus tardive, à partir des années 70. Alors qu'ils représentaient seulement 20 % des habitants du bassin de vie en 1946, les habitants des couronnes périurbaines représentaient 32 % de la population en 1999. A l'inverse, la part des habitants de la commune centre a dégringolé de 45 à 33 %.

Bref, le constat est le même que dans la très grande majorité des villes françaises ou européennes, l'agglomération clermontoise s'est étendue, non seulement parce que le nombre d'habitants s'est accru mais surtout parce que la répartition spatiale de la population a changé au profit des communes périphériques. L'urbanisation s'est étalée autour du noyau centre et des pôles secondaires.

Les aménageurs rencontrés durant l'enquête à Clermont-Ferrand distinguent plusieurs causes à l'origine de cette dilution urbaine :

- l'accroissement démographique de l'agglomération,

---

<sup>80</sup> *L'énergie en France*, édition 2001, Minéfi, Paris.

<sup>81</sup> *Les migrations locales du bassin du « Grand-Clermont »*, Observatoire des déplacements (juin 2005).

- l'aspiration des populations à accéder à la propriété individuelle,
- l'augmentation du prix du foncier dans les pôles,
- la disponibilité de l'espace urbanisable en périphérie,
- l'essor de la mobilité individuelle et le développement des infrastructures routières<sup>82</sup>.

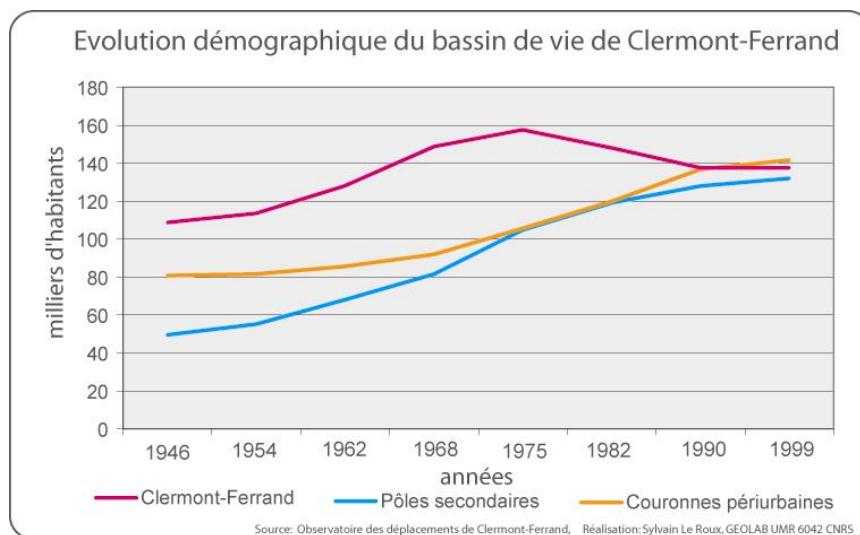


Figure 43 : L'évolution démographique du bassin de vie de Clermont-Ferrand.

En effet, Clermont-Ferrand s'est imposée comme le réceptacle des flux migratoires liés à l'exode rural, cela explique la progression de sa population et son attractivité<sup>83</sup>. La commune centre étant une commune relativement densément peuplée, elle a subi durant ces dernières décennies un phénomène de gentrification. Le foncier des pôles centraux a augmenté de telle façon que les habitants aux revenus les moins élevés se sont expatriés vers les communes périurbaines et « rurbaines » pour acquérir une habitation individuelle. Cette migration inverse des urbains vers la périphérie a été rendue possible d'une part par le fait que la ville de Clermont se situe au sein d'un territoire peu densément peuplé, qui offre de l'espace et un important potentiel foncier à bâtir et, d'autre part, grâce à la diffusion généralisée de la mobilité individuelle à l'ensemble de la population depuis les années 60-70. Etant donnée la contrainte montagneuse à l'ouest et la contrainte agricole à l'est, l'extension urbaine s'est portée plus particulièrement vers le sud et vers le nord. Ce phénomène d'extension influe bien sûr sur les consommations d'énergie.

<sup>82</sup> Nous sommes là face à un phénomène plutôt sociétal lié au fonctionnement socio économique dans lequel est inséré la ville. Il est basé sur l'individualisation, la spécialisation, la flexibilité spatiale et temporel, des valeurs et des modes de vie qui impliquent une demande de mobilité à laquelle le véhicule individuel motorisé répond le mieux, ce qui explique l'explosion de ce mode de déplacement.

<sup>83</sup> De plus, Clermont-Ferrand est le siège de l'entreprise Michelin, une multinationale industrielle qui a fournit de très nombreux emplois aux population environnantes et a, par conséquent, accéléré ce phénomène centripète.

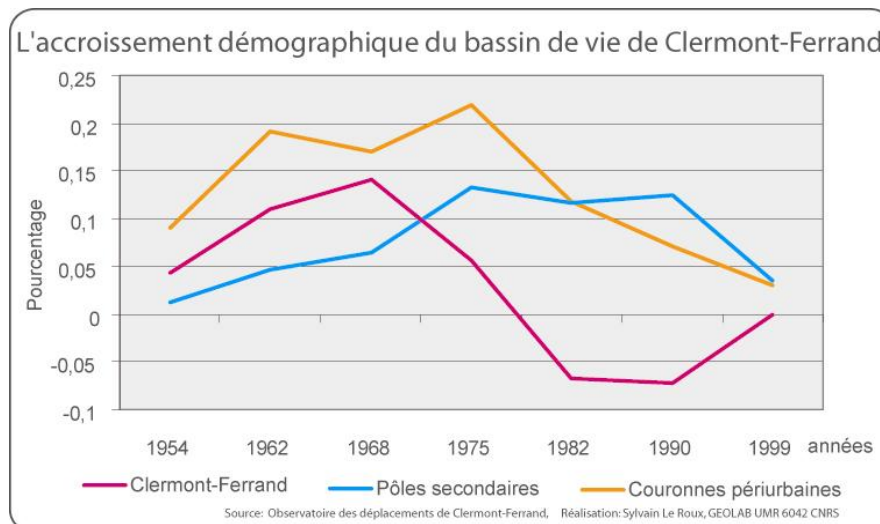


Figure 44 : L'accroissement démographique du bassin de vie de Clermont-Ferrand.

#### 4.4.1.3 Le zonage de l'espace urbain

Un autre aspect de la morphologie urbaine a évolué ces cinquante dernières années : c'est la structure spatiale et la localisation des fonctions ou aménités (habitat, emploi, loisir, commerce, service...). De la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, jusqu'à la charte d'Athènes de 1933, la notion de zonage fonctionnel de l'espace s'est mise en place. L'urbanisme fonctionnaliste emmené par l'architecte Tony Garnier (1869-1948) puis par les CIAM (congrès internationaux d'architecture moderne) réunissant dans les années 30 les urbanistes et les architectes les plus notables des pays industriels (dont Le Corbusier) prônaient, entre autres, une certaine ségrégation de l'espace à travers la ville fonctionnelle, la séparation des fonctions et le zonage. La charte d'Athènes qui fut l'aboutissement de ce mouvement d'architecture moderne, distingue quatre fonctions majeures : habiter, travailler, circuler et se cultiver le corps et l'esprit.

Basé sur le développement de la mobilité individuelle, le concept visait à partager l'espace urbain et donner à chaque zone une seule et unique fonction (habitat, emploi, loisir...) dans un souci d'efficacité. L'idée consistait également à réhabiliter les centres anciens voire à les détruire pour les reconstruire, une manière de rejeter la ville traditionnelle, d'introduire plus d'espaces verts en centre ville, et d'attribuer plus de place aux axes de circulation.

En France, au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les grands travaux de reconstruction des villes et la pénurie de logement entraînèrent une application massive des principes de la charte d'Athènes. En premier lieu, ces derniers inspirèrent les opérations de rénovation urbaine des années 50-60, les bâtiments anciens ont été démolis et remplacés par des constructions aux normes nouvelles ; ces aménagements encore

d'actualité privilégiaient la mobilité. L'urbanisme fonctionnel inspira ensuite des aménagements périphériques urbains spécifiques à l'hexagone : « les grands ensembles » . Le Corbusier, un des représentants du *mouvement moderne*, recommandait l'habitat collectif soulignant qu'il permettait une occupation du sol restreinte et qu'il offrait des espaces libres pour la verdure et la vie sociale. Seulement les formes résultantes de cette logique, des barres et des tours d'habitation, seront reprises stricto sensu à très grande échelle par les urbanistes et architectes de l'époque. Cette politique des grands ensembles a participé à la séparation spatiale de l'habitat et de l'emploi. Le zonage des fonctions sera renforcé par la pratique des documents d'urbanisme et l'urbanisme opérationnel (ZUP).

Parallèlement, le foncier a joué un rôle important dans l'organisation de l'espace urbain. L'activité industrielle et commerciale à grande échelle, de plus en plus consommatrice d'espace, a migré en périphérie de la ville où le m<sup>2</sup> de terrain était plus abordable, accroissant encore la division entre les différentes fonctions urbaines. De la même façon, certains secteurs extérieurs de la ville où le prix du terrain était moins cher ont vu arriver des populations désirant accéder à la propriété. La dédensification et la sectorisation des fonctions sont deux phénomènes conjoints.

Cette sectorisation parfois non maîtrisée a peu à peu été exposée à la critique. Dès les années 1960, les grands ensembles furent critiqués pour leur manque d'humanisme, qualifiés de « Cités-Dortoirs ». Les aménageurs ont peu à peu remis en cause les diktats de la charte d'Athènes qui sont aujourd'hui accusés d'avoir développé plus encore le trafic routier.

#### **4.4.2 L'impact des densités sur les consommations d'énergie**

##### **4.4.2.1 Des travaux précurseurs**

Les travaux précurseurs majeurs portant sur la morphologie urbaine et les consommations d'énergie ont été menés par des australiens P. Newman et J. Kenworthy<sup>84</sup>. Ces deux chercheurs australiens ont montré à travers l'étude de 31 métropoles mondiales que l'usage de l'automobile dans les agglomérations était d'autant plus important que les densités urbaines étaient faibles. Ils ont également mis en évidence la corrélation entre densité et consommation d'énergie dans le secteur des transports (voir graphique 45). Ainsi, des villes densément peuplées telles que Hong-Kong, Tokyo, Singapour, Vienne,

---

<sup>84</sup> Peter Newman et Jeffrey Kenworthy, *Cities and automobile dependence : an international sourcebook*. Aldershot : Gower, 1989, 388 p.

Berlin ou même Paris sont 6 à 7 fois moins consommatrices en essence que des villes américaines très étalées comme Houston, Détroit, Phœnix ou Denver. D'après leurs résultats, la préservation des ressources énergétiques et la limitation des impacts environnementaux qui en découlent passerait par des formes urbaines plus compactes et denses. Les deux chercheurs préconisent en matière de politique des transports de développer les transports publics, de limiter les entrées de ville aux automobilistes (stationnement payant, péages urbains), de diminuer les crédits favorisant les infrastructures routières et, en matière d'urbanisme, de favoriser la densité de l'habitat et revitaliser les centres des villes.

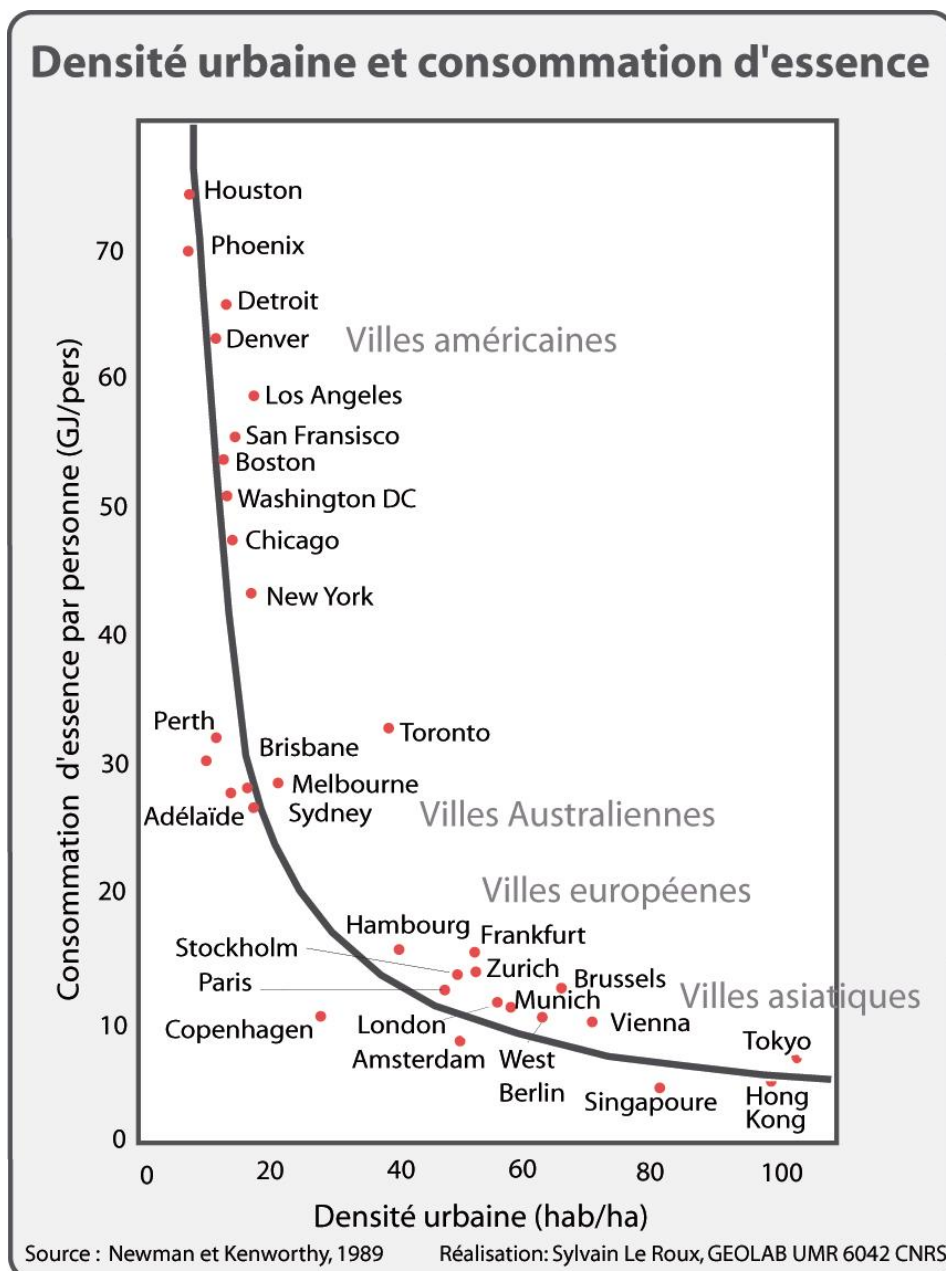


Figure 45 : Densité urbaine et consommation d'essence d'après Newman et Kenworthy.

De son côté, Susan Owens, aussi précurseur en la matière a démontré que certaines formes et structures urbaines permettaient de limiter les consommations énergétiques<sup>85</sup>. Elle analyse, elle aussi, les notions de densité mais elle intègre à sa problématique les paramètres d'occupation du sol (habitat, emploi, commerce...). Elle se situe dans la lignée de Newman et Kenworthy en constatant que, suivant la morphologie de la ville (densité et répartition des fonctions), le potentiel de variation des consommations peut s'élever à 150 % ; mais l'étude va au-delà de la prise en compte unique du secteur des transports, elle permet de démontrer qu'une densification de qualité peut engendrer la diminution des besoins énergétiques dans les secteurs tertiaires et résidentiels (Co-génération facilitée et gain d'énergie solaire), argument innovant.

Formes urbaines et potentiel de réduction des consommations d'énergie		
Utilisation du sol (du macro au micro)	Mécanismes en jeu	Effets sur la demande d'énergie
- Combinaison de facteurs (forme, taille, disposition)	- Besoin de déplacement (longueur et fréquence)	- Jusqu'à 150 % de variation
- Répartition des activités	- Besoin de déplacement (longueur)	- Jusqu'à 130 % de variation
- Forme de l'aire urbaine	- Besoin de déplacement	- Jusqu'à 20 % de variation
- Densité ou rassemblement des destinations	- Transports collectifs économiques	- Economies d'énergie, jusqu'à 20 %
- Densité ou mixité du sol et architecture	- Co-génération facilitée	- Efficacité de l'énergie primaire accrue de près de 100 %
- Disposition, orientation, plan des bâtiments	- Gains d'énergie solaire	- Environ 12 % d'économie d'énergie
- Contexte du site, paysage, matériaux	- Optimisation du micro-climat	- Près de 5 % d'économie d'énergie

Figure 46 : Formes urbaines et potentiel de réduction des consommations d'énergie selon S. Owens.

Après finalisation de la recherche, elle recommande de « mélanger les affectations du sol (...) ; densifier les sites adaptés (par exemple, le long des lignes de transport en commun) tout en apportant un soin particulier à leur conception ; éviter de créer des cités dortoirs (...) notamment lorsqu'elles sont déconnectées des transports collectifs ; développer l'emploi et les services dans des sites non dépendants de l'automobile... »

A l'échelle française, Une étude de l'INRETS et de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) a démontré à travers l'exemple de

<sup>85</sup> Owens Susan, *Energy efficiency and sustainable land use patterns in town and country planning*, vol 60 n°2, février 1991.



l'agglomération lilloise<sup>86</sup> le lien entre la densité de la population et la consommation d'énergie. Elle prouve que la morphologie étalée des villes implique des différences de consommation d'énergie au sein même des agglomérations. Les zones et les quartiers de faible densité qui sont, en général, les espaces périurbains et rurbains, nécessitent une plus grande intensité des déplacements, des consommations d'énergie et des émissions qui en résultent.

---

**Lien entre la consommation d'énergie liée aux déplacements et la densité d'habitants à Lille**

---

	Entre 40 et 180 habitants/km <sup>2</sup>	Entre 5 100 et 9 300 hab/km <sup>2</sup>
Consommation énergétique moyenne/jour/personne (en gramme équivalent pétrole)	1 240 gep	697 gep
Emission journalière de CO <sub>2</sub> /personne	522 g	325 g

---

Figure 47 : Lien entre la consommation d'énergie liée aux déplacements et la densité à Lille.

#### **4.4.2.2 Une approche sur les interrelations entre la densité et les consommations d'énergie dans les villes moyennes françaises**

Les travaux cités précédemment établissent une relation de cause à effet entre la densité et les consommations d'énergie dans les grandes villes et les métropoles mondiales. Seulement les travaux de Kenworthy et de Newman se penchent uniquement sur des métropoles de pays industrialisés, les résultats auraient certainement été différents si des capitales de pays en développement avaient été prises en considération. Les résultats auraient aussi été d'un autre ordre si l'on avait étudié des villes de moins grande envergure.

Alors, qu'en est-il des villes françaises de moyenne taille ? Quelles sont les conséquences de l'étalement urbain sur les consommations d'énergie ? Nous tenterons d'y répondre à travers l'analyse de 32 agglomérations de 100 000 à 300 000 habitants. L'idéal serait de posséder pour chaque unité urbaine, les chiffres exacts des quantités d'énergie utilisées dans les transports, dans le secteur de l'habitat (en particulier le chauffage) et pour l'éclairage public. Mais, l'étude est malheureusement rendue impossible du fait de l'indisponibilité de ces données à l'échelle des agglomérations. Nous tenterons d'établir, à partir des éléments du recensement de la population de 1999 fourni par l'INSEE, une corrélation entre les modes de déplacement utilisés, le type d'habitat et la densité de population.

---

<sup>86</sup> INRETS - ADEME, *Budgets, énergie, environnement des déplacements dans l'arrondissement de Lille*, 1996.

### **Les interrelations avec les déplacements**

Le second graphique de la figure 48 permet d'établir une relative corrélation entre la densité de population des unités urbaines moyennes et la part de l'automobile dans les déplacements domicile-travail des actifs. En effet, la tendance générale démontre que plus la densité est faible, plus la part de l'automobile augmente au détriment des modes plus économes en énergie et plus « doux » pour l'environnement : le bus, la marche, le vélo, les deux-roues... Toutefois, nous devons relativiser ce principe en constatant que les villes où la voiture a les taux les plus faibles ne sont pas nécessairement les villes les plus denses, Besançon a le même taux de densité que Mulhouse et pourtant, la part automobile y est de 62 % contre 70 % dans la ville alsacienne. De la même façon, entre Le Mans et Limoges, la densité est similaire mais l'automobile y est présente à 63 % dans la première contre 74 % dans la capitale limousine. La densité urbaine a certes des conséquences sur les modes de déplacement mais des critères tels que l'offre de transports en commun sont au moins aussi importants. Les deux exemples de Besançon et Dijon le prouvent. Ces deux villes moyennes n'étant pourtant pas les plus densément peuplées occupent respectivement la seconde et la quatrième place nationale des offres de transport en commun (47,8 km/an/hab pour Besançon et 39,2 km/an/hab pour Dijon<sup>87</sup>). Une desserte compétitive accroît la fréquentation des transports collectifs au détriment des véhicules individuels. Néanmoins, sans cette structure urbaine assez resserrée, le réseau serait plus difficile à mettre en place.

### **Les interrelations avec le mode d'habitat**

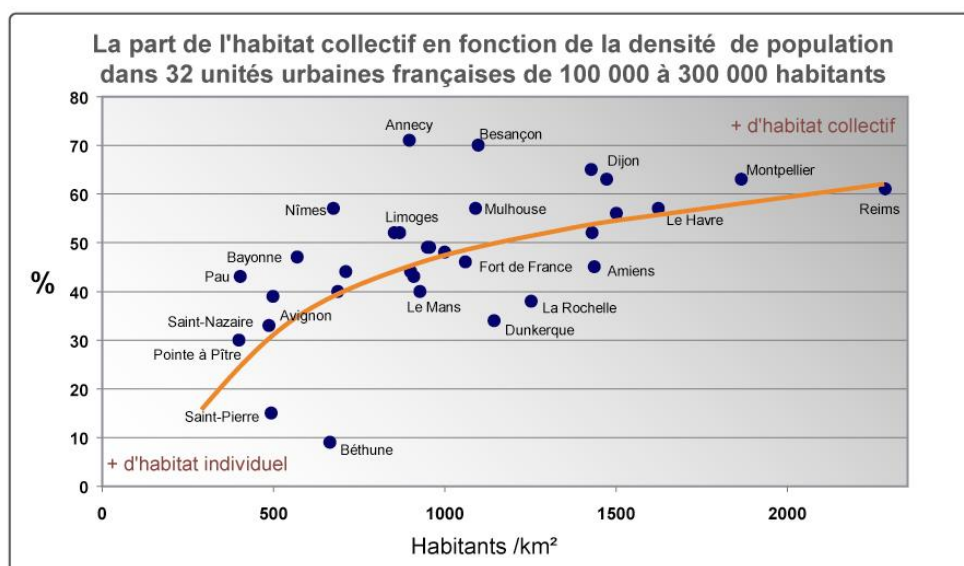
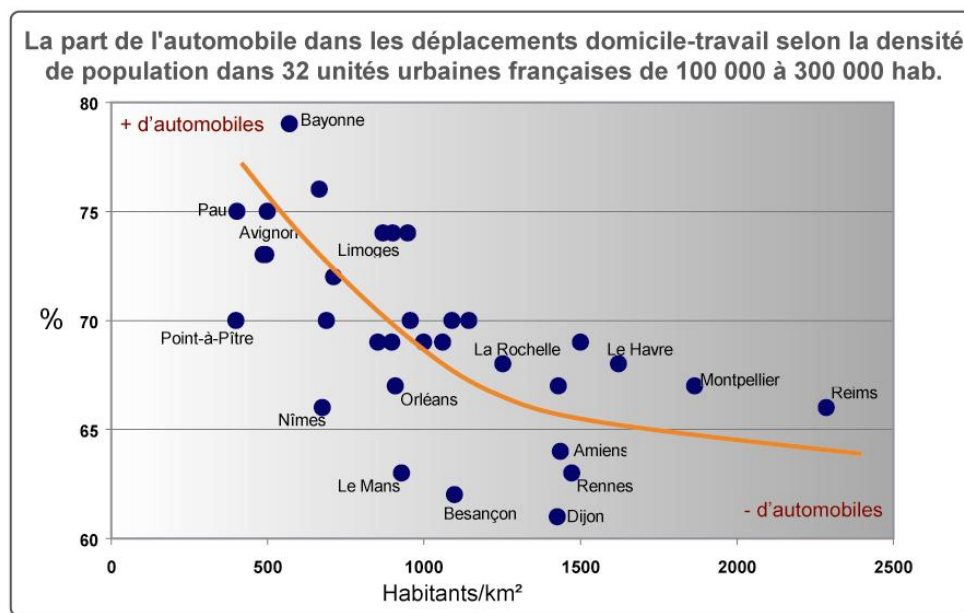
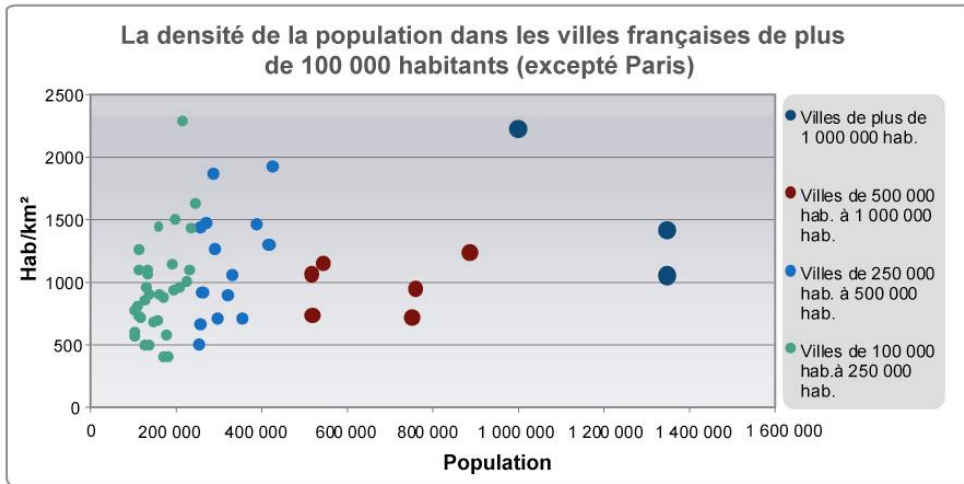
La seconde partie de l'étude consiste à établir un parallèle entre le type d'habitat des unités urbaines françaises de taille moyenne et leur densité de population. L'hypothèse selon laquelle la densification serait liée à un mode d'habitat plutôt collectif est confirmée par le troisième graphique. Une fois encore, nous pouvons distinguer une tendance générale : plus la ville est dense, plus elle est constituée d'habitats collectifs et, réciproquement, plus le taux d'habitat collectif est important, plus la ville sera densément peuplée. Bien sûr, la règle n'est pas totalement linéaire, il y a des exceptions. Finalement, ce qui nous intéresse, ce n'est pas le mode d'habitat en lui-même mais la consommation d'énergie de ce mode d'habitat. Nous savons, d'après les données sur les consommations unitaires du chauffage (CEREN, voir figure 38), que l'habitat individuel est d'un tiers plus consommateur que l'habitat collectif<sup>88</sup> à surfaces égales. Nous pouvons

---

<sup>87</sup> Source : GART (Groupement des autorités régulatrices de transport).

<sup>88</sup> Pierre Merlin et Jean-Pierre Traisnel, *Energie, environnement et urbanisme durable*, PUF, 1996.

affirmer que plus la ville est dense, plus la part de l'habitat collectif est importante, plus les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont réduites.



Source: Recensement général de la population, INSEE 1999  
Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042, CNRS  
Figure 48 : Les interrelations entre la densité, l'habitat et les déplacements.

#### 4.4.2.3 L'étalement urbain et son impact sur les émissions de gaz à effet de serre, l'exemple de Grenoble

La ville de Grenoble est située à la confluence des vallées de l'Isère et du Drac. Cette situation de carrefour, favorable aux échanges depuis des siècles, a favorisé son expansion et son attractivité sur son arrière-pays jusqu'à faire d'elle le pôle central de l'espace métropolitain du « sillon alpin<sup>89</sup> » regroupant Annemasse, Chambéry, Annecy, Grenoble et Valence.

Cette extension de la ville ainsi que son influence sur les pôles de second rang engendre des flux de circulation de personnes ou de marchandises importants. La région urbaine grenobloise est le lieu d'environ 1 900 000 déplacements quotidiens<sup>90</sup> (tous modes confondus) en 2002. A cette date, plus de 80 % de ces déplacements sont internes à l'espace urbain. Le trafic de transit est très faible (1 %). Le reste est du trafic d'échange (origine ou destination dans la région urbaine).

Malgré les contraintes liées au relief, Grenoble a été touchée par le phénomène de périurbanisation comme toutes les villes françaises. Comme l'illustre la carte suivante (figure 49), l'aire urbaine est très étendue, elle regroupe 119 communes. La commune de Grenoble concentre seulement 40 % des habitants de l'agglomération. Certaines communes périphériques sont très peuplées. Nous en recensons deux de plus de 30 000 habitants (Saint-Martin d'Hères et Echirolles) et sept de plus de 10 000 habitants (Eybens, Sassenage, Seyssinet-Pariset, Saint-Egrève, Meylan et Fontaine). Les communes qui ont le plus bénéficié de cette périurbanisation sont finalement des communes de la seconde couronne, notamment dans la vallée du Grésivaudan qui relie Grenoble à Chambéry. C'est sur ces espaces périurbains que l'on trouve les plus forts taux d'évolution démographique entre 1990 et 1999. Bien que la commune centre et certaines des plus importantes communes de la périphérie soient très denses, l'agglomération n'a pas résisté au phénomène d'étalement généralisé.

Or, ce phénomène a des conséquences évidentes sur les transports, il engendre des migrations pendulaires. Cela se traduit dans les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Sur la seconde carte de la figure 50, nous observons, comme un fait établi, que les émissions de gaz à effet de serre causées par les déplacements sont plus élevées en seconde couronne qu'en première couronne et que, de la même façon, elles sont plus élevées en première couronne que dans la ville centre. L'écart entre la

---

<sup>89</sup> En août 2005, le « sillon alpin » a été retenu parmi les quinze métropoles lauréates de l'appel à coopération métropolitaine de la DATAR.

commune centre et les communes les plus éloignées peut varier du simple au quintuple. Cela s'explique assez simplement par le fait que plus on s'éloigne de la ville centre plus les véhicules individuels motorisés sont prépondérants. A titre d'illustration, 60 % des flux internes de l'agglomération (hors Grenoble) se font en voiture contre 24 % dans la commune de Grenoble<sup>91</sup>. Les aménageurs grenoblois font le même constat qu'Yvan Astier (Ingénieur au Syndicat Mixte des Transports en Commun de Clermont-Ferrand, voir 2.2.3.4). Il existe des modes de déplacement pertinents pour chaque partie de l'agglomération. Dans le PDU de Grenoble, il est fait état que :

*« La marche et les transports en commun sont pertinents dans les secteurs à forte densité (plus de 7 500 habitants / km<sup>2</sup>), alors qu'en dessous de 2 500 habitants/km<sup>2</sup> la ville n'est pas faite pour les modes doux. » Plan de Déplacements urbains de la ville de Grenoble.*

Le graphique (figure 50) tiré du même document de planification des transports illustre clairement cette tendance.

---

<sup>90</sup> Source : *Plan de Déplacements Urbains de Grenoble*.

<sup>91</sup> Source : *Enquête Ménages Déplacements, Livret 1 : Région Grenobloise*.

## La population de l'aire urbaine de Grenoble en 1999 et son évolution démographique de 1990 à 1999

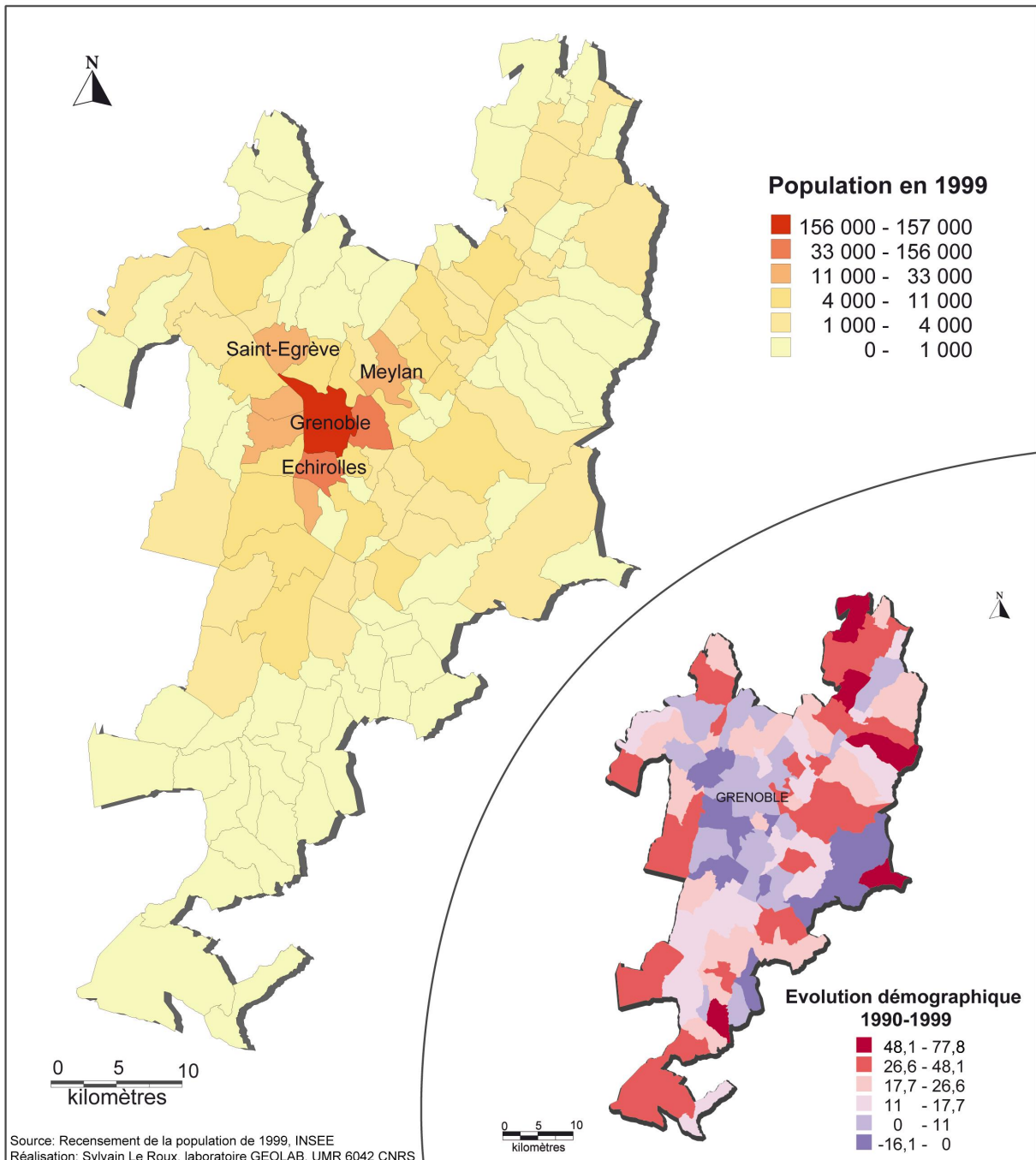


Figure 49 : La population de l'aire urbaine de Grenoble par commune.

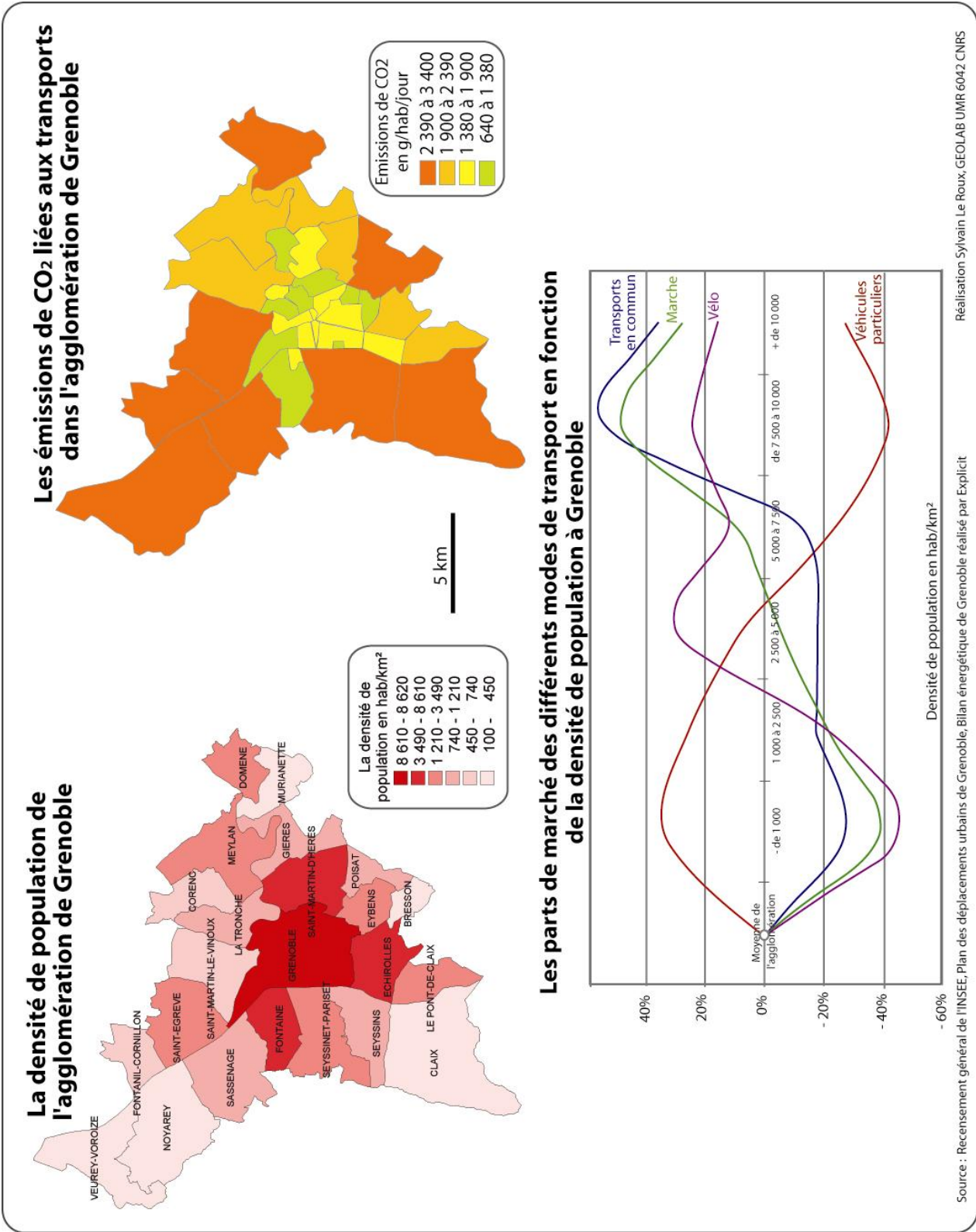


Figure 50 : Les liens entre la densité et les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux transports à Grenoble.



La compacité n'est pas le seul élément à prendre en compte, de multiples autres critères entrent en jeu dans la répartition modale des transports urbains et dans les distances parcourues : la situation économique, la topographie, les modes de vie (ces deux dernières caractéristiques ont permis à l'utilisation du vélo de se maintenir dans les villes néerlandaises) la politique locale de transports en commun mais aussi la structure spatiale de la ville et la diversité des affectations du sol.

#### 4.4.3 L'impact de la mixité des fonctions sur les consommations d'énergie

Susan Owens a démontré en 1991<sup>92</sup> (voir figure 48) que la structure urbaine et particulièrement les paramètres d'occupation du sol pouvaient influencer sur les consommations d'énergie liées aux transports. Alain Bertaud alimente cette thèse en affirmant que la densité moyenne d'un espace urbain ne suffisait pas à comprendre les consommations énergétiques des transports. L'organisation spatiale et, précisément, la localisation relative des résidences, des emplois et des aménités déterminent le nombre et la longueur des déplacements, la répartition modale et, par conséquent, les consommations d'énergie. Il introduit dans son argumentaire les notions de villes monocentriques et polycentriques. David Banister confirme qu'une organisation spatiale urbaine favorable à des modes « doux » dépend de plusieurs paramètres interdépendants dont la mixité des fonctions.

*« Il résulte que les formes urbaines peuvent affecter le schéma de mobilité en réduisant les déplacements, et la distance des déplacements, encourageant les déplacements multi-modaux et l'utilisation de modes alternatifs. Il apparaît que cela peut être atteint à travers un développement urbain adéquatement localisé, compact et aux usages du sol mixtes en combinaison avec une offre d'un système de transports alternatifs bien interconnectés. »*<sup>93</sup> David Banister, professeur d'aménagement des transports à l'Université de Londres et directeur de recherche à l'école d'aménagement de Bartlett.

A Barcelone, Salvadore Rueda constate qu'il est impossible de dissocier cette notion de mixité - qu'il nomme plutôt « complexité » - de la notion de densité :

*« La ville diffuse actuelle a une certaine tendance à diluer la complexité sur la majeure partie de son territoire. Les diverses fonctions de la ville (université, habitat, industrie, commerce...) sont séparées physiquement, donnant lieu à d'immenses espaces de la ville*

---

<sup>92</sup> *Energy efficiency and sustainable land use patterns in town and country planning*, Owens Susan, vol 60 n°2, février 1991.

<sup>93</sup> *EPSRC Sustainable Cities Programme (Working Paper 3): Land use Options to Reduce the Need to Travel* Joanna Williams and David Banister: The Bartlett School of Planning.

*avec des fonctions urbaines limitées, dans la plupart des cas monofonctionnels.* » Salvador Rueda<sup>94</sup>.

L'ensemble de ces travaux affirme le rôle de la mixité des fonctions dans les consommations d'énergie du territoire. Le terme de mixité est ici employé au sens de la diversité des affectations du sol. Partant du principe que la consommation d'énergie dans le secteur des transports urbains a pour origine le déplacement des populations d'une fonction urbaine A à une fonction B, la classification des affectations du sol peut se faire selon ces dites fonctions : l'habitat, l'emploi et la formation, les services et les commerces, les équipements culturels et de loisirs.

Les travaux précédemment cités se basent sur des analyses de grandes villes et de métropoles, nous tenterons d'adopter une approche plus adaptée aux villes intermédiaires et « moyennes ». Dès lors se pose la question de l'échelle spatiale. L'espace urbain considéré dans sa globalité regroupe nécessairement l'ensemble des fonctions. Mais à une échelle plus fine, celle des quartiers ou plus clairement celle des modes doux, les agglomérations françaises de taille moyenne présentent une certaine sectorisation de leur espace et des fonctions qui s'explique par les orientations d'aménagement du 20<sup>ème</sup> siècle (voir sous chapitre 4.4.1.3). Nous tenterons de schématiser cette organisation spatiale divisée pour une ville moyenne monocentrique dans la figure 51, en distinguant quatre zones cohérentes en terme de répartition des fonctions.

- Un centre-ville (excepté pour les villes multipolaires qui possèdent plusieurs centres) aux usages du sol relativement mixtes, réunissant habitat, zones de chalandise, pôles administratifs, services, emplois tertiaires et activités culturelles. A noter que l'habitat des centres villes à connu une forte récession depuis les années 70, cette tendance qui s'estompe aujourd'hui avait eu tendance à provoquer la déprise parallèle des services et commerces de proximité des centre-villes.
- Des faubourgs et des banlieues résidentiels munis de services et de commerces de proximité - souvent centralisés ou le long d'une artère - ainsi que de quelques emplois (sites industriels anciens et emplois tertiaires).
- Des zones d'activités industrielles et commerciales (grande distribution et grossistes) en périphérie, qui sont totalement monofonctionnelles et la plupart du temps positionnées à proximité des grands axes routiers.

---

<sup>94</sup> *La ciudad compacta y diversé frente a la urbanizacion difusa*, article de Salvador Rueda

- Des zones purement résidentielles la plupart du temps en périphérie plus ou moins lointaine.

Cette organisation plus ou moins sectorisée des espaces urbains génère inévitablement des déplacements qui n'auraient pas été nécessaires dans un espace aux usages du sol plus diversifiés. Les résidents du centre ville se rendent vers les emplois des zones industrielles, les habitants des faubourgs vont aux centres commerciaux en périphérie, les « rurbains » travaillent dans les bureaux du centre ville... Mais la mixité des fonctions parfaite, qui permettrait de limiter les distances des déplacements de manière à favoriser les modes doux, suppose que l'ensemble des fonctions soient à proximité les unes des autres, un concept un peu utopiste qui doit considérer les contraintes pratiques pour trouver une application, nous le verrons dans la partie III sur les stratégies énergétiques locales.

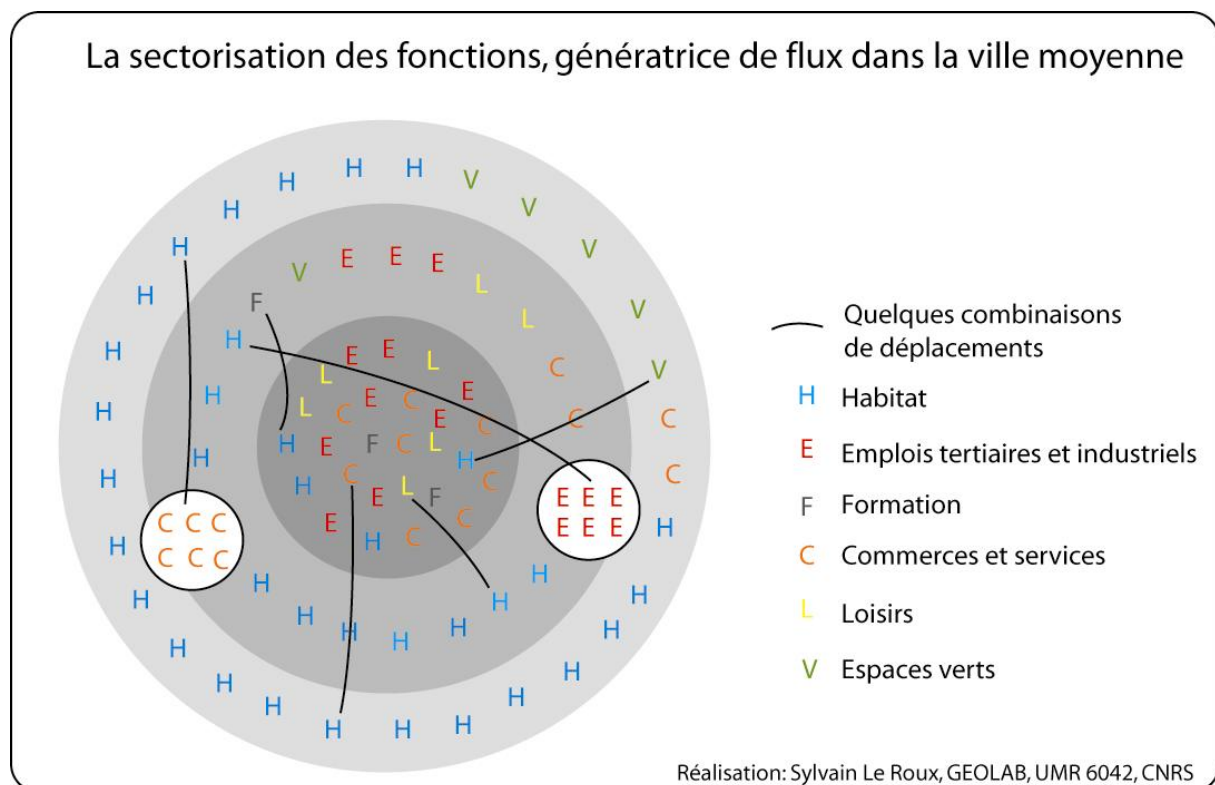


Figure 51 : La sectorisation des fonctions, génératrice de flux dans la ville moyenne.

## 4.5 La variable industrielle

Les consommations d'énergie liées à l'industrie sont très variables selon les villes en fonction de la nature et du développement de leur activité industrielle. C'est pourquoi on constate une différence notable entre une ville comme Limoges qui présente aujourd'hui une activité industrielle moindre et une agglomération qui accueille des industries très consommatrices d'énergie comme Grenoble.

Même si la part de l'industrie dans l'emploi grenoblois n'est pas supérieure à la moyenne française (20 %), l'activité industrielle locale y est fortement consommatrice d'énergie. En effet, on constate que l'industrie chimique (310 000 tep) concentre 70 % des consommations du secteur. La plate-forme chimique de Pont de Claix qui figure parmi les premiers établissements industriels de l'Isère en terme d'effectifs et de capitaux regroupe des entreprises très consommatrices d'énergie comme Air Liquide, Rhodia, Chloralp, Lyondell, Teris... Les autres branches importantes sont le papier-carton (50 000 tep), la fabrication de ciment (45 000 tep), la construction mécanique (30 000 tep), la construction électrique/électronique (30 000 tep) et diverses autres industries. Le mode énergétique majoritairement employé dans l'industrie est le gaz (63 %), l'électricité représente 29 % et le charbon 5 %. C'est aussi le cas à La Rochelle où l'activité industrielle consomme avant tout du gaz (42 %) et de l'électricité (32 %). Le chauffage urbain et le fioul y représentent 9 et 11 % des parts de marché.

Pour donner un autre exemple de ville où la consommation d'énergie liée à l'industrie est très développée, nous reprendrons le cas de l'arrondissement de Dunkerque. Le secteur de la sidérurgie (2 500 ktep) et précisément l'usine SOLLAC y ont des consommations considérablement plus élevées que le résidentiel (315 ktep) ou les transports (400 ktep)<sup>95</sup>. Les autres activités industrielles fortement consommatrices sont la métallurgie (ALUMINIUM DUNKERQUE : 30 000 tep), le raffinage (COPENOR : 280 000 tep), AIR LIQUIDE (41 000 tep), la cimenterie Lafarge (24 000 tep). Les consommations liées à l'industrie peuvent donc atteindre des quantités considérables, à faire paraître les consommations des secteurs de l'habitat, du tertiaire ou des transports dérisoires alors qu'ils ne le sont pas pour autant. Mais, l'activité industrielle fabrique des produits qui ne sont pas uniquement consommés localement ; les consommations doivent-elles dans ce cas là être seulement attribuées au territoire ? Il faut, en tout cas en faire état dans le bilan.

---

<sup>95</sup> Données issues du travail de modélisation des consommations d'énergie de la région Nord-Pas-de-Calais à l'échelle des arrondissements effectué par NORENER.

## 4.6 La ville, un système ouvert

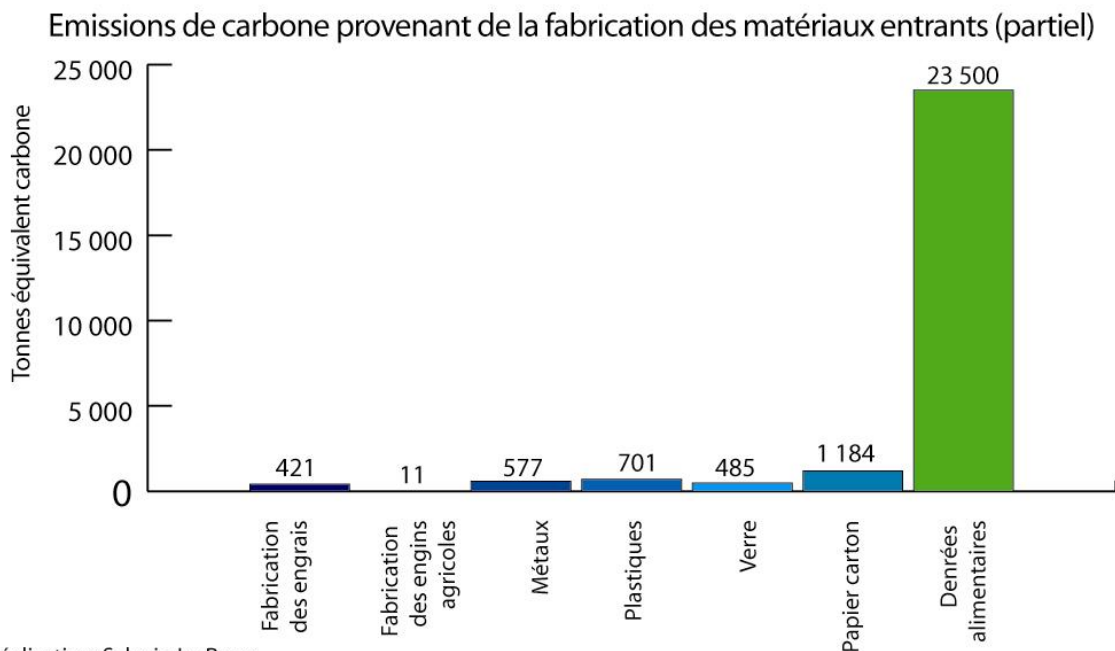
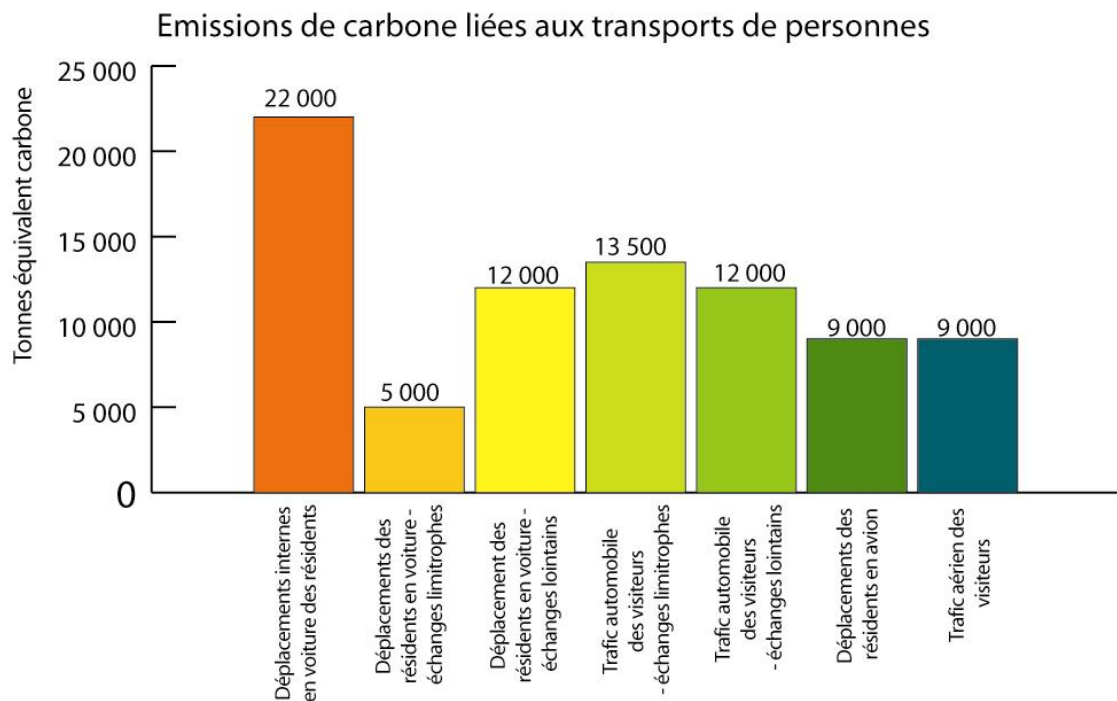
Comme nous l'avons constaté avec l'exemple de Bourges, la ville est un système ouvert qui est le carrefour de flux entrants et de flux sortants. Ces flux de personnes ou de marchandises engendrent des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. A cela s'ajoute l'énergie grise nécessaire à la fabrication de produits consommés par les citoyens et à la construction des infrastructures (bâtiments, routes...) qui font la ville. L'ensemble de ces consommations indirectes représente une quantité importante qu'il est difficile à estimer. La méthode Bilan Carbone de l'ADEME permet de prendre en compte (si données il y a) les émissions de carbone liées à ces actions externes.

Les émissions liées aux transports en commun, aux transports de marchandise et aux transports de particuliers prennent en compte les consommations et les émissions liées à la fabrication du matériel roulant. Par exemple, dans le cadre du Bilan Carbone du Grand Chalon, le trafic de transit de l'A6 a été comptabilisé et précisément 18 % des émissions étaient dues à la fabrication des véhicules et à l'extraction et la transformation des carburants en amont.

A Bourges, les émissions liées aux transports des visiteurs représentent 42 % du total des transports de personne. En ce qui concerne le transport de marchandises, l'estimation est encore plus complexe, puisqu'il faut intégrer le parcours que les produits ont réalisé. Or, un yaourt, une télévision ou un pantalon auront parcouru plusieurs milliers voire plusieurs dizaines de milliers de kilomètres avant d'atteindre leur lieu de consommation finale. Ces consommations indirectes sont très complexes à prendre en compte étant donné la quantité d'informations à collecter, mais elles doivent constituer une part considérable du transport des marchandises.

Dans le bilan carbone de Bourges, les plus importantes émissions liées à des actions indirectes sont celles inhérentes aux matériaux entrants. Après analyse des données, le cabinet Bernard estime que la grande majorité des émissions liées à la fabrication des produits et matériaux importés est causée par les denrées alimentaires (voir figure 52). En effet, les cultures sous serres sont très consommatrices d'énergie, l'élevage émet du méthane, un gaz à fort pouvoir de réchauffement global, l'importation des produits alimentaires peut facilement entraîner des transports de plusieurs milliers de kilomètres.

## Les émissions de carbone liées aux transports et aux matériaux entrants à Bourges



Réalisation: Sylvain Le Roux

D'après le Bilan Carbone de la Ville de Bourges réalisé par le cabinet Bernard en 2006

Figure 52 : Les émissions de carbone liées aux transports et aux matériaux entrants à Bourges.

## 4.7 Des émissions dépendantes des combustibles utilisés

Les émissions de gaz à effet de serre sont en très grande majorité liées à l'utilisation de l'énergie. En l'absence d'agriculture en milieu urbain, c'est la combustion de ressources fossiles qui en est la principale cause lorsque l'on se limite à l'approche interne. Les émissions dépendent donc de la quantité d'énergie consommée mais aussi du type d'énergie consommée. Comme le montre la figure 53, la consommation d'électricité provenant du système de production français d'EDF basé à 80 % sur le nucléaire n'entraîne que peu d'émissions de carbone (23 gC/kWh). Bien sûr, en Allemagne, où les centrales de charbon sont l'équivalent du nucléaire en France, l'indice est nettement plus élevé (124 gC/kWh, soit plus de 700 kgC/tep). Car, à l'inverse du nucléaire, le charbon et la lignite sont très émetteurs (plus de 1 200 kgC/tep). C'est pourquoi, l'électricité est la première cause d'émission de CO<sub>2</sub> à Fribourg. Toujours en ce qui concerne l'électricité, notons que l'ouverture à la concurrence du marché français permettra d'acheter son énergie à un fournisseur qui se fournira chez un autre producteur qu'EDF. Finalement, le facteur à considérer pour la France ne serait-il pas celui de la production électrique européenne qui est égal à 96 gC/kWh.

Le gaz est le moins carboné des combustibles fossiles, mais il libère des quantités non négligeables de gaz à effet de serre. Ce sont les produits pétroliers qui sont les plus émetteurs, ils présentent des facteurs d'émission qui oscillent entre 900 et 1 000 kgC/tep.

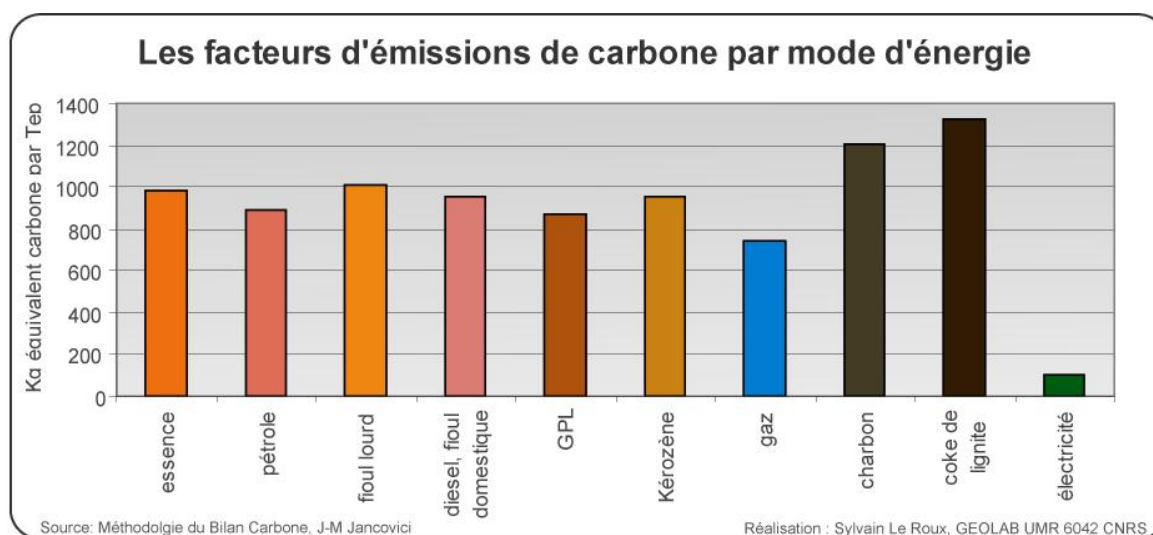


Figure 53 : Les facteurs d'émissions de carbone par mode d'énergie.

C'est pourquoi, nous constatons que, dans les villes moyennes françaises, le secteur le plus émetteur est celui des transports car il est dépendant à quasiment 100 % des produits pétroliers. Les bâtiments qui consomment beaucoup de gaz pour le chauffage sont également à pointer du doigt. En ce qui concerne l'industrie, nous ferons le même constat

que pour les consommations d'énergie, les émissions de ce secteur sont très variables d'une ville à l'autre en fonction du développement des activités et de leur nature.



## Conclusion de la partie II

L'énergie consommée dans les villes moyennes étudiées provient en grande majorité de l'extérieur (importation de produits pétroliers et de gaz, production centralisée de l'électricité), la valorisation des ressources du territoire et de son arrière-pays est minoritaire, c'est pourquoi la part des énergies renouvelables est faible. Comme l'illustre la figure 54 suivante, les villes moyennes sont fortement dépendantes des produits pétroliers, du gaz et de l'électricité (finale). Le secteur des bâtiments (résidentiel et tertiaire) est très fortement représenté dans le bilan énergétique, suivi du secteur des transports et de façon plus variable du secteur de l'industrie.

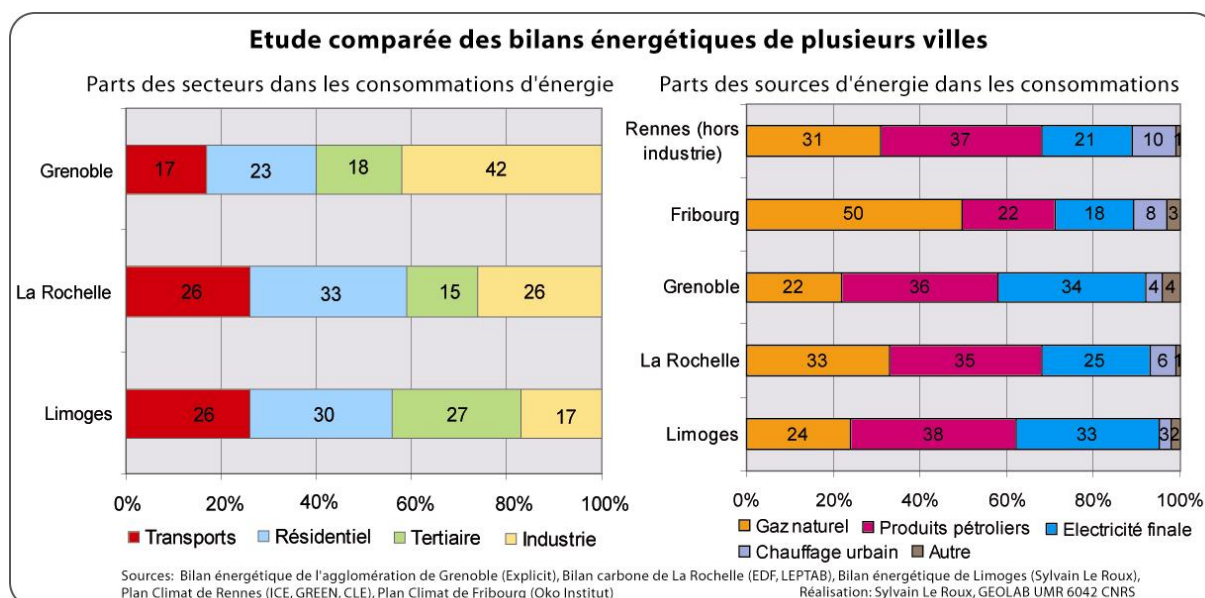


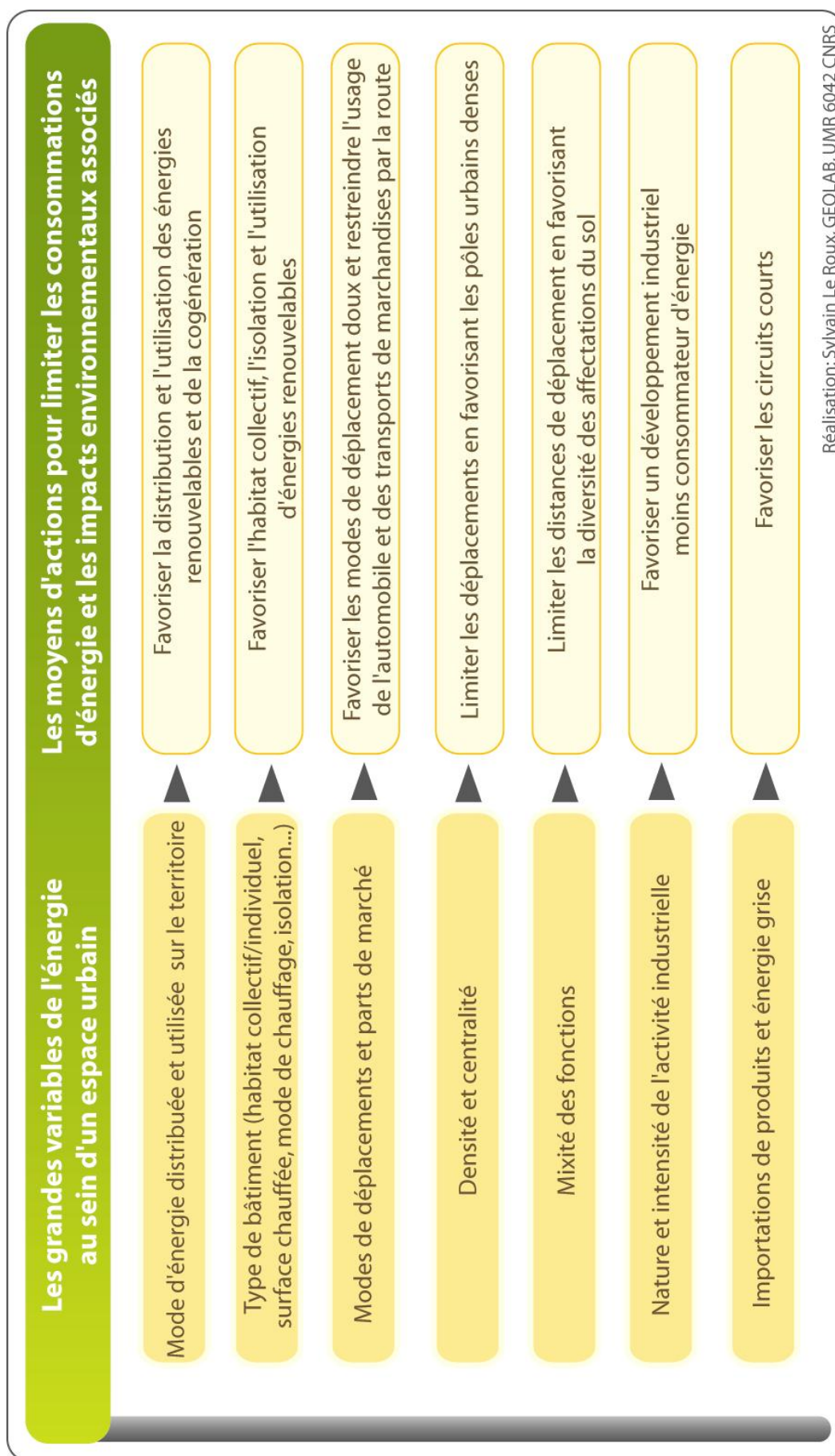
Figure 54 : Etude comparée des bilans énergétiques de plusieurs villes moyennes.

La nature et la quantité d'énergie consommée ainsi que le volume de gaz à effet de serre rejeté dépendent de plusieurs grandes variables. Ces grandes variables illustrées dans la figure 55 sont les suivantes.

- **Le type d'énergie distribuée et utilisée sur le territoire** : étant donné que les énergies consommées sur le territoire proviennent essentiellement de l'extérieur, cette variable est exogène. Il est difficile pour les autorités locales d'agir sur cette variable. Il est, toutefois, possible de développer les énergies renouvelables et les systèmes de cogénération sur le territoire.

- **Le type de bâtiment** : en fonction de l'époque de construction du bâtiment, de sa forme, de sa nature collective ou individuelle, de son isolation, du mode de chauffage utilisé etc., un bâtiment sera plus ou moins consommateur et plus ou moins émetteur.
- **Les parts de marché des déplacements** : les déplacements individuels motorisés sont beaucoup plus consommateurs que les transports en modes collectifs ou que les « modes doux »...
- **La densité et les centralités de l'espace urbain** : la densité a des liens avec les distances parcourues, l'efficacité des transports en commun, le type d'habitat et les consommations de chauffage.
- **L'affectation des usages du sol** : les zones monofonctionnelles sont génératrices de déplacements plus longs, sollicitant des modes motorisés, tandis que les zones plurifonctionnelles permettent d'éviter un certain nombre de déplacements motorisés au profit de modes doux (marche, vélo...).
- **La nature et l'intensité de l'activité industrielle** : certaines activités sont plus consommatrices d'énergie que d'autres et, par conséquent, la part de ce secteur peut devenir fortement majoritaire dans le bilan énergétique d'un territoire.
- **Les consommations d'énergie indirectes** : les consommations d'énergie indirectes liées à la fabrication et à l'importation de matériaux, de biens ou de produits ainsi qu'aux migrations de personnes représentent une part non négligeable du bilan énergétique d'un territoire.

Ce constat sur les grandes variables de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre des villes moyennes nous révèle les champs sur lesquels il semble prioritaire de porter l'action dans l'idée de réduire substantiellement les consommations d'énergie et les impacts environnementaux qui y sont associés. En effet, nous pouvons en déduire quels sont les plus importants moyens d'actions sur la problématique énergétique environnementale en ville (voir figure 55). Dans la troisième partie, nous nous demanderons comment faire appliquer ces principes et quel est le rôle des collectivités locales en la matière.



Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS

Figure 55 : Synthèse de la partie II.



# **Partie III : les stratégies énergétiques des villes moyennes**

Ce chapitre vise à répondre à la problématique suivante :

**Quelles sont les meilleures stratégies pour réduire les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans les villes moyennes ? Quel est le rôle des collectivités locales face à cet enjeu ?**

D'après les conclusions de la partie précédente, il est nécessaire d'agir prioritairement sur les modes d'énergie distribués et consommés sur le territoire, les bâtiments, les transports, les formes et morphologies urbaines, l'activité industrielle, les consommations d'énergie indirecte et l'« énergie grise »<sup>96</sup>. Il est apparu évident que les premiers acteurs concernés par l'élaboration d'une mécanique de réduction des consommations d'énergie et de développement des énergies renouvelables à l'échelle d'une ville étaient les autorités gouvernantes de ces territoires. Afin de comprendre quelles étaient les stratégies les mieux appropriées pour agir sur ces grandes variables à l'échelon local, nous avons réalisé une pré-enquête quantitative et une seconde enquête qualitative (voir Partie I, 4.3.2.2).

La première étude consistait à étudier et analyser à partir d'un sondage par questionnaire auprès de 42 villes moyennes françaises les stratégies mises en place par les autorités locales. Cela nous a permis de déterminer quels étaient les champs d'actions possibles des collectivités (essentiellement les municipalités) et quelles compétences elles pouvaient faire valoir pour réduire la demande énergétique de leur territoire et pour y développer les énergies renouvelables.

La seconde étude a porté sur une dizaine de villes sélectionnées pour le caractère innovant, efficient et original de leur politique énergétique. Elle nous a permis de déterminer quels étaient les politiques, les stratégies, les outils et les moyens les plus efficaces ; quelles étaient les difficultés rencontrées par les autorités locales dans la mise en application de leurs stratégies ; et quelles étaient les limites du rôle joué par les collectivités.

---

<sup>96</sup> L'énergie grise est la quantité d'énergie nécessaire à la production, à la fabrication et au transport des matériaux ou des produits industriels.

# Chapitre 1. Les compétences des collectivités locales françaises

Si les autorités locales semblent les entités les mieux appropriées pour agir sur le système énergétique de leur territoire, au moins faut-il qu'elles en aient les compétences. Qu'en est-il en France ? A partir d'une enquête quantitative par questionnaire auprès des municipalités des quarante-deux unités urbaines de 100 000 à 300 000 habitants, nous avons recensé les compétences des collectivités locales en matière d'énergie puis nous avons dressé une typologie des politiques énergétiques des villes moyennes françaises.

Nous avons interrogé les élus et/ou les gestionnaires des collectivités sur les questions relatives à la politique et aux pratiques énergétiques mises en place au niveau local, sur le développement des énergies renouvelables et sur les économies d'énergie (voir le questionnaire en annexe 4).

## 1.1 L'état des lieux des politiques énergétiques des villes moyennes françaises

### 1.1.1 Les compétences accordées par le législateur

Nous devons, avant toute chose, nous poser la question du rôle dévolu aux collectivités, du cadre dans lequel elles peuvent mettre en place leur politique et de l'imbrication des différentes échelles décisionnelles (département, pays, territoire communautaire, commune). Finalement les compétences traditionnelles et les compétences transférées aux communes depuis la loi de décentralisation de 1982 jusqu'à la loi de 2004 sont limitées :

- les fonctions d'Etat civil,
- les fonctions électorales,
- l'aménagement (logement social, assainissement...),
- l'entretien de la voirie communale,
- la protection de l'ordre public (police municipale),

- l'urbanisme (PLU, Permis de construire...),
- l'enseignement (écoles primaires...),
- l'action économique (aide aux entreprises, zones d'activité...),
- la santé (vaccination, résorption de l'insalubrité dans l'habitat),
- l'action sociale (CCAS, aide sociale...)
- la culture (les musées, les bibliothèques...).

Les communes n'ont aucune compétence obligatoire clairement définie en termes d'énergie et de réchauffement climatique. Ceci dit, elles sont amenées à gérer leur propre patrimoine. Elles peuvent également intégrer ces questions dans les politiques d'urbanisme, d'aménagement, de logement social, d'espace public ou de voirie et la distribution et production d'électricité le cas échéant. Elles sont d'ailleurs de plus en plus incitées à prendre en compte ces questions énergie/climat dans leurs politiques publiques.

En ce qui concerne les Communautés d'Agglomération, elles ont pour compétences obligatoires :

- l'aménagement de l'espace (Schéma de cohérence territoriale, l'organisation des transports urbains...),
- les actions de développement économique ( organisation des zones d'activités...),
- l'équilibre social de l'habitat (Plan Local de l'Habitat, réserves foncières...),
- la politique de la ville dans la communauté .

Et elles exercent au moins trois compétences des six groupes optionnels :

- la protection et la mise en valeur de l'environnement (dont le « soutien d'actions de maîtrise de l'énergie »),
- l'eau,
- l'assainissement,
- la politique du logement et du cadre de vie,
- la création d'aménagements et d'entretiens de la voirie,



- la construction, l'entretien et le fonctionnement d'équipements culturels et sportifs et d'équipements de l'enseignement élémentaire.

La loi d'orientation sur l'énergie<sup>97</sup> impose aux structures intercommunales à fiscalité propre qui se sont dotées en compétence optionnelle de la « préservation de l'environnement et de l'amélioration du cadre de vie » de prendre en charge une nouvelle compétence en matière de « soutien aux actions de maîtrise de l'énergie ». Elles avaient également à traiter les questions énergétiques à travers l'organisation des transports, la gestion de leur patrimoine et des équipements culturels et sportifs, ou le plan local de l'habitat... Encore une fois, la compétence n'est pas clairement définie même si à l'échelle intercommunale, un nouveau rôle est depuis 2005 attribué à la collectivité.

L'appareil législatif ne concède pas de compétences étendues aux collectivités locales en matière d'énergie et de lutte contre le changement climatique. Seulement, elles peuvent malgré tout développer un certain nombre de mesures et avoir un poids sur le système énergétique du territoire qu'elles administrent. Cela nous sera confirmé à travers l'analyse des résultats de l'enquête par questionnaire auprès des villes moyennes françaises.

### **1.1.2 Les politiques énergétiques des villes moyennes françaises**

Les réponses à la première question « Quelle est la politique énergétique en vigueur sur votre Commune ou Communauté d'Agglomération ? » sont très diverses<sup>98</sup>. Dans l'ensemble, les villes moyennes semblent présenter des politiques énergétiques structurées qui répondent à des lignes directrices établies. Néanmoins, 35 % environ des villes ont montré une politique énergétique déstructurée et peu lisible<sup>99</sup>.

Comme l'illustre le graphique suivant (figure 58), le thème inhérent à la politique énergétique est la « maîtrise de l'énergie », aussi nommé « économie d'énergie », « utilisation rationnelle de l'énergie »... Précisément, la majorité des réponses des enquêtés concerne la maîtrise de l'énergie dans le domaine de la gestion du patrimoine municipal. Les enquêtés parlent de « gestion rationnelle du patrimoine », de « réduction des coûts énergétiques », du rôle de la « ville consommatrice » ou de « suivi des consommations municipales ». Et à la question « Existent-ils des pratiques visant à réaliser des économies d'énergie ? », 100 % des villes donnent une réponse favorable. Les élus ou

---

<sup>97</sup> Loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique du 13 juillet 2005.

<sup>98</sup> Nous avons collecté plus de 110 notions, segments ou mots-clés différents que nous avons ensuite regroupés dans dix thèmes majeurs du discours des enquêtés.

les gestionnaires sont d'ailleurs très nombreux à faire référence à des pratiques concrètes de maîtrise de l'énergie sur les bâtiments municipaux, la flotte de véhicules ou l'éclairage public. L'économie d'énergie dans le patrimoine bâti prend une place prépondérante dans la politique énergétique des villes moyennes. Dix-huit notions ou mots-clés cités par les enquêtés évoquent ce domaine privilégié des gestionnaires à travers « l'utilisation d'ampoules basse consommation », l'intégration de la démarche « Haute Qualité Environnementale » dans la conception des bâtiments, les « audits énergétiques des bâtiments », la « télégestion centralisée des chaufferies ». Toujours dans le registre de la gestion du patrimoine, les actions sur l'éclairage public sont citées par environ 20 % des interviewés.

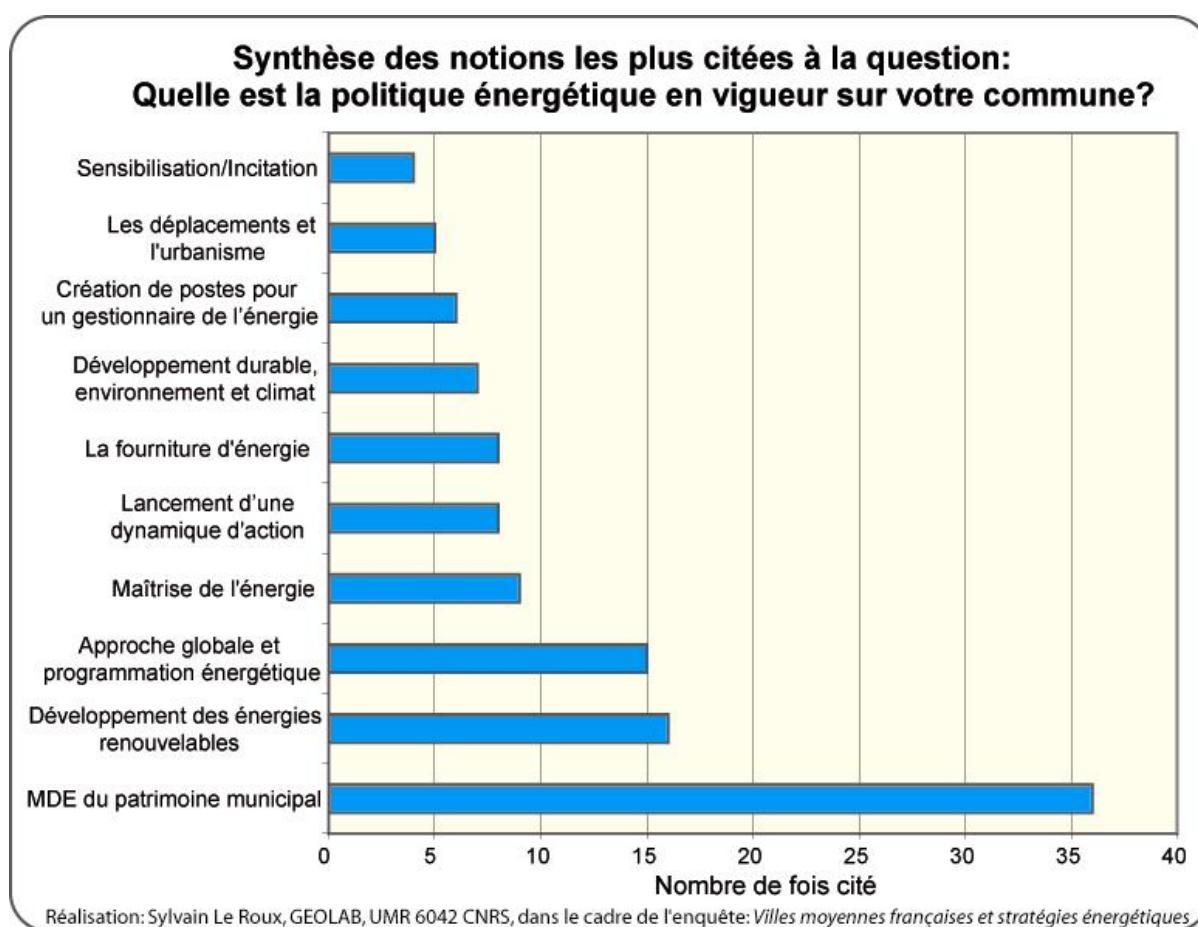


Figure 56 : Réponses à la question « Quelle est la politique énergétique en vigueur sur votre commune ? ».

La seconde thématique la plus abordée concerne l'implication de la ville dans la production d'énergie. La volonté de développer les énergies renouvelables ressort sans équivoque. 80 % des collectivités ayant répondu au questionnaire ont dit avoir une politique de développement des énergies renouvelables. La gestion des réseaux

<sup>99</sup> Nous devons être prudent dans notre analyse car cette constatation peut être également liée au manque d'information de

d'électricité, de gaz ou de chauffage ainsi que la diversification de l'offre énergétique sont aussi des points soulevés par les élus et gestionnaires des villes moyennes.

Une majorité de collectivités est propriétaire de sites de production d'énergie d'origine renouvelable, en général de petite envergure. L'action porte de façon privilégiée sur l'équipement des bâtiments municipaux en panneaux solaires thermiques. La production d'énergie à partir de la biomasse est également citée plusieurs fois. Certaines collectivités ont aussi développé le photovoltaïque. D'autres proposent une aide au développement privé ; par le biais de subventions à l'installation de panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques, par le financement d'études sur le potentiel en énergies renouvelables du territoire, par la réalisation d'un schéma de développement éolien (La Rochelle) ou par la promotion des installateurs locaux... Mais ces cas de figure sont relativement rares.



Figure 57 : Réponses à la question « Existe-t-il des politiques et des pratiques pour développer les énergies renouvelables sur votre commune ? ».

La troisième notion qui se dégage est « l'approche globale de l'énergie » par la voie de la planification ou de la programmation. Elle est conduite seule ou elle est insérée dans une approche environnementale plus généraliste. Les outils sont multiples : des

programmes d'action, des Agenda 21<sup>100</sup>, un contrat ATEnEE<sup>101</sup>, des diagnostics énergétiques territoriaux, un plan environnement... Ces démarches de planification font généralement appel à une démarche plus globale qui intègre non seulement la « gestion énergétique du patrimoine municipal » mais également les « actions en faveur des habitants ». En 2006, 50 % des collectivités des unités urbaines de 100 000 à 300 000 habitants avaient réalisé un Agenda 21. C'est le cas de 70 % des villes ayant répondu à notre questionnaire. Les études et les bilans uniquement consacrés à l'énergie et à l'environnement sont très peu répandus. 17 % des villes ayant répondu disent avoir réalisé un bilan énergétique du territoire, 17 % ont réalisé une étude du gisement en économies d'énergie et en énergies renouvelables et enfin 17 % ont pu réaliser ou sont en train de réaliser un plan climat territorial (voir figure 58).

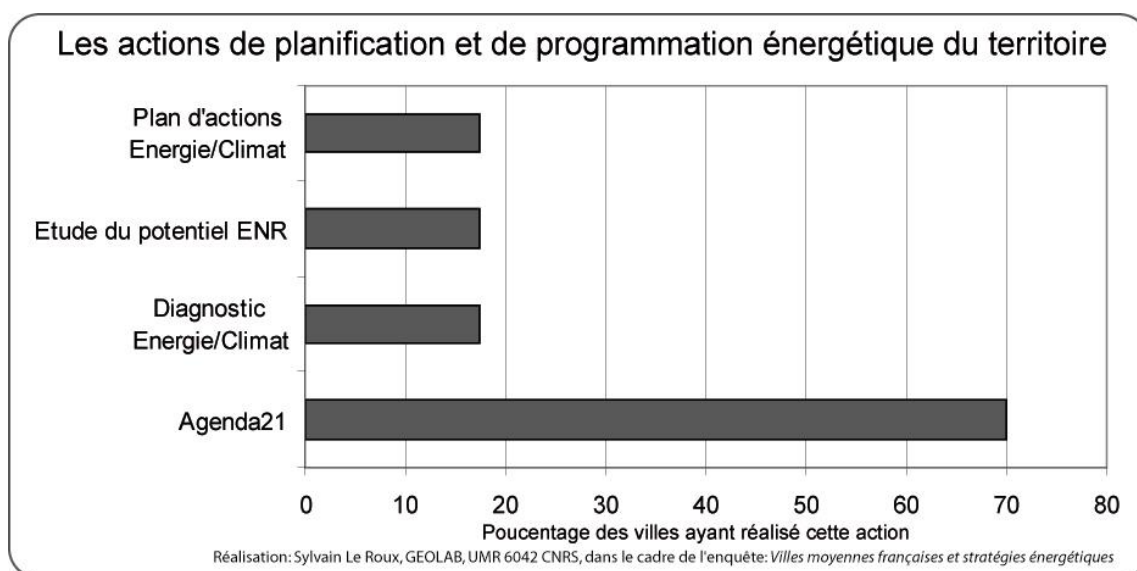


Figure 58 : Les actions de planification énergétique des villes moyennes enquêtées.

Bref, nous constatons que les lignes dominantes des politiques énergétiques des villes moyennes portent sur la ville « consommatrice » et la ville « productrice » : à travers les thématiques de la maîtrise des consommations du patrimoine municipal, du développement des énergies renouvelables et de la fourniture d'énergie (réseau de chaleur...). La prise en compte des problématiques du territoire dans son ensemble et les actions portant directement sur les consommations des citoyens sont finalement beaucoup moins fréquemment citées. D'ailleurs, dans cette enquête, les non-dits sont très révélateurs. Certaines problématiques majeures ne sont pas soulevées. Très peu de

<sup>100</sup> Un Agenda 21 est un document politique d'intentions en matière d'environnement et de développement durable.

<sup>101</sup> En mars 2002, à l'initiative du ministère de l'écologie et du développement durable, un cadre d'actions, le contrat ATEnEE - Actions Territoriales pour l'Environnement et l'Efficacité Énergétique - a été élaboré par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie et la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale pour accompagner les nouvelles intercommunalités dans l'élaboration d'un projet de territoire intégrant les enjeux environnementaux, d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

collectivités présentent une politique énergétique intégrant les thématiques de l'aménagement urbain, l'urbanisme, la mobilité, la sensibilisation ou l'incitation des citoyens.

Les résultats du questionnaires nous amènent à penser que la plus grande partie des collectivités locales des villes moyennes mène dans le domaine de l'énergie des politiques sectorielles, privilégiant les actions sur les consommations du patrimoine municipal ou sur l'équipement en nouvelles technologies (panneaux solaires, chaudières à condensation...). Bien que 65 % des collectivités enquêtées proposent une politique structurée et lisible, nous pouvons considérer que seulement 43 % des collectivités ayant répondu présentent une politique énergétique transversale<sup>102</sup>.

## 1.2 Les actions mises en œuvre dans le cadre de la politique énergétique locale

La seconde partie des résultats de l'enquête nous apprend quelles sont les mesures et les actions privilégiées des villes moyennes françaises pour réduire les consommations d'énergie et développer les énergies renouvelables. Nous avons pu recenser l'ensemble des actions menées par les collectivités<sup>103</sup>. Ces actions se divisent en cinq groupes thématiques : les actions sur les consommations du patrimoine, la production locale d'énergie, la mobilité, l'urbanisme et enfin la sensibilisation.

Le secteur qui a reçu le plus de réponses et pour lequel les enquêtés ont présenté la plus grande panoplie d'actions ainsi que le plus grand nombre d'outils est celui de « la gestion du patrimoine public » (voir figure A en annexe 5). Certaines actions sont très répandues, à tel point qu'elles sont citées par 40 à 70 % des collectivités : « l'acquisition de véhicules moins polluants » pour renouveler la flotte de véhicules municipaux<sup>104</sup>, le « suivi des consommations » du patrimoine et la réalisation de « tableaux de bord » permettant d'identifier les dérives énergétiques, le « remplacement des ampoules d'éclairage public par des modèles à basse consommation », les « audits énergétiques » en général effectués pour les bâtiments mais aussi pour les installations thermiques (chaufferies, réseaux de chaleur...), « l'amélioration thermique des bâtiments existants »

---

<sup>102</sup> Nous avons défini la transversalité par la prise en compte d'au moins trois des cinq domaines d'action de la politique énergétique: action sur les consommations municipales, gestion de la fourniture d'énergie, aménagement urbain, mobilité et sensibilisation.

<sup>103</sup> Ce recensement et l'analyse qui en est déduite sont entièrement dépendants du discours de l'enquêté et des documents qu'ils nous ont joint, il n'est donc bien sûr pas exhaustif. Malgré tout, ces résultats fournissent un éventail des mesures mises en place dans les villes moyennes françaises.

<sup>104</sup> Cette action ne relève pas d'une initiative locale car c'est la loi française qui impose aux collectivités d'acquiescer 20 % de véhicules moins polluants (électrique, GPL, GNV) lors du renouvellement de leur flotte.

ainsi que « l'introduction de critères HQE » lors de la conception des bâtiments neufs, ou encore « l'utilisation d'ampoules fluocompactes » et « la télégestion informatisée et centralisée des chaufferies<sup>105</sup> », ou enfin, le renouvellement des chaudières à l'occasion duquel le gaz vient remplacer le fioul ou le charbon.

Le second domaine le plus important est celui de la mobilité (voir figure B en annexe 5). Les enquêtés se sont généralement laissés orienter par les sous-questions du questionnaire<sup>106</sup>.

Le Plan de Déplacements Urbains<sup>107</sup> semble être une pièce importante de la politique énergétique en terme de mobilité. Un certain nombre de villes invoque leur politique de développement des pistes cyclables comme un moyen de réduire les consommations d'énergie. La nécessité de développer les transports en commun est également évoquée. La mise en site propre des lignes de transports en commun est mise en avant car elle rend les voyages plus rapides. D'autres actions semblent moins répandues mais pas pour autant inefficaces : les parcs relais, les Plans de Déplacement Entreprises, les Pédibus, les parkings de covoiturage, la piétonisation des rues, les agences d'éco-mobilité...

En ce qui concerne l'offre de transports publics, 90 % des enquêtés disent que leur ville est équipée de bus classiques<sup>108</sup>, 40 % d'entre eux déclarent qu'une partie des bus fonctionne au gaz naturel, une minorité semble être alimentée par du GPL. Enfin, six villes sur 24 possèdent un tramway et trois déclarent en avoir le projet.

Le troisième secteur qui retient l'attention des gestionnaires et des élus enquêtés semble être celui de la production et de la fourniture d'énergie (voir figure C en annexe 5). Les collectivités locales prennent très souvent en charge la production de chaleur. Les réseaux de chaleur exploités ou concédés par la ville sont le plus souvent alimentés par le gaz, mais aussi par l'incinération des déchets ou même par le bois, ils sont d'ailleurs le plus souvent multi-énergies. En production hors réseau, outre les chaufferies classiques au fioul et au gaz, la production d'énergie solaire est citée par près de 45 % des collectivités. Les gestionnaires évoquent également l'exploitation d'un certain nombre de chaudières bois. Il est aussi fait état de l'amélioration des systèmes de production en place grâce à

---

<sup>105</sup> La télégestion centralisée et informatisée des chaufferies permet de programmer le chauffage des locaux en fonction des horaires d'occupation ce qui permet de baisser la température en dehors des heures de fréquentation.

<sup>106</sup> Les sous-questions sont : Quelles sont les mesures concrètes pour limiter les déplacements en général et les trajets automobiles en particulier ? et Quels sont les modes de transport publics qui sont proposés, quelle énergie utilisent-ils ?

<sup>107</sup> Le document de programmation des transports qui doit procéder au rééquilibrage des modes de déplacements dits doux : les transports en commun, la marche, le vélo au détriment des véhicules individuels motorisés.

<sup>108</sup> On peut légitimement penser que la totalité des villes enquêtées possèdent un réseau de bus mais quelques enquêtés ne se sont pas prononcés.

des brûleurs plus perfectionnés ou l'équipement de chaudières à condensation, etc... Notons que la production de chaleur par les collectivités se limite souvent à couvrir les besoins du patrimoine public. Mais dans 70 % des cas, elle s'étend à la production et distribution de chaleur sur un ou deux secteurs donnés du territoire urbain dans le cadre de réseaux de chaleur. Parfois, il est fait allusion à une production d'électricité par centrales photovoltaïques ou par installations de cogénération. Cependant, il faut garder à l'esprit que la production et la distribution d'énergie par les collectivités locales des villes moyennes françaises est une activité minoritaire.

Au vu des résultats de l'enquête, le champ de l'urbanisme n'a pas été franchement considéré comme un biais d'action de la politique énergétique (voir figure D en annexe 5). Les politiques et les actions menées dans ce cadre là sont relativement peu diversifiées. Beaucoup d'enquêtés ne se prononcent pas. Ils nous renvoient pour 35 % d'entre eux aux documents d'urbanisme existant ou à venir tels que le PLU/PADD ou le SCOT qui intègrent des notions générales de développement durable. Les deux thèmes qui reviennent le plus sont la coordination entre l'urbanisation et les transports publics<sup>109</sup> et la réalisation d'opérations urbaines « HQE ». En effet, près de 50 % des enquêtés considèrent que la coordination existe et qu'il n'y a pas d'opérations nouvelles sans qu'une ligne la desserve. Seulement, certains admettent également que la desserte est pensée après l'urbanisation et non l'inverse. Par ailleurs, près de 40 % des villes ayant répondu déclarent mener des opérations urbaines (ZAC, lotissements...) qui intègrent des critères de performance énergétique supérieurs à la réglementation existante et/ou l'utilisation d'énergies renouvelable voire de critères HQE. D'autres actions sont énoncées mais sont moins partagées : la piétonisation du centre ville ou le contour de l'hypercentre en voiture, la lutte contre l'étalement urbain ou les opérations de densification des zones urbanisées centrales.

Enfin, les actions de sensibilisation et d'incitation (voir figure E en annexe 5) reposent essentiellement sur des campagnes de promotion des bonnes pratiques. On recense des exemples très divers : la vente d'ampoules fluocompactes à bas prix, les campagnes de publicité pour les modes doux, etc... Elle repose également de manière importante sur les agences de conseils telles que les points info énergie/environnement, les Agences Locales de l'Energie etc... Bien que souvent financées par l'Etat et les Régions, ces agences sont également soutenues par les collectivités locales. Enfin, en troisième lieu, on voit apparaître les actions de sensibilisation dans les établissements municipaux,

---

<sup>109</sup> Les réponses concernant la coordination urbanisme/transports sont orientées par la sous-question du sondage.

elles sont aussi bien à destination du personnel que des usagers venus de l'extérieur (ex : affichage des consommations d'un bâtiment : « Display »<sup>110</sup>).

## **1.3 Les compétences des collectivités locales des villes moyennes en matière d'énergie**

Sur la base des résultats de cette pré-enquête quantitative auprès des autorités locales des unités urbaines de 100 000 à 300 000 habitants, nous pouvons désormais dresser une typologie des « compétences » qu'une collectivité locale possède pour agir sur les problématiques énergéto-environnementales de son territoire. Bien que les résultats confirment que les collectivités agissent principalement sur la gestion de leur propre patrimoine, d'autres thématiques non moins importantes ont été mises en avant : La sensibilisation et l'incitation, la production locale d'énergie, l'urbanisme, la gestion de la mobilité et la planification énergétique (voir figure 59).

### **1.3.1 Les actions sur les consommations du patrimoine municipal**

Les municipalités urbaines ont à charge divers équipements et bâtiments. Elles sont, très souvent, les plus importants consommateurs d'énergie d'une agglomération. Elles ont la possibilité d'agir directement sur leurs consommations en maîtrisant les besoins de l'éclairage public, en contrôlant et améliorant la performance énergétique de leurs bâtiments, de leurs équipements et de leur flotte de véhicules.

### **1.3.2 L'information et la sensibilisation**

Plus de la moitié des consommations d'énergie est liée à des actes quotidiens des particuliers. La maîtrise de l'énergie passera donc inévitablement par un changement des comportements citoyens. Et dans ce domaine, les collectivités locales ont un rôle non négligeable à jouer, elle peuvent engager des campagnes :

- de sensibilisation aux problématiques environnementales du personnel municipal, des usagers des équipements publics, des scolaires ou des citoyens en général,
- d'information et accompagnement des particuliers dans les choix d'énergie et dans les travaux de construction (ex : Point-info énergie, audit des logements...).

---

<sup>110</sup> Association Européenne de promotion de l'affichage des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre des bâtiments publics.



### **1.3.3 La production locale d'énergie**

Les autorités locales peuvent se constituer productrices d'énergie afin de proposer à leurs citoyens une énergie (chaleur, électricité...) obtenue grâce à des installations locales de production :

- de cogénération, de chauffage urbain,
- d'énergies renouvelables (valorisation des déchets, biogaz, biomasse, éolien, microhydroélectricité, solaire...).

Elles peuvent également encourager et favoriser la production autonome chez les particuliers, en apportant des aides financières à l'installation par exemple.

### **1.3.4 L'urbanisme durable**

Les politiques locales d'urbanisme n'intègrent que rarement le volet énergie, pourtant le champ d'action de l'urbanisme est très étendu. En effet, la planification et les opérations urbaines jouent un rôle sur la morphologie urbaine, sur la manière de construire les bâtiments et sur la prise en compte de variables majeures telles que les transports ou les réseaux de chaleur.

#### **- La morphologie urbaine :**

Les SCOT et les PLU donnent des orientations et des directives en matière de densité et d'affectation du sol. Or, nous l'avons vu précédemment (partie II, 4.3.3), selon qu'elle est dense ou étalée, mixte ou zonée, la morphologie d'un espace urbain a des incidences sur les déplacements. Elle en a également sur les besoins en chaleur et en éclairage public.

#### **- Le bâti et la construction :**

Les équipements, les logements ou les commerces peuvent être construits ou réhabilités en tenant compte de principes d'efficacité énergétique. Lorsqu'elle est propriétaire des terrains, la collectivité peut prescrire un cahier des charges imposant certaines contraintes ; par exemple : une performance thermique plus exigeante que la réglementation nationale, une architecture bioclimatique, l'intégration de production solaire... Par ailleurs, même si l'exemple ne nous a pas été fourni durant l'enquête quantitative, les collectivités semblent pouvoir intégrer dans leur réglementation d'urbanisme des conditions favorisant le développement des énergies renouvelables ou

d'un réseau de chaleur. Nous le verrons par la suite à travers l'exemple de Barcelone où une ordonnance municipale impose aux promoteurs immobiliers d'intégrer dans leurs constructions des panneaux solaires thermiques pour l'eau chaude.

#### **- L'urbanisme intégré :**

L'urbanisme va être amené à prendre en compte de nouvelles variables relatives aux transports et à l'énergie. Par exemple, l'accroissement de l'usage des transports publics peut être favorisé par une politique d'urbanisme en adéquation avec celle des transports publics. D'autre part, le réseau de chauffage urbain dépend d'une politique de la construction appropriée qui permettent une densité de logements suffisante. Un dernier exemple, l'orientation des bâtiments et la distance entre ceux-ci est essentielle pour profiter de l'énergie solaire passive.

### **1.3.5 La gestion de la mobilité**

Les collectivités locales et, précisément, les Communautés d'Agglomérations ou les Communautés Urbaines organisent les transports publics urbains. Par là-même, elles agissent sur les parts de marché des différents modes de transport. Les municipalités ont un certain pouvoir pour réduire les déplacements de personnes et de marchandises avec des véhicules individuels motorisés, tant en nombre qu'en distance parcourue:

- en ajustant la morphologie urbaine (limiter l'étalement urbain, créer des pôles de densité, atténuer le zonage du sol et accentuer la diversité des fonctions...)
- en taxant l'usage de l'automobile (ex: restriction des places de stationnement, péages urbains...)

Par ailleurs, il leur est possible de favoriser les modes de transport « doux » et d'abaisser les consommations d'énergie liées aux modes de déplacement (le vélo, les transports en commun, le co-voiturage ou l'auto-partage).

- en favorisant le transfert modal vers les transports publics, la marche, le vélo (etc.) grâce à des pôles intermodaux, des parcs relais ...
- en améliorant l'offre de transports en commun (vitesse commerciale, fréquence, coût des voyages...)
- en exploitant des modes de transports en commun aux technologies plus efficaces (bus au gaz, véhicules électriques, tramways...)

- en favorisant le vélo ou la marche (en aménageant des pistes cyclables ou en assurant des liaisons piétonnières...)
- en favorisant les initiatives alternatives telles que l'auto-partage, la location de voitures électriques ou de vélos électriques...
- en rationalisant les livraisons de marchandises.

### **1.3.6 La planification énergétique**

Enfin, bien que la planification énergétique soit encore peu répandue, cela semble être un atout primordial des collectivités. Déjà amorcé par la généralisation des Agenda 21, la planification énergéico-environnementale vise à établir une stratégie la plus appropriée possible à partir d'un diagnostic du territoire et un audit de la politique existante, afin de proposer des solutions et des objectifs actionnant chacune des compétences précitées : urbanisme, transport, production et fourniture d'énergie, information et sensibilisation... Les plans climats territoriaux préconisés par le Plan Climat National s'assimilent à cette démarche. Par la réalisation de ce type de programme, l'autorité locale adopte une approche globale de la problématique énergéico-environnementale, visualise les dysfonctionnements de son territoire et peut alors exercer des mesures efficaces.

Nous approfondirons chacun de ces points dans le chapitre suivant à travers l'illustration des meilleurs exemples rencontrés durant l'enquête de terrain dans plusieurs villes européennes.



Figure 59 : Le potentiel d'action des collectivités locales des villes moyennes en matière d'énergie.

## Chapitre 2. Les moyens d'actions des collectivités locales

Au travers d'exemples concrets de villes sélectionnées en France, en Espagne, en Suisse et en Allemagne pour leurs politiques et leurs stratégies énergétiques exemplaires : Fribourg (All.), Lausanne (S.), Barcelone (Esp.), Grenoble (Fr.), Limoges (Fr.), la Rochelle (Fr.), Perpignan (Fr), Dunkerque (Fr) et Clermont-Ferrand (Fr.). Nous recenserons, nous classerons et nous analyserons les différentes modalités d'action des autorités locales des villes moyennes sur les consommations d'énergie de leur territoire et sur les impacts environnementaux.

Ces actions seront classées selon la typologie mise en exergue par l'enquête précédente, c'est-à-dire : les actions sur les consommations du patrimoine public, la sensibilisation et l'incitation, la production locale d'énergie, l'urbanisme, la gestion de la mobilité et enfin la planification énergétique du territoire, en apportant un regard tout particulier pour les questions de production locale d'énergie, d'urbanisme, de mobilité et de planification qui sont à notre sens, les problématiques les plus ancrées dans une réflexion géographique d'aménagement du territoire.

### 2.1 Les actions sur les consommations du patrimoine

Même si, le champ d'action sur les consommations du patrimoine ne cache pas le potentiel de réduction des consommations du territoire le plus important, d'après le Mémento des décideurs locaux pour prévenir le changement climatique : « On estime que 10 % des émissions de gaz à effet de serre en France dépendent directement de la gestion des collectivités locales. »<sup>111</sup>

En effet, les collectivités locales consomment, en moyenne, près de 4 Mtep par an pour chauffer et éclairer les bâtiments publics, pour faire rouler leur flotte de véhicules et pour l'éclairage public. La dépense annuelle moyenne correspond à 30 € par habitant et par an, un poste qu'il convient de réduire. La ville de Clermont-Ferrand, par exemple, a fait de cet axe une priorité de sa politique énergétique.

## **La gestion du patrimoine, un axe prioritaire du programme *énergie* + de Clermont-Ferrand**

Les actions sur le patrimoine sont les mesures phares de la politique énergétique de Clermont-Ferrand. Les mesures les plus importantes sont : le suivi des consommations, la télégestion des chaufferies, les travaux d'isolation ou l'équipement en installations solaires thermiques des bâtiments publics.

Au total, la Ville est propriétaire de 450 bâtiments qu'il faut entretenir, rénover, isoler et chauffer. La commune gère par conséquent 130 chaufferies (dont 110 au gaz et 20 au fioul). Une grande partie d'entre elles est reliée à un système de télégestion qui permet de réguler la température de chauffe en fonction de l'usage du bâtiment. Les consommations de chacun des bâtiments sont archivées grâce au logiciel « Territoria ». Jusqu'à maintenant, cet archivage n'avait pas été suivi d'une analyse mais un poste de chargé de mission énergie vient d'être créé notamment pour effectuer cette tâche. Le service énergie aidé par l'Agence Locale de l'Energie se charge également de réaliser des pré-diagnostic pour identifier les bâtiments les plus énergivores.

Lorsque les bâtiments déviants sont identifiés, les services de gestion des bâtiments communaux puisent dans le FIT MDE (Fonds d'Intervention Technologique pour la Maîtrise de la Demande en Energie) mis en place par la collectivité pour engager des travaux d'amélioration de la performance énergétique. Par ailleurs, le second fonds voté par la Ville, le FIT ENR (Fonds d'Innovation Technologique pour les Energies Renouvelables) permet de financer les installations solaires ou les futures installations bois-énergie de la Ville. La production d'eau chaude solaire est également une action forte de la municipalité. Des panneaux solaires équipent une grande partie des bâtiments<sup>112</sup> : cinq crèches, deux gymnases, un groupe scolaire, un restaurant collectif... Enfin, la ville a choisi d'afficher la performance énergétique de ses bâtiments grâce au système d'étiquettes proposé dans le programme européen : « DISPLAY ».

## **2.2 L'information et la sensibilisation des citoyens**

En France, plus de 50 % des consommations d'énergies sont dus à des actes quotidiens des particuliers. En effet, le secteur résidentiel-tertiaire et le secteur des transports représentent à eux deux environ 70 % des besoins. Le mode de vie occidental a

---

<sup>111</sup> *Prévenir le changement climatique / Mémento des décideurs / Les collectivités locales engagées dans la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre*, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Mission interministérielle de l'effet de serre, deuxième édition 2003.

entraîné des comportements de plus en plus énergivores : plus de déplacements, plus d'appareillages spécifiques (appareils ménagers, hifi-vidéo, informatique...), plus de confort... plus de gaspillage. L'énergie fait partie intégrante du quotidien à tel point qu'on observe une perte de conscience des bénéfices qu'elle apporte. La maîtrise de l'énergie passera donc inévitablement par un changement des comportements citoyens notamment par une sensibilisation et une incitation à des conduites plus modérées. Si le rôle de l'Etat et des associations est très important dans ce domaine, les collectivités locales ont aussi un rôle non négligeable à jouer.

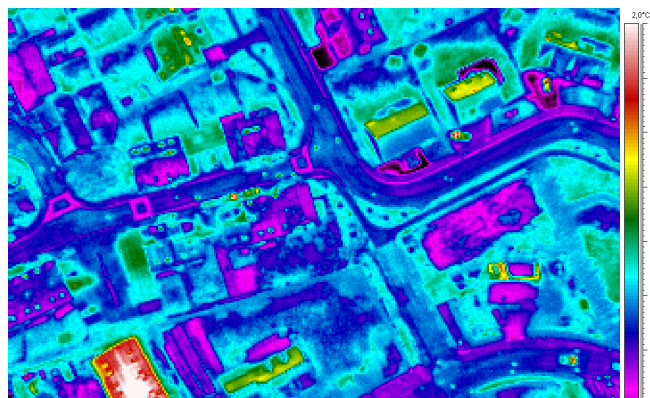


Figure 60 : Photo aérienne infrarouge de Dunkerque

Les collectivités, à travers les Agences Locales de l'Energie ou en menant des opérations et des campagnes orientées peuvent sensibiliser les citoyens aux problématiques environnementales et énergétiques. La ville de Dunkerque a par exemple décidé d'afficher les consommations des bâtiments dont elle est propriétaire en suivant le programme DISPLAY. Ainsi, tous les usagers sont informés sur les caractéristiques du bâtiment qu'ils fréquentent ainsi que sur les possibilités d'amélioration des performances.

Les Agences Locales de l'Energie (ADUHME à Clermont-Ferrand, ALE à Grenoble) ou les Points Information Energie (ADIL 63 à Clermont-Ferrand...), souvent soutenus en partie par les collectivités, délivrent également des informations techniques et accompagnent les citoyens dans leur démarches de rénovation ou dans le choix des énergies qu'ils utilisent.

D'autres opérations d'information telles que la thermographie aérienne sont très originales. Les villes de Dunkerque, Reims et Grenoble ont fait réaliser des photos aériennes de leur territoire par caméras infra rouge. Les habitants peuvent ainsi consulter les photos et les plans de synthèse qui attestent à un instant T de la déperdition de chaleur des bâtiments par le toit. C'est une façon originale et attrayante d'amener les

---

<sup>112</sup> Il faut évidemment pour équiper un bâtiment en panneaux solaires thermiques qu'il y ait un important besoin d'eau chaude en été, ce qui élimine les écoles qui sont généralement fermées en saison estivale.

populations à s'interroger sur l'isolation et le système de chauffage de leurs logements (voir figure 60).

## **2.3 La production locale d'énergie**

Originellement, la production d'énergie se faisait à proximité des lieux de consommation. L'évolution technologique des moyens de production et de transport de l'énergie, ainsi que l'augmentation des parts de marché du gaz et du pétrole (qui sont des énergies importées) ont entraîné une délocalisation de la production d'énergie. Ainsi, aujourd'hui, la plupart des villes françaises sont dépendantes des systèmes de production centralisés et des réseaux d'acheminement (lignes électriques, gazoduc, pipeline...). Pourtant, les systèmes de production d'énergie décentralisés sont, aujourd'hui, très performants (petite cogénération, éoliennes, chaufferies au bois, piles à combustible...). Notre enquête nous a amené à analyser des territoires qui fournissaient une importante part de leurs besoins à partir de productions locales d'énergie. Précisément, Fribourg (All.), Lausanne (S.) et Grenoble (Fr.) ont des entreprises locales de production et de fourniture d'énergie. Les autres villes étudiées : Limoges (Fr.), la Rochelle (Fr.) et Clermont-Ferrand (Fr.), même si elles présentent des équipements délocalisés intéressants (centrale de cogénération, centrales photovoltaïques, réseau de chaleur au bois...), n'ont pas d'entreprises locales d'énergie et sont nettement plus dépendantes de l'approvisionnement extérieur.

Dans un premier temps, nous présenterons les systèmes de production de chaleur et d'électricité les plus intéressants que nous avons pu observer lors des enquêtes de terrain pour en analyser les atouts, les contraintes et l'efficacité en termes de production d'énergie et de lutte contre le changement climatique. Puis dans un second temps, nous verrons, toujours à travers les exemples étudiés, quelles sont les caractéristiques et les avantages des entreprises de fourniture d'énergie locales.

### **2.3.1 Le chauffage urbain**

Les réseaux de chaleur ou chauffages urbains sont très répandus dans les villes étudiées. En 1997, 375 réseaux de chauffage urbain distribuaient de la chaleur et cinq réseaux distribuaient du froid dans 250 villes françaises (Camille Durand, 2001). Un réseau de chauffage urbain est « une installation qui comprend une ou plusieurs sources de chaleur, un réseau primaire de canalisations empruntant la voirie publique ou privée et aboutissant à des postes de livraison de chaleur aux utilisateurs, les sous-stations » (Henri



Prévoit, 2006)<sup>113</sup>. Le chauffage urbain représente au niveau national 6 % de l'énergie consommée pour le chauffage. Cette proportion serait de 12 % en Allemagne, 17 % en Autriche et 50 % au Danemark (AMORCE<sup>114</sup>). Les réseaux de chaleur les plus importants sont ceux de Paris (Compagnie Parisienne de Chauffage urbain), de Grenoble (Compagnie de chauffage de Grenoble ou CCIAG), de La Défense, de Strasbourg et de Lyon. Amorcée dans les années trente, la construction des réseaux de chaleur s'est accélérée entre les deux chocs pétroliers car ils valorisaient des ressources du territoire national (l'incinération des déchets ménagers, le charbon français, la géothermie...), ce qui participait à l'effort d'indépendance énergétique du pays. Même si les collectivités locales n'ont pas l'exclusivité de l'exploitation des réseaux de chaleur, ce sont elles qui en sont le plus souvent propriétaires. Qui plus est, un réseau de chaleur est soumis à l'autorisation d'occuper le domaine public. C'est pourquoi les collectivités jouent un rôle extrêmement important dans l'aménagement et l'exploitation des chauffages urbains. D'autant plus encore dans le cas des réseaux « classés ». Un réseau peut être « classé » et considéré comme prioritaire sur les autres énergies dès lors qu'il fournit de l'énergie provenant pour plus de la moitié de cogénération, de déchets ou d'énergies renouvelables. Dès lors, et après concertation entre le préfet et les différents concessionnaires de réseaux de chaleur, de gaz et d'électricité, le réseau classé a l'avantage sur les autres sources de chaleur. Si cette règle n'est pas respectée, la commune peut délimiter un périmètre de développement prioritaire.

En 1997, le gaz naturel (26 %), le fioul lourd (23 %), les ordures ménagères (22 %) et le charbon (22 %) sont les sources d'énergie les plus employées dans les chauffages urbains. La géothermie, la chaleur « fatale » industrielle et le bois sont exploités dans des proportions très minoritaires (DGEMP, 2001). Selon le SNCU (Syndicat National des Chauffages urbains), le gaz et les énergies renouvelables ont beaucoup progressé depuis. Aujourd'hui, le gaz utilisé pour les cogénérations représente 33 % du bouquet énergétique des réseaux de chaleur français. Les énergies renouvelables (surtout les déchets, mais aussi, le bois et la géothermie) représentent 21 %, le gaz seul 16 %, le fioul 13,5 % et le charbon 13 %.

Nous décrivons les caractéristiques, la faisabilité, les avantages et les inconvénients de plusieurs chauffages urbains alimentés par diverses sources d'énergie (cogénération au gaz, bois, incinération des déchets et des boues d'épuration) dans différentes villes

---

<sup>113</sup> *Les réseaux de chaleur*, rapport en réponse à une demande de Monsieur le Ministre de l'Industrie, Conseil Général des Mines, MINEFI, Henri Prévot avec la collaboration de Jean Orsell, 2006.

<sup>114</sup> Association de collectivités locales et de professionnels responsables des réseaux de chaleur de la gestion locale de l'énergie et de la gestion des déchets municipaux.

moyennes. Puis, nous analyserons le second réseau de chaleur français, celui de Grenoble ; car un tel système permet d'alimenter 85 000 personnes.

### **2.3.1.1 Atouts et contraintes des réseaux de chaleur**

#### **Les atouts des réseaux de chaleur**

Un réseau de chaleur présente des avantages certains par rapport à une multitude d'installations individuelles. En premier lieu, le chauffage urbain délivre généralement une prestation meilleur marché que les solutions individuelles au gaz. D'autre part, un chauffage urbain est souvent alimenté par un bouquet énergétique (gaz, bois, déchets, charbon...). Cette diversité est un atout dans la gestion même du réseau car elle permet une certaine flexibilité selon les critères de disponibilité et de coût des combustibles. Cela permet donc de maîtriser l'impact de l'évolution des prix sur le tarif du kilowatt/heure et d'assurer une certaine indépendance énergétique (en fonction de la nature et de la multiplicité des sources d'énergie employées).

Par ailleurs, cette production locale de chaleur met souvent en scène des ressources endogènes telles que les déchets du territoire, le bois de rebut, la géothermie, la chaleur industrielle. Ces énergies sont renouvelables et permettent de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre. Une partie voire la totalité de la matière première peut être d'origine locale. Sans réseaux de chaleur, il ne serait pas possible de valoriser à grande échelle certaines énergies renouvelables comme les déchets, le bois ou la géothermie et certaines énergies fatales (ex : la récupération de chaleur sur l'usine USINOR à Dunkerque, Partie II, 3.1.2.3)

De plus, la mutualisation des besoins de production en un seul et même point permet d'investir dans des technologies plus efficaces (ex : la cogénération...) et moins polluantes (ex : filtres...). D'ailleurs, les centrales de chauffe sont des installations classées soumises à des normes de rejets atmosphériques : les particules, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone... C'est pourquoi les centrales sont présentées comme plus performantes et moins polluantes qu'une multitude de chaudières individuelles. Enfin, une grosse unité est plus facilement reconvertible qu'un très grand nombre de chaufferies ou de chaudières. Enfin, l'introduction de nouveaux systèmes plus efficaces ou d'énergies renouvelables, bien que régie par les règles de rentabilité, peut être plus facilement impulsée par les pouvoirs publics.

## Les contraintes urbanistiques d'insertion d'un réseau de chaleur

Un chauffage urbain répond à certaines contraintes et comporte des inconvénients. Le premier point négatif réside dans l'importante perte de chaleur qu'un chauffage urbain étendu peut connaître. Malgré des bons rendements en sortie de chaufferie (près de 90 %), il y a des pertes sur le réseau (8 à 12 %). De plus, en période estivale, les besoins sont bien plus faibles et pourtant, il est nécessaire de maintenir le réseau en température. A Grenoble, l'hiver, le réseau est chauffé à 180°, à la mi-saison il est conservé à 130° et l'été, il est encore à 100° - si bien que la compagnie achète à la centrale déchets Athanor 2 MWh alors qu'elle n'en vend qu'un seul. Même si le rendement<sup>115</sup> moyen du chauffage urbain est de 85 % sur une année complète, il est seulement de 50 % en été. Notons que l'énergie issue des déchets est une énergie fatale qui se serait échappée dans l'atmosphère de toutes façons.

La distribution d'énergie en chauffage urbain exige certaines conditions relatives à l'aménagement du site. Les zones d'implantation d'un réseau de chaleur doivent être suffisamment consommatrices, soit par la présence de bâtiments fortement consommateurs d'énergie (ex : industries, hôpital...), soit par une importante densité d'occupation du sol (logements collectifs, bureaux...). La rentabilité d'un tel système est dépendante du rapport entre la demande et les distances à parcourir. Afin d'assurer la viabilité économique du chauffage urbain, il est indispensable que la demande d'approvisionnement soit suffisante pour amortir le financement du raccordement. Pour la Compagnie de Chauffage de Grenoble, le coût de raccordement varie entre 1 000 et 1 200 € par mètre linéaire. Ces charges fixes devront être amorties avant la fin du contrat de dix ans passé entre le client et le fournisseur. C'est pourquoi un chauffage urbain est un système inadéquat avec une forme d'urbanisation étalée. A Grenoble, le chauffage urbain n'est pas accessible à toutes les surfaces chauffées des sept communes desservies de l'agglomération car certains logements ou bureaux sont trop éloignés, le bâti n'est pas assez dense, bref, la demande n'y est pas assez importante pour effectuer un raccordement. Nous pouvons donc affirmer la nécessité d'une prise en compte de ce mode d'énergie dans la planification urbaine et dans l'urbanisme.

Les impacts environnementaux d'un chauffage urbain sont directement liés à l'énergie utilisée. Elles peuvent être de toutes natures : gaz, fioul, charbon, bois, déchets... Nous présenterons donc plusieurs exemples différents.

---

<sup>115</sup> Rapport entre l'électricité primaire et l'électricité vendue au client.

### **2.3.1.2 La cogénération au gaz, un moyen classique d'alimenter les chauffages urbains**

Comme l'illustrent les exemples de Limoges et de Clermont-Ferrand, les chauffages urbains au gaz naturel sont généralement équipés d'un système de cogénération qui permet la production combinée d'électricité et de chaleur. Ce système permet de doubler le rendement énergétique comparé à une production d'électricité classique.

#### **L'exemple des réseaux de chaleur de Limoges**

La collectivité de Limoges est productrice d'énergie. Plus de 7 000 logements sont chauffés grâce à des installations dont elle est propriétaire. La ville a mis en place trois réseaux de chaleur dans des zones urbaines denses, la ZUP de l'Aurence, la ZAC de l'Hôtel de Ville et la ZUP de Beaubreuil. Deux secteurs sont alimentés par des cogénérations au gaz et un autre est alimenté par la combustion des déchets de l'incinérateur. Le réseau de chauffage urbain de l'Aurence est le plus important de la ville. La chaufferie d'une puissance totale de 74,8 MW dessert 4 613 logements, elle fournit une chaleur totale de 76 216 MWh dont environ 60 000 MWh pour le chauffage et 16 000 MWh pour l'eau chaude. Cette centrale thermique utilise trois sources d'exploitation pour créer de la chaleur : le gaz naturel (91,7 %), la cogénération au gaz (6,9 %) et le fioul lourd à très basse teneur en soufre (1,4 %). Depuis mars 2001, la centrale est équipée d'un système de cogénération permettant une production annuelle d'électricité d'environ 4 600 MWh. L'équivalent des besoins d'électricité de 5 000 personnes sont fournis grâce à cette technologie de cogénération qui renforce l'efficacité du système.

#### **La cogénération de la Gauthière à Clermont-Ferrand**

La Gauthière est un quartier densément peuplé composé de logements collectifs. Il est alimenté par un réseau de chauffage urbain. La production de chaleur est obtenue grâce à une chaudière au fioul, une chaudière gaz et une centrale de cogénération au gaz. Environ 24 342 MWh d'énergie utile sont fournis et, après des pertes sur le réseau de 3 %, 23 315 MWh de chaleur approvisionnent 1 500 logements, deux groupes scolaires, deux centres sociaux et les ateliers municipaux. A partir du système de cogénération qui permet d'avoir un rendement<sup>116</sup> de 80 %, 9 131 MWh d'électricité sont produits et vendus à EDF (voir figure 61). D'après le service Environnement de la Ville de Clermont-Ferrand, l'efficacité technologique du système de cogénération permet d'éviter l'émission de 3 000 tonnes par an de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>116</sup> Le rendement énergétique correspond à la part d'énergie utile (chaleur et électricité) obtenue à partir de l'énergie primaire (gaz)

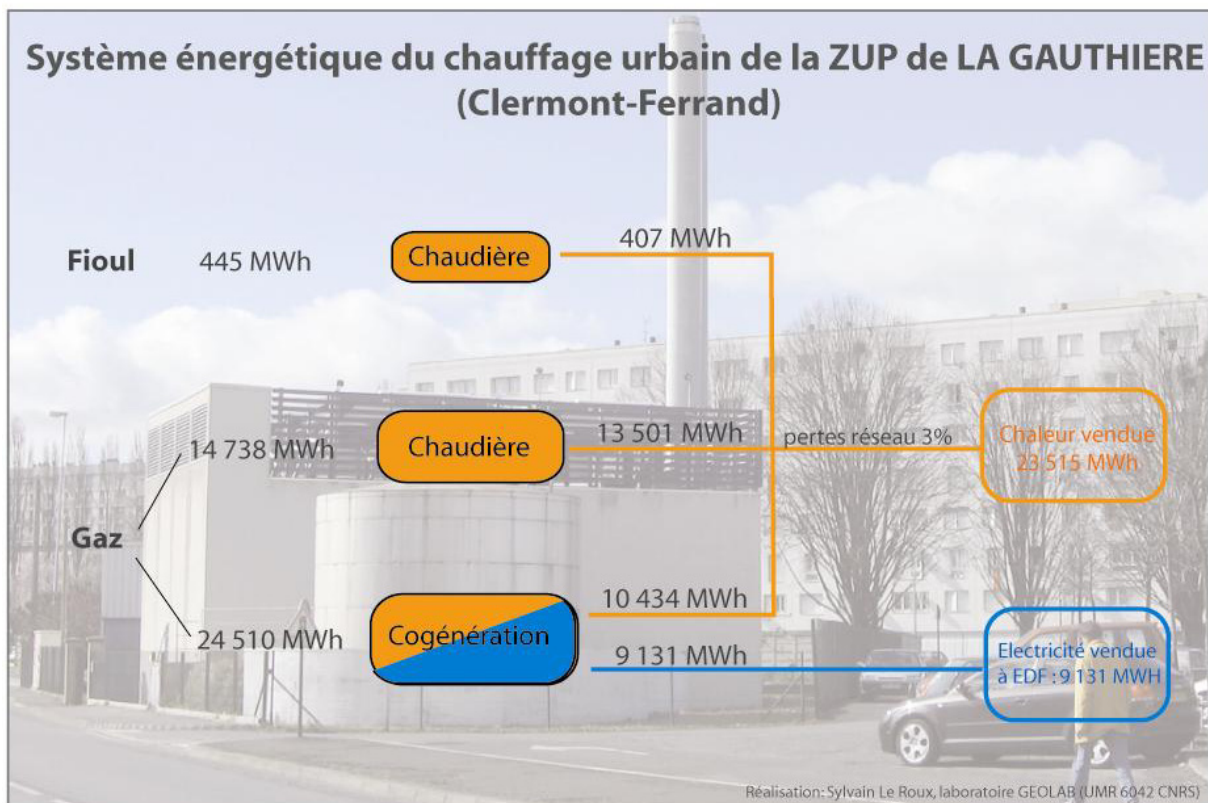


Figure 61 : Le système énergétique du chauffage urbain de la Gauthière à Clermont-Ferrand.

### 2.3.1.3 Le bois, une source d'énergie renouvelable de plus en plus utilisée pour le chauffage urbain

L'association AMORCE recense 16 réseaux de chaleur au bois en France, le plus important se situant à Felletin (Creuse). Le phénomène se développe peu à peu au gré des fluctuations tarifaires de la ressource bois et des ressources conventionnelles (gaz, fioul, charbon). Le réseau de chaleur de La Rochelle est un exemple encourageant de l'insertion de la ressource bois dans un chauffage urbain. Seulement, nous avons constaté que la diffusion de ce mode de production de chaleur collectif se heurtait à plusieurs contraintes : les coûts de la matière première et le développement de la filière d'approvisionnement en bois.

#### Un réseau de chaleur intégrant l'énergie bois et l'énergie solaire à La Rochelle

Grâce à une volonté politique de la commune de La Rochelle, le chauffage urbain de Villeneuve-les-Salines alimentant un quartier de 2 500 équivalents logements a été rénové en 2001. A cette occasion, la restructuration complète des infrastructures a permis d'améliorer le réseau de chaleur, d'installer une gestion technique centralisée et, par dessus tout, d'introduire une chaudière au bois ainsi qu'une installation de cogénération au gaz.

Le réseau de chaleur exploité par le groupe ELYO fonctionne désormais grâce à une chaudière bois (4 500 kW thermique), une cogénération au gaz (2 500 kW thermique et 2 030 kW électrique), une chaudière mixte<sup>117</sup> (7 800 kW) et une chaudière de secours (15 000 kW). La puissance installée totale de la chaufferie est de 31 MW thermique mais la puissance utile est de 14 MW. La ressource bois participe à la moitié de la production de chaleur<sup>118</sup> car la priorité est donnée à la chaudière au bois en été et en mi-saison. En hiver, la priorité est donnée à l'installation de cogénération puisqu'elle fonctionne 24h/24 du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars. La chaufferie bois est alors en priorité n°2 mais elle fonctionne généralement aussi 24 h/24. Notons aussi que 1 250 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques alimentent le quartier en eau chaude. Depuis 1979, 900 équivalents logements voient leurs besoins en eau chaude couverts à 65 % par l'énergie solaire.

La production annuelle du chauffage urbain est d'environ 24 000 MWh thermiques. Il dessert 2 500 équivalents logements soit environ 8 000 personnes ce qui correspond à 10 % de la population communale, plusieurs bâtiments tertiaires (publics et privés) : un lycée, un parc des expos, un collège, trois écoles et un centre commercial.

D'après Elyo, le réseau de chaleur et les installations solaires permettent d'éviter le rejet atmosphérique de 3 500 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par an grâce à la valorisation de la biomasse (3 000 teq. CO<sub>2</sub>) et de l'énergie solaire (500 teq.CO<sub>2</sub>). Cela correspond à l'émission de 600 équivalents habitants français<sup>119</sup>. Ce système est environnementalement très performant.

Les coûts liés à la rénovation du chauffage urbain ont été très importants : la chaudière au bois a nécessité des investissements de 800 000 € et la centrale de cogénération correspond à un investissement de 6,5 millions d'euros. Pourtant, d'après Jacques Brunet, le gestionnaire de la chaufferie, les nouveaux équipements ont permis une baisse de 27 % du coût du kilowatt/heure. Cette réduction des prix a aussi été permise grâce à des subventions importantes car la chaudière au bois a été subventionnée à une hauteur de près de 80 % par les instances publiques nationales et régionales.

L'inconvénient majeur sur ce réseau datant de 1979, c'est qu'il subit des pertes de chaleur malgré certains travaux d'isolation : 7 à 8 % de la puissance utile en sortie de chaufferie n'arrive pas jusqu'aux consommateurs.

---

<sup>117</sup> Une chaudière mixte au gaz et au fioul.

<sup>118</sup> Si la part de la ressource en bois atteignait 60 % de la production, l'exploitation du chauffage urbain bénéficierait d'un Taux de Valeur Ajoutée de 5,5%. C'est pourquoi ELYO réalise des études pour augmenter la part des énergies renouvelables (bois) et dépasser ce quota de 60 %.

<sup>119</sup> Etant donné que les émissions de gaz à effet de serre nationales divisées par le nombre d'habitants donnent pour résultat 6,5 teq.CO<sub>2</sub>/hab.

L'approvisionnement en bois, bien qu'aléatoire la première année, s'est organisé autour d'un gros fournisseur. La centrale de chauffe consomme 5 000 tonnes de bois par an, du bois de palette broyé. Ce sont, en moyenne, deux semi-remorques qui livrent le site de Villeneuve-les-Salines chaque jour. Le bois de palette broyé provient d'un groupe de collecte des déchets (SYTA / VRE) basé dans la région nantaise. En raison de l'absence de plateforme de commercialisation en Charente-Maritime, seule une partie minoritaire est achetée à des fournisseurs locaux pour sécuriser l'approvisionnement.

Cet exemple de réseau de chaleur présente des avantages similaires aux autres réseaux exposés précédemment. C'est un système meilleur marché que les systèmes individuels. De plus, la ressource en bois est un tiers moins chère que la ressource fossile (fioul, gaz). Une tonne de bois de palette livrée en produit fini revient à 45 € (Elyo). Par ailleurs, les gaz d'échappement de la chaufferie sont traités par des systèmes perfectionnés que l'on ne rencontre pas sur des installations individuelles (ex :traitement des fumées par électrofiltre).

Mais, l'avantage majeur de ce réseau de chauffage urbain, c'est qu'il fonctionne à partir de quatre sources d'énergie. Cela permet de sécuriser l'approvisionnement et de conserver des prix de vente stables en cas d'augmentation d'une des ressources. Enfin, cela offre une sécurité au niveau technique. Si une chaudière tombe en panne, on peut fournir de la chaleur avec une autre énergie.

## Le chauffage urbain de Villeneuve les Salines



La chaudière au bois



L'installation de cogénération



Bois de palette déchiqueté



Panneaux solaires thermiques

Cliché: Sylvain Le Roux, Ville de La Rochelle

Figure 62 : Le chauffage urbain de Villeneuve-les-Salines à La Rochelle.



## L'indispensable organisation de la filière bois

Comme nous venons de le constater dans l'exemple de La Rochelle, la question de l'approvisionnement en ressource bois est au cœur du développement des chaufferies bois. La région Auvergne, le Conseil Général du Puy de Dôme, l'ADEME et la municipalité de Clermont-Ferrand, souhaitant valoriser cette énergie renouvelable, ont lancé un « Plan bois énergie développement local ». C'est l'ADUHME<sup>120</sup> qui anime ce programme, promeut l'utilisation des chaudières au bois et accompagne les maîtres d'ouvrage dans tout le département. Il existait en 2007 une trentaine de projets dans le Puy de Dôme ; la plupart en milieu rural, mais d'importants projets prennent forme dans l'agglomération. Il existe au moins trois projets, tous sous forme de réseau de chaleur :

- le réseau de chaleur de la ZAC de Tremonteix (570 logements),
- l'extension du chauffage urbain des quartiers nord (« Croix de Neyrat », « Champratelle », « Château des Vergnes »),
- l'extension du réseau de chaleur de La Gauthière pour alimenter le nouvel Hôtel de Région et le musée Roger Quillon qui s'ajouterait à l'actuelle centrale de cogénération.

La contrainte majeure de ces projets porte sur l'offre. La demande étant assurée par la trentaine de projets amorcés dans le département du Puy de Dôme, l'offre s'est organisée. La Ville de Clermont-Ferrand a déjà vécu une certaine difficulté d'approvisionnement de la chaudière au bois installée pour le chauffage des serres municipales et cette mauvaise expérience a échaudé les services municipaux. C'est pourquoi il est indispensable d'organiser la filière de façon à ce qu'il n'y ait pas de pénuries du même genre pour les projets futurs. Grâce à l'ADUHME, à un bureau d'études, aux professionnels du bois de la région et aux collectivités, un système a été mis en place : des plateformes seront créées afin de collecter la ressource et de la distribuer aux utilisateurs finaux<sup>121</sup>.

Même si la dynamique semble être en bonne voie, la concrétisation des projets bois-énergie de l'agglomération de Clermont-Ferrand est dépendante de l'organisation et de la structuration de cette filière d'approvisionnement en ressource bois.

---

<sup>120</sup> ADUHME : Agence pour un Développement Urbain Harmonieux et pour la Maîtrise de l'Energie.

<sup>121</sup> La société « ABC Auvergne Biocombustible » réunissant un logisticien spécialiste du bois énergie, une société de récupération du bois déchet et le syndicat de scieurs du département aura en gestion trois plateformes : deux plateformes directement implantées dans les deux grands massifs forestiers du département et une plateforme tampon à Clermont-Ferrand. Ces plateformes qui permettraient de collecter la ressource sous toutes ses formes (bois de rebut, bois de récupération, bois de palettes, exploitation forestière, sciures...) seront la propriété des collectivités et des groupements intercommunaux ayant investi dans le projet.

Ces questions d'organisation de la filière ont également été rencontrées à Grenoble. Jusqu'à aujourd'hui, la Compagnie de Chauffage a eu un contrat avec une société de récupération des déchets industriels banaux qui lui fournit du bois de palettes ou n'importe quel bois non traité préalablement broyé. Cette ressource est achetée 40 € la tonne<sup>122</sup>. Avec une tonne de bois, l'entreprise produit en général 3 MWh ce qui ramène le coût du MWh à 15 €. Cela correspond aux attentes de la Compagnie de Chauffage : un combustible bois au même tarif que le charbon<sup>123</sup>. Or, en 2007, selon Dominique MULE, Directeur technique de la Compagnie de Chauffage de Grenoble, il était difficile de trouver un nouveau fournisseur à ce tarif. L'association « Créabois » qui propose du bois-énergie issu de plaquettes forestières a affirmé ne pas pouvoir proposer des prix aussi compétitifs.

La production de chaleur, voire d'électricité (cogénération) à partir de la ressource bois est performante et elle n'émet pas de gaz à effet de serre ; seulement, ce système rencontre encore quelques difficultés, le temps que les filières nationales et régionales se mettent en place.

#### **2.3.1.4 L'incinération des déchets, une énergie fatale à valoriser**

Une autre ressource, très employée pour alimenter les réseaux de chaleur, est valorisée depuis plus longtemps, ce sont les déchets. Malgré les efforts de recyclage et de compostage, plus de la moitié des déchets ménagers sont mis en décharge, enfouis ou incinérés. En France, la chaleur produite lors de la combustion des ordures ménagères est récupérée et valorisée dans 80 usines d'incinération. Le seul moyen possible d'acheminer cette chaleur vers les consommateurs (logements collectifs, industries, équipements publics) est d'organiser un réseau de chaleur. L'incinération des déchets a un bilan relativement positif en terme d'effet de serre puisque les matières organiques et le papier-carton sont assimilés à de la biomasse et présentent un bilan carbone neutre, ce système évite l'enfouissement des déchets qui, après fermentation, produisent du méthane. Toutefois, la combustion des matières plastiques produit des gaz à effet de serre. Par ailleurs, l'incinération des déchets présente d'autres inconvénients : les rejets de polluants, notamment les dioxines. Voici, malgré tout, deux exemples intéressants, l'usine d'incinération de Beaubreuil à Limoges (Fr.) et l'usine TRIDEL à Lausanne qui prouvent que ce système fournit de grandes quantités d'énergie. Dans le même esprit, Lausanne exploite également les boues d'épuration.

---

<sup>122</sup> la ressource bois peut atteindre jusqu'à 35 % d'humidité, il faut donc corriger la quantité en fonction du pouvoir calorifique interne.

<sup>123</sup> Le charbon est le combustible le moins cher qu'elle utilise.

## La centrale énergie déchet de Limoges Métropole

Mise en service en 1989, l'usine d'incinération de la Communauté d'Agglomération Limoges Métropole traite 90 000 tonnes de déchets par an dans trois fours de 5 tonnes/heure. La récupération de la chaleur dégagée lors de la combustion des déchets urbains alimente un réseau de chaleur à 96,7 %. Seul un appoint au fioul lourd n° 2 ordinaire comble les déficits énergétiques en période de fortes consommations. L'usine produit environ 10 000 MWh d'électricité grâce à un turboalternateur<sup>124</sup>. Elle produit également du chauffage et de l'eau chaude à travers un réseau de chauffage à distance. Ainsi, 1 977 logements reçoivent 31 241 MWh de chaleur grâce à la combustion des déchets.

## La valorisation des déchets et des boues d'épuration à Lausanne

A Lausanne, 140 000 tonnes de déchets convergent vers l'usine TRIDEL (voir photographie 7) pour y être traités. Les déchets sont en partie incinérés dans deux fours dans lesquels la température atteint 1 100 °C. Cette chaleur que l'on peut qualifier de fatale est récupérée dans la chaudière tapissée de 42 km de tuyaux contenant de l'eau. L'eau chauffée à 400 °C se transforme en vapeur. Cette vapeur est valorisée pour la production d'électricité et de chauffage. Elle permet de faire tourner une turbine couplée à un générateur d'une puissance de 20 MW et de produire environ 60 GWh par an. Environ 15 % sont autoconsommés, le reste est redistribué sur le réseau électrique. La vapeur est également envoyée dans des échangeurs qui transfèrent une eau à 175 °C dans le réseau de chauffage à distance. La puissance thermique est de 60 MW pour une production de 200 GWh. L'usine Tridel a un rendement énergétique intéressant de 50 %<sup>125</sup>. La production énergétique de TRIDEL permet une économie de 35 000 tonnes de CO<sub>2</sub> d'après la municipalité, ce qui est considérable (l'équivalent des émissions de 6 000 Français).

Toujours à Lausanne, un second réseau de chaleur est alimenté par les boues d'épuration de la station de traitement de l'eau (STEP). Les boues d'épuration sont brûlées dans des fours pour fournir de la chaleur sur le réseau. En tout, ce sont 75 tonnes de boues déshydratées qui, mélangées à des copeaux de sciure, et autres déchets combustibles spéciaux, permettent de produire 20 000 MWh/an dans une installation de 4 MWth. Le surplus de chaleur en été est valorisé dans une centrale de froid par absorption et alimentent le siège du Comité Olympique International.

---

<sup>124</sup> L'usine d'incinération consomme déjà 4 000 MWh.

<sup>125</sup> Rapport entre l'énergie primaire (chaleur produite par la combustion des déchets) et l'énergie finale (électricité finale et fourniture de chauffage et d'eau chaude).



Photographie 7 : La centrale Energie-déchets TRIDEL à Lausanne.

### **2.3.1.5 Le chauffage urbain, un système pluri énergies, l'exemple de Grenoble**

#### **La compagnie de chauffage de Grenoble, une entreprise semi-publique**

Comme cela a été précisé précédemment, le réseau de chauffage urbain de la ville de Grenoble est le second plus important de France derrière celui de Paris, il dessert 85 000 équivalents logements soit 1/3 de la population de la ville. 774 208 MWh de chaleur ont été vendus en 2005. La compagnie de chauffage de Grenoble est une société d'économie mixte dont l'actionnaire principal est la Ville de Grenoble (52 % des parts). Aujourd'hui, elle est associée à Dalkia (42 %), Grenoble Alpes Métropole (5 %) et le Syndicat intercommunal de chauffage Echirolles/Grenoble.

#### **La genèse du réseau de chaleur de Grenoble**

La société de chauffage urbain de la ville de Grenoble a été créée en 1960 dans un double contexte de crise des mines de charbon de la Mure et de politique de construction. Cette société d'économie mixte a été constituée dans l'intérêt général pour améliorer les conditions de chauffage des habitants. Une première centrale fut implantée sur l'actuel site de « la Poterne » pour desservir les cités HLM « La Teisseire » et « Léon Jouhaud ». Le réseau de chaleur s'est ensuite étendu jusqu'à desservir aujourd'hui 85 000 équivalents logements sur sept communes. Cette croissance est liée à la forte expansion urbaine dont Grenoble a été le théâtre entre 1950 et 1970. Durant cette période, la ville engagea une importante politique de construction de logements sociaux. C'est évident, à Grenoble, le réseau de chaleur est véritablement le corollaire des logements sociaux. Le chauffage

urbain n'aurait pas atteint sa taille actuelle sans le raccordement de bâtiments densément peuplés et grandement demandeurs d'énergie.

### **Les clients et les parts de marché**

Le réseau de 144 km qui s'étend sur sept communes (voir carte de la figure 63) fournit de la chaleur en majorité pour l'habitat (46 %) mais aussi pour le tertiaire (37 %) et pour l'industrie (17 %). L'énergie de chauffage urbain est à un tarif plus compétitif que les solutions individuelles au fioul ou au gaz. C'est pourquoi le chauffage urbain s'est donc approprié dans un premier temps (années 70-80) les parts de marché du fioul, puis, celles des installations au gaz. La clé des parts de marché se trouve entre les mains des promoteurs qui parfois favorisent des solutions individuelles moins chères à l'installation (convecteurs électriques...).

### **Les sites de production et les sources d'énergie**

Six sites de production (voir carte de la figure 63) d'une puissance totale de 785 MW (2005) alimentent ce réseau en eau surchauffée à 180°C. La centrale d'incinération des déchets Athanor, qui est propriété de la Communauté d'Agglomération, fournit de la chaleur toute l'année par récupération de l'énergie fatale liée à la combustion des déchets ménagers. Elle est également équipée d'un turbo alternateur pour la production d'électricité. En période hivernale, c'est-à-dire d'octobre à avril, trois centrales s'ajoutent à la production : la Poterne (cogénération au charbon, au bois et aux farines animales), Isergie (cogénération au gaz) et la Villeneuve (charbon, bois). Les deux centrales de secours, Vaucanson et la chaufferie du CEA, fonctionnent au fioul et assurent un dépannage d'appoint.

Le chauffage urbain fonctionne à partir de six sources d'énergie différentes. Les 170 000 tonnes de déchets<sup>126</sup> ménagers assurent 30 % de la production, le charbon 33,6 %, le fioul 13,8 %, le gaz naturel 12,5 %, le bois 7,2 % et les farines animales 3 %. L'ensemble de ces installations émet 155 000 tonnes de CO<sub>2</sub><sup>127</sup> (2006).

Dans le cadre du plan climat de l'agglomération, la compagnie de chauffage s'est engagée à doubler sa capacité de combustion à partir de la ressource bois (déchets bois recyclés et plaquettes forestières) et à éviter l'émission de 25 900 tonnes de CO<sub>2</sub>/an. Lorsque le programme de réduction des gaz à effet de serre aura abouti, 55 % de la chaleur

---

<sup>126</sup> Bilan 2006 de l'environnement industriel en Rhône-Alpes

<sup>127</sup> Pour un taux d'émission évalué par la compagnie à 200 g/KWh considérant les émissions liées aux énergies fatales (déchets), renouvelables (bois, farine) et de cogénération égales à 0.

produite sera issue en majorité d'énergies renouvelables. Cette ambition nécessite la mise en place des actions préconisées dans le Plan Climat de l'agglomération :

- la poursuite de la rénovation de la centrale de la Villeneuve<sup>128</sup> (19 000 tonnes de CO<sub>2</sub> évités pour 7 millions €),
- l'augmentation de la capacité de valorisation des déchets ménagers de l'usine d'incinération par la rénovation des fours intérieurs,
- l'Installation d'un second alternateur pour optimiser la combustion des déchets ménagers (1 900 tonnes de CO<sub>2</sub>/an évités pour 5 millions €),
- et des partenariats avec les clients du chauffage urbain dans la réalisation de diagnostics énergétiques<sup>129</sup> (1 000 tonnes de CO<sub>2</sub>/an évitées pour 10 000 €/an).

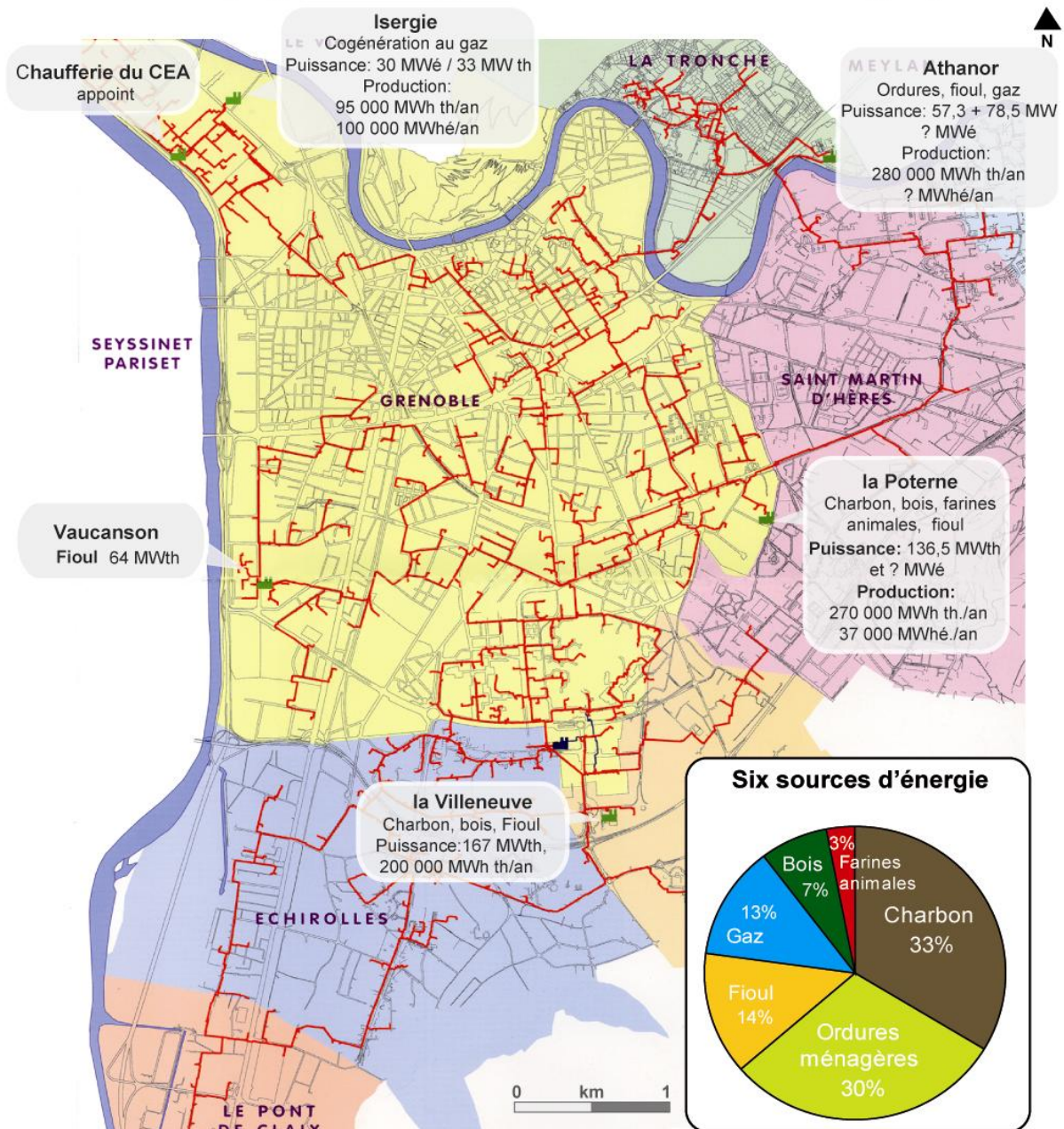
---

<sup>128</sup> La capacité de combustion du bois est déjà passée de 3 000 à 25 000 tonnes de bois en 2006 et elle devrait absorber 40 000 tonnes d'ici 2008 (19 000 tonnes de CO<sub>2</sub> évités pour 7 millions €).

<sup>129</sup> Source : *Plan climat local de Grenoble*, janvier 2007

# Le réseau de chaleur de Grenoble, 2005

## Sources d'énergie, puissances, productions et émissions de gaz polluants



D'après un fond de carte de la CCIAG, des données de la CCIAG et des données de la DRIRE

Emissions* des centrales de chauffe en 2004 (en tonnes/an)						
Emissions en tonnes par an	La centrale des déchets Athanor	la Poterne	Isergie	La Villeneuve	Vaucanson	CEA
CO <sub>2</sub>	148746	122009	56188	83271	1017	2811
N <sub>2</sub> O	12	14		8	0,03	0,1
CO	4,7	13	4	9,6	0	0,2
Poussières	1,9	7		5,3	0,2	0,6
NO <sub>x</sub>	243	126	36	123	1,8	6,1
SO <sub>2</sub>	17	104		272	2	7,9

\* Y compris les émissions liées aux ordures ménagères, farines animales et bois qui ont un bilan CO<sub>2</sub> neutre  
Source: Bilan de l'environnement industriel en Rhône Alpes 2004 de la DRIRE

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS.

Figure 63 : Le réseau de chaleur de Grenoble.

### 2.3.2 La production de chaleur par l'énergie solaire

Les systèmes de production de chaleur à partir du rayonnement solaire pour l'eau chaude (chauffe-eau solaires individuels ou collectifs) ou pour le chauffage (système solaire combiné) sont des systèmes qui s'adaptent parfaitement aux conditions des espaces urbains. Les panneaux solaires thermiques équipent les toitures des bâtiments consommateurs d'eau chaude et de chauffage et participent à la production d'eau chaude ou de chauffage en fonction de l'ensoleillement. La majorité des collectivités étudiées durant l'enquête de terrain ont mis en place des systèmes de ce type pour alimenter leurs propres bâtiments (équipements sportifs, écoles et crèches, logements sociaux...), d'autres incitent financièrement leurs habitants à s'équiper. La politique énergétique de Clermont-Ferrand qui est particulièrement axée sur le développement de l'énergie solaire présente ces deux outils.

#### La diffusion du solaire à Clermont-Ferrand

Le Fonds d'innovation technologique pour les énergies renouvelables, voté lors du programme *énergie +* de la municipalité de Clermont-Ferrand, a permis à la ville d'investir dans un certain nombre d'installations solaires thermiques. Environ 240 m<sup>2</sup> sont posés sur des bâtiments appartenant à la collectivité : des crèches, un restaurant municipal, des gymnases, le centre de maintenance du tramway et des logements sociaux. Exactement 343 m<sup>2</sup> sont installés sur une barre HLM du quartier Saint-Jacques nommée « la muraille » ainsi que 265 m<sup>2</sup> sur le nouveau quartier de la République. En tout, ce sont 872 m<sup>2</sup> qui sont installés sur des bâtiments publics (Municipalité, OPHLM...) et qui produisent 502 MWh de chaleur par an (voir figure 64). Cela permet d'éviter entre 103 et 142 tonnes de CO<sub>2</sub>/an selon que les installations substituées seraient au gaz ou au fioul, soit l'équivalent des émissions de 17 à 24 français.

Il faut dire que la politique locale appuie depuis quelques années le développement des énergies renouvelables et particulièrement du solaire. Le solaire, en tant que technologie innovante, véhicule une image dynamique et progressiste. Il a été utilisé à Clermont-Ferrand comme un élément de communication de la collectivité et du territoire. Ce mode d'action a donc, en premier lieu, été adopté et favorisé par la municipalité pour son aspect promotionnel.



### Le solaire thermique à Clermont-Ferrand

	Propriétaire	Surface en m <sup>2</sup>	kWh produits	Equivalent en TEP	Tonnes de CO <sub>2</sub> évité/an (si gaz)	Tonnes de CO <sub>2</sub> évité/an (si fioul)
Restaurant de la charme	Municipalité	25	11 500	0,99	2,36	3,26
Groupe scolaire Jules-Ferry	Municipalité	20	6 160	0,53	1,27	1,75
Gymnase Raymond Perrier	Municipalité	30	15 500	1,33	3,19	4,40
Crèche de Saint-Jacques	Municipalité	30	16 550	1,42	3,40	4,70
Crèche Sully	Municipalité	20	13 550	1,17	2,79	3,85
Vestiaires du stade Leclanché	Municipalité	26	12 800	1,10	2,63	3,63
CPIE Clermont-dômes	Municipalité	4	2 000	0,17	0,41	0,57
"La Muraille" de Saint-Jacques	Office HLM	343	215 800	18,56	44,36	61,24
Crèche de Montferrand	Municipalité	20	9 614	0,83	1,98	2,73
Crèche des Vergnes	Municipalité	22	12 751	1,10	2,62	3,62
ZAC République	Office HLM	265	156 233	13,44	32,11	44,34
Centre de tram de Champratel	SMTC	39	15 800	1,36	3,25	4,48
Centre d'hébergement et de réinsertion sociale	Municipalité	28	13 550	1,17	2,79	3,85
<b>Total</b>		<b>872</b>	<b>501 808</b>	<b>43,16</b>	<b>103,14</b>	<b>142,41</b>

Figure 64 : Les chiffres du solaire thermique à Clermont-Ferrand.

Depuis, à Clermont-Ferrand, le solaire thermique a dépassé le simple stade de l'expérimentation. Si bien que le maire a décidé en 2006 que la Ville s'associerait au Conseil Régional et au Conseil Général dans le cadre du « Plan soleil » pour aider financièrement les particuliers à s'équiper de panneaux solaires. Tirant les conclusions des maigres résultats du « Plan soleil » dans l'agglomération, la municipalité a pris conscience de la nécessité d'un coup de pouce supplémentaire pour stimuler la demande Clermontoise. Un projet s'est monté : grâce à un budget prévisionnel de 70 000 €, la ville avait fixé des subventions à hauteur de celles du Département et de la Région (voir tableau suivant, figure 65) auxquelles il fallait ajouter les crédits d'impôts de l'Etat. Au final pour le solaire collectif, par exemple, les aides atteignaient 640 €/m<sup>2</sup> pour des prix constatés de 1 200 - 1 500 €/m<sup>2</sup>. Seulement un transfert de la compétence « Maîtrise de l'énergie » à la communauté d'agglomération de Clermont a mis cette opération en standby.

	ADEME/Etat	Conseil Régional	Conseil Général	Ville de Clermont
<b>Chauffe eau solaire individuel</b>	Crédit d'impôts	460 €	460 €	460 €
<b>Système solaire combiné</b>	Crédit d'impôts	950 €	950 €	950 €
<b>Solaire collectif</b>	160 €	160 €/m <sup>2</sup>	160 €/m <sup>2</sup>	160 €/m <sup>2</sup>

Figure 65 : Les aides publiques en faveur du solaire thermique à Clermont-Ferrand.

### 2.3.3 La production locale d'électricité d'origine renouvelable et la cogénération

Les collectivités locales peuvent produire de l'électricité, soit en exploitant des centrales de production isolées, soit à plus grande échelle, par le biais d'une régie d'électricité, d'une société d'exploitation (Société d'économie Mixte par exemple). Ainsi, elles peuvent développer sur leur territoire des productions d'énergie renouvelables et/ou efficaces (cogénération...). Nous verrons comment certaines villes ont favorisé les centrales photovoltaïques, la production d'électricité à partir du biogaz ou la cogénération avant de constater que les entreprises locales d'énergie constituent un atout considérable pour le développement des énergies renouvelables mais aussi des économies d'énergie.

#### 2.3.3.1 Les centrales photovoltaïques, des éléments promotionnels de la politique énergétique de Clermont-Ferrand

Après que la ville de Clermont-Ferrand eut équipé le toit des services techniques de 186 panneaux photovoltaïques, soit 250 m<sup>2</sup> de capteurs pour une puissance installée de 33 kWc<sup>130</sup>, la Communauté de Communes a promu la construction d'une centrale photovoltaïque de 150 kWc.

La construction du site de maintenance des tramways du nord de Clermont-Ferrand en 2006 a été l'occasion pour le SMTC (Syndicat Mixte des Transports en commun de l'agglomération de Clermont-Ferrand) de devenir producteur d'électricité. Cette initiative politique - le président du SMTC est le maire de Clermont-Ferrand - est avant toute chose une opération d'affichage. L'idée première était de compenser une partie des besoins du tramway par une production d'électricité d'origine renouvelable. Le premier projet avait d'ailleurs pour but l'autoconsommation de l'électricité produite par les lignes de tramway. Cependant, le choix de revendre l'électricité produite à un tarif préférentiel à EDF s'est imposé de lui-même. D'autant que, depuis juillet 2006, le tarif d'obligation de rachat de l'électricité d'origine photovoltaïque avait été revu à la hausse.

Après deux ans de montage du projet et de bouclage des dossiers, une centrale photovoltaïque d'une puissance de 150 kWc<sup>131</sup> a vu le jour. C'était, à l'époque, la plus importante centrale photovoltaïque publique de France. Sa production annuelle est

---

<sup>130</sup> Cette centrale photovoltaïque produit 33 MWh/an. Bénéficiant de l'ancien tarif de rachat, elle génère environ 5 000 €/an soit 99 000 € en 20 ans alors que l'investissement s'est élevé à 188 000 € en 2003. Le temps de retour sur investissement a pourtant été abaissé à 14 ans grâce aux subventions selon M.Cavagna, Directeur du service « Maintenance et Exploitation ».

<sup>131</sup> L'abréviation « kWc » signifie KilowattCrête soit la puissance électrique délivrée dans des conditions standards de test (STC) : des modules présentés perpendiculairement au soleil, un ensoleillement nominal de 1000 W/m<sup>2</sup>, spectre solaire normalisé (AM=1,5) et une température de cellule de + 25°C.

estimée à 143 000 kWh/an, l'équivalent de la consommation moyenne d'électricité hors chauffage et eau chaude de seulement 140 personnes.

	Modules en pare soleil	Modules en terrasse	Total
technologie	multicristallin	monocristallin	
nombre de modules	272	666	938
surface	269,91 m <sup>2</sup>	866,47 m <sup>2</sup>	1136,38 m <sup>2</sup>
puissance	33,5 kWc	116,5 kWc	150 kWc
rendement	12,40 %	13,50 %	
production totale	22,89 Mwh/an	120,00 Mwh/an	142,89 MWh/an

Figure 66 : La centrale photovoltaïque de Champratel à Clermont-Ferrand.

La centrale est composée de deux structures. 272 modules multicristallins sont intégrés dans l'architecture du bâtiment comme brise soleil et sont, par conséquent, éligibles au tarif de rachat de 0,55 €/kWh fixé par l'arrêté du 10 juillet 2006. 666 autres modules monocristallins sont installés sur la toiture terrasse du centre de remisage des tramways et produisent une électricité rachetée à un tarif de 0,30 €/kWh puisqu'ils ne sont pas intégrés architecturalement. L'investissement total s'est élevé à 822 500 €. Cette somme comprend les équipements (les cellules, les onduleurs...), la maîtrise d'œuvre (110 000 €) et le raccordement au réseau d'électricité (18 300 €). L'ADEME et la Région Auvergne ont fourni des subventions de 104 000 € et 100 000 €. Le SMTC n'a donc eu qu'à réunir 618 500 €, grâce à un emprunt à 5 %. La rente solaire obtenue grâce à la vente des électrons à EDF s'élève à 48 600 €/an. Etant donné que la garantie de ce contrat entre le producteur et l'acheteur court sur vingt ans, le total du chiffre d'affaire approchera les 972 000 €.

Dans le cas où le SMTC n'aurait pas emprunté d'argent à une banque et qu'elle n'aurait pas de frais bancaire à restituer, M. Monge estime le temps de retour sur investissement à 13 années et demi <sup>132</sup>. Sachant que les cellules devraient avoir une durée de vie d'au moins 20 ans et que les onduleurs sont assurés<sup>133</sup> pour la même durée, l'opération semble intéressante. Cependant, le capital a été obtenu grâce à un emprunt à 5 %. Le taux de rentabilité interne et le temps de retour sur investissement net ne nous ont pas été divulgués. Cependant, les gestionnaires ont clairement souligné que cette opération n'avait pas pour objectif de générer des bénéfices.

<sup>132</sup> Temps de retour sur investissement brut = (Dépenses d'installation - subventions + dépenses d'exploitation + assurance des onduleurs) / gain annuel.

<sup>133</sup> moyennant une somme de 1 100 €/an pendant 20 ans.

« On a emprunté à un taux de 5 %, si vous comptez les agios que l'on va payer, il aurait peut-être mieux valu acheter des bus. Je ne suis pas sûr que c'était plus rentable. Après, ce sont des choix environnementaux, des choix d'affichage... En terme économique, ce n'est pas bon. » M.Monge, SMTC.

Le bilan économique de la centrale photovoltaïque du SMTC	Coûts (en €)
Investissement total	822 500
Subventions	104 000
Investissement net	618 500
Apport SMTC	123 700
Emprunt	494 800
Frais bancaire (5%) + assurance (0,5%)	289 000
Total des dépenses	907 500
Chiffre d'affaire d'exploitation annuel	48 600
Chiffre d'affaire sur 20 ans	972 000

Figure 67 :Le bilan économique de la centrale photovoltaïque de Champratel.

Si nous prenons en compte les frais bancaires liés à cet emprunt<sup>134</sup>, nous pouvons supposer que, dans ce cas, le temps de retour sur investissement (sans actualisation de l'argent) s'allonge à 18 années et demi. Et d'après nos calculs avec le logiciel CALSOL<sup>135</sup>, le taux de rentabilité interne est quasiment nul. Bref, l'opération financière ne semble pas intéressante.

De même, le potentiel de réduction des gaz à effet de serre de cette centrale est relativement restreint. L'intégration au réseau électrique de la centrale photovoltaïque de Champratel permet théoriquement d'éviter l'émission de 19 tonnes de CO<sub>2</sub><sup>136</sup>. Cette quantité de gaz à effet de serre évitée est relativement faible, elle correspond environ à l'équivalent de l'émission moyenne de trois habitants français ou aux émissions de douze voitures sur une année. Si l'on se base sur le taux européen<sup>137</sup> (sachant que le réseau européen est interconnecté), la centrale permet d'éviter le rejet de 68 tonnes de CO<sub>2</sub>. Peu importe l'échelle géographique considérée pour l'indicateur, l'installation photovoltaïque n'a qu'un impact restreint dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

<sup>134</sup> Les intérêts du crédit ont été estimés à 289 000 €.

<sup>135</sup> Logiciel de simulation d'une installation photovoltaïque créé par l'INES (Institut national de l'énergie solaire)

<sup>136</sup> Au vu de la répartition de la production électrique française de 2003, le coefficient d'émission de gaz à effet de serre par les installations de production d'électricité françaises est d'environ 125 g.éq.CO<sub>2</sub>/kWh. Ce taux d'émission de gaz à effet de serre est faible en raison d'un système électrique français basé en très grande majorité sur le nucléaire.

<sup>137</sup> Le taux correspondant aux moyens de production électrique mis en œuvre en Europe est 0,476 kg/kWh.



Cliché : Municipalité de Clermont-Ferrand

Photographie 8 : Les panneaux intégrés au bâti de la centrale de Champratel.



Cliché : Municipalité de Clermont-Ferrand

Photographie 9 : Les panneaux en surimposition de la centrale photovoltaïque de Champratel.

### 2.3.3.2 La valorisation des déchets pour produire du biogaz

Les collectivités locales peuvent également valoriser leurs déchets et/ou leurs boues d'épuration pour produire du biogaz. Plusieurs villes enquêtées font appel à ce système pour produire de la chaleur, mais aussi pour produire de l'électricité. A la station d'épuration de la ville de Limoges, les boues d'épuration résultant du traitement de l'eau produisent du méthane par un phénomène de digestion anaérobie. Ce biogaz obtenu permet d'alimenter un générateur d'air chaud pour la déshydratation des boues. Cette production de biogaz est anecdotique mais d'autres exemples révèlent un potentiel bien plus important. A Fribourg, les déchets fermentescibles des habitants de la ville sont collectés grâce à un système de tri différencié puis valorisés par un phénomène de digestion anaérobie. Les 36 000 t/an de déchets fermentent dans des cuves et produisent du méthane. Ce combustible est ensuite brûlé dans une centrale de cogénération reliée à un chauffage urbain. En plus de produire de la chaleur, 9 GWh d'électricité sont fournis par an ce qui équivaut à la demande de 3 000 ménages. A Clermont-Ferrand, c'est l'équivalent de 6 000 foyers qui sont alimentés en électricité grâce à la valorisation du biogaz produit au centre d'enfouissement technique.

#### L'exemple du centre d'enfouissement technique de Clermont-Ferrand

L'agglomération de Clermont-Ferrand a acquis la compétence transférée des communes relative à la gestion des déchets en 1999. Elle a, par conséquent, chargé la société ONYX du traitement de 230 000 tonnes de déchets par an. Les ordures ménagères (90 000 tonnes), les déchets industriels banaux (60 000 tonnes) et les boues d'épuration (20 000 tonnes) de l'agglomération ainsi que 60 000 tonnes en provenance de quelques autres communes du département sont enfouis dans le centre de Puy Long entre Clermont et Lempdes depuis 1954.

Dans le cadre de l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997 prévoyant que le méthane<sup>138</sup> issu de la fermentation des déchets organiques en l'absence d'oxygène soit brûlé en torchère ou valorisé, cette dernière solution a été privilégiée. Depuis mars 2001, une centrale de valorisation du biogaz a été mise en place. Ainsi, le biogaz alimente une génératrice qui produit de l'électricité. La construction et l'exploitation de la centrale a été confiée à GRS Valtech (Véolia propreté).

Le centre d'enfouissement technique est composé de plusieurs « casiers »<sup>139</sup> dans lesquels plusieurs couches de déchets sont répandues, compactées et recouvertes par une

---

<sup>138</sup> En réalité, le gaz émis est composé à 50 % de méthane, 35% de gaz carbonique et 15% d'azote.

<sup>139</sup> Des cuvettes d'une centaine de mètres de côté rendues étanches par une géomembrane.

couche de terre. Des drains enfouis dans les couches de déchets acheminent le biogaz issu de la fermentation des matières organiques vers des cheminées (voir figure 68). Les 2 500 m<sup>3</sup> horaires de biogaz sont collectés grâce à des tuyaux en surface et dirigés jusqu'à une unité de lavage et d'épuration puis injectés dans deux moteurs d'une puissance de 1 MW électrique chacun. Les moteurs entraînent un alternateur qui produit 14 600 MWh/an d'électricité.

Le montant total de l'investissement s'est chiffré à 2,02 Millions d'euros hors taxe. La société ONYX en a pris à sa charge les trois-quarts tandis que le reste a été subventionné par l'ADEME (0,23 M€) et le fonds européen de développement régional (0,23 M€). L'électricité produite par les installations qui valorisent les déchets ménagers ou assimilés en utilisant le biogaz des déchets<sup>140</sup> étant revendue à un tarif supérieur à celui du marché (0,053 € HT), le temps de retour sur investissement est estimé à 8 ans<sup>141</sup>.

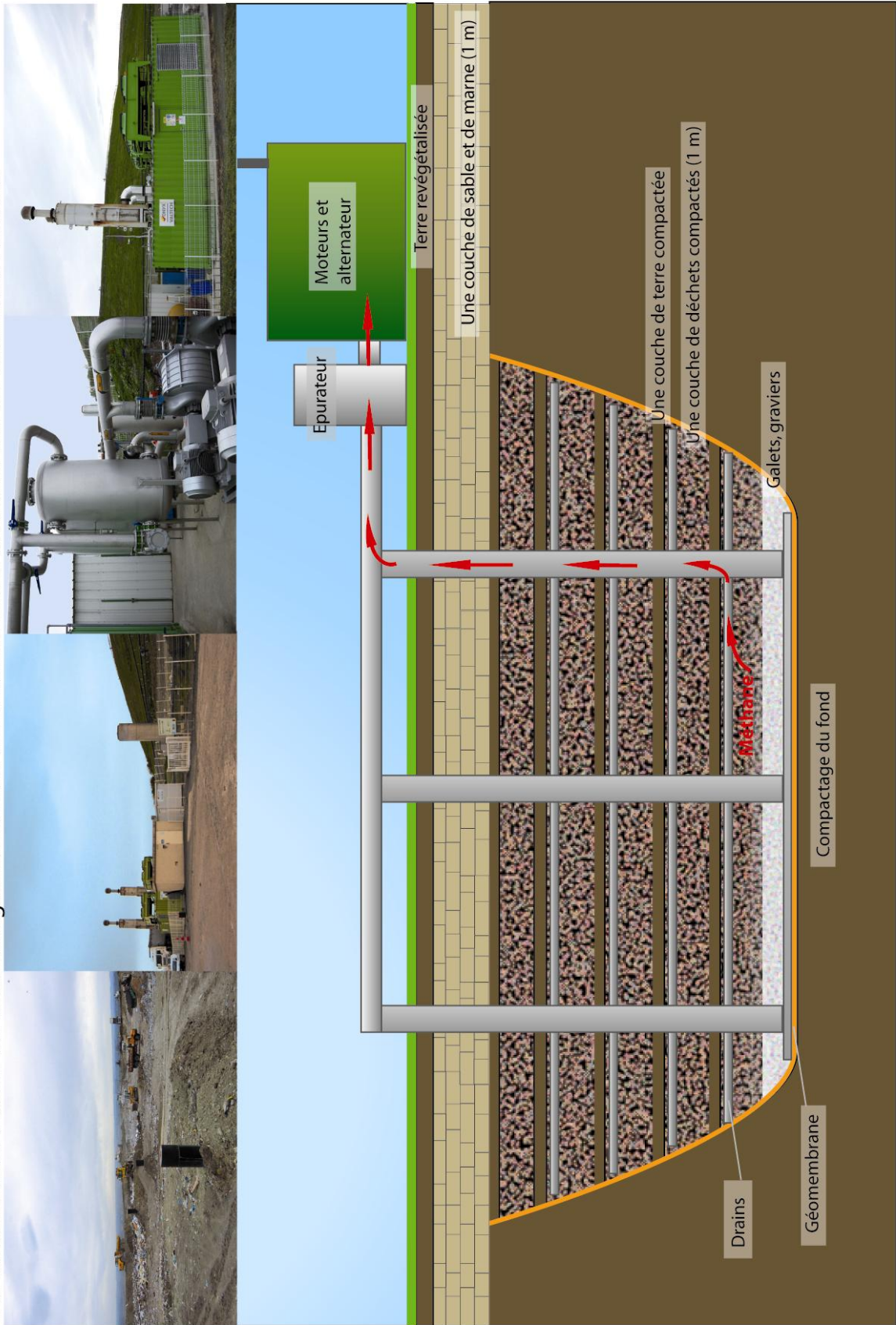
L'enfouissement des déchets offre certains avantages. Par exemple, en comparaison de son alternative directe, l'incinération, ce système ne rejette pas de dioxines. Cependant, le méthane est un puissant gaz à effet de serre et le brûler en torchère n'empêche pas totalement le rejet de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Alors, la valorisation énergétique d'un biogaz qui aurait de toute manière été émis semble être un procédé intéressant. La centrale de Puylong produit de l'électricité pour l'équivalent de 6 000 foyers, c'est un chiffre important qui révèle l'efficacité d'un tel système. Toutefois il y a un bémol à cette activité, les détracteurs soulignent les impacts aquatiques liés à la difficulté du traitement des eaux de percolation (le « laxivia ») dans les stations d'épuration.

---

<sup>140</sup> Arrêté ministériel du 3 octobre 2001.

<sup>141</sup> Source : ADUHME.

# Fonctionnement de la centrale biogaz du centre d'enfouissement des déchets de Clermont-Ferrand



Réalisation: Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB, UMR 6042 CNRS

Figure 68 : Fonctionnement de la centrale biogaz de Clermont-Ferrand.



### 2.3.3.3 Les éoliennes en ville

L'éolien est un mode de production d'électricité valorisant l'énergie du vent. L'implantation d'aérogénérateurs dépend du potentiel éolien, des contraintes naturelles (Natura 2000...) patrimoniales et paysagères (Sites et monuments inscrits...) mais aussi des contraintes réglementaires (radiocommunication, aéronautique...) et de la distance avec les habitations (au moins 500 m)<sup>142</sup>. C'est pour ces deux dernières raisons qu'il est plus commun de rencontrer des parcs éoliens en milieu rural. Les villes sont par essence plus densément peuplées et il y est plus rare de trouver des sites à distance suffisante des habitations. De plus, les espaces urbains sont soumis à une importante quantité de servitudes qui grèvent le territoire (aéroports, antennes de télécommunication...). Pourtant, des secteurs en milieu urbain sont tout à fait aptes à l'accueil de centrales éoliennes en périphérie de l'agglomération, dans les zones d'activité ou les ports. C'est le cas à Dunkerque ou à Perpignan. 15 éoliennes ont été érigées sur le sol de l'agglomération de Dunkerque pour une puissance installée totale de 15 MW (voir Partie II, 3.1.2.3). A Perpignan, et plus précisément sur la zone d'activité de la commune de Rivesaltes soit à une dizaine de kilomètre du centre ville, sont implantés huit aérogénérateurs - quatre de 1,3 MW et 4 de 600 kW - qui produisent 15 GWh et permettent d'éviter l'émission de 6 000 tCO<sub>2</sub> par an<sup>143</sup>. Ces centrales de production éolienne sont rarement portées par des collectivités locales bien que ce fut le cas à Dunkerque comme dans quelques communes rurales (ex : Laurière, 87).

Par contre, la loi POPE de 2005 et la circulaire relative aux zones de développement de l'éolien de juillet 2006 donne la compétence aux communes et aux Etablissements Publics de Coopération Intercommunale à fiscalité propre (les Communautés de Communes, les Communautés d'Agglomération, les Communautés Urbaines) de proposer des Zones de Développement Eolien au Préfet de Département. Les collectivités locales ont donc le rôle de déterminer les meilleurs sites d'implantation pour des aérogénérateurs sur leur territoire. Nous évoquerons l'exemple des Communautés de Communes Val de Vienne et Vallée de la Gorre en périphérie de l'agglomération de Limoges.

#### **Les premières éoliennes françaises à Dunkerque**

Jusqu'au début des années 1990, il n'existait aucune éolienne sur le sol français. L'hexagone, pourtant le second gisement éolien d'Europe, a dès le départ creusé son retard par rapport aux autres pays européens. Il faudra attendre juillet 1991 pour que la

---

<sup>142</sup> Cette distance minimale dépend de la propagation du bruit généré par l'éolien.

première éolienne française soit montée. Cela s'est fait en région Nord-Pas-de-Calais, dans la ville de Dunkerque.

Dunkerque est une unité urbaine de 191 000 habitants, sa commune-centre est une des rares communes urbaines à avoir accueilli des centrales de production électrique de type éolien. La municipalité, en tant que maître d'ouvrage, assistée de la société privée « Espace Eolien Développement » a réalisé cette première installation. L'opération a non seulement créé un précédent, donnant l'exemple et ouvrant la voie à d'autres initiatives, mais elle est également à la base de la réglementation qui a suivi concernant l'installation d'éoliennes et le rachat de l'électricité éolienne par EDF. L'opération de Dunkerque a ouvert les premières négociations en la matière, elle a servi de modèle expérimental avec un prix de rachat de 0,04 à 0,05 €.

Cette première éolienne, aujourd'hui démontée, avait une hauteur de 22,75 m au moyeu, le diamètre du rotor était de 25 m. En 1992, sa turbine d'une puissance de 300 kW a produit 400 000 kWh. Ce qui, selon la municipalité de Dunkerque, a permis d'éviter le rejet de 350 tonnes de CO<sub>2</sub>, 1,4 tonne de NO<sub>x</sub> et 2,3 tonnes de SO<sub>2</sub>. L'investissement atteignant 300 000 Euros, elle a été subventionnée à 50 % par l'Union Européenne.

En 1996, a suivi l'installation d'un parc de neuf éoliennes dans le port de Dunkerque. La mise en place et la gestion ont été effectuées par la région Nord-Pas-de-Calais qui, à cette occasion, a fondé une société d'économie mixte : *Eolienne Nord-Pas-de-Calais*. Cette fois-ci, la municipalité n'est pas maître d'ouvrage, mais elle a participé à la réalisation en mettant à disposition un site et en participant au financement à hauteur de 4 %. Les actionnaires principaux sont le Conseil Régional (53 %), CHARTH (filiale d'EDF) avec 24 % et Windmaster, un industriel hollandais spécialisé dans l'énergie éolienne (14 %). En tout, 9 éoliennes de 300 kW ont été montées, la centrale produisait 7 000 000 kWh par an.

Aujourd'hui, ces éoliennes sont démontées mais la raison n'est pas économique, la SEM *Eolienne Nord pas de Calais* se portait financièrement bien. En réalité, le site a été démantelé après la chute d'une éolienne le 20 mars 2004. Ce jour-là, le vent était violent (30 m/s) mais normalement pas assez pour inquiéter ce type d'installation certifié pour des vents de 59,5 m/s, l'enquête a démontré que c'était un défaut dans la réalisation de la fondation qui était à l'origine de cet échec.

---

<sup>143</sup> S'ils étaient produits par une centrale au gaz.

Cette infortune mise de côté, l'exemple montre combien le rôle des collectivités locales est important dans la valorisation des ressources éoliennes : les collectivités possèdent du foncier qu'elles peuvent mettre à disposition et elles ont les moyens juridiques et financiers d'engager des investissements d'envergure.

### **La proposition de zones de développement de l'éolien, l'exemple des communautés de communes Vallée de la Gorre et Val de Vienne (87)**

Depuis la loi POPE de juillet 2005 suivie de la Circulaire relative aux Zones de Développement de l'Eolien du 19 juin 2006, l'obligation de rachat à un tarif avantageux de 8,35 c€/kWh est réservée aux installations implantées dans un périmètre de Zones de Développement Eolien. Les ZDE sont définies par les préfets sur proposition des communes concernées ou des établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre (EPCI), en fonction du potentiel éolien, des possibilités de raccordement au réseau, de la protection des paysages.

Les communes et les instances intercommunales ont donc un nouveau rôle important à jouer dans le développement de l'éolien depuis juillet 2007, date d'application de la circulaire. Elles déterminent les sites les plus appropriés à l'implantation de parcs éoliens en fonction du potentiel de production (vitesse de vent), de la faisabilité économique et technique et de l'intégration paysagère. Les communautés de communes Val de Vienne et Vallée de la Gorre qui administrent un territoire périurbain à proximité de l'agglomération de Limoges se sont lancées dans la définition d'une telle zone après avoir constaté un potentiel éolien suffisant (Schéma éolien de la Région Limousin) et après avoir saisi la compétence communautaire relative aux ZDE. L'étude qu'elles ont engagé avec le bureau d'études spécialisé dans l'éolien, ENCIS WIND, a permis de choisir des zones hors de toutes servitudes d'utilité publique (radioélectriques, aéronautiques...) ou contraintes techniques (zones habitées...) et dans des conditions d'insertion paysagères positives.

Dans ce cas là, les collectivités participent pleinement à la politique nationale de développement des énergies renouvelables en définissant un site<sup>144</sup> capable d'accueillir une puissance relativement importante comprise entre 8 et 18 MW au potentiel éolien intéressant (5,5 à 6 m/s)<sup>145</sup>. Dans cette zone pourrait s'implanter un parc éolien qui produirait entre 16 000 et 36 000 MWh, une quantité d'énergie qui pourrait couvrir les besoins de plus de 15 000 personnes.

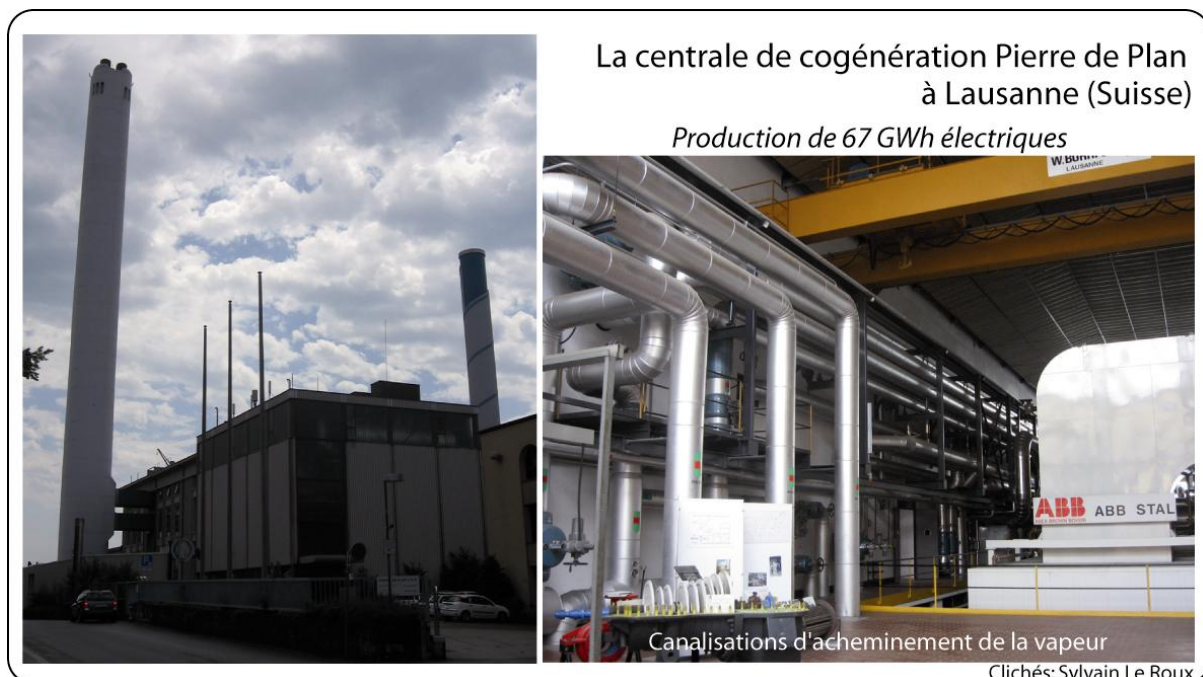
---

<sup>144</sup> Sous réserve de l'approbation du Préfet de Département.

<sup>145</sup> Il est considéré dans le Schéma Eolien de la Région Limousin qu'un potentiel de 5,5 m/s est suffisant pour développer un projet éolien.

#### 2.3.3.4 La production d'électricité à partir d'une centrale de cogénération, l'exemple de l'usine Pierre de Plan à Lausanne

Un moyen très efficace de produire de l'électricité en ville est la cogénération. L'installation de Lausanne permet de produire une très grande quantité d'énergie. Le chauffage à distance de Lausanne a été mis en service en 1934 à Pierre de Plan. Aujourd'hui, l'usine de cogénération d'électricité et de chaleur produit, à partir de la combustion du gaz naturel, de la vapeur qui entraîne une turbine et un générateur électrique, la chaleur de la vapeur est récupérée puis distribuée dans le réseau de chauffage à distance. L'installation Pierre de Plan est la plus importante centrale thermique combinée de Suisse. La génération d'énergie thermique (puissance thermique installée de 30 MWth) est couplée à une production d'électricité par un turbo-groupe à vapeur de 8 MW et par une turbine à gaz en cycle combiné de 26 MW, soit 34 MW installés. Cela a permis de produire 67 GWh électriques en 2002, soit l'équivalent de la demande en électricité (hors chauffage et eau chaude) de 65 000 personnes.



Photographie 10 : la centrale de cogénération de Pierre de Plan à Lausanne.

Malgré les constatations faites dans la Partie I, 3.1.1 sur la dépendance énergétique des villes, ces quatre exemples sur le photovoltaïque, le biogaz, l'éolien et la cogénération nous montrent qu'il est possible de produire de l'électricité en milieu urbain, qui plus est grâce à des sources d'énergies renouvelables ou des technologies efficaces. Les villes enquêtées qui ont présenté les exemples les plus probants de production locale d'énergie (Fribourg, Grenoble et Lausanne) avaient la particularité d'avoir une entreprise locale d'énergie.

## 2.3.4 Les atouts des entreprises locales d'énergie

### 2.3.4.1 Des systèmes énergétiques d'échelles spatiales variées

Le système énergétique français présente une organisation centralisée au niveau national. Cette organisation se retrouve dans d'autres pays mais, d'une manière générale, les modèles européens et occidentaux sont très divers : publics, mixtes ou privés, de gestion nationale, régionale ou municipale, réunissant l'ensemble des activités de transport, de distribution et de production ou les dissociant. Les types d'organisations industrielles et juridiques des secteurs électrique et gazier sont variés. En ce qui concerne les Etats-membres de la commission européenne, Josep Puig<sup>146</sup> l'ex-président de l'association Energie-Cité distingue deux modèles différents : Le modèle « centralisé » et le modèle « nordique ».

Bien que la libéralisation du marché électrique européen tende à modifier la donne, le modèle centralisé est celui qui est observé en France mais aussi, en Italie, au Portugal, en Grèce et en Angleterre. Il correspond à des systèmes composés de centrales de production de très grande puissance, interconnectées par des réseaux de grande capacité nécessitant une organisation centralisée au niveau national par une seule entreprise publique. En contre partie, ce modèle impose une lourde rigidité due à des temps de retour longs sur l'investissement et au manque de flexibilité des modes de production. Les initiatives locales sont écrasées par le poids de ce système centralisé.

Le modèle « nordique » présente une structure mieux répartie géographiquement et verticalement : Le système de production permet de faire coexister des centrales de production de grande envergure et des centrales de plus petite taille, ce qui va de pair avec le fait que les régions et les municipalités possèdent un pouvoir de décision et d'action plus étendu que dans le modèle « centralisé ». Ce modèle offre une meilleure flexibilité pour répondre aux besoins énergétiques du pays. Il est basé sur davantage de décentralisation et présente donc un taux important de productions locales (réseaux de chaleur, co-génération, petite hydroélectricité, éolien...). Les pays concernés sont les pays à tradition fédérale : l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse ainsi que les Pays-Bas et les pays nordiques au climat rude où l'énergie joue un rôle encore plus marqué : le Danemark, la Finlande, la Norvège et la Suède.

Dans ce modèle-ci, les municipalités ont, bien sûr, le pouvoir concédant des réseaux de distribution et elles touchent des redevances de concession. Il est également

---

<sup>146</sup> *Les collectivités locales et l'énergie*, FNCCR, France, 2001

fréquent que les collectivités locales aient leur propre entreprise d'approvisionnement et de production énergétique. Ainsi, en Allemagne, avant la libéralisation, il existait plus d'un milliard d'entreprises électriques locales. Ce système de fourniture d'énergie à l'échelon local présente certains avantages, la proximité permet une adaptation plus adéquate à la demande locale tout en favorisant des actions de maîtrise d'énergie.

- Les entreprises proposent des services multi-énergie (gaz, chauffage urbain, électricité...). Ainsi, en l'absence de concurrence entre les différents secteurs énergétiques, les modes d'énergies sont optimisés en fonction du type d'usage.

- Le service de proximité favorise les actions sur les économies d'énergie (ex : subvention de l'énergie solaire thermique ou photovoltaïque à Fribourg, diagnostics énergétiques, contracting energy...).

- Ce système favorise le développement des énergies endogènes et particulièrement des énergies renouvelables, ce qui a également pour conséquence de développer l'économie locale.

- Le fait que l'approvisionnement énergétique du territoire communal soit de la compétence des municipalités responsabilise les décideurs qui engagent des planifications énergétiques globales.

- En Suisse et en Allemagne, les régies de transport et les entreprises communales d'énergie ont souvent une économie liée ce qui permet de transposer les bénéfices de l'entreprise d'énergie sur le réseau de transport publics.

Les exemples de Lausanne, Grenoble et Fribourg justifient cet argumentaire en faveur des entreprises locales d'énergie. Nous présenterons les atouts d'une entreprise d'énergie ancrée dans le territoire et les difficultés liées à la libéralisation du marché de l'énergie à travers les exemples de Grenoble et de Lausanne.

#### **2.3.4.2 Gaz Electricité de Grenoble, un cas particulier en France**

*Gaz Electricité de Grenoble* est une société d'économie mixte dont la ville de Grenoble est l'actionnaire majoritaire (50 %) <sup>147</sup>. GEG est donc une entreprise locale d'énergie possédée par une majorité d'acteurs directement issus du territoire. La politique affichée par l'entreprise est d'assurer un service public local véhiculant des valeurs de

---

<sup>147</sup> Les autres actionnaires sont Suez Energie service (38,22 %), EDF par l'intermédiaire d'EDEV (4,31 %), Gaz de France à travers COGAC (4,31 %), Schneider Electric, la Caisse des dépôts et de consignations, la banque Rhône-Alpes, la Caisse d'Epargne des Alpes mais aussi le personnel de GEG.

solidarité et de développement durable. L'activité de GEG se tourne directement vers le territoire. L'entreprise assure la distribution du gaz et de l'électricité sur la ville de Grenoble, elle exploite ses propres centrales électriques et vend du gaz et de l'électricité.

Etant donné qu'elle est maîtrisée par la municipalité, l'entreprise locale d'électricité et de gaz de Grenoble a pour premier objectif d'assurer un service public, elle se doit donc d'assurer la péréquation des prix ainsi qu'une qualité de service. L'entreprise est plus proche physiquement et qualitativement du territoire qu'elle dessert. C'est pourquoi c'est un acteur incontournable de la politique énergétique grenobloise participant à l'ensemble des programmes mis en place par la collectivité : le Plan Climat, le Schéma énergétique, l'Opération Programmée d'Amélioration Thermique des Bâtiments...

De plus, l'entreprise semble avoir engagé une politique de développement durable qui se traduit sur le terrain par l'offre d'électricité provenant d'énergies renouvelables et des conseils en matière de maîtrise de la demande d'énergie. Le système de production qui fournit 20 % de l'électricité vendue sur le territoire est basé sur des systèmes d'énergie renouvelables (hydraulique et photovoltaïque) et efficaces (cogénération). GEG est actionnaire à 27,5 % de la centrale de cogénération « Isergie » qui fournit annuellement 100 GWh d'électricité et 95 GWh de chaleur pour des puissances installées de 30 MW électriques et 33 MW thermiques. Le second mode de production le plus important est la valorisation de la force hydraulique. Huit chutes d'eau des alentours de Grenoble sont équipées pour une puissance totale de 16,3 MW, ce qui fournit annuellement environ 60 GWh. GEG a également investi dans trois installations photovoltaïques. Bien sûr les puissances sont exprimées en kW mais de nombreux projets sont en cours de réalisation : une centrale de 200 kWc sur les bâtiments de GEG, une centrale de 100 kWc dans le nouveau quartier « durable » de Bonne... GEG souhaite devenir un acteur important du développement photovoltaïque de l'agglomération grenobloise en multipliant par dix la puissance installée qui est actuellement de 100 kWc. La stratégie affichée par GEG est d'arriver à fournir une électricité à 100 % d'origine renouvelable par des offres d'énergie verte. Cette stratégie serait mise en place au moins sur le marché ouvert de GEG sources d'énergies, filiale de GEG.

Installations de production d'électricité de GEG				
Type	Centrale	Commune	Puissance en kWé	Production annuelle en GWh
Centrale hydroélectrique	Le Doron	Pralognan (Savoie)	1350	5,6
Centrale hydroélectrique	La Gilière	Pralognan (Savoie)	3500	8,1
Centrale hydroélectrique	Montsapey	Montsapey (Savoie)	3800	9,7
Centrale hydroélectrique	Vaulnaveys-le-haut	Vaulnaveys-le-haut (Isère)	1100	3,4
Centrale hydroélectrique	Brignoud Haut	Brignoud (Isère)	850	4,8
Centrale hydroélectrique	Brignoud bas	Brignoud (Isère)	150	4,8
Centrale hydroélectrique	Bas-Laval	Laval (Isère)	550	3,3
Centrale hydroélectrique	Le Ferrand	Mizoën (Isère)	4500	17,1
Centrale hydroélectrique	St-Barthélémy-de-Séchilienne	St-Barthélémy-de-Séchilienne (Isère)	500	2,1
Centrale de cogénération	Isergie	Grenoble	30	100

Figure 69 : Les installations de production électrique de GEG.

Depuis 1998, GEG propose un service de maîtrise de l'énergie. Le *département d'utilisation rationnelle de l'énergie* délivre des diagnostics ou des conseils en maîtrise de l'énergie à des particuliers et des PME. En 7 ans, 1 700 services MDE ont été réalisés (90 % pour les particuliers et 10 % pour les professionnels). Ces actions ont permis d'économiser 3,4 GWh/an et d'éviter d'émettre 660 tCO<sub>2</sub>/an. En 2006, 335 services de MDE ont été délivrés dont 64 % gratuits à des personnes en difficultés pour les aider à maîtriser leurs factures. Ces actions d'économies d'énergie sont vouées à être renforcées dans le cadre des certificats d'économie d'énergie<sup>148</sup>.

GEG a aussi la responsabilité de l'éclairage public, soit 19 000 points lumineux qui ont consommé 15 110 MWh en 2005. En 1996, l'éclairage public consommait 16 370 MWh. L'entreprise est donc parvenue à réaliser des économies d'énergie de 8 % en 10 ans.

Enfin, GEG a innové dans un marché relativement cadenassé puisque l'entreprise a développé une station d'approvisionnement en GNV destinée au grand public et plus particulièrement aux 500 véhicules légers et 70 bus qui roulent avec ce carburant.

<sup>148</sup> Obligation de produire ou d'acheter des CEE à compter du 01/07/06 pour les vendeurs d'énergie ayant vendu en 2004 plus de 400 GWh d'électricité, de gaz naturel, de chaleur ou de froid, 100 GWh de GPL et dès le premier litre de fioul instauré par la loi d'orientation sur l'énergie du 13 juillet 2005.





Photographie 11 : La station « véhicule propre » de GEG et la boutique commerciale de GEG.

GEG a le monopole de la distribution de l'électricité et du gaz et jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2007, elle avait aussi le monopole du marché des particuliers. La loi sur la Libéralisation du Marché de l'Electricité<sup>149</sup> annule la situation de monopole acquise en 1946 et ouvre le marché de Grenoble à la concurrence des autres fournisseurs d'énergie. Ainsi, l'entreprise locale GEG devra faire face à de grands groupes tels que EDF, E-ON... La concurrence risque d'être féroce. Bien que la distribution qui représente 50 % de l'activité reste une exclusivité locale, l'activité de fourniture devra être compétitive. Pour l'instant, moins de 1 % des clients du secteur professionnel ont changé de fournisseur depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2004. Pourtant, parmi ces 411 clients, trois ou quatre étaient de très gros consommateurs.

GEG a lancé une stratégie pour s'adapter à ce changement de paysage du monde de l'énergie.

*« Je n'aime pas ce terme de libéralisation... je préfère : changement de règles. On parle de dérégulation mais en fait, il y a mille fois plus de règles qu'avant. Alors, qu'est-ce que les nouvelles donnees vont changer ? En ce qui concerne la distribution : rien, mais pour le reste : tout. Donc on est en train de s'adapter à un monde complètement nouveau. Ceci dit, on essaie de s'y adapter avec des ambitions de concurrence, il n'y a pas de stratégie de repli. » Jean-Paul Giraud, Président de GEG.*

Au lieu de se replier sur la distribution, GEG s'est donné pour objectif de rester le premier fournisseur sur Grenoble, et même, d'étendre son marché à l'agglomération et à la région urbaine de Grenoble. Pour cela, une société commerciale a été créée : GEG source d'énergie. De cette façon, les clients qui veulent quitter le tarif réglementé peuvent rejoindre une filiale de GEG au lieu de se tourner vers les concurrents. D'un autre

côté, pour unir les forces des entreprises locales d'énergie, GEG s'est associée avec 24 autres entreprises locales dans une société commerciale : ALTERNA. Cette société agira sur l'ensemble du territoire national. En France, 2,5 % de l'électricité sont distribués par des entreprises locales, ALTERNA rassemble donc un grand nombre de clients.

Cette stratégie est essentielle car, pour ces petits groupes, le risque d'être phagocyté par un grand groupe est réel. Dans un pays comme l'Allemagne où la situation a beaucoup changé puisque la libéralisation du marché y est appliquée depuis déjà plusieurs années, plusieurs compagnies locales d'énergie ont été absorbées par de grands concurrents car elles n'arrivaient pas à être aussi compétitives. En 1998, il existait en Allemagne huit grands groupes<sup>150</sup>. Ils possédaient la grande majorité des sites de production et des réseaux de Haute Tension. Mais, pas moins de 1 000 entreprises de vente régionales et locales (les Stadtwerke) distribuaient l'électricité aux clients particuliers et professionnels. Après 1999 et la libéralisation du marché allemand, on a pu observer de nombreuses fusions de compagnies. Par exemple, PreussenElektra et BayernWerke sont devenus E-ON. Ce fut aussi le cas de HEW. La compagnie locale de Hambourg créée en 1894 pour fournir la ville en électricité, en gaz et en chauffage urbain avait pour actionnaire majoritaire le Land de Hambourg jusqu'à la libéralisation. A cette période charnière, le Land s'est désengagé de la fourniture d'énergie et un groupe public suédois a racheté la quasi totalité des parts. HEW a par la suite racheté VEAG, le producteur d'électricité d'Allemagne de l'Est et BEWAG, l'électricité de Berlin et a étendu son marché à l'Europe en devenant Vattenfall Europe. Ce risque de fusion n'est-il pas aussi d'actualité pour une entreprise locale comme GEG qui présente pourtant de forts atouts, notamment pour la valorisation des ressources renouvelables du territoire?

#### **2.3.4.3 Un service public local de l'énergie à Lausanne**

Finalement, en Europe (géographique), les derniers services publics locaux de l'énergie se trouvent en Suisse. Même si la mise en concurrence des fournisseurs d'énergie y est aussi prévue dans les années à venir, les Services Industriels, affiliés aux collectivités, assurent l'approvisionnement dans plusieurs communes ou villes de Suisse.

Les Services Industriels Lausannois dépendent d'une des directions de l'administration municipale. Ils ont pour particularité d'avoir une vocation commerciale et la capacité de faire des bénéfices à la différence des autres services de la municipalité. A

---

<sup>149</sup> Loi modifiée n°2000-108 du 1er février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité.

<sup>150</sup> HEW, Preussen Elektra, VEW, RWE, EnBW, BayernWerke, VEAG et BEWAG.

Lausanne, les Services Industriels fournissent et produisent de l'électricité et de la chaleur, ils vendent et distribuent du gaz, ils tirent les câbles multimédias, ils assurent l'approvisionnement en eau et la gestion des déchets sur la commune centre et les communes périphériques. Les Services Industriels Lausannois desservent 220 000 habitants en électricité, soit 18 communes au total, l'équivalent de 18 000 personnes en chaleur et 38 communes en gaz (Les SIL sont le 5<sup>ème</sup> distributeur de gaz en Suisse).

Les atouts d'un service multifluides sont multiples. Les SIL sont fournisseurs d'un bouquet énergétique et, par conséquent, cela annule toute velléité de concurrence entre modes d'énergie comme nous pouvons le constater en France où les fournisseurs d'électricité de gaz et de produits pétroliers tentent de s'approprier le marché sans se soucier que le mode d'énergie soit adapté ou non au marché convoité. L'exemple de la pénétration de l'électricité dans le marché du chauffage illustre clairement ce phénomène. Au contraire, les SIL peuvent proposer à leurs clients l'énergie la plus appropriée. D'ailleurs, ils ont développé une approche nouvelle du service de l'énergie à travers le contracting energy. C'est un instrument qui vise à étaler dans le temps les surcoûts d'une installation de chauffage ou de froid plus performante que les installations conventionnelles. Dans ce système, l'entreprise d'approvisionnement en énergie ne se limite pas à fournir l'énergie brute mais délivre plutôt des prestations de chaleur, d'eau chaude sanitaire ou de froid... Le contracteur - en l'occurrence les Services Industriels de Lausanne - prend en charge l'investissement, la maintenance et l'exploitation. En échange de quoi, le propriétaire s'engage à se fournir exclusivement auprès du contracteur pendant un certain nombre d'années (voir la figure 70).

Ce principe permet en effet que les gros investissements liés à l'installation du système de chauffage, d'eau chaude ou de froid ne soient pas pris en charge en une fois par le maître d'ouvrage lors de la construction ou de la rénovation, mais plutôt qu'ils soient étalés dans le temps. Ainsi, les maîtres d'ouvrage n'ont pas à supporter le surcoût de départ puisqu'ils sont compensés par des coûts d'exploitation réduits et un lissage du financement sur vingt années. Bref, le maître d'ouvrage réduit son investissement et sa responsabilité en externalisant la gestion de l'installation. L'autre effet du contracting energy, c'est que les gains de l'entreprise concessionnaire dépendent de l'efficacité de l'installation, de sa maintenance ce qui favorise les économies d'énergie liées à la performance de l'équipement énergétique du bâtiment. Toutefois, à Lausanne, ce concept n'a pas connu l'enthousiasme escompté, principalement du fait que l'engagement avec le contracteur court sur une durée trop longue et rend l'opération extrêmement contraignante.

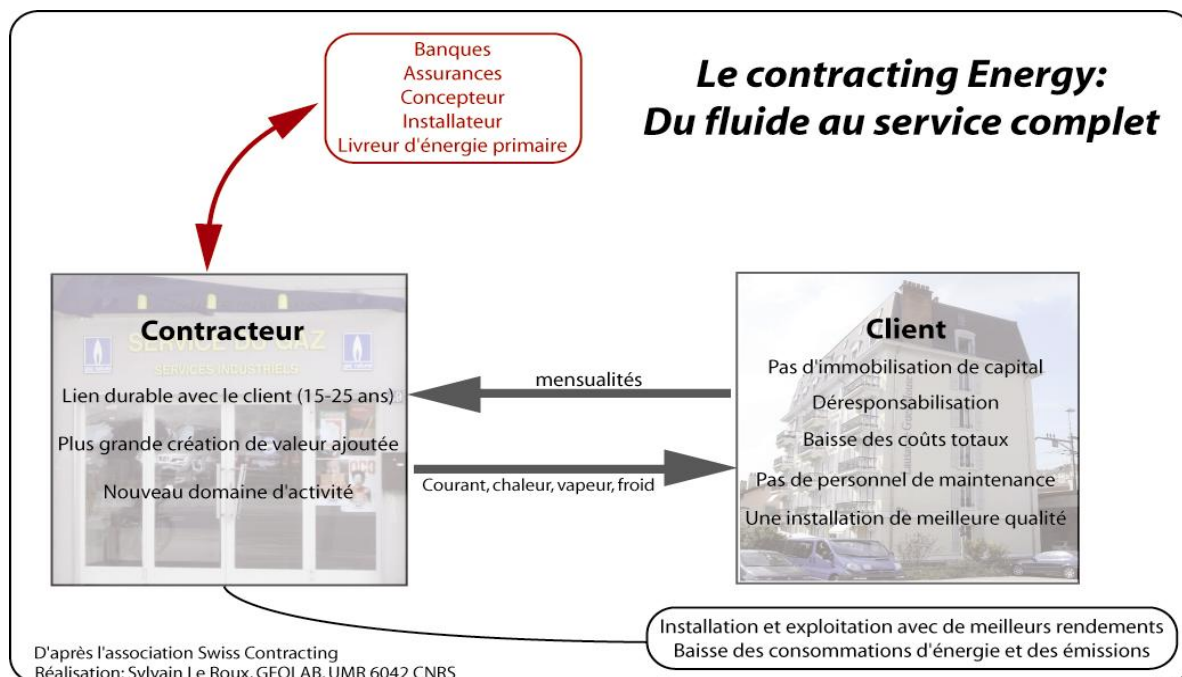


Figure 70 : Le contracting Energy : du fluide au service complet.

Les atouts du service public lausannois de l'énergie se traduisent également par une valorisation des ressources endogènes. Les SIL exploitent les déchets, les boues d'épuration, le bois, l'hydraulique, l'éolien...

le « chauffage à distance » de Lausanne dessert l'équivalent de 18 000 personnes. 920 immeubles sont raccordés au réseau lausannois de 87 km (en 2004). Cela fait des Services Industriels Lausannois le troisième distributeur suisse de chauffage à distance. Cinq installations fournissent de la chaleur sur le réseau : le centre de traitement par recyclage et incinération des déchets (TRIDEL, voir 2.3.1.3), deux centrales de cogénération (dont l'usine Pierre de Plan, voir 2.3.4) la centrale d'incinération des boues d'épuration, une chaufferie bois et une chaufferie de secours.

Les SIL produisent directement 40 % de la demande lausannoise en électricité<sup>151</sup>. 400 GWh, c'est à dire un tiers de l'électricité vendue sur les 18 communes, provient du barrage hydroélectrique de Lavay dans le canton du Valais (voir figure 71). Les SIL sont également producteurs d'énergie éolienne. Ils sont actionnaires à 50 % de la société d'exploitation d'une éolienne de 2 MW à Collonges (dans le canton du Valais). Ces deux équipements sont hors de l'agglomération de Lausanne, dans un autre canton. L'énergie produite dans le canton de Lausanne représente une part plus minoritaire, mais non négligeable. Un peu plus de 10 % de l'électricité vendue par les SIL est produite sur la

<sup>151</sup> Les 60 % restants proviennent essentiellement de la société *Energie Ouest Suisse* qui dessert les cantons de Genève, Vaud, Neuchâtel, Fribourg et du Valais. La commune de Lausanne est actionnaire de 20 % des parts de cet opérateur qui produit son électricité essentiellement grâce à des centrales hydroélectriques.

commune. Comme nous venons de le voir précédemment (voir Partie III, 2.1.4 et 2.1.3.1), plusieurs centrales couplent la production de chaleur et d'électricité, c'est le cas de l'usine Pierre de Plan et de l'usine d'incinération de Tridel. Il faut ajouter à cela la production d'électricité d'origine solaire est très minoritaire.

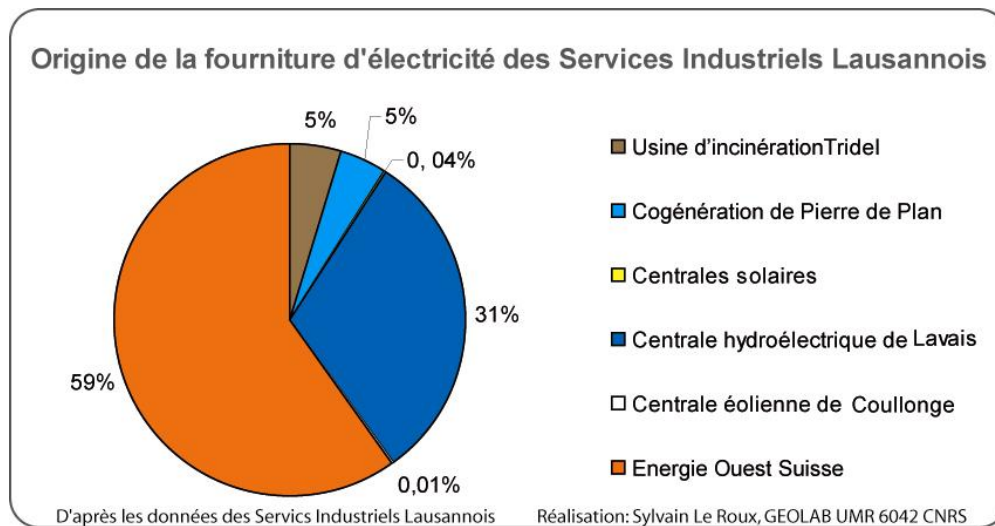


Figure 71 : L'origine de la fourniture d'électricité des Services Industriels Lausannois.

Pourtant, Lausanne est l'un des territoires suisses le plus équipé en centrales photovoltaïques par habitant. Ce bon résultat est lié à la mise en place de la bourse solaire et de subventions pour l'achat de panneaux photovoltaïques. Pour accentuer le développement du photovoltaïque et offrir la possibilité aux citoyens de Lausanne d'encourager cette filière, la commune de Lausanne et les SIL ont lancé une opération très originale : la bourse solaire. Le principe est de mettre en relation les producteurs d'électricité solaire et les clients désireux de s'approvisionner en énergie renouvelable. Les SIL qui ne sont qu'intermédiaires proposent aux clients, dans le cadre de leur contrat d'électricité, de souscrire une part d'électricité photovoltaïque d'un minimum de 30 kWh/an. Cette part est facturée à prix coûtant de la production photovoltaïque, soit 1 franc suisse/kWh, le tarif classique étant de 24,5 centimes. Ainsi, les SIL investissent le montant des souscriptions dans le rachat de l'électricité photovoltaïque à des producteurs avec lesquels ils ont des contrats à des tarifs avantageux de 1 franc suisse/kWh pour une durée de 20 ans. Ce système a bien fonctionné au départ, permettant de doubler les installations photovoltaïques les trois premières années. En 2004, 2 500 clients ont souscrit plus de 215 000 kWh tandis que la production s'élevait à 230 000 kWh. Mais, depuis, les ventes et les productions sont en baisse faute d'installations et surtout de clients.

Enfin, les SIL assument leur fonction de service public en mettant en place des programmes de développement des économies d'énergie et des énergies renouvelables adaptés au territoire et à leurs clients. Ne serait-ce qu'à travers leur grille tarifaire, ils

encouragent la maîtrise de la demande. Les 4 000 premiers kWh sont vendus à 25,50 centimes de francs suisses par kWh tandis que les suivants sont vendus à 27,50 cts/kWh. D'autre part, la commune affecte une part des bénéfices réalisés par les SIL à des actions en faveur des économies d'énergie ou du développement durable : le *fonds pour les économies d'électricité* et le *fonds du Développement Durable*. Trois millions de francs suisses sont réservés pour ce fonds chaque année. L'argent provient des recettes sur les ventes d'énergie. Par ailleurs, le fournisseur d'énergie public délivre des conseils et vend des prestations d'audit énergétique pour les bâtiments.

Les collectivités locales des villes moyennes ont le pouvoir de produire, de distribuer et de vendre de l'énergie. Ainsi, elles peuvent valoriser les ressources endogènes de leur territoire constituées essentiellement d'énergies renouvelables et d'énergies fatales. Beaucoup de villes gèrent un réseau de chaleur, elles peuvent donc y introduire des énergies renouvelables (bois, solaire thermique, biogaz), des énergies fatales (déchets, boues d'épuration...) ou équiper leurs chaufferies de cogénération afin de produire de l'électricité. Car elles peuvent également produire de l'électricité, soit à travers des installations ponctuelles, soit à travers une entreprise locale de l'énergie. Ces entreprises locales de l'énergie ancrées dans le territoire ont des atouts certains pour conduire une politique de développement durable et d'indépendance énergétique dans les villes. Ces entreprises locales de l'énergie qui sont finalement des exceptions en France sont malmenées par les systèmes centralisés et par la Libéralisation du Marché de l'Energie.

## 2.4 L'urbanisme

Dans la partie II, nous avons déterminé que l'urbanisme et, d'une manière plus générale, la façon d'aménager les villes pouvaient influencer sur les consommations d'énergie du territoire. Les modes de construction et de rénovation des bâtiments et les effets indirects de la morphologie urbaine sur les déplacements sont des variables qui ont des conséquences sur les besoins énergétiques. La lutte contre l'étalement, la densification, la repolarisation, la mixité des fonctions et l'intégration des enjeux liés aux transports publics, aux réseaux de chaleur ou au développement de l'énergie solaire (orientation bioclimatique des bâtiments et des panneaux solaires) favorisent des contextes urbains plus propices aux économies d'énergie et aux énergies renouvelables. Après avoir réfléchi sur les conditions d'application des principes de densité et de mixité des fonctions, nous verrons, à travers plusieurs exemples concrets, quels sont les outils d'urbanisme que peuvent mettre en place les collectivités locales pour concrétiser ces stratégies.

### 2.4.1 La morphologie urbaine

D'après le Mémento des décideurs destiné à proposer des modalités d'action aux collectivités qui souhaitent s'engager dans la lutte contre le changement climatique, la politique d'urbanisme a un rôle important à jouer dans ce domaine. Par exemple, la révision du PLU pour accroître les densités et la mixité des fonctions, pour limiter les places de stationnement, pour coordonner l'urbanisation et les transports (etc.) permettrait d'éviter l'émission de 600 kg/an/habitant (Mission Interministérielle de l'effet de serre, 2003). Mais que sont « une bonne densité » et une « bonne mixité » ? Et comment les mettre en application ?

#### 2.4.1.1 Densité et mixité, de la théorie à la pratique

##### De la « ville compacte » à la ville multipolaire concentrée

Au début des années 90, les priorités énoncées par les chercheurs, les aménageurs et les décideurs en matière de morphologie urbaine et de consommations d'énergie se rassemblaient autour de la notion émergente de « ville compacte ». En effet, il avait été avancé que la densité humaine des villes influait sur le nombre de déplacements et les distances à parcourir, au sens où la densité favorise l'usage des transports collectifs et atténue l'usage des véhicules individuels plus consommateurs et plus polluants. Le concept de ville compacte propose également une concentration et une diversification des différentes fonctions urbaines en son sein, ce qui a pour conséquences de réduire les

déplacements. A cela, s'ajoute le fait que la densification du bâti et le microclimat urbain engendrent des économies de chauffage<sup>152</sup>. La compacité est également liée à un haut taux d'habitat collectif, en général moins consommateur en énergie que l'habitat individuel à surface habitable identique. Pierre Merlin et Jean-Pierre Traisnel<sup>153</sup> estiment qu'« une maison individuelle consomme en moyenne près de deux fois plus d'énergie de chauffage qu'un appartement, mais pour une surface supérieure de 55 % environ (102 m<sup>2</sup> contre 66 m<sup>2</sup> en moyenne), soit une surconsommation à surface égale de 30 % environ. Celle-ci s'explique par l'absence ou la réduction des échanges avec les logements voisins »

Enfin, moins la ville est étalée, plus les besoins en éclairage public sont réduits. La densité agit donc sur les consommations énergétiques liées aux déplacements, au chauffage et à l'éclairage public.

Ce schéma de ville compacte rappelle les villes du début du siècle (ex : le Paris d'Hausmann, le Barcelone de l'urbaniste Cerdà...). La tendance des 30 dernières années à la périurbanisation, au développement de l'automobile et de l'habitat pavillonnaire a modifié leur morphologie pour un très long terme. Elle va désormais à l'encontre du modèle idéal de ville économe en énergie. Le concept de ville compacte est contestée pour son caractère utopique et son manque de réalisme par certains urbanistes, géographes ou sociologues. Il fait appel à une forme unitaire alors qu'en pratique, la plupart des agglomérations européennes s'étendent de la ville centre vers des pôles secondaires et tertiaires de manière centrifuge. Le bâti n'y est pas continu. Un consensus s'est établi autour de l'idée de ville polynucléaire ou polycentrique en réseau qui, il est vrai, semble être un compromis plus réaliste. Par ailleurs, la densification pourrait accentuer certains dysfonctionnements environnementaux et sociaux. Il est vrai que le concept de « ville compacte » peut renvoyer à l'image des métropoles asiatiques surpeuplées et holistes, une représentation peu attrayante pour des Occidentaux en quête d'espaces individualisés. La volonté d'un mode de vie urbain et le désir d'accéder à la propriété individuelle à moindre coût sont actuellement des obstacles majeurs à la maîtrise urbaine. De plus, un ensemble bâti excessivement dense peut-être à l'origine d'une moins bonne circulation de l'air et d'une concentration des pollutions atmosphériques. D'autre part, les problèmes liés à la criminalité sont souvent appréhendés comme pouvant être des conséquences directes de la densification, dans ce cas perçue comme un entassement (ex : contexte urbain issu des ZUP des années 60). Mais gardons à l'esprit que la densification n'est pas une finalité en soi. La finalité est bel et bien de

---

<sup>152</sup> La capacité des territoires artificialisés à conserver de la chaleur peut s'avérer être une contrainte en été en entraînant, à l'inverse, une demande d'énergie supplémentaire pour la climatisation.



tendre vers des territoires moins consommateurs d'énergie. Cela suppose, d'une part, que les distances parcourues y seraient raccourcies et que, par conséquent, les modes de déplacement doux y prendraient le pas sur les modes de déplacements automobiles. Cela suppose, d'autre part, que l'habitat collectif ou semi-collectif - un tiers moins consommateur que l'habitat individuel - y soit plus prégnant. Dans la poursuite de ces objectifs, la densification, la repolarisation et le renouvellement urbain sont des conditions sine qua non.

Face à ce constat des éventuelles contraintes liées à la densification, nous devons nous poser trois questions majeures sur la façon d'appréhender cette densité. La première question consiste à savoir comment mesurer la densité. La seconde question revient à se demander dans quelle mesure la densité permet de réduire les consommations d'énergie et quelle est la « bonne » densité. La troisième interrogation porte sur la répartition de cette densité sur le territoire.

La densité de population correspond au nombre d'habitants par km<sup>2</sup> ou par ha, mais l'indicateur de la densité humaine qui résulte du ratio entre les habitants + emplois et la superficie du territoire semble plus approprié à une évaluation de la compacité d'une ville. Pourtant, la plupart des études se contente d'une comptabilisation des seuls habitants. Les valeurs référentes de densité de population dépendent de l'échelle du territoire ou de la zone analysée. La moyenne de densité des unités urbaines française se situe à environ 1 073 hab/km<sup>2</sup>. Les villes moyennes les plus denses présentent des taux à 2 300 hab/km<sup>2</sup> (Reims), 1 800 hab/km<sup>2</sup> (Montpellier), 1 400 hab/km<sup>2</sup> (Amiens et Clermont-Ferrand). A l'échelle des quartiers, les valeurs de densités sont d'un autre ordre et elles varient fortement selon la forme du bâti.

Dans un quartier Haussmannien où les bâtiments font environ six niveaux et représentent une emprise au sol de 75 %, la densité est forte. Elle atteint en moyenne 500 habitants par hectare (50 000 habitants par km<sup>2</sup>). Dans un quartier de grands ensembles constitué de tours de plus de dix étages et de barres, la densité atteint en moyenne un taux de 350 habitants par hectare (35 000 hab/km<sup>2</sup>) pour une emprise au sol de 15 %. La densité y est donc plus faible que dans un quartier Haussmannien. Elle est d'ailleurs plus comparable à celle d'un quartier de maisons de villes accolées qui comportent généralement deux voire trois niveaux et qui occupent 50 % du sol. Ce type de secteur présente une densité moyenne de 220 habitants par hectare (22 000 hab/km<sup>2</sup>). A l'inverse, les zones d'habitat pavillonnaire, même groupés, présentent des taux de densité

---

<sup>153</sup> Pierre Merlin et Jean-pierre Traisnel, *Energie, environnement et urbanisme durable*, PUF, 1996.

nettement plus faibles avec une moyenne d'environ 35 habitants par hectare (3 500 hab/km<sup>2</sup>).

La densité n'est donc pas synonyme d'entassement et de « mal vivre ». Il est nécessaire de tendre vers une densité de qualité en évitant les pièges signalés précédemment. A ce sujet, la politique d'aménagement norvégienne<sup>154</sup> des années 90 porte une réflexion relativement complète sur les liens entre l'urbanisme et les économies d'énergie puisqu'elle prend en compte les contraintes allant de pair avec le modèle urbain qu'elle recommande ; d'où la publication d'un ouvrage au titre nuancé : « Densifier avec qualité ». Quatre problématiques de la densification y sont retenues :

- **La structure verte** : la densité risque « de faire disparaître des espaces verts ; les enfants perdent leurs terrains de jeux, les adultes leurs lieux de loisirs et la présence de nature en ville diminue en même temps que la biodiversité. »
- **La pollution atmosphérique** : La compacité risque « de se traduire par un accroissement de la circulation dans les zones denses et donc par des problèmes de congestion »
- **Les valeurs historiques et culturelles** : la densité pourrait « perturber ou détruire les spécificités de l'histoire culturelle de la cité, et les éléments de cohérence dans son paysage. »
- **La qualité de l'environnement construit** : la compacité risque d'altérer la qualité des quartiers (luminosité, soleil, espaces privatifs, bruit, etc.).

Une « bonne densité » doit donc correspondre à un aménagement urbain de qualité. De plus, la question de la densité va de pair avec la notion de mixité des fonctions. La densification de l'espace urbain n'est intéressante que si elle favorise la mixité des fonctions et par conséquent la proximité entre l'habitat, l'emploi, les loisirs, les commerces et les services. De la même façon que pour la densité, nous pouvons nous interroger sur la diversité des affectations du sol. Comment les aménageurs peuvent mesurer cette mixité ? Quel degré de mixité permet de réduire les consommations d'énergie ? Quelle est la « bonne mixité » ? Comment la mettre en application ?

---

<sup>154</sup> Dans les années 90, le gouvernement Norvégien, à l'époque dirigé par Mme Brundtland (aussi Présidente de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement durable des Nations-Unies à l'origine du rapport Brundtland : « Notre avenir à nous », publié en 1987), prend un certain nombre de mesures pour limiter l'extension urbaine et l'accroissement des transports. Le Ministère de l'Environnement publie notamment en 1996 un ouvrage : « Densifier avec qualité » qui présente la notion de densification selon le gouvernement. Leur but n'est pas de compacter à tout prix l'espace urbain mais de considérer les atouts de la densification urbaine dans certains contextes.

Durant notre enquête, nous n'avons rencontré qu'une seule ville qui s'intéressait à quantifier et cartographier la mixité des fonctions sur son territoire. L'Agence de l'Urbanisme de Grenoble nous a fait part de la difficulté de trouver un indicateur, mais c'est l'Agence de l'Ecologie Urbaine de Barcelone qui nous a proposé une méthode permettant de mesurer la diversité qu'elle a appliqué à sa ville<sup>155</sup>. L'Agenda 21 de la ville de Barcelone: "Barcelona, ciutat mediterrània, compacta i complexa, una visió de futur més sostenible"<sup>156</sup> est fondé sur le principe qu'un aménagement visant à rendre la ville plus dense et plus diversifiée est propre à résoudre les problèmes de surconsommation des ressources. Salvadore Rueda, Directeur de l'Agence de l'Ecologie Urbaine de Barcelone qui a produit l'Agenda 21, considère que les notions de compacité et de complexité sont très importantes pour expliquer le fait que les consommations d'énergie par habitant sont très faibles sur la commune de Barcelone et que les véhicules privés ne représentent que 25 % des déplacements. Selon lui, l'urbanisme et le modèle de mobilité sont à la base de ce constat.

*“ L'urbanisme par dessus tout est ce qui conditionne en pratique la plupart des déplacements qui se réalisent. Par exemple, les déplacements en voiture deviennent inévitables si l'urbaniste n'a pas su projeter l'introduction des services basiques dans les quartiers afin que les gens n'aient pas à prendre leur voiture ou les transports publics. Les gens croient que l'idée de durabilité est liée à la consommation d'énergie. En fait elle est liée avant tout à la conception urbanistique et au modèle de mobilité. Après il y aura pour conséquences la consommation d'énergie, de l'eau ou les déchets.” Saldore Rueda, Directeur de l'Agence d'Ecologie urbaine de Barcelone.*

L'Agence d'Ecologie Urbaine de Barcelone a mis au point un indicateur de complexité de la ville fondée sur la formule de Shannon et de la théorie de l'information (Margalef, 1991) suivante :  $H = -\sum p_i \log_2 p_i$   $i=1$ .

Où H est la diversité et son unité est le bit d'information. Pi est la probabilité d'occurrence. Cela indique le nombre d'individus qui présentent une particularité dans l'ensemble des membres de la communauté. Il s'agit de connaître le nombre de porteurs d'information et leur potentiel de contacts, en quantité et en diversité, dans un même espace. Les porteurs d'information sont les personnes juridiques : les activités, entités et institutions. Ainsi, les porteurs d'informations ont été recensés, localisés et classés en 17 catégories (activités récréatives, culturelles et sportives, associations, agriculture, industrie, commerces, construction, hôtels, activités immobilières, administration,

---

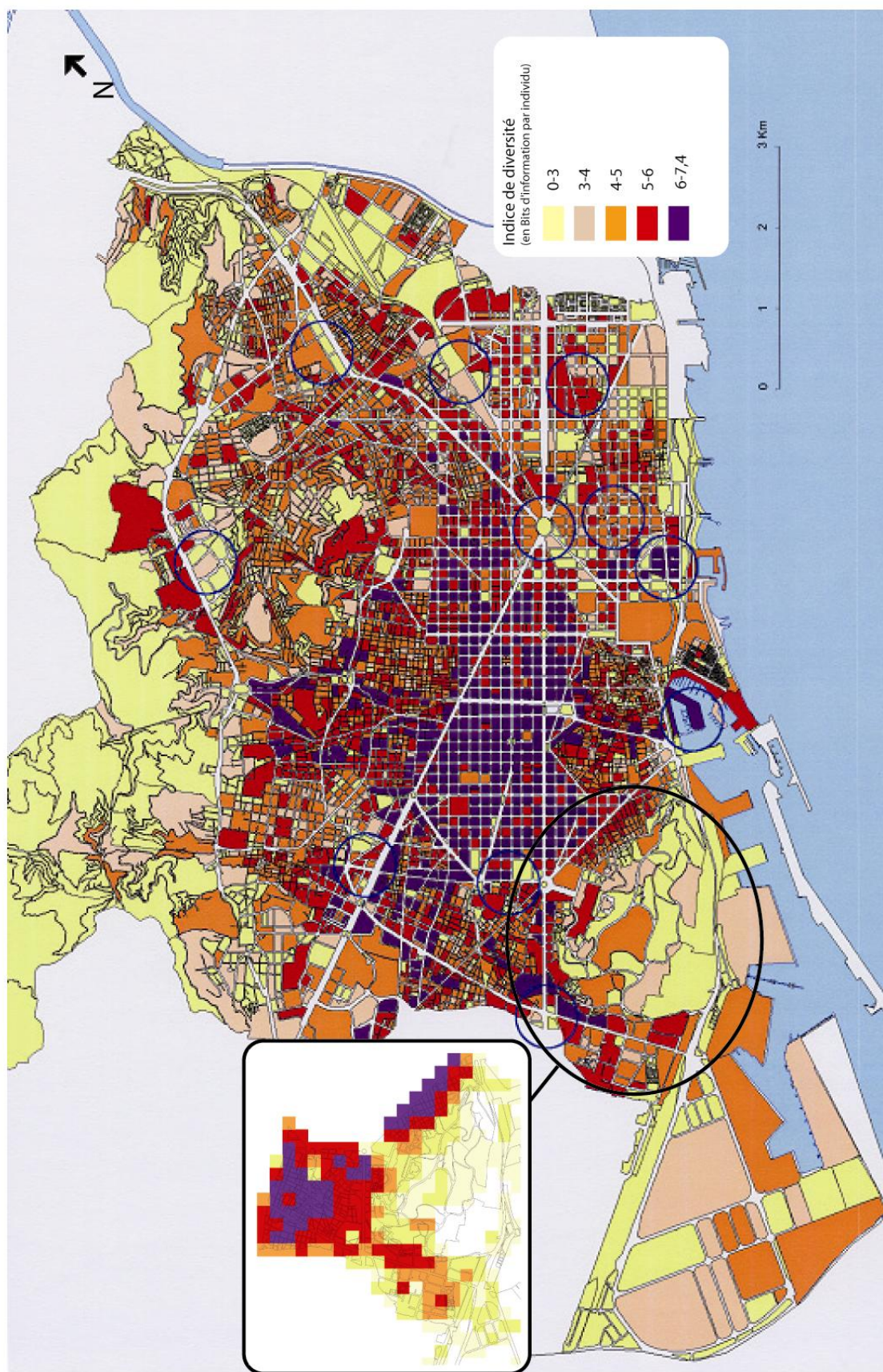
<sup>155</sup> Certes, Barcelone n'est pas une ville moyenne mais nous la prendrons pour exemple car une telle méthode est applicable à une ville moyenne.

<sup>156</sup> Traduction du catalan : « Barcelone, ville méditerranéenne, compacte et complexe, une vision du futur plus durable »

éducation, activités sociales, activités sanitaires, équipements...). La densité des activités ou autres personnes juridiques est calculée à un pas de 200 mètres. Ainsi, dans le district de Sants-MontJuïc, le nombre total de personnes juridiques est de 17 355. La densité moyenne du district est donc de 10 activités par hectare, tandis qu'au croisement de la rue de la Creu Coberta et de la rue Consell de Cent, la densité d'activité atteint 70 act/ha. L'étude ne s'arrête pas à la densité d'activité, elle mesure également la complexité et la diversité de ces activités dans des carrés de 200 mètres par 200 mètres (voir la figure 72). L'indice H indique donc la quantité et la diversité des porteurs d'information (personnes morales : activités, administration...) dans un même espace.

Une carte de la complexité de Barcelone est présentée dans l'Agenda 21 (voir figure 72). Elle illustre tout l'intérêt de cet indicateur. La carte démontre assez nettement que la diversité est plus importante dans le centre de la ville. Les conclusions de cette étude de l'Agence d'Ecologie Urbaine démontrent que la densité et la mixité sont intimement liées. Alors que la ville diffuse a tendance à diluer la complexité sur la majeure partie de son territoire et rendre chaque quartier, ou chaque zone, plus pauvre en activité, en équipement ou en service, la ville « compacte » concentre les fonctions, elle est par conséquent plus diverse et plus complexe. Cela se traduit par une plus grande proximité des fonctions utiles aux citoyens urbains et une minoration des déplacements et des consommations d'énergie.

## La diversité des fonctions à Barcelone / Zoom sur le district de Sants-Montjuic



Source: cartes réalisées par l'Agence d'Ecologie Urbaine de Barcelone

Figure 72 : Carte de la diversité des fonctions à Barcelone

## La réurbanisation, mise en application des principes de densité et de mixité

Pour réduire les consommations d'énergie induites par les formes urbaines étendues, dilatées et compartimentées, il s'agit de revitaliser les pôles centraux, de densifier les faubourgs et de limiter les opérations d'urbanisme relâchées en périphérie. Bref, après les phénomènes de périurbanisation et de rurbanisation, l'ère de la réurbanisation de la ville devrait apparaître (voir figure).

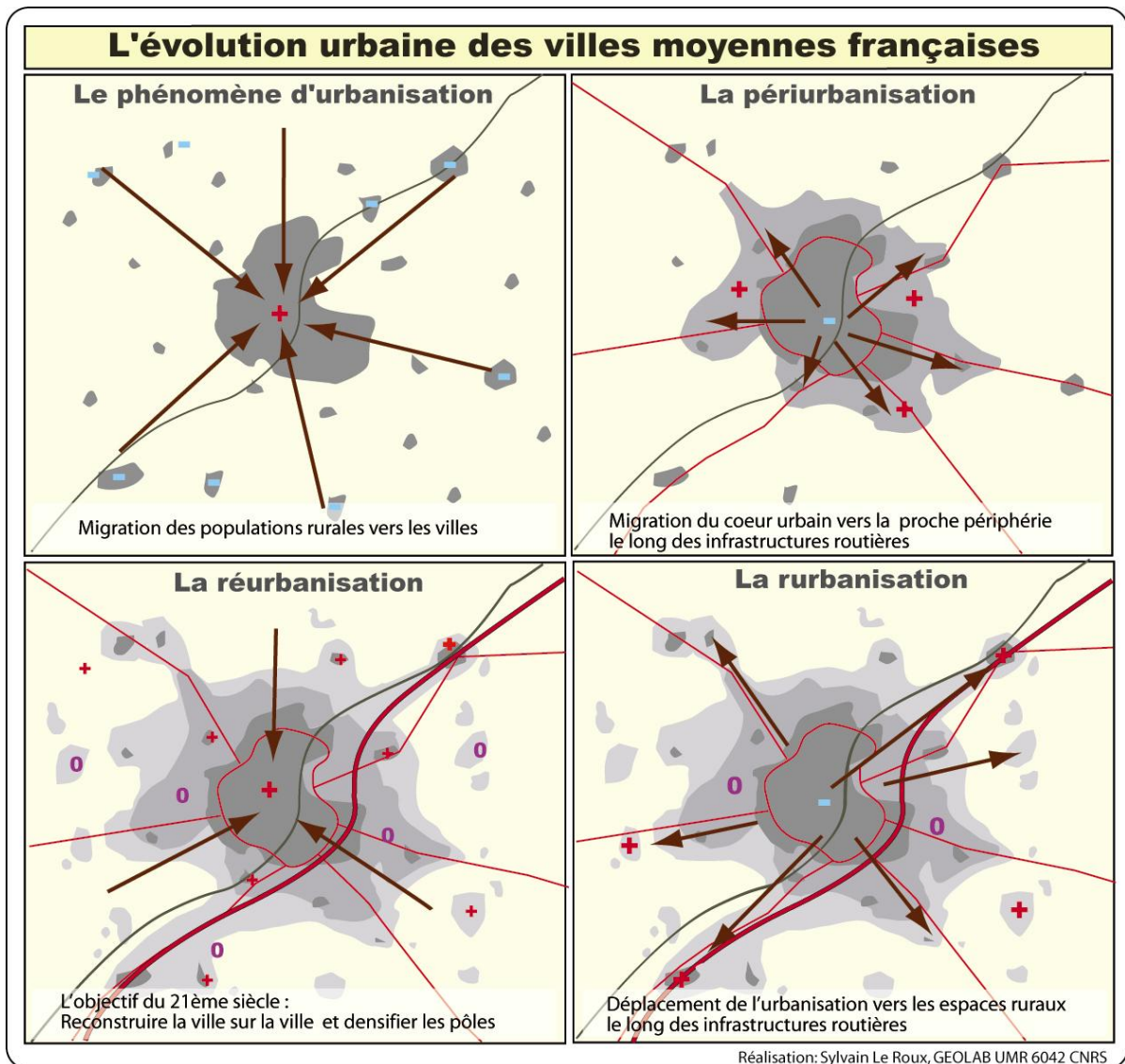


Figure 73 : L'évolution spatiale des villes moyennes françaises.

Ce modèle d'aménagement urbain centrifuge est non seulement atteignable mais il est préconisé par des lois telles que la loi Solidarité Renouvellement Urbain. Seulement, il existe de nombreux freins et une lourde inertie. L'étalement urbain et l'ensemble des dynamiques centripètes qui l'accompagnent ont pour origine le prix du foncier, la volonté des ménages d'accéder à la propriété en habitat individuel, le boom des transports individuels et la poursuite d'un cadre de vie plus « naturel ». Une politique foncière

appropriée est nécessaire. Et ce sont les autorités locales qui autorisent la construction sur des terrains distants des pôles et des systèmes de transport publics. Bien que les SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) préconisent généralement des solutions raisonnables tendant à limiter le mitage et renforcer les pôles, les POS et les PLU des communes périphériques ne proposent pas de solutions pratiques d'aménagement en phase avec la loi SRU. Cela s'explique très simplement par le fait que la seule assiette fiscale qui reste aux communes est la taxe d'habitation. Les ressources principales de la commune dépendent donc de l'attraction de leur territoire en terme d'habitat. Les décideurs ne prennent pas le risque de s'opposer à la demande en habitat individuel pavillonnaire sur leur commune. Au contraire, elles pratiquent souvent des politiques opportunistes dont l'objectif est d'accueillir le plus possible d'habitants même si cela produit du mitage. Le meilleur moyen d'obtenir une cohérence à l'échelle de l'agglomération est de réaliser un Plan Local d'Urbanisme à l'échelle de la Communauté d'Agglomération, pour autant que le périmètre de la Communauté d'Agglomération soit cohérent, ce qui est rarement le cas en raison de conflits politiques précisément liés à l'appréhension des communes périphériques d'être phagocytés par la commune qui concentre les pouvoirs. Les collectivités ont pourtant des outils à leur disposition pour limiter l'étalement urbain. Certaines d'entre elles font preuve d'une certaine originalité.

### **Les outils pour la mise en pratique**

En pratique, les outils permettant d'introduire plus de densité et plus de mixité des fonctions dans les villes sont de deux ordres : l'urbanisme réglementaire (SCOT, PLU) et l'urbanisme opérationnel. Nous verrons que les documents de prospective et de planification tels que les SCOT et les PLU offrent des solutions difficiles à mettre en pratique, mais il existe d'autres biais pour atteindre cet objectif à travers l'urbanisme opérationnel (ex : introduction d'objectifs de densité lors de la réalisation de Zones d'Aménagement Concertées, opérations de renouvellement urbain...).

#### **- Densité et mixité dans les Plans Locaux d'Urbanisme**

Les objectifs de densification et de renforcement des polarités d'une ville sont souvent affichés dans les projets de ville et dans les documents politiques d'intention tels que les Plans d'Aménagement et de Développement Durable, les Schémas de Cohérence Territoriale, les Projets d'Agglomération ou les Plan Locaux de l'Habitat. Seulement, il est plus rare et plus complexe de traduire ces intentions dans les documents d'application tels que le règlement du Plan Local d'Urbanisme. Bien sûr, la cartographie du Plan Local d'Urbanisme détermine les zones constructibles et les zones non constructibles, ce qui permet dans l'optique d'une politique de limitation de l'étalement urbain de favoriser les

zones ouvertes à la construction à proximité des secteurs denses, des pôles ou des lignes de transports en commun. De même, dans les articles 1 et 2 du règlement du PLU, la municipalité réglemente les occupations et utilisations des sols interdites ou admises sous conditions. Dans l'élaboration du zonage, il est possible de favoriser la plurifonctionnalité au dépend de la monofonctionnalité.

A Grenoble, nous pouvons constater sur la carte suivante (figure 74) que les objectifs de mixité des fonctions sont traduits dans le règlement du PLU puisqu'une très grande partie de la commune de Grenoble est classée comme zone déjà urbanisée mixte. L'habitat, mais aussi l'activité tertiaire, les bureaux, les commerces et l'artisanat y sont autorisés. Seule « l'activité industrielle et autres activités présentant des nuisances » sont proscrites. Le règlement du PLU autorise donc la mixité des fonctions sur une grande partie de la commune. Malgré tout, il existe sur la commune de Grenoble des secteurs très monofonctionnels tels que la presqu'île du polygone scientifique au Nord-Est ou le Sud de la commune.

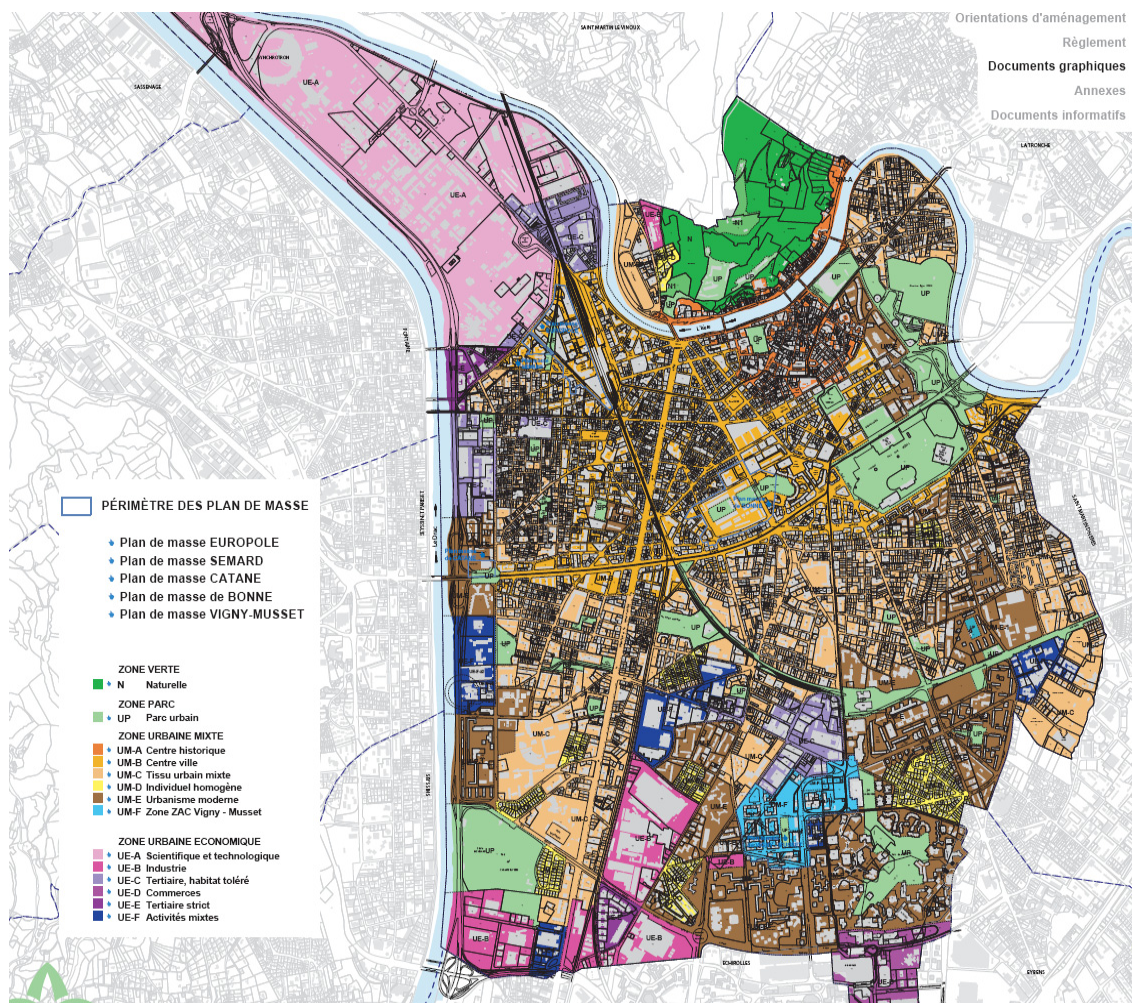


Figure 74 : Carte du Plan Local d'Urbanisme de Grenoble.



L'article 14 du PLU sur les COS :

Les PLU peuvent fixer un ou des coefficients d'occupation du sol qui déterminent pour chaque nature de construction la densité admise dans les zones urbaines et à urbaniser (Francis Lefebvre, 2005). Cet article est optionnel, les aménageurs ont d'ailleurs tendance à y faire de moins en moins référence. Pourtant, la notion de Coefficient d'Occupation du Sol fait directement référence à la densité. Seulement, les PLU n'offrent pas la possibilité d'imposer une densité minimum dans le zonage d'urbanisme. Les notions de Coefficient d'Occupation du Sol et de Hauteur sont certes prises en compte dans les articles du règlement d'urbanisme mais elles ne présentent qu'un plafond maximum. Il n'est pas possible d'imposer un coefficient d'occupation minimum ou une hauteur de bâtiment minimum.

Certaines villes comme Grenoble, qui n'introduisent plus la notion de COS dans leur PLU, font référence à un plan des formes urbaines. La question de la densité est au cœur de la politique d'urbanisme de la ville car la commune est très dense (8 300 hab/km<sup>2</sup>). Les seules possibilités de développement sont de reconstruire la ville sur la ville. Les décideurs ont exprimé dans le PADD leur volonté de maintenir cette densité tout en introduisant de la qualité de vie. Cette volonté est transposée dans le PLU par le plan des formes urbaines auquel se réfèrent les aménageurs pour déterminer le gabarit de leurs projets.

*« Dans le PLU on essaie de favoriser la compacité. Et c'est ce qui est assez difficile à faire passer auprès de la population parce qu'on l'affiche vraiment comme ça : une ville compacte. On a supprimé les COS, on se base sur un plan des formes urbaines qui s'appuie notamment sur les grandes infrastructures. Les objectifs de densité sont plus importants sur les grandes infrastructures... En tout cas le principe d'intégration dans l'existant prédomine, donc s'il y a deux immeubles de 8 ou 9 étages, et bien à côté on aura le même gabarit. » Périne Flouret, chargée d'études au service Prospective Urbaine de la Ville de Grenoble.*

#### **- Les principes de densité et de mixité dans l'urbanisme opérationnel**

Les notions de densité et de mixité sont également à prendre en compte dans l'aménagement urbain opérationnel. Il est possible d'introduire des objectifs de densité et d'affectation du sol lors de la réalisation d'une Zone d'Aménagement Concertée<sup>157</sup> par exemple. (règlement de ZAC, cahier des charges). Dans chacune des villes étudiées en

---

<sup>157</sup> Les ZAC sont des zones à l'intérieur desquelles une collectivité publique ou un établissement public réalise l'aménagement des terrains bâtis ou non bâtis que la collectivité ou l'établissement a acquis ou acquerra en vue de les céder ou de les concéder à des constructeurs et opérateurs privés, publics ou semi publics. Une ZAC peut accueillir des logements, des équipements, des commerces de l'activité...

France (Limoges, La Rochelle, Dunkerque, Clermont-Ferrand, Grenoble) et à l'étranger (Fribourg, Gérone, Barcelone, Lausanne) des opérations d'urbanisme ou des quartiers à caractères « écologiques » étaient réalisées ou en projet. Dans la majorité de ces opérations (ZAC, lotissements ou équivalents étrangers) la densité était prise en compte dans les directives d'aménagement du quartier, des objectifs de densité étaient introduits dans le cahier des charges soumis aux promoteurs. Ainsi, les quartiers écologiques de Fribourg, le quartier Vauban et le quartier du Rieselfeld, présentent des indices de densité respectifs de 13 000 hab/km<sup>2</sup> et 17 000 habitants/km<sup>2</sup>. De la même façon, le principe de mixité des fonctions est pris en compte (voir la Partie IV, 4.1).

#### **- Le renouvellement urbain**

La meilleure façon d'accroître les densités et la mixité des fonctions est d'engager des opérations de renouvellement urbain afin de redonner de l'attrait aux pôles existants souvent délaissés pour la périphérie dans les années 90. Votée en 2000, la loi SRU (Solidarité Renouvellement Urbain) préconise un développement équilibré des territoires, la mixité et une gestion maîtrisée des ressources et de l'environnement. Le renouvellement urbain est un des objectifs en ce qui concerne le milieu urbain. Cette loi officialise donc les actions visant à privilégier le développement urbain sur les terrains déjà urbanisés et non sur les terrains ruraux agricoles ou naturels de la périphérie. L'expression souvent reprise par les auteurs et les praticiens : « Reconstruire la ville sur la ville » donne une image claire de cette volonté.

La régénération urbaine passe donc par une rénovation des villes-centres. L'objectif est de rendre à nouveau attractifs les logements centraux afin d'y attirer de nouvelles populations et d'y inverser le solde migratoire toujours négatif depuis plusieurs années. Par là même, cette revitalisation des pôles majeurs entraîne un retour des fonctions emploi, commerce, service, loisirs... Le renouvellement urbain est un objectif des documents d'urbanisme dans la plupart des villes françaises. Il est programmé dans les Plans Locaux d'Urbanisme, les SCOT et les Plans Locaux de l'Habitat. Plusieurs programmes différents permettent de mettre en application les objectifs: les Programmes de Rénovation Immobilière (loi Malraux), les OPAH (Opération Programmée de l'habitat), les ORU (Opérations de Renouvellement Urbain)...

Depuis plusieurs décennies, la morphologie et l'organisation spatiale des villes est en perpétuel mouvement. Plusieurs facteurs combinés, essentiellement les mutations socio économiques de l'appareil productif et la révolution des transports terrestres, ont provoqué la déprise de nombreuses activités localisées dans les faubourgs et la

dédensification des pôles centres entraînant ainsi l'apparition de nombreux espaces vacants. Claude Chaline<sup>158</sup> distingue au moins cinq grands types de friches : les friches industrielles, les friches portuaires et particulièrement les ports fluviaux, les friches militaires, les friches ferroviaires, les délaissés divers et « dents creuses » auxquelles s'ajoutent les logements vacants.

### **L'exemple du renouvellement urbain à Limoges**

La ville de Limoges n'a pas échappé à ce phénomène d'apparition des espaces vacants. Elle a vécu certains bouleversements dont les conséquences sont encore visibles actuellement bien que de nombreux espaces aient été restructurés.

Le corps industriel limougeaud traditionnel était constitué de plusieurs secteurs phares : l'industrie porcelainière, la papeterie, la tannerie et la fabrication de chaussures. Les productions de ces activités ont fortement décrû durant le siècle dernier. Ainsi, plusieurs sites du centre-ville et des faubourgs ont soit cessé leur activité, soit délocalisé leurs unités de production vers la périphérie. On recense également certains terrains délaissés par le Ministère de la Défense.

En 2004, dans le cadre de l'étude « Le renouvellement urbain par la réappropriation des friches, étude du potentiel de Limoges » réalisé pour le service de l'Urbanisme de commune de Limoges, nous avons recensé 63 sites en friche dans les faubourgs de la ville. Nous avons comptabilisé quinze friches résidentielles, vingt friches foncières, treize friches industrielles et artisanales, sept friches commerciales, une friche ferroviaire, cinq équipements (infrastructures de loisirs, de services...) délaissés et deux friches agricoles. La zone d'étude contenue à l'intérieur du boulevard périphérique contenait au moins 150 ha de terrains et de bâtiments inemployés abandonnés voire démantelés. C'est un gisement non-négligeable dans une optique de développement durable et de régénération urbaine puisque sur ces 150 ha, on pourrait raisonnablement construire 1 500 logements.

Renouveler la ville sur elle-même, cet objectif est consigné dans le PADD. Le renouvellement urbain se fait notamment par la réappropriation des friches commerciales, industrielles ou militaires les plus importantes. A titre d'exemple, une opération immobilière (logement, commerce, hôtel...) s'est réalisée sur le site d'anciens entrepôts commerciaux qui occupaient 20 000 m<sup>2</sup> (avenue Labussière). Des opérations immobilières ont également concerné des sites d'anciennes industries porcelainières dans les faubourgs de la ville. De même, une opération d'aménagement se mène sur le site de l'ancienne

---

<sup>158</sup> Claude Chaline, *La régénération urbaine*, PUF Que sais-je ?, Paris, 1999.

base militaire de Romanet qui était l'une des plus importantes friche militaire française. Ces différentes opérations de renouvellement urbain sont conduites par des investisseurs privés mais, généralement, à l'initiative de la mairie qui, soit, les aura simplement aiguillés vers ce site, soit, aura préempté le terrain et aura réalisé une ZAC sur laquelle les promoteurs se seront greffés. Par exemple, en ce qui concerne la friche militaire de Romanet, elle a été cédée par l'armée à la commune qui a confié l'opération de ZAC à la SELI (Société d'Équipement du Limousin), une société d'économie mixte spécialisée dans la maîtrise d'œuvre des opérations d'urbanisme.

Notons également que la dynamique de périurbanisation a laissé derrière elle un nombre significatif de logements vacants qu'il est essentiel de reconquérir, de réhabiliter et d'isoler. En 1999, l'INSEE en recensait 5 300 sur la commune de Limoges. Aujourd'hui, il est nécessaire pour la municipalité de ralentir cette dynamique centrifuge. Un programme global de renouvellement urbain du centre ville de Limoges a été mis en place<sup>159</sup>. Ce programme nommé *Coeur de Limoges* utilise plusieurs outils. La réhabilitation d'une partie du patrimoine bâti a été rendu possible grâce à l'instauration d'un PRI (Périmètre de Rénovation Immobilière) qui permettra de réhabiliter 160 logements d'ici 2008. Cette logique est amplifiée grâce à une série d'OPAH (Opération Programmée d'Amélioration de l'Habitat), cet outil devrait permettre la restauration de 400 logements pour la même échéance. Notons également la contribution de la CARPP (Campagne d'Aide à la Réhabilitation et à la Protection du Patrimoine) qui participe à l'embellissement du vieux Limoges et celle du FISAC (Fonds d'Intervention pour les Services, l'Artisanat et le Commerce). Cette palette d'outils vise à redynamiser le coeur de la ville en offrant de l'habitat aux normes, en résorbant les logements vacants, en participant à la restauration du patrimoine bâti et en développant l'activité et les services.

---

<sup>159</sup> Le maître d'œuvre de ce programme est la SELI (Société d'équipement du Limousin).

## La genèse des friches urbaines

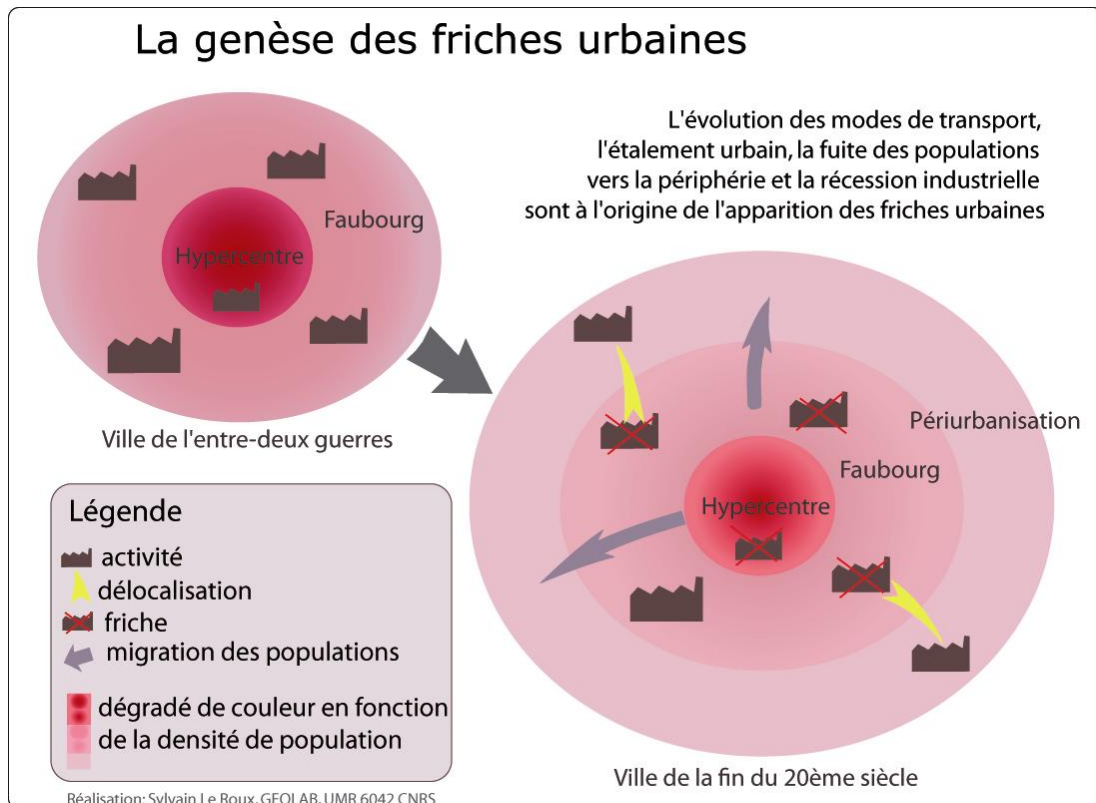


Figure 75 : La genèse des friches urbaines.

## Localisation des espaces en friche à l'intérieur du boulevard Densité de population et desserte des transports en commun

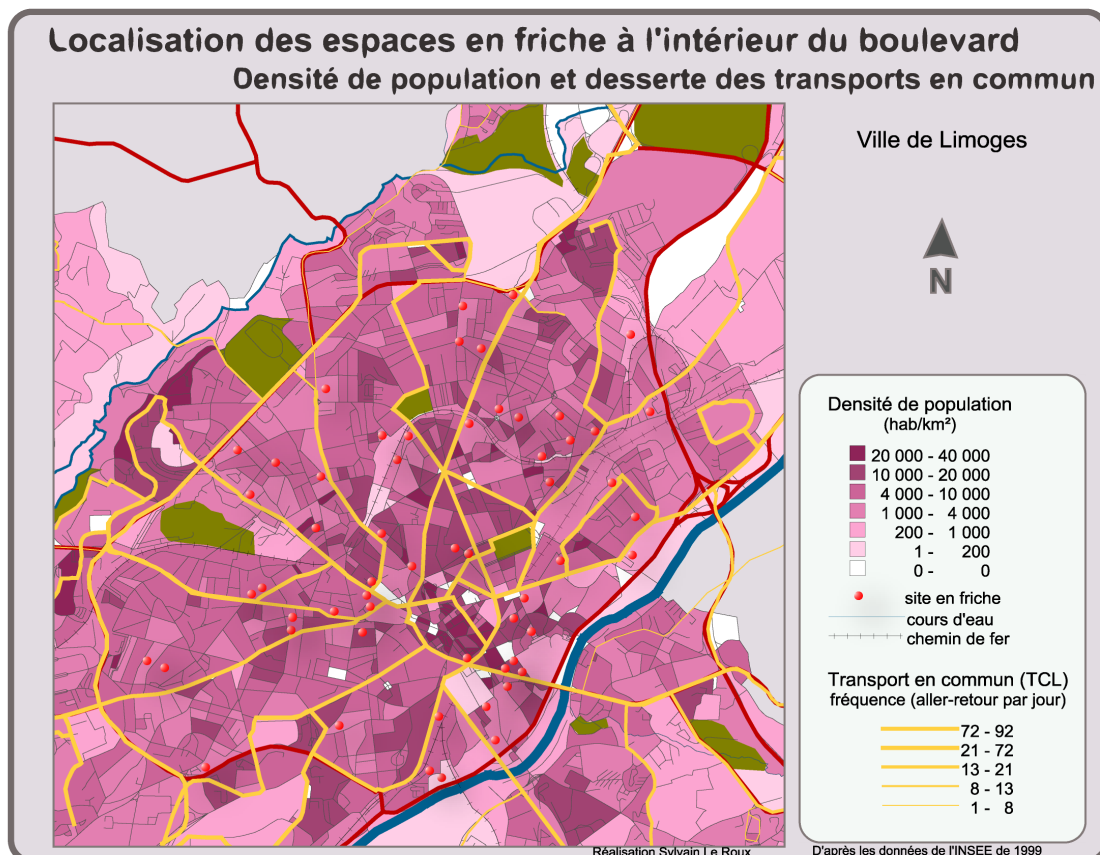


Figure 76 : Localisation des espaces en friches à Limoges.

## 2.4.2 La performance énergétique des bâtiments

Les bâtiments sont une variable majeure du bilan énergétique des villes. Ils représentent un poids considérable, parfois plus de 50 % des consommations. Il est nécessaire d'agir sur leur performance énergétique et d'introduire des énergies renouvelables pour améliorer leur bilan énergétique. En France, la construction est régie par le code de la construction répondant à des prérogatives nationales. C'est pourquoi les collectivités ont un rôle plus modeste à jouer en matière de performance énergétique des bâtiments. Il existe pourtant des outils efficaces qu'il convient de décrire et d'approfondir.

### 2.4.2.1 Inciter la performance énergétique des constructions à travers la planification

Les compétences de planification urbaine des collectivités locales permettent-elles d'introduire des critères de performance énergétique dans le zonage ? Il semble qu'en France, en Allemagne et en Suisse, les possibilités soient limitées.

Précisément en France, les possibilités d'imposer des critères énergétiques lors des constructions sont peu nombreuses. Le Code de l'Urbanisme ne peut pas se substituer au Code de la Construction et à la réglementation thermique en vigueur. Quelques modalités récemment parues dans la loi sur l'énergie du 13 juillet 2005<sup>160</sup> permettent d'inciter les promoteurs et maîtres d'ouvrage à améliorer la performance énergétique de leurs constructions ou d'inciter à l'utilisation des énergies renouvelables. En effet, les communes peuvent introduire dans leur règlement la bonification (jusqu'à 20%) du coefficient d'occupation du sol pour les constructions répondant à des critères de performance énergétique ou comportant des systèmes de production d'énergies renouvelables. Pourtant aucune des villes enquêtées en France n'a, semble-t-il, adopté ce système qui pourrait conjuguer densité et Haute Performance Energétique.

Les autres considérations sur l'énergie dans les PLU concernent plutôt une incitation aux constructions HQE et aux énergies renouvelables (voir article 11 sur les aspects extérieurs des constructions du règlement du PLU de Grenoble). A Limoges par exemple, toujours dans l'article 11 du règlement du PLU concernant l'aspect des constructions, les urbanistes ont intégré la notion suivante :

---

<sup>160</sup> Voir article L 128-1 du code de l'urbanisme inséré par Loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 art.30 journal officiel du 14 juillet 2005.

*« Tout permis de construire concernant une construction neuve ex-nihilo doit préciser l'emplacement désigné pour d'éventuels dispositifs capteurs solaires. De même, en vertu de l'objectif 8 de l'agenda 21 concernant le développement de pratiques écologiques, les constructions à caractère innovant et/ou d'architecture atypique proposées dans cette perspective peuvent être admises à condition que leur localisation ne porte pas atteinte à leur environnement bâti ou naturel. » extrait de l'article 11 du règlement du PLU de Limoges.*

## **L'intégration des questions énergie/climat dans l'urbanisme réglementaire à Grenoble**

A Grenoble, la réalisation du règlement du PLU de Grenoble est antérieure à la loi POPE de 2005 et l'opportunité de la bonification n'a donc pas été exploitée. Cependant, les questions énergie/climat ont été prises en compte dans l'urbanisme réglementaire d'une autre manière, plus ou moins efficace.

Dans les généralités de l'article 11 sur l'aspect extérieur des constructions, il est fait référence à certains objectifs environnementaux :

*« En référence à l'article R 11-21 du code de l'urbanisme, les constructions et installations à édifier ou à modifier doivent participer, par leur situation, leur architecture, leurs dimensions ou leur aspect extérieur, à l'intérêt et à la mise en valeur du caractère des lieux avoisinants, des sites... De même, les projets participeront par leur architecture à la mise en œuvre des objectifs de haute qualité environnementale : orientation des façades et des surfaces extérieures, dimensions et performances thermique des ouvertures et occultations, isolation par l'extérieur, capteurs solaires... » Règlement du PLU de Grenoble.*

Ce paragraphe du PLU invite les maîtres d'ouvrage à développer des constructions économes en énergie et à développer les énergies renouvelables. C'est uniquement une incitation, il n'y a derrière cet article aucune contrainte réglementaire.

Etant donné que la voie de l'urbanisme réglementaire leur apparaissait limitée, les urbanistes de la municipalité de Grenoble ont employé une autre démarche pour amener les maîtres d'ouvrage à intégrer des critères environnementaux et à construire des bâtiments plus économes que la réglementation thermique ne l'exige. C'est une démarche plus qualitative qui organise des temps de sensibilisation, de négociation et de concertation avec les promoteurs qui a été rendu possible grâce à la mise en place d'une nouvelle méthode d'instruction des permis de construire, une méthode qui suppose de rencontrer chaque porteur de projet. Le fait est qu'en l'absence de règles quantitatives, les promoteurs travaillent en concertation avec les services de la mairie pour déterminer le projet qu'ils peuvent développer sur leurs parcelles.

*« Parce qu'il n'y a plus de COS dans notre PLU, cela oblige les promoteurs à venir nous rencontrer pour voir à peu près comment cela va fonctionner, quel type de projet ils peuvent construire sur une parcelle. Donc on les rencontre plusieurs fois, avant qu'ils déposent le projet. Ensuite, ils passent devant une commission avec un architecte conseil. Le projet est recalibré si nécessaire. Ensuite, ils déposent le permis. Là encore, le projet peut-être recalibré, s'il ne rentre pas dans nos souhaits. » Périne Flouret, chargé d'études au service Prospective Urbaine de la Ville de Grenoble*

Un outil de travail aide les urbanistes de la ville à sensibiliser les promoteurs aux questions environnementales, c'est le « Guide de la qualité environnementale dans l'architecture et l'urbanisme ». Il a été édité à 2 000 exemplaires et distribué aux maîtres d'ouvrages et aux aménageurs. C'est un document très riche de 93 pages comportant des fiches de préconisation pour construire tout en préservant les ressources, à l'échelle d'un quartier comme d'un bâtiment. D'après Périne Flouret, ce guide est utilisé par certains promoteurs comme outil de travail.

Depuis l'approbation du PLU, la nature des permis a évolué. Les critères de qualité environnementale ont été assimilés à de nombreux projets. En un an d'application du PLU, 75 % des permis déposés ont incorporé une isolation par l'extérieur, 65 % se font avec des terrasses végétalisées, 7 % avec des panneaux photovoltaïques et 33 % avec des panneaux solaires thermiques<sup>161</sup>.

En France, l'urbanisme réglementaire ne semble pas être un outil idéalement approprié pour développer des bâtiments économes en énergie et utilisant des énergies renouvelables. Pourtant, en Espagne et désormais en Italie, à Rome, les Communes ont imposé l'utilisation de l'énergie solaire par le règlement d'urbanisme.

### **L'ordonnance solaire : l'exemple de Barcelone diffusé dans toute l'Espagne**

Dans le cadre de sa politique de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, la capitale catalane a mis en place des actions visant à favoriser la production d'eau chaude grâce à l'énergie solaire.

Barcelone est une ville qui bénéficie d'un ensoleillement privilégié de l'ordre de 1 496 kWh/m<sup>2</sup>/an, soit 524,35 PJ<sup>162</sup>/an ou 145,65 TWh/an sur l'ensemble du territoire . Ce potentiel solaire théorique correspond à 10 fois la demande du territoire de Barcelone qui

---

<sup>161</sup> Ces statistiques résultent de l'analyse des 76 permis de construire délivrés pour des immeubles neufs pour l'année 2007 effectuées par le service Prospective Urbaine de la Ville de Grenoble

<sup>162</sup> PJ = Peta Joules, soit 10<sup>15</sup> Joules



est de 50,78 PJ/an<sup>163</sup>. Il est estimé que pour couvrir les besoins en eau chaude de l'ensemble de la ville, il faudrait installer une superficie de 1,62 km<sup>2</sup>, ce qui reviendrait à moins de 3 % de la surface bâtie. C'est pourquoi, dès 1999, la municipalité de Barcelone a décidé de légiférer et d'imposer l'utilisation de l'énergie solaire thermique dans les bâtiments barcelonais. L'ordonnance solaire mise en application en août 2000 réclame la couverture de 60 % des besoins en eau chaude grâce à l'énergie solaire pour les nouvelles constructions, les bâtiments en réhabilitation pour lesquels le volume d'eau chaude dépasse 2 000 litres par jours soit un besoin énergétique de 81 kWh/jours ou 292 MJ/jours. Etant donné qu'en moyenne, un résident consomme 35 litres/jour, on peut considérer que l'ordonnance s'applique à des bâtiments dont la consommation en eau chaude équivaut à celle de 57 équivalents habitants ou 14 logements. Cette ordonnance s'applique à toute sorte de bâtiments dans la mesure où il implique une consommation d'eau chaude importante.

*« Article 2 - Bâtiments concernés : Les termes du présent Arrêté sont applicables lorsque les circonstances suivantes sont simultanément réunies :*

*a) Réalisation de nouveaux bâtiments ou construction, ou bien réhabilitation, modification complète ou changement total de la destination d'un bâtiment ou d'une construction existante, qu'ils soient de caractère privé ou public. Sont inclus les bâtiments indépendants faisant partie de complexes immobiliers.*

*b) L'usage du bâtiment correspond à un de ceux prévus à l'article suivant.*

*c) La consommation prévisionnelle journalière d'eau chaude sanitaire entraîne une consommation d'énergie supérieure à 292 MJ (Megajoule) utiles, en moyenne annuelle. »*  
*Extrait de : Desenvolupament de l'annex sobre : Captació solar tèrmica, de l'ordenança General de Medi Ambient Urbà<sup>164</sup>.*

Dans l'article 11 : *Orientation et inclinaison du sous-système de captation*, la municipalité invite les constructeurs à atteindre une efficacité maximale grâce à une orientation au sud avec une tolérance de + ou - 25° et une inclinaison d'environ 40° (+ ou - 10°). Malgré tout, les constructeurs doivent respecter les contraintes relatives à la protection du paysage et du patrimoine architectural. L'ordonnance prévoit cependant des conditions d'exemption pour les bâtiments soumis à des masques ou des ombres portées trop importantes ou des surfaces de toit trop faibles.

Quatre ans après la promulgation de cet arrêté, en décembre 2004, l'Agence de l'énergie de Barcelone recensait 327 projets, soit 24 531 m<sup>2</sup> de capteurs solaires

---

<sup>163</sup> *Plan de Mejora energetica de Barcelona*, mairie de Barcelona, 2002

thermiques (en majorité destinés au secteur résidentiel). Avant l'entrée en vigueur de cette mesure, seuls 1 650 m<sup>2</sup> étaient installés. L'Agence de l'énergie de Barcelone estime que l'ordonnance solaire a permis de réaliser une économie de 3 500 tonnes de CO<sub>2</sub> par an, et de 19 625 MWh de production énergétique par an. A ce rythme, l'Agence espère voir 100 000 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques orner les toits barcelonais, à horizon 2010. Cette stratégie de développement de l'énergie solaire est donc très efficace. D'une part, parce qu'elle touche une très grande partie des constructions et d'autre part parce que l'énergie solaire thermique permet d'éviter des consommations d'énergie importante et l'émission de grande quantité de gaz à effet de serre.

A l'époque de l'enquête, le travail de la municipalité portait sur l'extension du champ d'application de l'ordonnance à tous les bâtiments en construction ou en réhabilitation.

Suite à la réussite de cette mesure, 25 municipalités de Catalogne (soit 50 % de la population catalane) ont promulgué un tel arrêté. D'autres villes espagnoles leur ont emboîté le pas. L'efficacité de cet arrêté a entraîné le vote d'une loi nationale dans le même esprit en 2005 afin de favoriser le développement de l'énergie solaire thermique. La capitale italienne s'en est également inspiré. Ce type de loi serait tout à fait transposable en France, à l'échelle nationale.

Les questions de la performance énergétique des bâtiments et de l'intégration d'énergies renouvelables sont très peu prises en compte dans l'urbanisme réglementaire français. Cela semble en être de même en Allemagne et en Suisse. Seul le cas de Barcelone démontre une influence plus grande de la collectivité sur la façon de construire ou de rénover les bâtiments. Les collectivités françaises qui veulent jouer un rôle dans la construction de bâtiments à haute performance énergétique ou de quartiers durables ont la possibilité de se tourner vers l'urbanisme opérationnel.

#### **2.4.2.2 Développer des quartiers performants**

Si l'introduction des critères « énergie-climat » dans l'urbanisme réglementaire semble se limiter à l'incitation et à la sensibilisation, les marges de manœuvre dans l'urbanisme opérationnel sont plus étendues. Lorsque la municipalité ou l'EPCI sont propriétaires du terrain en passe d'être aménagé et construit, ils peuvent exiger des performances thermiques et autres critères énergétiques ou environnementaux dès la consultation des opérateurs, constructeurs, architectes et promoteurs qui vont intervenir

---

<sup>164</sup> Cela correspond à l'ordonnance ou arrêté municipal portant sur la captation solaire thermique.

sur le projet. Ces critères sont ensuite entérinés dans le cahier des charges<sup>165</sup> de cession ou de concession de la zone, généralement une ZAC. L'ensemble des villes que nous avons étudiées avaient un ou plusieurs projets de quartiers « écologiques » ou durables en projet ou réalisés : le quartier Lafayette à Limoges, la ZAC de Tremonteix à Clermont-Ferrand, le quartier Neptune à Dunkerque, les ZAC Vigny-Musset et Bonne à Grenoble, le projet Métamorphose à Lausanne, les quartiers Rieselfed et Vauban à Fribourg... Dans chacun des cas, les municipalités ont procédé par cahier des charges pour obtenir des constructeurs un projet original en matière de développement durable et de performance énergétique.

### **L'intégration de critères énergétiques dans des opérations d'urbanisme : l'exemple de Grenoble**

Les deux exemples que fournissent la ZAC de Vigny-Musset et la ZAC de Bonne - localisées sur la carte (figure 77) - sont une bonne illustration de l'intégration de critères énergétiques dans des opérations d'urbanisme de type ZAC. Les objectifs énergétiques fixés par la municipalité dans les deux exemples vont crescendo au cours du temps, ce qui est révélateur de l'évolution des mentalités des aménageurs et des décideurs.

#### **- La ZAC de Vigny-Musset**

La ZAC de Vigny-Musset a été lancée il y a dix ans sur un terrain de 22 ha situé sur l'axe de la ligne A de tramway entre le centre ville et le pôle de Grand'place au sud. Il n'est pas totalement achevé, quelques îlots sont encore en construction. En plus d'introduire des notions de densité et de mixité (locaux universitaires, bureaux, commerces...), les aménageurs ont peu à peu intégré des notions d'éco-construction. A son arrivée à la présidence de la SEM SAGES en 2001, Pierre Kermen (adjoint au maire de Grenoble, élu à l'urbanisme) a lancé une nouvelle dynamique. Ainsi, les nouveaux programmes ont fait l'objet de cahiers des charges HQE, avec des cibles sur les charges et sur les énergies renouvelables notamment.

---

<sup>165</sup> Depuis le 1<sup>er</sup> avril 2001, la constitution de cahiers des charges de cession, de location ou de concession d'usage des terrains situés dans les ZAC est obligatoire et doit être approuvée par le maire ou le président de l'EPCI. Il indique le nombre de m<sup>2</sup> de SHON (Surface Hors Œuvre Nette) dont la construction est autorisée sur la parcelle cédée. Le cahier des charges peut également fixer les prescriptions techniques, urbanistiques et architecturales pour la ZAC. Il définit les conditions dans lesquelles la cession ou concession est assurée et le programme de construction à réaliser, c'est-à-dire, les droits et les obligations des aménageurs, des constructeurs et des promoteurs qui vont prendre en charge le terrain (Francis Lefebvre, 2005).

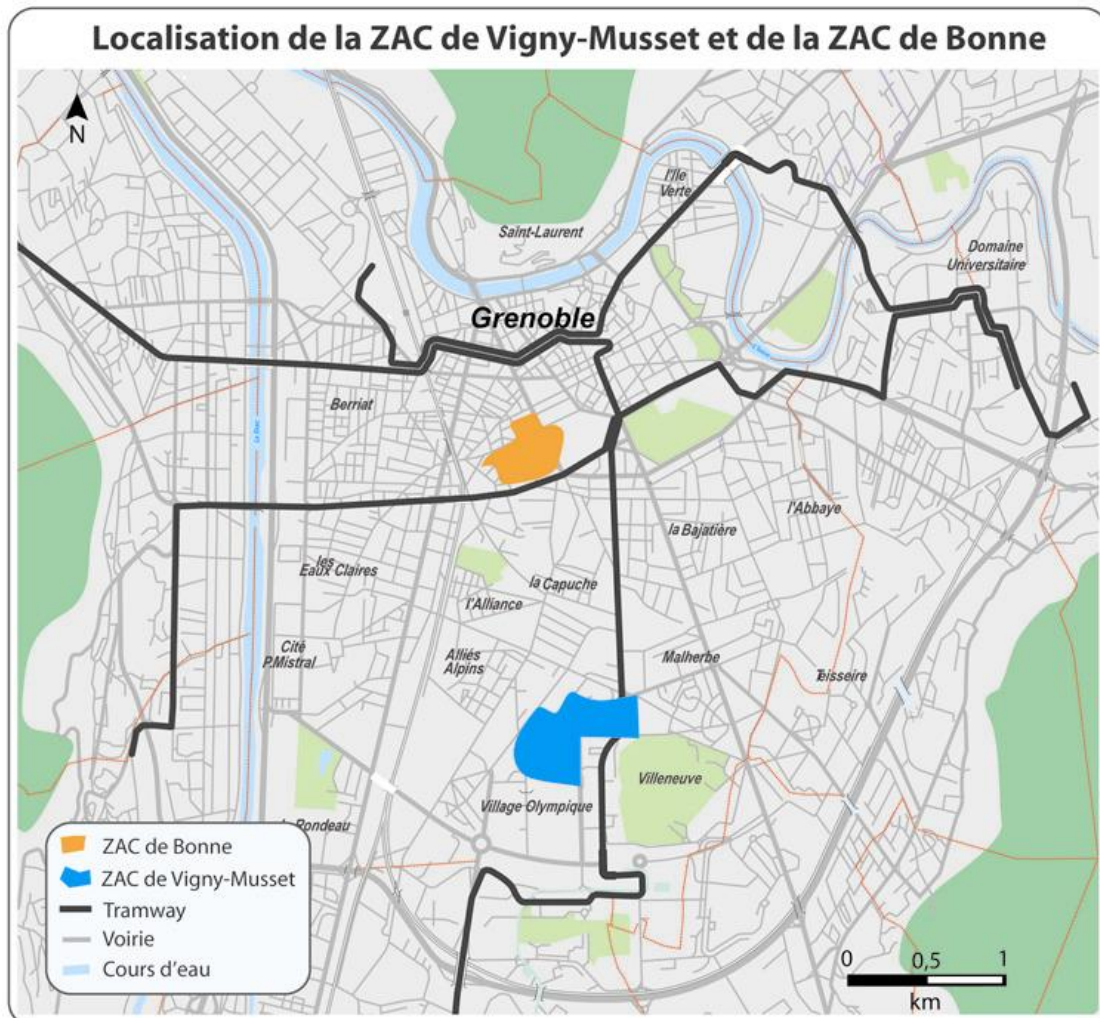


Figure 77 : Carte de localisation des ZAC de Vigny-Musset et de Bonne, à Grenoble.



Cliché : Sylvain Le Roux

Photographie 12 : L'intégration du solaire thermique à Vigny-Musset.

Dans le cadre des compromis signés en vue de la réalisation des programmes immobiliers sur l'îlot D, les maîtres d'ouvrage (OPAC 38, BLAIN/RBT et PRESTIMM) se sont engagés dans une démarche comportant des cibles environnementales. Cet engagement a été entériné lors de la signature d'une charte d'objectifs « démarche HQE » établie en concertation avec les différentes parties par le bureau d'études Terre Eco. Cependant, les objectifs sont restreints. Des équipements techniques spécifiques étaient requis pour faire des économies d'électricité : des éclairages basse consommation et des détecteurs ou des minuteries pour les temporiser dans les communs, des prises de courant commandées pour appareillage muni de veille, un moteur à vitesse variable pour l'ascenseur... Par ailleurs, les promoteurs devaient avoir recours à un système constructif performant en isolation (ex : isolation extérieure, vitrages peu émissifs...). La performance thermique des bâtiments devait être inférieure de 8 % à celle requise par la réglementation thermique 2000 à l'époque en vigueur, une part de l'eau chaude sanitaire devait être fournie grâce à des capteurs solaires et, enfin, il était préconisé d'installer des panneaux photovoltaïques.

Des contraintes ont été imposées en termes d'énergie renouvelable et d'isolation : 187 m<sup>2</sup> de capteurs solaires ont été installés sur l'îlot D notamment. Cela prouve que l'urbanisme opérationnel est une voie plus efficace que l'urbanisme réglementaire. Ceci dit, la démarche entreprise sur cette ZAC de Vigny-Musset reste limitée. Outre le fait que seule une partie de ces bâtiments concentre l'ensemble de ces cibles, on constate que les objectifs ne sont pas très poussés. Les objectifs de performance énergétique inférieurs de 8 % à la RT 2000 équivalent à peine aux seuils de la RT 2005 aujourd'hui en vigueur.

#### **- La ZAC de Bonne**

La volonté est beaucoup plus forte dans l'opération d'aménagement de la ZAC de Bonne.

*« C'est une ZAC postérieure à Vigny-Musset. Donc, fort de l'expérience de Vigny-Musset, en ayant vu que les promoteurs suivaient sur les objectifs et que cela ne se passait pas trop mal, on a décidé d'aller un peu plus loin. » Périne Flouret, chargé d'études au service Prospective Urbaine de la Ville de Grenoble.*

La Zone d'Aménagement Concertée de Bonne se trouve sur le site de l'ancienne caserne de Bonne libérée par l'armée en 1994. Dès le départ, l'objectif était de concevoir un quartier exemplaire en matière de HQE. Ce quartier aux affectations très diversifiées devra être composé de bâtiments relativement hauts et compacts (R+5+2 ou R+7), c'est un quartier souhaité volontairement dense tout en insistant sur la qualité du cadre de vie notamment grâce aux parcs et aux espaces verts. Au total, 850 logements, 15 000 m<sup>2</sup> de

commerces, un parc de 5 ha, un cinéma et une école HQE devraient s'élever sur le terrain de 8,5 ha.

En février 2004, l'aménagement du site (réalisation des réseaux, voiries...) a été confiée à la SEM SAGES. Cette phase a été suivie de la consultation des promoteurs. Les promoteurs intéressés ont proposé un projet en tenant compte des contraintes imposées dans le cahier des prescriptions accessibilité et Haute Qualité Environnementale réalisé par le cabinet d'études Terre-eco. Enfin, ceux-ci se sont engagés à respecter le cahier des charges qui n'est autre que l'aboutissement du cahier des prescriptions en signant une charte avec la ville. C'est la manière officielle pour les promoteurs de s'engager dans le respect du cahier des charges.

Dans le même temps, la ville a répondu à un appel à candidature du programme européen Concerto. Ce programme met à disposition des subventions européennes à des villes qui mettent en place des stratégies de développement durable et d'efficacité énergétique. Dans ce cadre, la ville de Grenoble met en avant neuf projets pilotes sur trois sites (OPATB, centrale photovoltaïque, microcogénérations, logements à haute performance énergétique etc...) dont notamment celui de Bonne. Le projet « Concerto » intègre la construction de 435 logements neufs à haute performance énergétique dans la ZAC de Bonne. Or, la participation à ce projet impose des objectifs et, bien qu'ils ne soient limités qu'à trois îlots du quartier de Bonne, ces objectifs qui reviennent à diviser par deux les besoins énergétiques des bâtiments ont été appliqués à la totalité du quartier.

Les objectifs de performance énergétique sont bien plus volontaires que dans le cas de la ZAC de Vigny-Musset. Les besoins pour le chauffage doivent être abaissés à 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, les besoins en eau chaude sanitaire ne doivent pas dépasser 35 kWh/m<sup>2</sup>/an et l'électricité des parties communes 4,4 kWh/m<sup>2</sup>/an. De plus, 45 % des besoins en eau chaude sanitaire doivent être assurés par l'énergie solaire. Au final, la construction des trois îlots du projet concerto doit permettre d'économiser 2 118 MWh/an et d'éviter l'émission de 337 tonnes de CO<sub>2</sub> par an par rapport à des bâtiments conventionnels. C'est une opération exemplaire. Bien sûr, les performances requises sont variables selon que ce sont des logements, des commerces ou une école. Voici les objectifs fixés par le « cahier des recommandations accessibilité et haute qualité environnementale » en fonction du type de bâtiment.

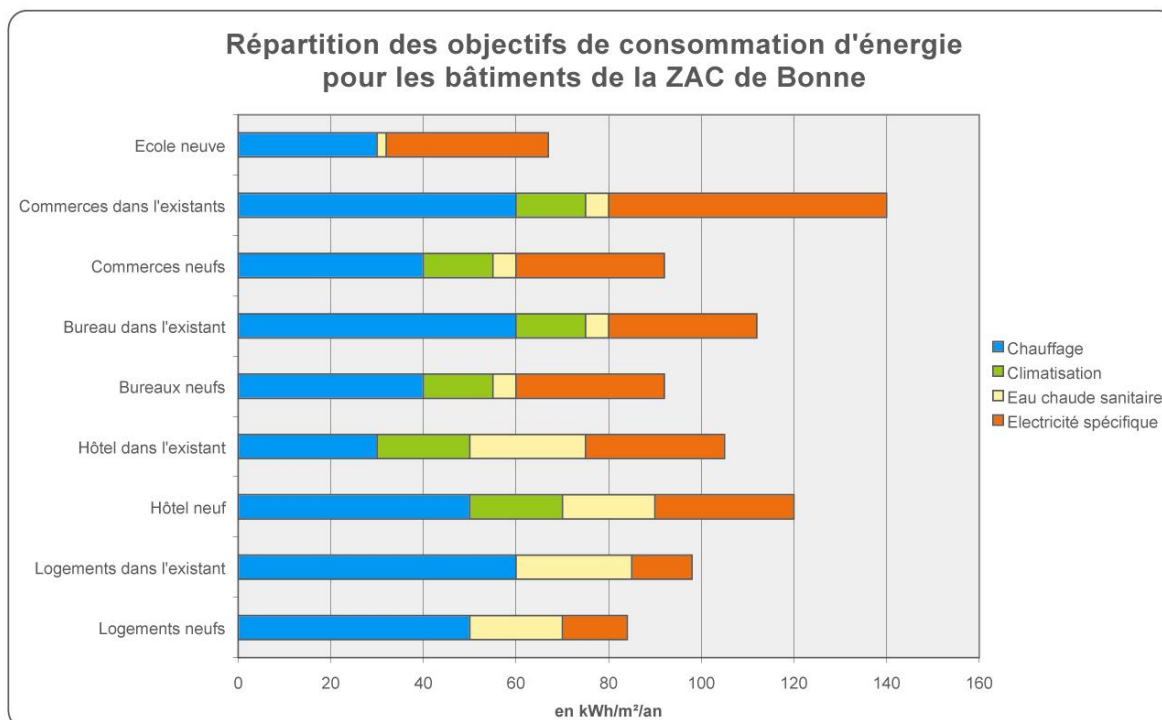


Figure 78 : Les objectifs de consommation d'énergie pour les bâtiments de la ZAC de Bonne.

Sur le graphique (figure 78), nous constatons que, d'une manière générale, les constructions dans l'existant ont des objectifs minorés par rapport aux objectifs dans le neuf. Le poste le plus consommateur sera toujours le chauffage. Dans le tertiaire, et notamment dans le commerce, le poste lié à l'électricité spécifique est relativement important également.

Par ailleurs, les critères énergétiques intégrés dans ce « quartier durable » ne s'arrêtent pas à la seule performance des bâtiments. Une centrale photovoltaïque de 100 kWc, soit 1 000 m<sup>2</sup>, sera installée sur le pôle commercial par Gaz Electricité de Grenoble. Par ailleurs, huit mini cogénérations au gaz de 30 kW environ seront mises à l'essai. Enfin, la compagnie de chauffage s'est engagée à couvrir les besoins du nouveau quartier par la biomasse en transformant sa production au fioul en production bois-énergie à hauteur de ces besoins.

Ces deux exemples sont la preuve que le pouvoir d'orientation des principes de construction par les collectivités est plus fort lorsqu'elle est propriétaire du terrain à lotir ou à bâtir. Le champ des options retenues dans le cahier des charges de cession de terrain est très large, les collectivités peuvent ainsi appuyer des actions très volontaristes et novatrices en matière de construction neuve. Le cas de la ZAC de Bonne est, à cet égard, un exemple très intéressant. Nous avons également eu l'occasion d'observer d'autres opérations très intéressantes, déjà réalisées telles que le quartier Riesfeld et le quartier

Vauban à Fribourg (All.) dont nous réservons la description et l'analyse pour la Partie IV sur la réflexion prospective. Cependant, la construction neuve n'est qu'une part très mineure de l'ensemble du parc de bâtiment d'une ville. La question de l'intervention des collectivités sur les édifices existants reste entière.

#### **2.4.2.3 La rénovation thermique de l'existant à Grenoble et à Fribourg**

On considère que seulement 1% du parc de logements est renouvelé chaque année en France. Il faudrait donc un siècle pour que l'ensemble des bâtiments d'une ville soient remplacés par des constructions respectant à minima la réglementation thermique 2005. Pourtant, les trois-quarts du parc de logements français datent d'avant 1975, date de la première réglementation thermique en France. La très grande majorité des constructions sont donc des passoires énergétiques. La France commence à proposer quelques solutions pour traiter cette problématique du bâti ancien mais présente un retard sérieux par rapport à d'autres pays européens. Outre les réglementations nationales, les collectivités locales ont, dans ce domaine, un rôle à ne pas négliger. Pourtant les exemples sont rares. Nous verrons à travers un cas allemand et un cas français quels sont les outils que pourraient mettre en place la plupart des villes moyennes. Notre enquête démontre que les leviers les plus répandus relèvent du subventionnement et de l'incitation financière.

##### **« Wärmeschutz im Altbau » à Fribourg**

Comme c'est le cas généralement, le plus important gisement d'économie d'énergie de la ville de Fribourg se situe au niveau de l'habitat existant. Afin de stimuler l'investissement dans les actions d'économies d'énergie et de dépasser certains obstacles inhérents à ce genre d'initiative, la ville de Fribourg ainsi que Badenova - la compagnie actuelle de fourniture d'énergie - proposent des programmes d'aides et de subventions qui s'ajoutent aux aides de l'Etat Fédéral et du Land du Baden Württemberg.

Un programme pilote a été mis en place en juin 2002, cela pour une période d'un an. Ce programme dénommé « Wärmeschutz im Altbau » vise l'amélioration thermique des bâtiments existants grâce à des incitations financières. Financé à parts égales par la municipalité et la compagnie de distribution d'énergie, il propose comme mesure phare la subvention d'opérations d'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments existants à hauteur de 10 % des investissements nets. Le plafond est fixé à 2 500 € par logement et/ou 10 000 € par immeuble (hors subventions spéciales). La prise en charge s'élevait à 15 % des coûts d'isolation si trois des quatre éléments suivants étaient traités : la paroi externe, le toit, le plancher, les fenêtres. Dans ces conditions, le plafonnement était rehaussé à 3 750 € par logement et/ou 15 000 € par immeuble. Notons que la limite basse, c'est-à-



dire, la limite d'investissement en dessous de laquelle les projets n'étaient plus aidés, était 10 000 €. Deux autres mesures faisaient également partie du programme : la subvention de 50 % d'un diagnostic énergétique (au maximum 150 €) et un programme de subventions spéciales destinées à promouvoir des techniques de chauffage efficaces à partir de sources d'énergies renouvelables. Cette mesure, si elle était pérennisée, avait pour but de promouvoir des systèmes différents chaque année. En 2002-2003, ce sont les chaudières à bois automatiques et les cogénérations qui étaient favorisées.

Les personnes éligibles dans le cadre de ces subventions sont les particuliers (propriétaires de maisons ou d'immeubles) et les personnes morales (sociétés de promotion immobilière, associations) désirant effectuer des travaux de réhabilitation dans des logements construits durant une période antérieure à 1984 (date de la première réglementation thermique du bâtiment en Allemagne) .

Arrivé à son terme, ce programme a été évalué en interne. En un an, au total, 162 demandes ont été soumises à l'administration. 106 d'entre elles ont pu être satisfaites alors que 17 ont été rejetées pour non conformité et 40 n'ont pas reçu de réponse par manque de moyens. Le budget était épuisé deux mois avant la fin de l'opération. Au total, environ 455 000 € ont été distribués aux investisseurs par la municipalité et Badenova. Ce capital de subvention a, de ce fait, participé à l'investissement de 4 220 000 € pour l'amélioration thermique des constructions existantes de Fribourg. Bien qu'elles soient difficilement quantifiables, les réductions de gaz à effet de serre estimées s'élèveraient à 1 040 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Rapporté à la durée de vie des travaux et des matériaux, soit environ 20 ans, cela équivaut à 20 750 tonnes de CO<sub>2</sub> évitées. Finalement, le coût réel de la subvention accordée par la collectivité permettant d'éviter l'émission d'une tonne de dioxyde de carbone est de 22 €.

Etant donné le succès de cette initiative, le conseil municipal l'a reconduite en avril 2005, en changeant quelques critères. En l'occurrence, l'accent a été porté sur l'énergie solaire thermique puisque les installations de panneaux solaires associées à des opérations d'isolation ont été favorisées à hauteur de 20 %. Les objectifs affichés étaient d'éviter 500 tonnes de CO<sub>2</sub> par an en traitant de 80 à 85 projets grâce à un budget annuel de 300 000 €.

Nous constatons que cette action est très performante. Elle permet la réduction des consommations d'une grande quantité d'énergie, ce qui se traduit par une baisse des émissions de gaz à effet de serre significative. Mais la mesure mériterait d'être amplifiée.

## L'OPAH énergie et l'OPATB de Grenoble

A Grenoble, suite au constat porté par le « bilan énergétique » de l'agglomération - le résidentiel et le tertiaire de Grenoble totalisent 48 % des rejets en CO<sub>2</sub> et 65 % des consommations énergétiques de la ville - et sachant que 93,7 % du parc immobilier de la commune étaient antérieurs à 1990, la municipalité a mis en place plusieurs opérations visant à maîtriser la demande d'énergie dans les bâtiments existants.

La première opération concerne le quartier ancien (XIX<sup>ème</sup> siècle) du Berriat, au nord-ouest de la ville, sur lequel il était avéré qu'il y avait des problèmes d'isolation et de ventilation et, par conséquent, des charges très élevées. Une OPAH (Opération Programmée d'Amélioration de l'Habitat) y a été menée en partenariat avec l'ANAH (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat). Ces programmes ont pour premier objectif d'inciter la requalification générale d'un quartier par la réhabilitation de logements anciens et, en général, n'intègrent pas spécifiquement de volet énergie approfondi. Pourtant, la ville de Grenoble, en s'associant à l'Agence Locale de l'Energie a apporté une condition particulière d'obtention des financements publics. Les subventions accordées aux propriétaires bailleurs - 20-25 % des travaux - étaient soumises aux niveaux de performance énergétique suivants :

- isolation thermique du bâti équivalente à celle de la réglementation thermique 1988 soit l'équivalent d'environ 180 kWh/m<sup>2</sup>/an (chauffage et eau chaude sanitaire en zone H1),
- dépense d'énergie (chauffage + ECS) estimée après travaux inférieure à 10 €/m<sup>2</sup>/an.

Ainsi, ce programme qui a couru pendant trois années a permis de rénover 110 logements avec des améliorations relatives à la maîtrise de l'énergie (mode de chauffage, isolation, ventilation, étanchéité...). Les économies d'énergie obtenues sont estimées à 30 tep/an, soit environ 52 t.CO<sub>2</sub>/an. Les économies financières liées à la baisse des charges sont, elles, estimées à 20 000 €/an.

C'est pourquoi le dispositif a été renouvelé, amélioré et étendu dans le cadre de l'Opération Programmée des Améliorations Thermiques des Bâtiments appliquée au secteur des « Grands boulevards ». En octobre 2002, l'ADEME a retenu la candidature de la ville de Grenoble à l'appel à projet pour les Opérations d'Amélioration thermique des Bâtiments. En 2005, seize collectivités participaient à ce « programme-test » qui a pour but d'inciter, par l'animation et la subvention, les propriétaires<sup>166</sup> à réaliser des travaux de maîtrise de l'énergie ou d'utilisation des énergies renouvelables. Deux secteurs sont concernés par des

OPATB sur l'agglomération de Grenoble, Les « grands boulevards » de Grenoble et les « quartiers ouest » d'Echirolles. A la différence de l'OPAH du quartier de Berriat, les cibles sont variées et tous les bâtiments du périmètre sont éligibles, les petits commerces comme les logements privés, les immeubles tertiaires ou les bâtiments publics.

Etudions plus précisément l'opération « Nouvel air sur les grands boulevards ». Elle recouvre un périmètre longeant le boulevard Maréchal Foch et le boulevard Jean Pain sur lesquels s'élevaient les anciens remparts de la ville. Le programme dans son approche générale, est un projet de requalification du territoire aussi bien en termes d'espace public (voirie, tramway...) que de vitalité socio-économique.

Il consiste à redynamiser les commerces, à valoriser l'architecture monumentale de ces grands boulevards (immeubles très hauts de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle) et à améliorer les performances énergétiques des bâtiments. L'OPATB est un dispositif de subventions programmé sur quatre ans (2005-2009) cofinancé par la ville, la METRO, l'ANAH, l'ADEME et l'Etat. Une équipe d'animation est à la disposition des maîtres d'ouvrage pour la réalisation de diagnostics énergétiques, des conseils sur les travaux à effectuer, ou pour le montage du dossier. Les fonds nécessaires à ce dispositif d'animation, soit un million d'euros sur cinq ans<sup>167</sup>, proviennent à 84 % des co-financeurs du programme, le reste étant apporté par l'Union Européenne (dans le cadre du programme Concerto), le Conseil Régional et le Conseil Général.

Les travaux subventionnés sont : l'isolation des façades par l'extérieur, le remplacement des menuiseries, l'eau chaude solaire, les systèmes de chauffage performants, l'amélioration de la ventilation, de la climatisation ou de l'éclairage, les travaux sur les installations de froid...

L'objectif est d'atteindre le niveau de performance de la RT 2000, soit une consommation maximum de 110 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage et l'eau chaude. Les aides sont fournies par les cofinanceurs précités à hauteur de 33 % en moyenne (10 % de l'ANAH, 11 % de l'ADEME, 7 % de Grenoble, 3 % de la METRO et 1 % de l'Etat).

Les objectifs de l'OPATB sont de réduire les consommations d'énergie du secteur de 554 tonnes équivalent pétrole par an, ce qui équivaut à la consommation de 1 400 logements neufs. Les émissions de CO<sub>2</sub> seraient par conséquent réduites de 470 tonnes.

---

<sup>166</sup> Les propriétaires quels qu'ils soient : tertiaire ou résidentiel, publics ou privés...

<sup>167</sup> Le budget d'environ un million d'euros se répartit comme suit : 850 000 € pour les études pré-opérationnelles et 230 000 euros par an pour l'animation.

	Habitats	Petits commerces	Tertiaire	Bâtiments municipaux	Total
Objectif	1 300 logements (22 copropriétés)	40	11	8	
Energie évitée (Tep/an)	127	23	350	54	554
CO2 (tonnes/an)	112	6	330	22	470

Figure 79 : Les objectifs de l'OPATB des grands boulevards à Grenoble.

En Janvier 2007, la phase opérationnelle étant lancée depuis seulement un an, les résultats commencent à peine à se faire sentir. 46 dossiers sont attribués dans les logements individuels et cinq dossiers sont finalisés pour les petits commerces. Finalement, la première année correspond à l'amorce du programme et les résultats se traduisent surtout par le nombre de contacts établis ou les conseils délivrés : par exemple, 35 diagnostics énergétiques ont été réalisés. Ce programme est très porteur, car, en plus d'améliorer la performance énergétique des bâtiments, il permettra de remplir des objectifs fondamentaux de renouvellement urbain.



Figure 80 : Les grands boulevards de Grenoble, au cœur de l'OPATB.

### 2.4.3 Des questions d'urbanisme intégré

Les pouvoirs publics, à travers les questions d'urbanisme et d'aménagement doivent prendre en compte des questions telles que l'intégration des réseaux de chaleur, l'articulation entre les transports publics et l'urbanisation, l'orientation des nouvelles constructions. Les aménageurs doivent penser la ville en fonction de ces systèmes qui permettent de réduire les consommations. L'installation d'un chauffage urbain suppose d'avoir des consommateurs importants à proximité et doit donc se faire en coordination avec la politique d'urbanisme, de rénovation et de construction de la ville (Chapitre III,

2.3.1.1). Au même titre, la fréquentation des transports publics est dépendante de l'occupation des sols le long des tracés. Une bonne politique de développement des transports en commun doit se faire en coordination avec la politique d'urbanisme. Enfin, lors de la création de quartiers, les urbanistes doivent considérer l'agencement de la voirie de façon à ce que les bâtiments bénéficient d'une orientation bioclimatique ou qu'ils puissent être équipés de panneaux solaires. Il faut donc veiller à ce que les constructions soient orientées au Sud et qu'il n'y ait pas de masques grevant le rendement des panneaux solaires. Les voiries et la structure des quartiers sont pensés pour un, voire plusieurs siècles ; c'est pourquoi, il faut porter une attention particulière sur ces points là. Au delà des seules questions de densité et de construction, l'urbanisme doit donc se préoccuper de toutes les questions intégrées qui permettent de réduire les consommations d'énergie et de développer les énergies renouvelables.

## 2.5 La gestion de la mobilité

Comme nous l'avons constaté dans le Chapitre II sur les caractéristiques des consommations d'énergie dans les villes moyennes, le secteur des transports représente une grande part (environ 1/3) du bilan total. De plus, il est alimenté essentiellement par des produits pétroliers, ressource qui s'épuise et dont la combustion émet d'importantes quantités de gaz à effet de serre. Quels sont les moyens des collectivités locales, communes ou EPCI, pour réduire les consommations d'énergie liées aux déplacements dans les villes moyennes ? Au delà de l'action indirecte sur la morphologie urbaine traitée dans le sous-chapitre 2.4.1, les collectivités locales peuvent agir directement sur le système de mobilité urbain.

En France, les communes, les communautés d'agglomérations ou les communautés urbaines<sup>168</sup> ont été désignées Autorités Organisatrices des Transports urbains (AOT) par la Loi d'Orientation pour les Transports Intérieurs n°82-1153 du 30 Décembre 1982 dite *LOTI*, tandis que le Conseil Général s'occupe des transports non urbains locaux et le Conseil Régional les transports ferroviaires régionaux. Ainsi, les intercommunalités des villes moyennes sont en charge de la planification des transports urbains (PDU) et de l'organisation des transports publics. L'exploitation est parfois assurée en régie et souvent déléguée à un prestataire privé. L'équilibre financier des transports publics urbains est garanti par les produits de la taxe « Versement transport » prélevée sur la masse salariale des entreprises implantées dans le périmètre des transports urbains. Les collectivités locales ont donc des compétences étendues en matière d'organisation du système de mobilité. Nous allons les détailler avec des exemples français mais également, nous présenterons deux exemples étrangers intéressants.

Parmi les villes sur lesquelles avons enquêté, trois se sont distinguées par des taux de fréquentation des modes de déplacement doux et des transports en commun plus élevés que la moyenne et par des politiques des transports plus volontaristes. Ce sont Fribourg (All.), Lausanne (S.) et Grenoble (Fr.). Une autre, Clermont-Ferrand, s'attèle à améliorer son système de mobilité. Nous illustrerons donc l'analyse des différents outils que les collectivités locales peuvent mettre en place pour réduire les consommations des transports avec des exemples tirés de ces villes.

---

<sup>168</sup> Les autorités organisatrices des transports urbains sont en général compétentes à l'échelle de l'intercommunalité plutôt qu'à l'échelle de la commune. Dans les villes où diverses autorités organisatrices se superposent (plusieurs intercommunalités, Conseil Général, Conseil régional) un Syndicat Mixte est créé.

## 2.5.1 Une place pour les modes de transport en commun et les modes « doux »

Bien que les véhicules individuels motorisés restent le mode de déplacement privilégié des villes moyennes, les modes alternatifs moins consommateurs d'énergie que sont les transports en commun (bus, tramway, trolley, métro, train...), la marche ou le vélo peuvent représenter des parts substantielles des déplacements effectués dans l'espace urbain. Nous présenterons trois cas pratiques intéressants avant de chercher à comprendre les facteurs clés de la réussite d'un transfert modal vers des moyens de transport moins consommateurs.

### 2.5.1.1 Près de la moitié des déplacements grenoblois en « modes doux »

Malgré sa difficulté à maîtriser le phénomène d'extension urbaine, Grenoble présente certaines caractéristiques en matière de mobilité qu'il est intéressant de mettre en lumière. Les résultats de l'« Enquête Ménages Déplacements » réalisée par le SMTG (Autorité Organisatrice des Transports de Grenoble) selon la méthode mise au point par le CERTU<sup>169</sup> donnent aux modes de transport « doux » des parts de marché plutôt élevées en comparaison d'autres agglomérations françaises. D'après l'analyse du panel constitué par les résultats des « Enquêtes Ménages Déplacements »<sup>170</sup> réalisées en France de 1996 à 2006 et transcrits dans la figure 82, l'agglomération de Grenoble présente le troisième plus faible taux de déplacement des ménages en voiture. En moyenne, les habitants de l'agglomération grenobloise effectuent 4,03 trajets quotidiens. 52 % de ces trajets sont réalisés en voiture. A titre de comparaison, à Béthune les trajets en voiture totalisent 70 % des déplacements. En terme de transports en commun, la ville de Grenoble se classe en quatrième position, ce mode de transport représente 13 % des déplacements, contre 6 % à Aix par exemple. La marche constitue 30 % des usages. C'est un mode très employé. Cela fait de Grenoble la sixième ville du panel dans ce domaine. La ville a aussi un bon classement en ce qui concerne le vélo.

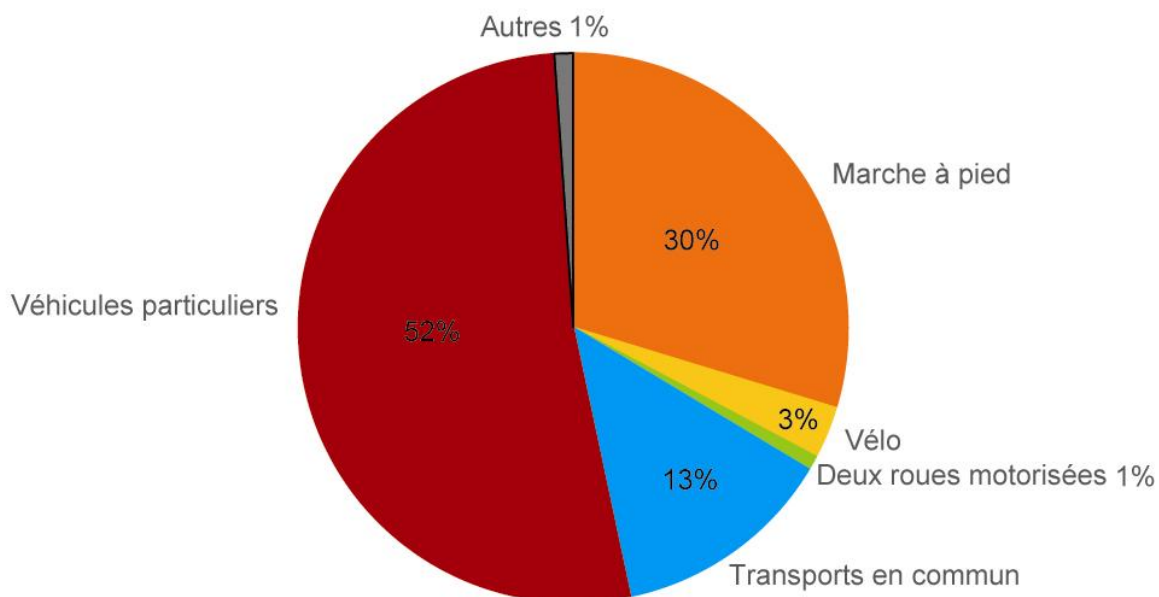
Notons que les villes du panel qui présentent de plus forts usages des « modes doux » sont de grandes métropoles très denses (Paris, Lyon), bien équipées en transports publics et contraintes par des phénomènes de congestion importants. Grenoble présente de bons résultats alors que son agglomération ne compte que 397 000 habitants. Ce taux élevé des transports en commun est lié à l'offre efficace des trois lignes de tramway.

---

<sup>169</sup> Centre d'études et de recherche sur les transports urbains.

<sup>170</sup> Les « Enquêtes Ménages Déplacements » sont menées sur des périmètres variables (commune, communauté urbaine, périmètre des transports urbains...) et sur des villes de toute taille. Notons que ces paramètres peuvent introduire un biais non négligeable dans notre analyse.

### Modes de déplacement des ménages de l'agglomération grenobloise

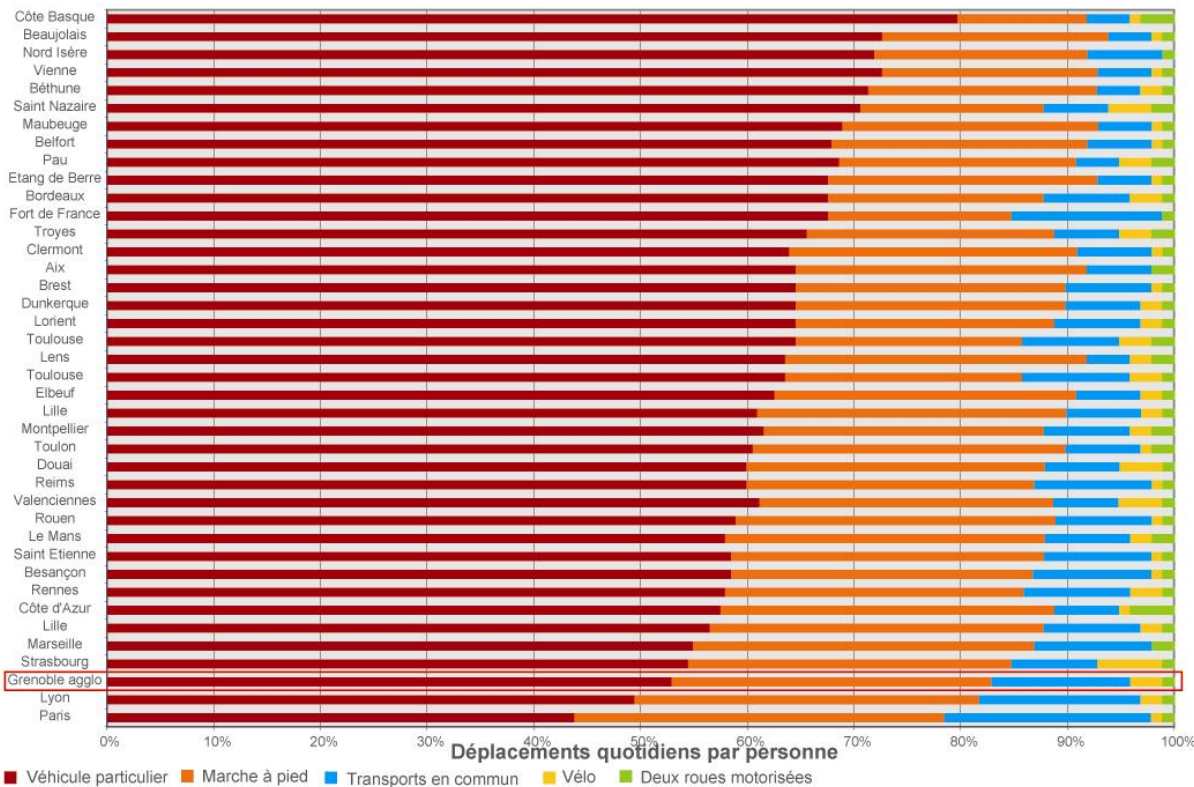


Source: Enquête ménage déplacement 2002, Certu

Réalisation Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB

Figure 81 : Les modes de déplacements des ménages de l'agglomération de Grenoble.

### Enquête Ménages-déplacements, résultats des études réalisées de 1996 à 2006



Source: Certu, résultats de 2006

Réalisation Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB

Figure 82 : Les résultats de l'enquête « ménages-déplacements » de Grenoble.



### 2.5.1.2 Le mythe des transports publics suisses, l'exemple de Lausanne

Les transports publics suisses sont réputés, précisément parce qu'ils remportent des parts de marché importantes. L'enquête de terrain à Lausanne nous a permis d'analyser ce phénomène, afin de saisir les mécanismes mis en œuvre.

En effet, les parts de marché sont plus élevées dans les agglomérations suisses que dans les agglomérations françaises. Pourtant il y a eu une baisse relative durant la dernière décennie. Les agglomérations suisses sont en prise avec les mêmes problématiques que les agglomérations françaises, mais elles possèdent un temps d'avance en terme de stratégie urbanisme/transport. Ce sont ces mécanismes que nous allons présenter à travers l'exemple de Lausanne (Chapitre III, 2.5.2).

Lausanne ne présente pas le taux de Suisse le plus élevé, au contraire. Les parts de marché des transports publics les plus importantes se trouvent en Suisse alémanique, à Berne, Zürich ou Basel (voir figure 83).

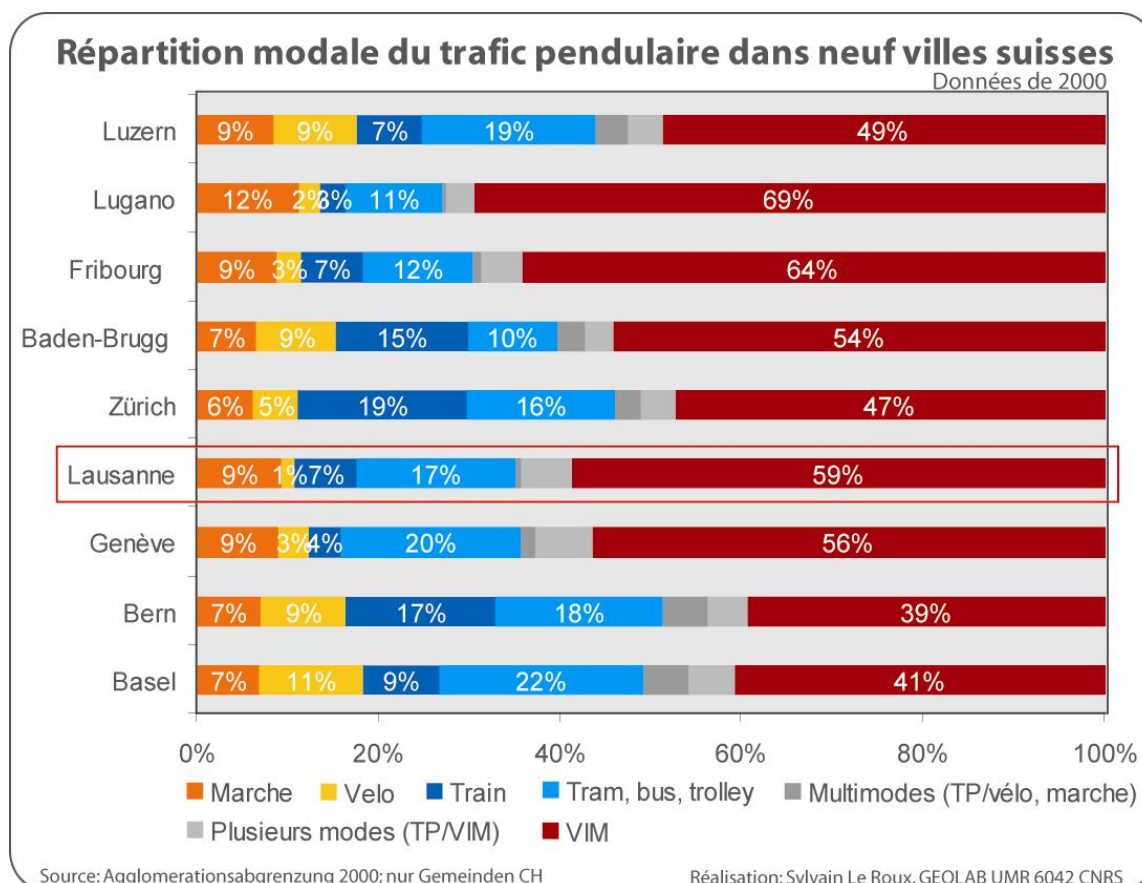


Figure 83 : Répartition modale du trafic pendulaire dans neuf villes suisses.

Selon Mme Bozovitch (chargée de mission aux TL<sup>171</sup>) et M. Loutan (Chargé de mission au service Routes et Mobilité de la municipalité), auparavant, les transports publics de Lausanne étaient plus fréquentés mais les politiques constructives « tout voiture » des années 60-70, l'évolution des mentalités et le déficit en logements vacants a favorisé le duo : étalement urbain et accroissement des véhicules individuels motorisés. L'urbanisation s'est principalement dirigée vers l'ouest en direction de Genève, le long de l'autoroute<sup>172</sup>.

Cela dit, les parts de marché des transports publics de Lausanne restent intéressantes, elles sont supérieures à celles de bien des agglomérations françaises de taille similaire. En 2000, les Transports publics représentaient 17 % des parts de marché dans la commune centre. Ainsi, 69 225 545 voyageurs<sup>173</sup> étaient transportés sur le réseau urbain en 2006. Qui plus est, un nouvel élan est donné à la politique des transports lausannois depuis quelques années. Après une forte hausse de 7,3 % du parc de voitures légères entre 1995 et 2000, la région lausannoise a vu cette croissance ralentir nettement (0,4 %) entre 2000 et 2005<sup>174</sup>. Ces résultats sont liés en grande partie à la politique de stationnement, à l'offre de transports en commun (métro, bus, trolleys) et à la politique de coordination entre l'urbanisation et les transports.

### **2.5.1.3 A Fribourg, les modes doux se font la part belle**

La ville de Fribourg est parfois surnommée la « Mecque des vélos ». Cette image illustre l'importance de ce mode de déplacement dans la capitale de la Forêt Noire. En effet, d'après le diagnostic mené par la ville en 1999, le vélo représentait une part de 28 % du trafic. Par ailleurs, 24 % des déplacements se faisaient à pied et 18 % en tramway ou en bus. L'ensemble des modes doux se taille une belle part du gâteau. Ainsi, la part de l'automobile a été réduite à moins d'un tiers des déplacements. Afin de réaliser une comparaison avec un exemple français, rappelons que, d'après les chiffres de l'INSEE, l'automobile représente 74 % des déplacements domicile-travail à Limoges (Fr). Les résultats de Fribourg sont d'autant plus satisfaisants que, malgré la progression du parc automobile, la part de l'automobile dans les déplacements a décru de 38 % en 1982 à 30 % en 1999. Ces résultats excellents, encore meilleurs que ceux de Grenoble et Lausanne, sont liés à une politique de transport très ancienne qui traite la question des déplacements

---

<sup>171</sup> TL : *Transports Lausannois*, Société d'exploitation des transports en commun de Lausanne.

<sup>172</sup> A l'Est, le foncier était contraint par la topographie, les vignobles et le périmètre classé par l'Unesco.

<sup>173</sup> Rapport d'activité 2006, TL

<sup>174</sup> Lausanne région - Comptages TI-TC 2005 - Synthèse TI-TC

dans sa globalité (offre de transports publics et de modes « doux », contraintes des déplacements en automobile...).

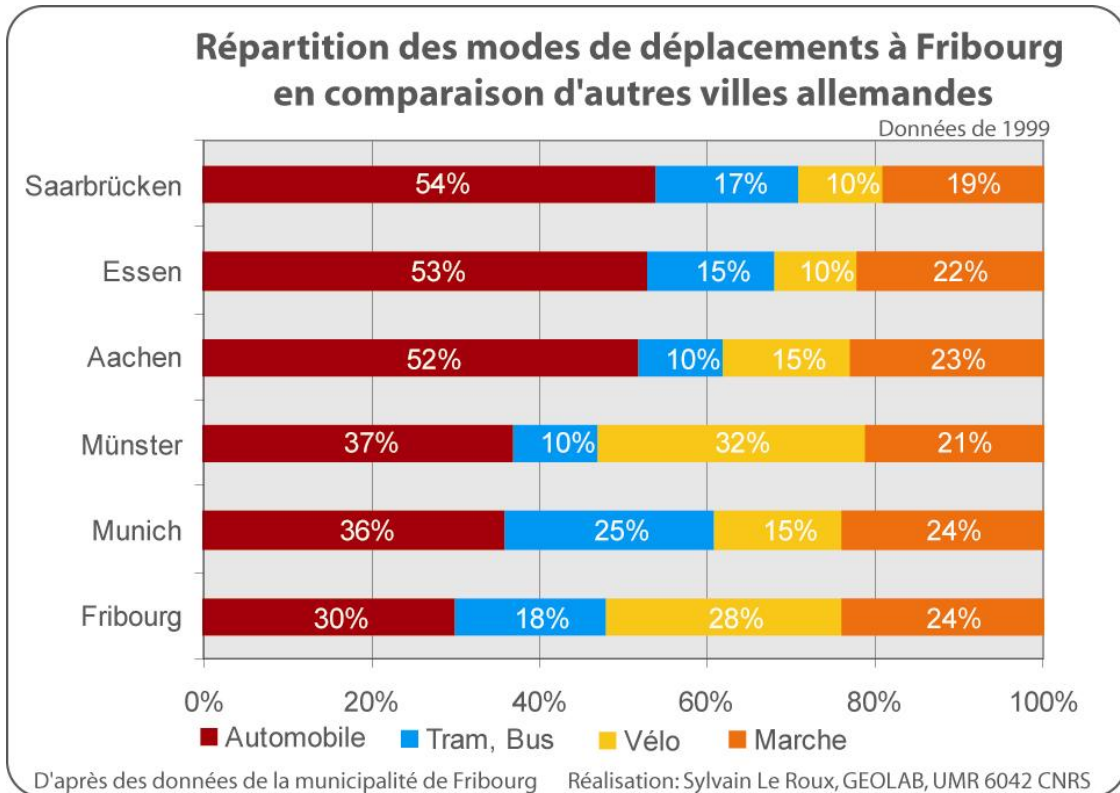


Figure 84 : Répartition des modes de déplacements à Fribourg.

### 2.5.2 Des stratégies récurrentes

Ces bons résultats des transports en commun et de la marche ou du vélo dans ces trois villes sont principalement dus à la politique de transport appliquée au territoire. Après une analyse des stratégies mises en place dans chacune des villes, nous pouvons constater que les plus efficaces sont partagées par nos cas d'étude. Le panel d'outils utilisé regroupe les points suivants :

- la coordination de la politique des transports avec la politique d'urbanisme,
- la gestion du système viaire et la canalisation du trafic (construction de voirie, zone 30, voie piétonne...),
- l'offre de transport public,
- l'offre en modes de déplacements « doux » et alternatifs (vélo, marche, auto partage...),
- la gestion et l'offre de stationnement,

- la maîtrise des déplacements liés au transport de marchandises.

Tentons de les détailler à travers des exemples concrets des villes de Clermont-ferrand, Lausanne, Fribourg et Grenoble.

### 2.5.3 Les transports, une pièce dans un jeu de dominos

La politique des transports est une politique sectorisée qui, d'une part, est dépendante de l'environnement sur laquelle elle s'applique et, d'autre part, a des impacts sur cet environnement. Les infrastructures liées à la mobilité doivent s'adapter au territoire existant : la contrainte du milieu physique, l'activité économique, le peuplement... Mais elles ont également des conséquences sur l'organisation de l'espace (ex : urbanisation le long des routes, augmentation du prix du foncier à proximité d'un tramway...).

« Les questions sont très complexes aujourd'hui, on arrive à un stade où on ne peut pas toucher quelque chose sans que cela bouge ailleurs. C'est le jeu de dominos. Que ce soit les transports, la construction, l'urbanisme, l'économie, les aspirations sociales... » Yvan Astier, Ingénieur au SMTC (Syndicat Mixte des Transports en Commun)

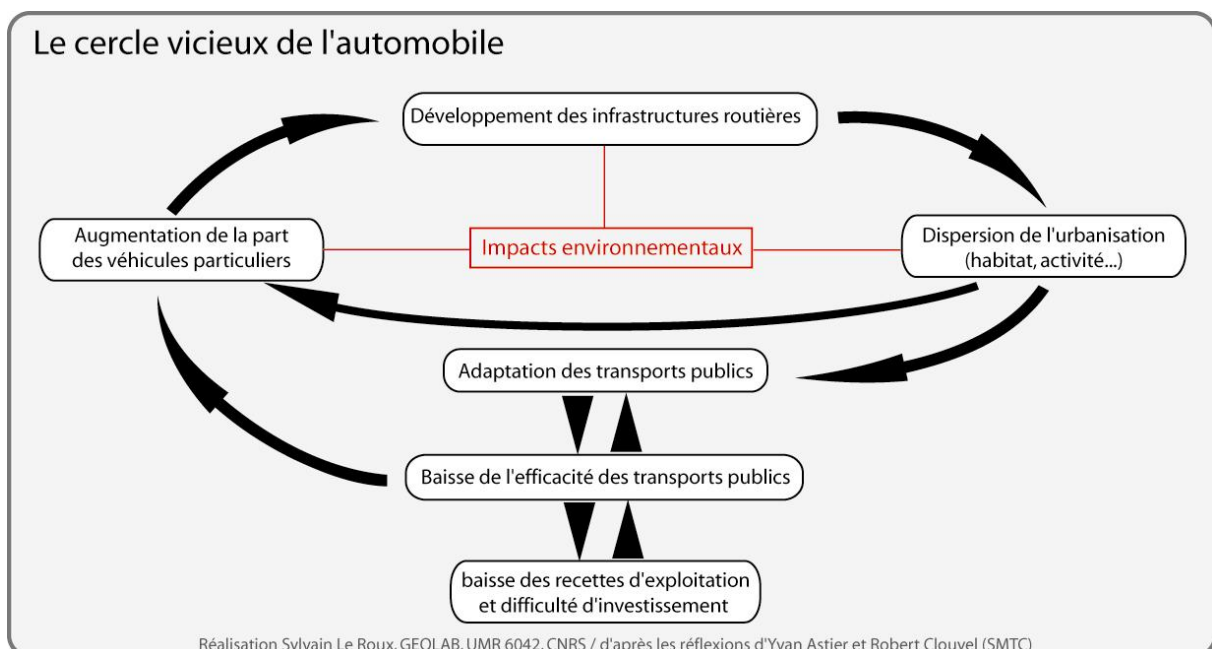


Figure 85 : Le cercle vicieux de l'automobile.

En effet, à Clermont-Ferrand comme dans beaucoup de villes, la part des transports collectifs est dépendante en grande partie de la façon d'urbaniser. L'importante part des véhicules individuels motorisés ne serait-elle pas liée au phénomène d'étalement engendré par le développement de la maison pavillonnaire en dehors de toute desserte de transport en commun digne de ce nom ? Seulement, en pratique, comme dans la majorité des villes

françaises, l'urbanisation n'est pas pensée en cohérence avec les transports publics. Malgré les échanges entre les urbanistes et l'Autorité Organisatrice des Transports, c'est plutôt l'inverse qui se produit. La situation est décrite dans la figure 85 comme un cercle vicieux dans lequel l'automobile appelle l'automobile. Le simple fait de construire de nouvelles infrastructures routières ouvre de nouveaux espaces urbanisables en dehors de toute desserte de transports en commun, ce qui a pour double effet de relancer la dépendance à l'automobile et de diminuer encore l'efficacité des transports publics. Le manque de compétitivité des transports publics entraîne automatiquement un report modal vers l'automobile. La boucle est bouclée.

L'explication du phénomène permet de comprendre qu'un fort potentiel d'action réside dans l'investissement dans les transports publics et dans la coordination entre l'urbanisme et les transports.

#### **2.5.4 La coordination entre l'urbanisme et les transports**

L'imbrication des transports avec une multitude d'autres variables qui font la ville rend nécessaire une certaine coordination entre la politique d'urbanisme et la politique des transports. En premier lieu, il est indispensable que la planification et la gestion des transports publics ou autres modes alternatifs se fassent à l'échelle de l'agglomération, il faut adopter une échelle de décision pertinente pour les autorités organisatrices des transports. En second lieu, les villes qui présentent des exemples intéressants ont toutes introduit une dose de transversalité entre les services ou entités en charge de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire et les services ou entités en charge de la mobilité. Enfin, un système de mobilité favorable aux transports en commun ne peut exister sans une cohérence pratique entre l'urbanisation et les lignes de transport public, voire les autres modes « doux ». Bref, la transversalité est la clé de la réussite. A Fribourg, très rapidement, la politique des transports a été traitée en corrélation avec la politique d'urbanisme. L'urbanisme doit permettre de favoriser la « ville des courtes distances ». Pour cela, les moyens de limiter les déplacements sont à prendre en compte dès la planification urbaine. Bien sûr, la mise en application de ces principes est plus aisée dans le cadre de nouvelles opérations que pour l'existant.

*« La politique de la circulation doit couvrir l'ensemble de la planification et du développement urbain grâce à une stratégie globale. L'aménagement urbain doit assurer que le trafic que l'on peut éviter se développe le moins possible. Et avant tout, nous*

*essayons d'appliquer ces principes à l'aménagement des nouveaux quartiers. » Jan Maurer, Directeur du service Transport de Fribourg<sup>175</sup>.*

#### **2.5.4.1 Le choix d'un périmètre d'action pertinent**

Les aménageurs rencontrés se posent l'inévitable question du périmètre pertinent. Or, il existe de multiples périmètres que nous pouvons distinguer en deux classes : les périmètres de réflexion et les périmètres d'action. Cette distinction est née du constat que les périmètres opérationnels ne sont pas toujours adaptés aux périmètres de réflexion.

En France, l'aire urbaine définie par l'INSEE semble être une échelle relativement adaptée à une réflexion sur les transports urbains. A Clermont-Ferrand par exemple, l'aire urbaine compte 146 communes. Le SCOT comme le PDU (en révision) se construisent à l'échelle du Pays du Grand Clermont qui regroupe 106 communes. Seules sept communes fédérées au sein du Pays sont hors du périmètre de l'aire urbaine, toutes les autres en font partie. Contrairement à de nombreux autres cas, le périmètre considéré pour la planification est relativement étendu autour du pôle urbain ce qui offre la possibilité de constituer un réseau de transports collectifs plus cohérent qui répondrait à des demandes jusque là trop éloignées du centre décisionnel pour avoir des réponses autres que la mobilité individuelle.

Cependant, les Autorités Organisatrices des Transports sont le Conseil Général (desserte des espaces ruraux en cars), le Conseil Régional, le SMTC de l'agglomération Clermontoise et Riom Communauté. Les périmètres opérationnels des PTU (périmètres de transports urbains qui correspondent aux périmètres des intercommunalités de Clermont et de Riom) ne concernent respectivement que 22 et 11 communes. C'est une problématique récurrente dans toutes les villes enquêtées, les périmètres opérationnels ne sont pas calqués sur les limites cohérentes des agglomérations englobant la première et la seconde périphérie, d'une part parce que les villes ne cessent de s'étendre et que les institutions s'adaptent avec un temps de retard à cette évolution et d'autre part parce que la constitution d'une intercommunalité est une affaire politique qui ne répond pas au seul principe d'objectivité. C'est pourquoi, à Clermont-Ferrand, l'initiative a été lancée récemment de coordonner les différentes Autorités Organisatrices de Transport en proposant un Schéma Multimodal des Déplacements<sup>176</sup> en adéquation avec le nouveau

---

<sup>175</sup> Propos extraits du texte d'une présentation orale intitulée : « *Urban development and transport planning in Freiburg Im Breisgau* »

<sup>176</sup> Théoriquement un Schéma Multimodal des Déplacements est réalisé à l'échelle des communes des AOT intercommunales, soit 33 communes.

périmètre du PDU. Alors, ce périmètre d'action sera en adéquation avec le périmètre de réflexion et de planification (SCOT, PLU).

#### **2.5.4.2 La nécessité d'une interface entre les acteurs des transports et les acteurs de l'urbanisme**

La clé du succès réside également dans la capacité des différents acteurs à travailler ensemble. Certes les échanges existent entre les services d'urbanisme et les services des transports. Mais souvent, la coordination n'est que ponctuelle et périodique. Elle intervient durant la réalisation du SCOT, lors d'opérations d'urbanisme ou lors des révisions du POS ou du PLU.

Ces consultations sont-elles suffisantes ? Nous pouvons reprendre l'exemple intéressant de Clermont-Ferrand où la démarche semble être en progrès, spécialement depuis que le périmètre du PDU est calqué sur celui du SCOT. Auparavant, les différentes autorités organisatrices ont parfois poursuivi des objectifs et ont engagé des investissements antagonistes. C'est pourquoi, un partenariat entre les autorités des transports et les gestionnaires de voirie ou de stationnement a été constitué en février 2007 à travers la « Conférence des déplacements » qui réunit tous les acteurs et gestionnaires des transports publics de la région Clermontoise.

Le Schéma Multimodal des Déplacements et la « Conférence des Déplacements » sont deux outils qui pourraient aider à résoudre les difficultés liées à l'organisation d'une offre de transport « durable » intégrée, cohérente avec le territoire d'application.

#### **2.5.4.3 L'articulation entre l'urbanisation et les transports, la base de la politique des transports urbains de Lausanne**

Comme nous l'avons déjà affirmé dans la sous-partie 2.4.3 (Chapitre III), la condition indispensable pour une importante fréquentation des transports en commun est l'adéquation entre les pôles générateurs de déplacements et le réseau de transport. L'exemple de Lausanne illustre clairement ce phénomène car cette agglomération a subi une extension liée au « tout routier » qu'elle tente de maîtriser par une politique d'aménagement qui intègre les enjeux des transports publics dans les orientations urbanistiques.

#### **De la nécessité d'une coopération intercommunale**

A la différence de la France, la Suisse et précisément le canton de Vaud n'ont pas d'entités intercommunales, ce qui pose des problèmes de cohérence dans le domaine des

transports. L'exemple du développement de l'Ouest de l'agglomération illustre clairement cette problématique (voir 2.5.1.2).

Ces dernières années, les communes de l'Ouest lausannois ont connu une urbanisation extrêmement rapide et dispersée principalement à l'intérieur des zones affectées aux activités économiques. Ce développement industriel s'est transformé en développement urbain, avec l'apparition de centres commerciaux, du campus universitaire et de zones d'habitat. Cette urbanisation s'est faite autour des axes de communications routiers sans prendre en compte les transports en commun. Si bien qu'aujourd'hui, l'offre est déficitaire. Il y a deux fois moins d'offre en places/km que sur l'ensemble de l'agglomération. Par conséquent, les parts de marché de l'automobile sont de 68 % dans l'Ouest lausannois contre 57 % à Lausanne ; inversement, les transports publics ne dépassent pas 11 % des déplacements. Visiblement, cette carence était en partie due à un manque de communication entre les communes.

*« L'ouest lausannois est composé de petites localités qui ont vu un intérêt financier à développer des zones industrielles et commerciales conséquentes, ce qui a généré un apport de voitures énorme. Mais les communes n'ont pas vu la nécessité de relier ces zones d'activités à des transports publics parce qu'il y avait encore la proximité de l'autoroute, sans compter que les aspects financiers leur faisaient peur. » M. Loutan, chargé de mission au service Routes et Mobilité de la municipalité de Lausanne.*

Pourtant, l'ouest lausannois recèle un important gisement foncier (friches industrielles, réserves foncières...). La zone est appelée à se redévelopper. Ces surfaces potentiellement urbanisables représentent au total 258,6 ha, soit en théorie un potentiel de 10 000 habitants et 12 000 postes de travail supplémentaires<sup>177</sup>.

Face à cette situation inextricable générant toujours plus de déplacements individuels motorisés et de pollutions atmosphériques, le canton de Vaud est intervenu de façon autoritaire en imposant un moratoire sur les délivrances de permis de construire. Le but de cette décision était d'inciter par là les communes de l'Ouest à s'organiser entre elles pour mettre en place une stratégie commune articulant le développement urbain et les transports publics. C'est dans ce contexte qu'est né le SDOL (Schéma Directeur de l'Ouest lausannois). Il donne en matière de déplacement la conception directrice suivante :

*« En accord avec les lignes directrices cantonales, le développement à l'intérieur des zones centrales des agglomérations est prioritaire car c'est là que le nombre très*

---

<sup>177</sup> Source : Schéma directeur de l'Ouest Lausannois, 2002.

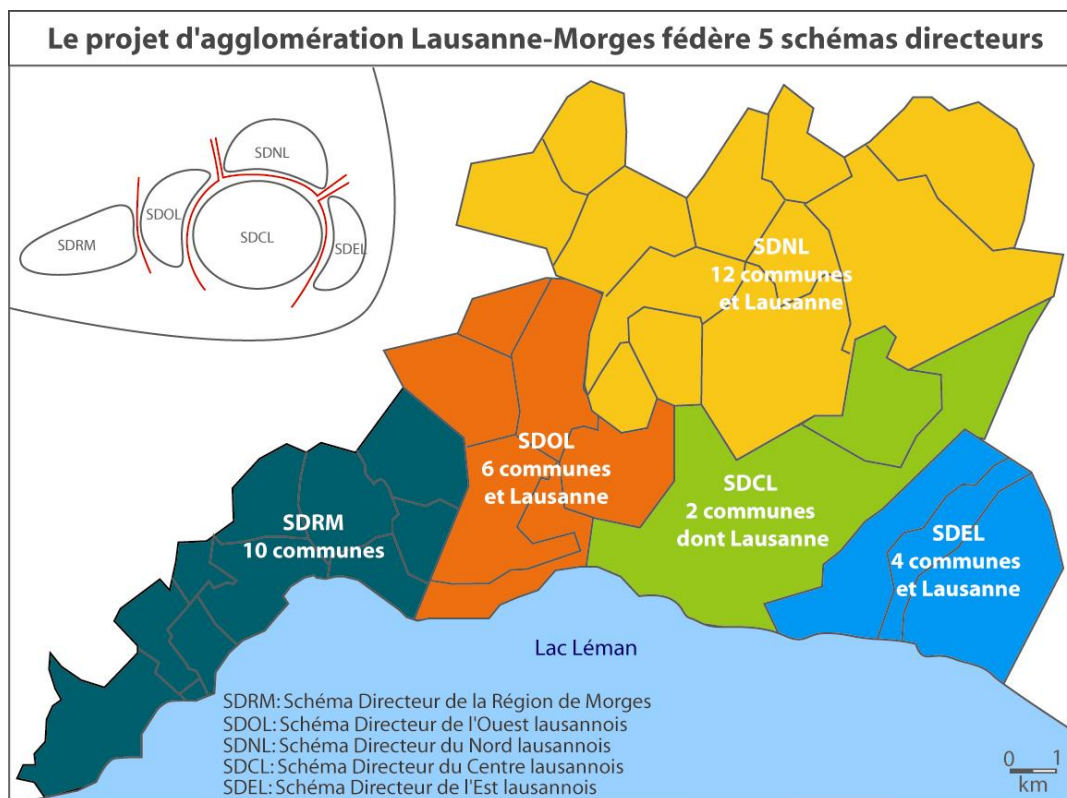


*important de déplacements facilite les alternatives à la voiture attractives grâce aux transports publics. Parallèlement, il s'agit d'éviter la dispersion de l'urbanisation dans la périphérie et la campagne. Seule une approche multimodale coordonnée avec le développement urbain permet de relever ces défis. Dans ce cadre, le rôle structurant de l'offre en transports publics est fondamental. » Schéma Directeur de l'Ouest Lausannois.*

Les collectivités ont développé, dans le cadre du SDOL, « l'outil ABC ». Il vise à localiser les nouvelles activités en fonction des conditions d'accessibilité du site d'implantation, ceci permet de favoriser la mobilité douce vers les espaces d'activités commerciales et industrielles fortement générateurs de déplacements.

### Vers le projet d'agglomération Lausanne-Morges

La politique des transports de la commune de Lausanne est inscrite dans les objectifs de planification et d'aménagement urbain du plan directeur de la commune de Lausanne ; les communes périphériques de l'Ouest regroupées en quatre blocs (deux à l'ouest, un au nord et un à l'est) ont également pris en compte les transports publics dans leurs propres plans directeurs : le Schéma Directeur de la Région de Morges, le Schéma Directeur de l'Ouest Lausannois, le Schéma Directeur du Nord Lausannois et le Schéma Directeur de l'Est (voir carte suivante). Mais aucune entité ne permettait une cohésion entre ces cinq territoires.



D'après le Projet d'agglomération Lausanne-Morges

Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS

Figure 86 : Le projet d'agglomération Lausanne-Morges.

Face à ce manque de cohérence territoriale entre l'urbanisation et les transports, la nécessité d'une coopération intercommunale s'est fait ressentir à l'échelle des agglomérations suisses. Cette transversalité entre les communes s'est affirmée dans les Projets d'Agglomération que la Confédération a instauré en 2007<sup>178</sup>. À partir de 2008 et sur 20 ans, le Fonds d'infrastructure pour le trafic d'agglomération met à disposition 6 milliards de francs suisses pour les infrastructures du trafic d'agglomération public et privé dans le cadre de projets d'agglomération. Ainsi, la confédération allouera cette somme pour une participation - d'un maximum de 50 % des investissements - dans les infrastructures de transports publics urbains.

La première condition à remplir pour bénéficier de contributions fédérales destinées à l'amélioration des infrastructures du trafic d'agglomération est l'élaboration d'un Projet d'Agglomération. C'est un programme de planification de l'espace urbain s'appuyant sur une analyse et une coordination de tous les moyens de transport. Les contributions financières sont attribuées en fonction de l'efficacité globale du Projet d'Agglomération, la priorité étant donnée aux projets qui « contribuent à résoudre les problèmes de circulation et d'environnement les plus aigus »<sup>179</sup>. L'efficacité du projet est évaluée à partir des critères suivants :

- amélioration de la qualité des systèmes de transport,
- encouragement de la densification urbaine,
- augmentation de la sécurité du trafic,
- réduction des atteintes à l'environnement et de la consommation de ressources,
- appréciation des coûts d'investissement et d'exploitation.

Les urbanistes, aménageurs et gestionnaires des transports de Lausanne rencontrés ont insisté sur l'aspect fondamental de ce programme dans l'évolution de l'articulation urbanisme/transport de la capitale olympique :

*« Un élément important, c'est la politique fédérale des agglomérations. La confédération a alloué un budget pour le trafic d'agglomération. Ce budget est réparti entre les agglomérations qui font un projet. Ces projets doivent montrer la cohérence entre l'urbanisation et les transports. Pour Lausanne, le projet s'appelle PALM (Projet*

---

<sup>178</sup> Loi fédérale sur le fonds d'infrastructure (LFIInfr) adoptée par le Parlement et entrée en vigueur le 1.1.2008.

<sup>179</sup> *Guide pour l'examen et le cofinancement des projets d'agglomération*, Office fédéral du développement territorial ARE, 2007.

*d'agglomération Lausanne-Morges). » Mme Bozovitch, Chargée de mission aux TL (Transports Lausannois).*

Le Projet d'Agglomération de Lausanne-Morges fédère la commune de Lausanne, les communes de l'Ouest, de l'Est et du Nord lausannois ainsi que les communes autour de Morges (voir figure 87). Dans ce document, les communes regroupées autour du projet et le canton prennent des options assez importantes. La première concerne la densification des parties déjà construites. La seconde implique que les tracés des infrastructures de transport soient en relation avec les densités actuelles et à venir. Autrement dit, soit les zones denses devront être desservies, soit les zones desservies doivent être densifiées. Les objectifs du PALM sont illustrés dans la carte suivante (figure 87) :

- développer l'agglomération vers l'intérieur,
- développer l'agglomération autour de sites stratégiques,
- favoriser une urbanisation dense mais de qualité,
- développer une offre de transports publics plus attractive en lien avec l'urbanisation,
- et aménager des espaces verts et naturels.

L'urbanisation s'effectuera en priorité à l'intérieur de l'agglomération compacte délimitée par un périmètre enserrant la zone bâtie continue de 27 communes. Il est prévu d'accueillir dans cette zone jusqu'à 40 000 habitants et 35 000 emplois à l'horizon 2020. Densifier les secteurs déjà urbanisés et revaloriser les secteurs délaissés permettront de limiter l'étalement de la ville.

Les sites stratégiques à développer sont : le centre ville de Lausanne et les centres des trois plus importantes communes périphériques (Morges, Pully et Renens) et des sites à fort potentiel d'accueil de population et d'activités bien desservis par les transports en commun existants ou en projet. Le PALM donne des objectifs d'aménagement pour chacun des sites stratégiques, notamment en terme de densité et de desserte en transports en commun. Nous illustrerons ces principes d'aménagement à travers quatre exemples de développement des sites stratégiques (voir figure 88). Le PALM projette par ailleurs de concurrencer l'habitat périphérique en réhabilitant les zones les plus dégradées, en insérant de la mixité dans les affectations du sol (habitat, activité, équipement), en diversifiant le parc de logement, en assurant une urbanisation de qualité.

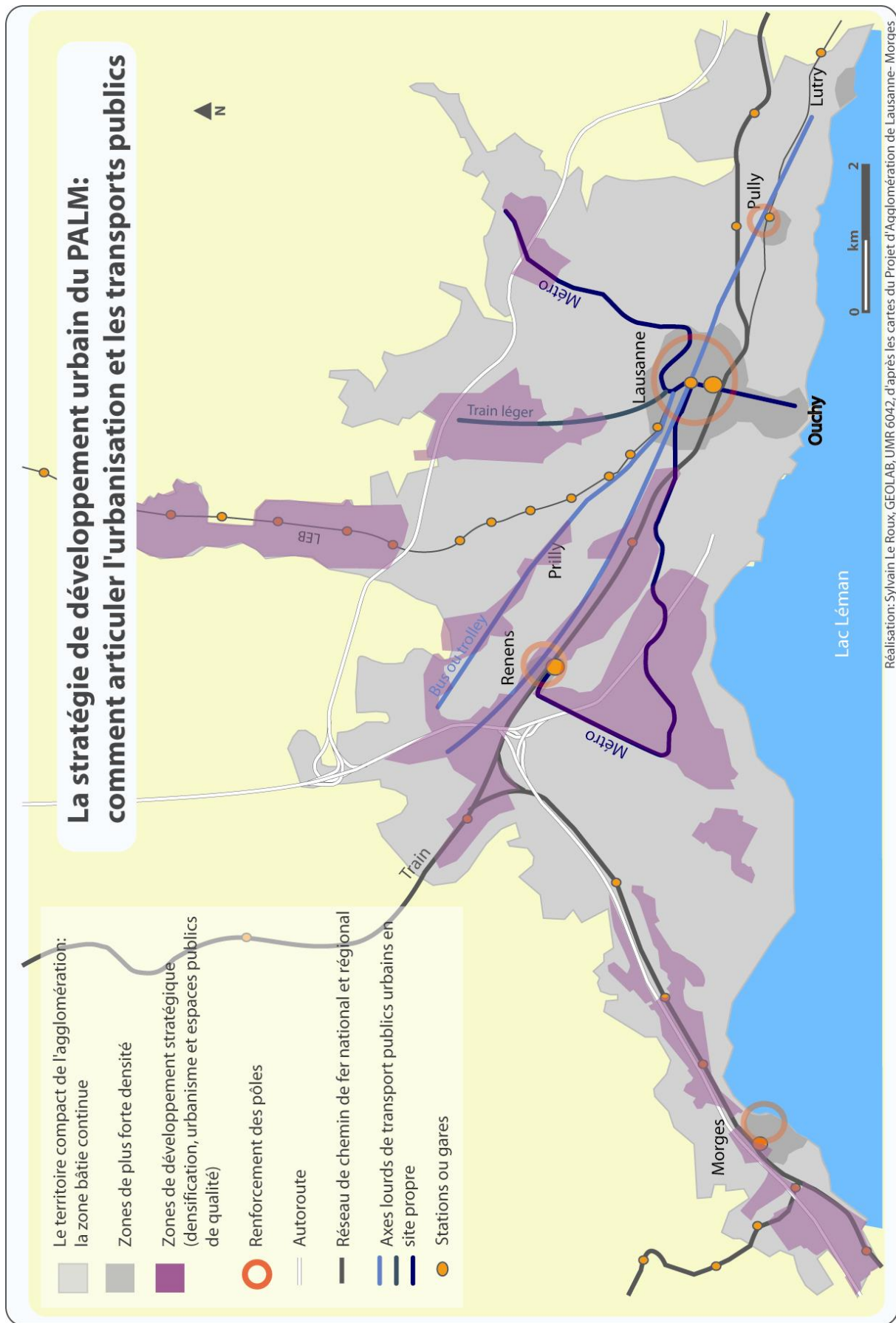


Figure 87 : La stratégie de développement urbain de l'agglomération de Lausanne.

# Densification des sites stratégiques et proximité des transports publics urbains

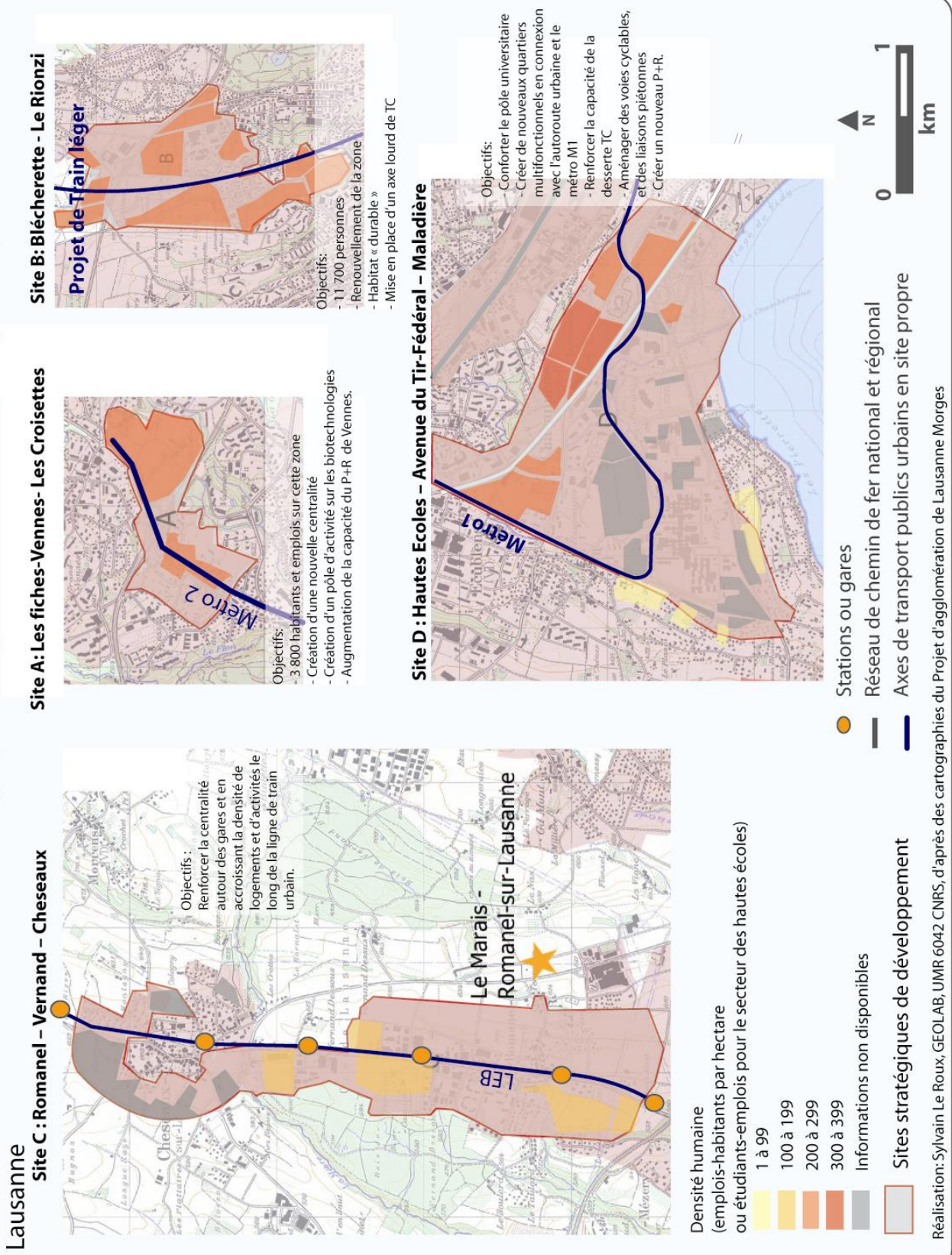


Figure 88 : Densification des axes de transports publics à Lausanne.

#### 2.5.4.4 Les axes lourds en site propre, des projets d'aménagement urbain

D'après notre enquête, les meilleurs exemples d'articulation entre l'urbanisation et les transports publics se retrouvent dans les villes qui ont mis en place des lignes de transport en site propre, généralement des axes lourds tels que des lignes de tramway, des lignes de métro, des trains, voire des trolleys. Les villes de Clermont-Ferrand, Grenoble et Fribourg (All .) possèdent des axes de tramways. La ville de Lausanne possède des lignes de trolley-bus et une ligne de métro, bientôt deux. Ces axes rigides de transport en commun (rails, tunnels, cateners, voirie en site propre...) induisent des investissements et des travaux importants, leur tracé est ancré dans l'espace urbain à moyen terme. C'est pourquoi leur aménagement nécessite une réflexion urbanistique plus approfondie que pour les lignes de bus partageant la même voirie que les automobilistes. Ces réflexions sont indispensables pour remplir les objectifs de fréquentation nécessaires à la viabilité des lignes. Les axes lourds de transport public en site propre sont de véritables projets d'aménagement urbain qui articulent pleinement l'urbanisation, les besoins de déplacements des individus et les transports publics.

A Grenoble, alors que les voies de circulation routières sont incriminées par les aménageurs interviewés (coupures physiques fortes, forte expansion de l'habitat, déclin de l'activité du centre ville...), le tramway semble redonner de la cohérence à l'espace urbain. Par exemple, l'insertion du tramway a donné corps à la restructuration des grands boulevards.

*« La réalisation du boulevard s'était faite dans une logique très routière. Depuis la mise en place de cette nouvelle politique de transports en commun, on essaie de faire évoluer l'image de la ville vers une image plus apaisée des circulations et une structuration plutôt par les lignes de transport public. » Anne-Marie Maur, chargée d'études à l'Agence d'Urbanisme de Grenoble.*

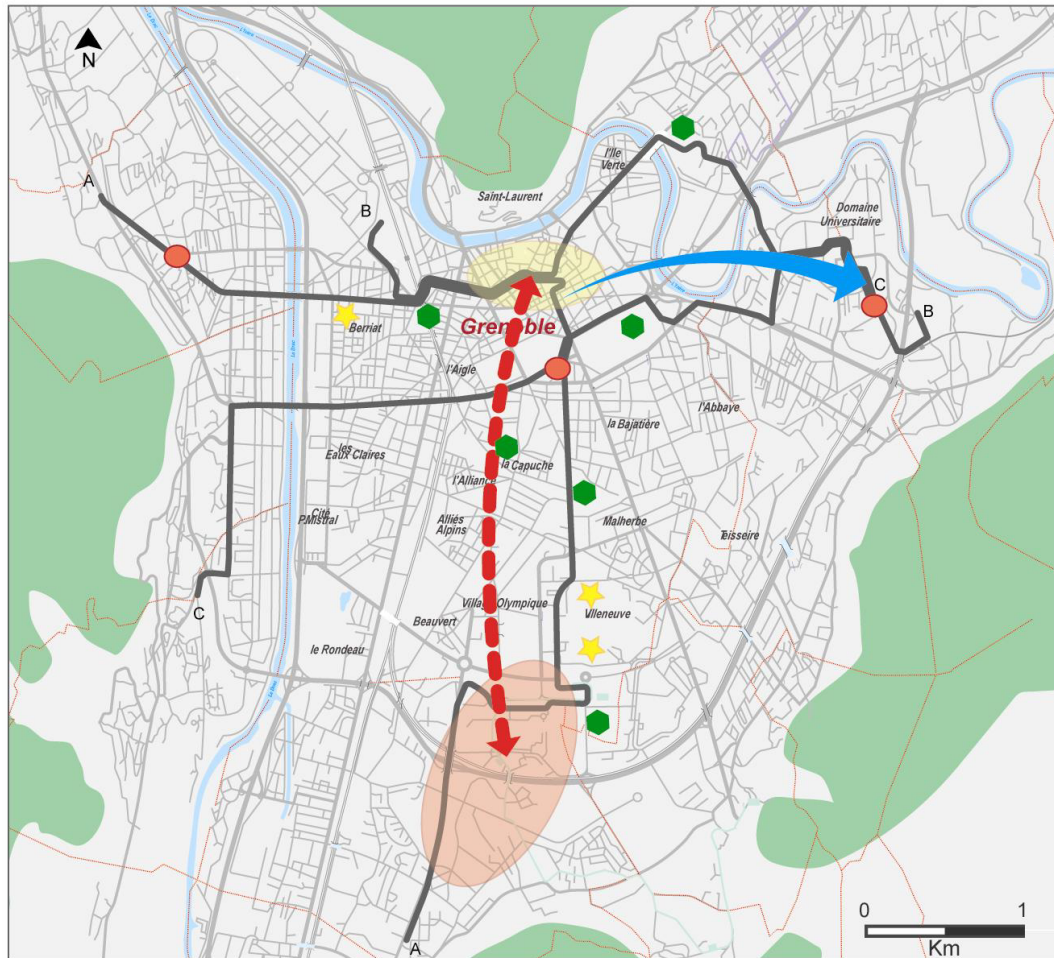
Selon eux, l'aménagement du réseau de tramway a permis de revitaliser l'hypercentre, d'ouvrir la ville du domaine universitaire, de reconnecter les deux pôles de Grenoble (le centre ville et « Grand Place » qui étaient coupés par les grands boulevards), de faire naître des micropolarités de commerces et de services à proximité des arrêts... Tout cela s'est accompagné d'une redensification le long des lignes pour optimiser leur fréquentation<sup>180</sup>.









Le réseau de tramways est devenu la colonne vertébrale de la ville autour de laquelle le fait urbain s'organise.

---

<sup>180</sup> Cela a également entraîné des plus-values immobilières et foncières à proximité des stations.

## Les impacts essentiels du tramway sur l'aménagement urbain à Grenoble



-  Ligne de Tramway
-  revitalisation de l'hypercentre
-  amélioration de l'accessibilité aux grands équipements
-  désenclavement de quartiers défavorisés
-  ouverture sur la ville du domaine universitaire
-  connexion des deux pôles de Grenoble
-  renforcement du pôle sud Grand Place/Echirolles
-  apparition de micropolarités



Réalisation: Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB  
fond de carte de la METRO

Figure 89 : les impacts du tramway sur l'aménagement urbain à Grenoble

### 2.5.5 L'offre de transports en commun

L'efficacité énergétique des transports en commun dépend de la consommation du parc roulant et de la fréquentation du réseau. Or, d'une part, les ratios de consommation sont variables d'un mode de transport à l'autre, et d'autre part, la fréquentation est

conditionnée par la qualité de l'offre mise en place. Les transports publics se doivent d'assurer un service de déplacement plus compétitif que l'automobile.

### 2.5.5.1 L'efficacité énergétique du parc roulant

Les transports publics urbains sont, en règle générale, moins consommateurs d'énergie et moins émetteurs de gaz à effet de serre que les véhicules motorisés particuliers, mais il existe une hétérogénéité marquée entre les différents modes de transport en commun. A défaut d'avoir les données pour les transports publics des villes moyennes étudiées, nous exposerons le cas des transports en commun de la RATP. La figure 90 permet de comparer les consommations et les émissions des différents modes de transport. Il ressort de cette analyse que les équipements les plus efficaces sont ceux qui utilisent le rail : le tramway, le métro ou le train urbain. La ligne 2 du tramway de Paris consomme six à huit fois moins d'énergie qu'un bus et 13 fois moins qu'une automobile. De plus, les modes de transport publics sur rail utilisent pour grande part de l'électricité pour tracter la navette, cela a pour résultat une émission moindre de gaz à effet de serre. La même ligne de tramway émet 18 à 24 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'un bus et 40 fois moins qu'une voiture. Le tramway, le train ou le métro sont très intéressants sur le plan environnemental<sup>181</sup>.

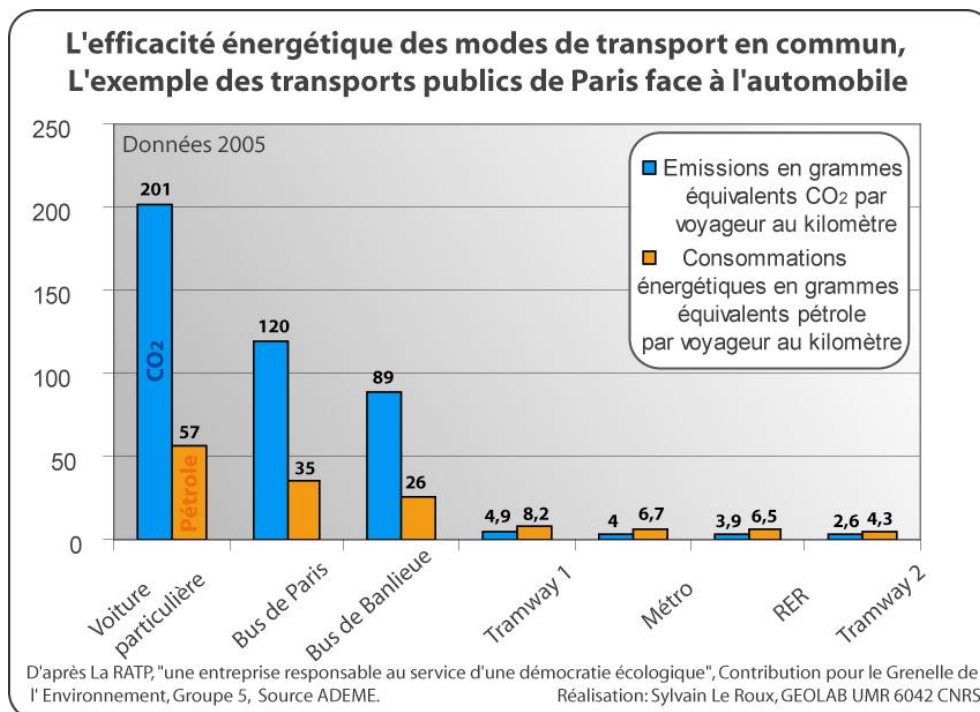


Figure 90 : L'efficacité énergétique des transports en commun, l'exemple de la RATP.

<sup>181</sup> Notons que les données pour une grande ville telle que Paris ne peuvent être directement transposées à une ville moyenne dont les transports en commun sont généralement moins fréquentés et les rames de tramway ou les bus moins remplis.



De son côté, le Syndicat Mixte des Transports en Commun de Clermont-Ferrand estime dans l'étude d'impact sur l'environnement que la mise en place du tramway permet une économie d'énergie globale de 3 % des transports de l'agglomération, cela s'accompagne d'une baisse de la pollution de l'air encore plus significative. En effet, grâce à l'amélioration de l'efficacité des transports publics, 1 460 déplacements en voitures particulières devraient être transférés vers les transports collectifs chaque jour<sup>182</sup>. On peut également en déduire que le rejet de CO<sub>2</sub> évité est de 980 tCO<sub>2</sub>/an<sup>183</sup>. L'utilisation du tramway est donc très faiblement émettrice de gaz à effet de serre.

Nous nous consacrerons donc à l'analyse des réseaux des villes moyennes étudiées utilisant des tramways, trains légers ou métro car ces systèmes apparaissent comme étant les plus efficaces. Nous donnerons pour exemple le réseau de Lausanne, celui de Fribourg et celui de Clermont-Ferrand.

#### **2.5.5.2 L'offre de transports publics**

Pour diminuer les consommations d'énergie des transports en ville, les collectivités locales ont la capacité d'agir directement sur la qualité de l'offre en transports publics afin d'accroître leur fréquentation. D'après l'étude des réseaux de Lausanne, Fribourg, Grenoble et Clermont-Ferrand, la qualité de l'offre repose sur quatre conditions essentielles : le réseau doit être assez étendu pour assurer la desserte d'un maximum d'individus, il doit être pensé en cohérence avec les besoins en déplacement (urbanisation, pôles générateurs de déplacements...) la fréquence et la vitesse commerciale des navettes doivent être suffisamment élevées. Enfin, la tarification doit être pratique et à un coût inférieur ou égal à celui d'un déplacement en véhicule individuel motorisé.

##### **Réseau, desserte et accessibilité des clients**

L'efficacité, la fréquentation et la viabilité des transports publics dépendent de la pertinence du tracé et de la surface desservie par le réseau (voir partie III, 2.5.4.).

A Fribourg, les lignes de tramway constituent la colonne vertébrale des transports publics locaux. En 1972, alors que ce mode de déplacement est abandonné dans de nombreuses villes européennes, le conseil municipal de Fribourg a décidé de maintenir et d'étendre le réseau de tramway de l'époque. Ainsi, le développement de la ville vers l'ouest s'est accompagné du développement des lignes de tramway 1 et 3 (voir figure 91).

---

<sup>182</sup> Etant donné que le parcours moyen en voiture particulière sur le périmètre des transports urbains est égal à 7,98 km, c'est 11 650 km par jour qui seront évités, cela équivaut à environ 932 litres de carburant par jour ou 770 kep.

<sup>183</sup> Calcul réalisé pour un parc de véhicules particuliers mi essence mi diesel.

Le tramway a étendu sa toile progressivement sur toute la ville. En 1997, 2004, 2006 de nouvelles lignes ont encore été mises en service : le Stadtbahn Rieselfeld, le Stadtbahn Haslach et le Stadtbahn Vauban.



Photographie 13 : Le tramway de Fribourg au pôle intermodal de la gare.

*« L'extension du réseau de tramway est devenu un facteur central de notre politique de transports urbains. A l'heure actuelle, en 2000, sept nouvelles extensions de lignes sont planifiées, ce qui étendra le réseau de 50 % à 33 km. Cette extension signifie que 83 % des habitants de Fribourg et 88 % des emplois seront directement accessibles dans un rayon de 600 m. »*<sup>184</sup> Jan Maurer, Directeur du service Transport de la Ville de Fribourg.

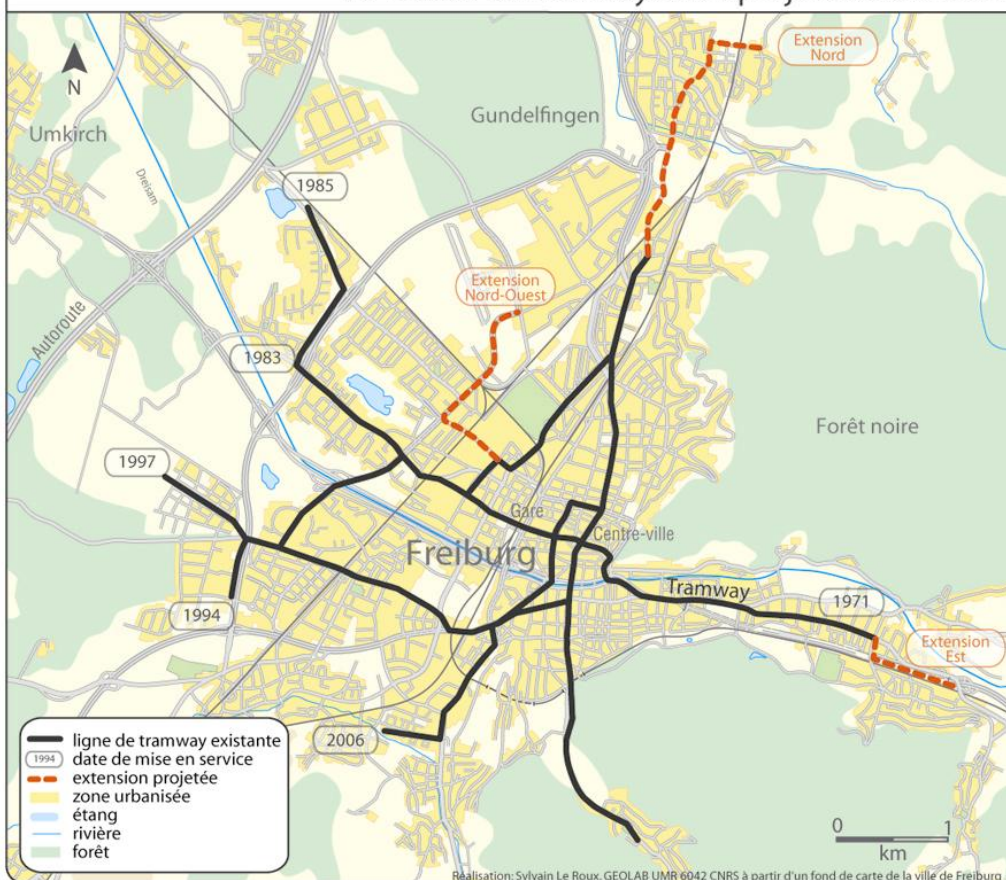
Grâce à cet effort de couverture du territoire - 27,5 km de réseau de tramway parcourus par 58 véhicules - le tram représente 70 % des voyages en transports publics en 2006. De plus, l'extension du réseau de tramway est planifiée vers le Nord, vers l'Est ainsi que vers le Nord-Ouest en direction du centre hospitalier universitaire et du palais des expositions « Messe ». Au réseau de tramways, s'ajoutent 62 bus articulés et 21 bus standards qui parcourent un réseau de 270 km et desservent les zones moins denses et plus difficilement accessibles par le tramway. Les déplacements en bus représentent 30 % des déplacements des usagers du transport public. La seconde carte de la figure 91 montre que grâce à cette desserte de bus, les transports en commun parviennent à desservir la quasi-totalité du territoire urbanisé, ville centre et première périphérie comprise. Les pôles secondaires plus excentrés sont reliés par un réseau de train très organisé. Cette desserte de grande qualité est un facteur essentiel de la fréquentation des transports en commun de Fribourg.

---

<sup>184</sup> Propos extraits du texte d'une présentation orale intitulée : « *Urban development and transport planning in Freiburg Im Breisgau* »

## Le réseau de transports en commun de Fribourg

### Le réseau de tramway et les projets d'extension



### L'accessibilité des habitants aux stations du réseau de transports publics

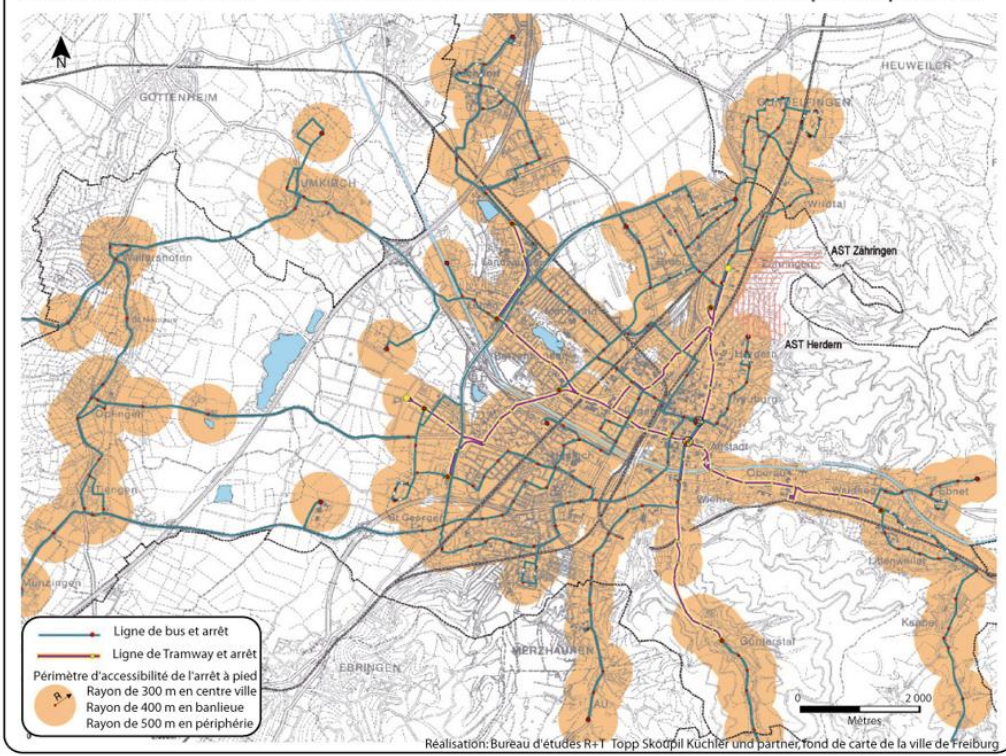


Figure 91 : Le réseau de transports en commun de Fribourg.

A Clermont-Ferrand, en octobre 2006, un nouveau réseau de transports en commun a été mis en place autour de deux axes structurants : la première ligne de tramway de 14 km sur l'axe Nord-Sud et la ligne B sur l'axe Est-Ouest constituée de bus articulés. La ligne de tramway a complètement modifié le système de mobilité. Elle a été dessinée de façon à desservir le maximum de résidents, d'emplois et de pôles générateurs. Elle est donc adaptée à l'environnement urbain existant. D'après le SMTC, 75 000 habitants, 54 000 emplois et 17 000 étudiants se trouvent dans un rayon de 500 mètres autour des stations desservies par le tramway<sup>185</sup>. 29 % de la population du périmètre des transports urbains et 41% de ses emplois sont à moins de 500 mètres des 30 stations.



Photographie 14 : Le tramway de Clermont-Ferrand.

A Grenoble, en cinq ans, le nombre de voyages en transports publics a augmenté de plus de 21 % (+ 24 % pour le tramway, + 18 % pour les bus) pour atteindre près de 70 millions<sup>186</sup> de voyages annuels, dont la moitié en tramway. Ces chiffres sont le résultat d'une bonne desserte. Les 270 kilomètres de réseau de transports en commun de l'agglomération de Grenoble sont composés de trois lignes de tramway et de 22 lignes de bus. C'est l'une des meilleures dessertes des agglomérations françaises avec un ratio de 42 km par habitant par an alors que la moyenne française est de 33. Le réseau de tramway, tel qu'il est projeté pour octobre 2007 (avec la ligne D qui reliera le nord-ouest de l'agglomération), desservira 44 % de la population de l'agglomération et 50 % des emplois. Aujourd'hui, le réseau de transport en commun complet (tramway et bus) dessert 70 à 80 % de la population de l'agglomération grenobloise.

---

<sup>185</sup> 2 000 commerces, 76 établissements scolaires, 22 services publics, 15 complexes sportifs, 15 centres culturels, 10 pôles d'enseignement supérieur et 10 établissements de santé, les plus importants pôles de concentration de la population (80 % des logements sociaux de Clermont se trouvent dans la bande d'attractivité du tramway) et bien sûr le centre ville sont desservis.

<sup>186</sup> Plan de Déplacements Urbains de Grenoble.

Comme l'illustre la carte (figure 87), l'offre des transports publics sur l'agglomération de Lausanne est constituée d'une offre multiple et variée de bus, de trolleys, de métros et de trains (LEB, CFF)<sup>187</sup>. La majorité des déplacements collectifs est assurée par des véhicules électriques : essentiellement les trolleys (38%), et le métro (18%). Les autobus au diesel pourvoient 33 % des voyages tandis que les bus au gaz ne comptent que pour 10 % de l'ensemble des trajets. A partir de 2008, une nouvelle ligne de métro sera mise en service. Grâce à cette multiplicité de l'offre, le réseau de transport public urbain est très dense et très étendu. Rien qu'en ce qui concerne TL<sup>188</sup>, son réseau dessert 260 000 personnes dont 210 500 en milieu urbain pour une agglomération de 316 000 habitants (source OFS). Le cas de Lausanne est la preuve qu'il est possible d'équiper une ville moyenne de métros et de trains urbains.



Photographie 15 : Le métro M2 de Lausanne.

Une meilleure couverture de l'agglomération est donc un des éléments principaux à l'origine d'une meilleure fréquentation et d'une augmentation des parts de marché des transports publics. Ce n'est pas le seul élément, il est également nécessaire que la fréquence et la vitesse commerciale soient attractives.

### **Fréquence et vitesse commerciale**

La qualité du service public des transports d'une ville réside pour bonne part dans la fréquence des navettes et leur vitesse commerciale. Ces deux facteurs jouent un rôle essentiel dans la compétitivité des transports publics au regard de l'automobile. Les

---

<sup>187</sup> Plusieurs lignes ferroviaires traversent l'agglomération. Les CFF (Chemin de Fer Fédéraux) exploitent la ligne Genève - Lausanne - Martigny, une ligne en direction de Neuchâtel et une autre en direction de Berne. Ces lignes de transport publics sont financées par la confédération. Le LEB financé par le Canton est un train suburbain électrique (« un mini RER ») qui relie via un tunnel le centre ville aux communes du nord-ouest de l'agglomération. Les communes, quant à elles, sont les principaux financeurs des bus, des trolleys et du métro (aussi financé par le canton).

<sup>188</sup> Les TL (société d'exploitation des transports publics lausannois) sont concessionnaires exclusifs du réseau urbain.

systèmes de transport en commun les plus rapides sont ceux qui s'exercent en site propre, c'est à dire sur une voirie réservée<sup>189</sup>. Ainsi, à Lausanne, les trolleys et les bus ont plutôt une vitesse commerciale de 15 km/h. Celle-ci croît si des aménagements en site propre sont proposés comme pour la ligne 18 par exemple qui a une moyenne de 18 km/h. Au contraire, en centre ville la vitesse des bus et trolleys décroît jusqu'à 12 km/h du fait qu'ils doivent partager la voirie avec les voitures et de la congestion. Par contre les axes lourds : le métro ou le LEB possèdent des vitesses commerciales très intéressantes. Le métro M1 affiche une vitesse moyenne de 24 km/h.

A Clermont-Ferrand, les résultats sont similaires, l'arrivée du tramway a bouleversé les temps de parcours. La vitesse commerciale moyenne du tramway est de 19 km/h. Les gains de temps par rapport à la desserte antérieure sont énormes. A titre d'exemple, il ne faut désormais que cinq minutes au lieu de 22 minutes pour aller de « Croix de Neyrat » à « Jaude », une minute au lieu de 7 minutes pour aller de « Jaude » à « Henri-Dunant », ou trois minutes sur les 15 minutes qu'il fallait pour aller de « Jaude » au campus des « Cézeaux ». De plus, le tramway fonctionne de 5 h à 1 h du matin avec une fréquence d'environ 6 à 20 minutes.

### Tarifification

La troisième condition fondamentale est celle du coût des transports publics. Ce coût n'a de valeur qu'en comparaison du coût des autres modes de déplacement. Si le coût, à l'unité, d'un ticket de tramway paraît cher (2 € à Fribourg, 1,30 € à Clermont-Ferrand<sup>190</sup>...). En moyenne, Le coût pour le consommateur est raisonnable voire avantageux. Des formules préférentielles existent de manière à favoriser les usagers réguliers. A Clermont-Ferrand, 345 € suffisent pour l'abonnement annuel (personnes adultes). A Fribourg, le tarif est plutôt d'environ 430 €. Dans tous les cas, les systèmes d'abonnement correspondent à des coûts bien inférieurs aux coûts générés par la mobilité en voiture<sup>191</sup>.

L'efficacité des transports publics est également améliorée grâce à une tarification intégrée qui nécessite la coordination de tous les exploitants de lignes de transport d'une agglomération. Ce système est mis en place à Lausanne ainsi qu'à Fribourg depuis longtemps. Dans la ville allemande, un syndicat de transports associant trois districts

---

<sup>189</sup> Les modes de transport en commun qui sont en site propre sont les tramways et les métros. Les lignes de bus ou de trolley peuvent aussi être tracées sur des sites propres mais, souvent, ces modes-là partagent la voirie avec les véhicules individuels motorisés.

<sup>190</sup> Il faut considérer que le coût de la vie est différent dans les villes étudiées : il est plus élevé à Lausanne et à Fribourg qu'à Clermont-Ferrand.

<sup>191</sup> Si l'on effectue 5 000 km par an à l'intérieur même de sa ville, cela revient à un coût minimum de 1 500 € (carburant, usure et entretien du véhicule...).

voisins a été créé : le *Regio-Nahverkehr Freiburg*. Un passeport *RegioKarte* a été commercialisé, il permet d'emprunter l'ensemble des transports en commun de la Regio (bus, tram, train) pour une somme comprise entre 37 et 41,50 € par mois<sup>192</sup> ou pour 430 € par an. Le réseau s'étend sur trois limites administratives : le Landkreis *Breisgau-Hochschwarzwald*, le Landkreis *Emmendingen* et le Stadtkreis de *Fribourg* et concerne donc 620 000 habitants. Cela correspond à une superficie de 2 211 km<sup>2</sup>, environ 60 km d'est en ouest et 70 km du nord au sud. Ce réseau regroupe 17 entreprises de transport, 90 lignes et compte 2 850 km. Ce modèle propose des solutions simples et pratiques aux usagers.

### Un bilan financier négatif

L'exploitation des transports urbains est une activité au bilan financier négatif. En moyenne, en France, les recettes perçues par la billetterie et les abonnements ne permettent de couvrir que la moitié des frais engagés pour construire les infrastructures et pour exploiter les lignes. Le reste est compensé par les résultats de la taxe : Versement transport<sup>193</sup>.

Les équipements tels qu'un tramway, un métro, un trolley représentent des investissements très lourds qui s'ajoutent aux frais de l'activité. Le tramway de Clermont-ferrand a représenté un investissement financier total de 290 000 000 €<sup>194</sup>. Le Syndicat Mixte des Transports en Commun a autofinancé 46 millions d'Euros puis réalisé un emprunt à hauteur de 145 millions d'Euros. Le SMTC a également bénéficié de subventions de l'Etat et de l'Europe (63 millions), du Conseil Régional (15 millions), du Conseil Général (15 millions) et de Clermont Communauté.

Nous pourrions être amené à penser qu'un tel investissement est un poids financier supplémentaire à supporter par les collectivités. Pourtant, dans les faits, cet équipement a permis une amélioration notable de l'offre et donc l'augmentation des recettes et du taux de couverture<sup>195</sup>.

D'après le *dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique* pour la ligne de tramway de Clermont-Ferrand, l'équipement représenterait un surcoût de 5 millions d'euros à l'exploitation. Mais parallèlement, le tramway améliore la qualité de

---

<sup>192</sup> Le coût s'abaisse à 16,25 € pour les enfants.

<sup>193</sup> 1,7% de la taxe professionnelle est destiné au financement des transports publics locaux.

<sup>194</sup> Ce coût prend notamment en compte la valorisation urbaine de 50 ha autour du tramway. Voici les dépenses estimées les plus importantes : le matériel roulant (35 M€), la voirie hors site propre (53 M€), les études préalables et la maîtrise d'œuvre (16 M€), Les déviations de réseaux (16 M€), la plate-forme (14 M€), la voie spécifique des systèmes guidés (19 M€), les équipements urbains (20 M€), l'énergie de traction (10 M€)...

<sup>195</sup> Source : Etude d'impact sur l'environnement du SMTC.

l'offre et, par là même, la fréquentation et les recettes. Ainsi les prévisions en 2005 étaient de 11 millions d'euros sans le tramway et de 16 millions d'euros avec, soit 5 millions d'euros supplémentaires. Au final, le déficit d'exploitation est quasiment inchangé, et le ratio recettes/dépenses passera de 43 à 52 %.

A Lausanne, l'exploitation des transports en commun est également une activité déficitaire. Le taux de couverture de la billetterie et des abonnements est de 40 %. La différence est comblée par les financements des communes et du canton. Et paradoxalement, le métro M1, qui a pourtant nécessité des travaux et des investissements très coûteux est la ligne la moins déficitaire. Son taux de couverture est de 50 %. Le plan d'affaire prévoyant le budget et les résultats du métro M2 annoncent un coût de construction de 700 millions de francs suisses, soit 24 Frs/voyageurs alors que le M1 présentait un taux de 28 Frs/voyageurs. Le taux de couverture du M2 devrait donc dépasser les 50 %.

Nous retiendrons que le bilan énergétique, environnemental et financier des modes de transports publics en site propre est très positif, et particulièrement celui des tramways, métros, trains et trolleys, qui présentent des bilans environnementaux, énergétiques et financiers des plus intéressants. En effet, les transports publics sur rail consomment et émettent très peu d'énergie, ils entraînent une offre très compétitive et plus fréquentée. La recherche d'une desserte cohérente suscite des projets urbains à même de revitaliser les pôles de la ville. Leur vitesse commerciale est parfois meilleure que celle des véhicules individuels motorisés, etc... De plus, ces systèmes ne sont pas des gouffres financiers, au contraire, ils pourraient sonner le renouveau des transports publics urbains dans les villes moyennes encore plus dépendantes de l'automobile que les grandes métropoles.



## 2.5.6 Canalisation du trafic et gestion du stationnement

L'idée que le développement économique d'un territoire est dépendant de la quantité et de la qualité des infrastructures et des voies de transport routiers est très répandue, notamment auprès des décideurs. Les collectivités, à travers la gestion de leur voirie, par la construction d'infrastructures (nouveau pont, nouvelles routes) favorisent l'automobile avec l'intention de développer leur territoire. Pourtant, la compétitivité des transports en commun ou des modes de transports « doux » (marche, vélo...) par rapport à l'automobile dépend en grande partie de la place donnée à la voiture dans la ville. Les Plans de Déplacements Urbains sont, à ce sujet, totalement schizophrènes car ils encouragent d'un côté le développement des infrastructures routières et d'un autre les transports publics, deux objectifs antagonistes.

Les collectivités ont néanmoins la possibilité de canaliser le trafic routier et de lui imposer certaines contraintes, à l'image des péages urbains de Londres, qui taxent les véhicules aux entrées de la ville. Dans les villes moyennes étudiées, nous n'avons pas rencontré de systèmes de péage urbain, la redevance se porte plutôt sur le stationnement payant. Le corollaire de la politique des transports publics est donc la politique de stationnement. Le transfert des déplacements vers les modes doux n'a pu être possible que grâce à une politique de réduction des automobiles. Cela suppose une volonté de contraindre l'ensemble des véhicules individuels (voiture particulière, véhicule de livraison de marchandises...). Pour cela, plusieurs outils peuvent être mis en application : la piétonisation, les stationnements payants, les parcs relais et les zones 30<sup>196</sup>.

A Fribourg, la municipalité utilise l'ensemble de ces outils pour contraindre les véhicules automobiles. La politique des transports comprend donc une politique de piétonisation du centre ville. Cette démarche apparue dès 1973 a permis de rendre une zone de 600 m de diamètre entièrement piétonne (excepté pour les livraisons de marchandises). L'élargissement de cette zone piétonne est prévue pour le quartier de l'université et de la gare. Par exemple, il est projeté pour 2012 de rendre piétonnière la grande avenue Werder/Rotteckring qui constitue un boulevard intérieur très fréquenté et d'y faire passer une ligne de tramway.

---

<sup>196</sup> Zones urbaines dans lesquelles la vitesse maxi autorisée est 30 km/h.



Photographie 16 : Les rues piétonnes de Fribourg.

Par ailleurs, la zone des stationnements payants de Fribourg recouvre une surface relativement étendue. Sur un périmètre d'environ 2 km autour du centre ville, les tarifs horaires sont compris entre 1,5 et 2 €. Il est également relativement onéreux de se parquer dans les zone 2 et 3 qui sont pourtant parfois à 1,5 km environ du centre ville historique. En revanche, le stationnement des résidents n'est pas contraint, il est autorisé dans le centre ville (sauf quartier piéton) pour seulement 30 € par an.

D'autre part, le trafic automobile a été ralenti grâce à la mise en place d'une limitation de la vitesse à 30 km/h dans les zones résidentielles. Dans certains cas, la limitation de vitesse peut descendre jusqu' à 10 km/h dans les rues dont l'unique vocation est de rejoindre les logements. Au début, la réglementation n'était pas toujours respectée, mais en communiquant, en faisant de la publicité, cette contrainte a été intégrée. Finalement, la circulation est canalisée sur les plus grosses artères où il est possible d'aller à une vitesse de 50 km/h.



Photographie 17 : la canalisation du trafic par la limitation de la vitesse autorisée.

Enfin, pour compenser cette batterie d'obstacles à la mobilité individuelle motorisée et donc à l'accessibilité des populations extérieures à la ville (communes périphériques, touristes...), la ville a développé les parcs relais (P+R) en périphérie. Il y a environ 13 parcs relais et 2 600 places gratuites qui sont mises à disposition des

automobilistes aux entrées de la ville. Ils sont reliés à des lignes de tramway ou de bus qui rejoignent le centre ville.

La politique de stationnement et, de manière plus générale, les restrictions portant sur le trafic routier sont le corollaire de la politique de développement des transports en commun et des « modes doux ».

### 2.5.7 L'offre en modes doux

La marche et le vélo dans certaines villes européennes sont très employés pour les déplacements quotidiens. Le vélo est beaucoup répandu, aux Pays-Bas notamment. Deux villes parmi celles que nous avons étudiées ont des parts de marché supérieures à la moyenne, Fribourg et Grenoble. Le succès de ce mode de déplacement est lié à la topographie en premier lieu. Il est ensuite dépendant des habitudes locales et du réseau de pistes cyclables proposé.

La « Mecque des vélos », plusieurs personnes ont ainsi qualifié la ville de Fribourg durant notre enquête. En effet, quand on débarque du train, c'est quelque chose qui frappe immédiatement le voyageur. Des vélos de toutes sortes sillonnent la ville, des vélos avec des remorques pour transporter les enfants, des vélos tandems, des vélos de livraison...



Photographie 18 : Une zone de stationnement de vélos à la gare de Fribourg.

Avec 28 % des parts de marché, la ville de Fribourg présente les seconds meilleurs résultats d'Allemagne. Profitant des atouts d'un terrain relativement plat au pied du massif de la Forêt Noire, le réseau cyclable de la ville dessert la très grande majorité de l'urbanisation. Il s'étend sur 400 km et il comprenait 8 300 stationnements vélo en 2002 :

- 114 km de bandes cyclables (bandes sur la voirie classique)
- 46 km de pistes cyclables (voies en site propre)
- 130 km de zone 30 (partage de la voirie avec les véhicules individuels motorisés)
- 200 km de piste de randonnée-loisir

Mais n'oublions pas que ces résultats ont été obtenus grâce à une politique très ancienne : 40 ans de politique de restriction de l'automobile.

Dans une moindre mesure, le vélo est un mode de déplacement très apprécié des Grenoblois. A la fin des années 70, la ville faisait figure d'exception dans ce domaine avec une part de marché dans les modes de transport mécanisés supérieure à 12 %<sup>197</sup>. Cependant, face à la généralisation du mode automobile, la mobilité à vélo a franchement baissé dans les années 80. Ce phénomène s'est confirmé dans les années 90 dans la plupart des villes françaises excepté Grenoble. La ville a vu ses chiffres remonter en 1992, d'après l'« Enquête Ménages Déplacements ». L'enquête de 2002 indique une nouvelle régression. Pourtant, la part de ce mode de déplacement n'est pas aussi restreinte que l'« Enquête Ménages Déplacements » ne l'a montré et il semble qu'elle soit supérieure à 3 %<sup>198</sup>. Le fond de vallée étant très plat, on croise énormément de cyclistes dans la ville centre. Il est estimé que ce sont 20 millions de trajets qui se font chaque année à vélo. L'usage du vélo est très dépendant de la saison.

Malgré cette faible part dans les statistiques, l'agglomération de Grenoble conserve une mobilité à vélo intéressante. Et elle présente des aménagements nombreux : des pistes cyclables, des zones 30, des stationnements vélo... La collectivité a mis en place un véritable plan vélo avec un « code de la rue » qui intègre les modes doux dans les signalisations de la voirie et des itinéraires cyclables composés de bandes cyclables, de pistes cyclables, de voies mixtes bus/vélo, de contre-sens cyclables, de zones 30 ou de

---

<sup>197</sup> D'après l'enquête « Le vélo dans les villes françaises », n°86, septembre 2003, IFEN

<sup>198</sup> L'« Enquête Ménage Déplacement » a été réalisée en hiver 2002 ce qui pourrait avoir biaisé les résultats une campagne de comptage conduite au printemps 2005 a montré que la pratique du vélo avait augmenté d'au moins 50 % par rapport à 2002 aux heures de pointe.

voies vertes. 280 km (2006) de voiries sont ainsi aménagées pour les cyclistes dans l'agglomération de Grenoble dont 62 km dans la commune centre. Quarante-vingt zones 30 ont été mises en place dans l'agglomération, cela couvre 80 km du linéaire de voirie (voir carte de la figure 92). Il existe également 541 sites de stationnement et 1 880 arceaux.

Ce territoire témoigne d'une « culture vélo » illustrée par plusieurs initiatives atypiques : la location de vélo, la livraison à vélos ou les taxis-vélos.

La Métro, avec le soutien de la Région Rhône Alpes, a ouvert en centre ville<sup>199</sup> et à la gare, un service de location et de consigne de vélos : le "Métrovélo". Pour 3 €, il est possible d'emprunter un vélo pour la demi-journée et pour 20 €, on l'a pour le mois. Avec le *Cyclopolitain*, on est conduit sur un vélo électrique couvert. Ce service n'est pas très développé, il existe seulement quelques taxi-vélos en centre ville. Le coût revient à 1 euro forfaitaire de prise en charge et un euro par kilomètre. Enfin, *Becycle* est une société de livraison de colis qui réalise des courses sur la ville et la proche périphérie. Le tarif de la course est de 5 à 10 € en fonction de l'abonnement.



Photographie 19 : Le vélo sous toutes ses formes à Grenoble

---

<sup>199</sup> Cette agence est aujourd'hui fermée.

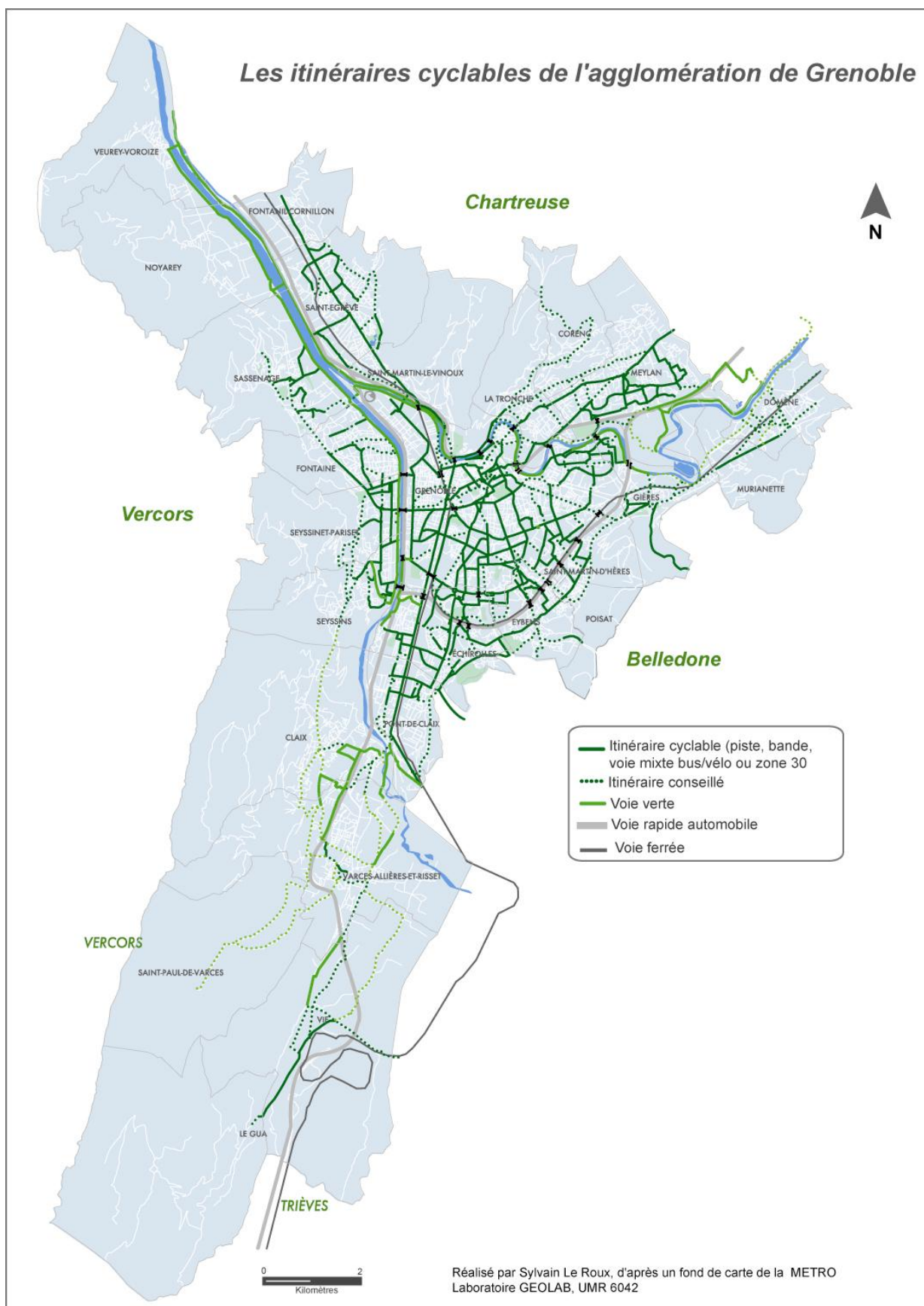


Figure 92 : Les itinéraires cyclables de l'agglomération de Grenoble.

## 2.6 La planification énergétique territoriale, une approche globale et transversale

Nous avons démontré dans les sous-chapitres précédents que malgré le défaut de compétences locales en matière d'énergie, les collectivités locales peuvent agir sur le système énergétique de leur territoire à travers diverses politiques sectorielles : la gestion du patrimoine public, la sensibilisation, la production locale et la fourniture d'énergie, l'urbanisme ou les transports. La plupart des collectivités locales des villes moyennes françaises cantonnent leurs actions à certains domaines privilégiés sans une réelle approche globale. Pourtant, quelques collectivités ont engagé une politique de maîtrise de l'énergie et de réduction des gaz à effet de serre transversale et intégrée à l'échelle territoriale. Cette démarche passe généralement par une programmation ou une planification énergétique qui coordonne les différentes politiques sectorielles. Cette réflexion globale à l'échelle du territoire qui émerge actuellement dans certaines villes françaises et qui est déjà très répandue dans d'autres pays (Allemagne, Suisse...) est cadrée par des documents d'intention politique très formels. En France, plusieurs programmes visent à donner des objectifs de réduction des consommations d'énergie et de développement des énergies renouvelables à l'échelle locale. La démarche la plus courante est celle des Agenda 21 locaux, mais il existe aussi les Contrats ATEnEE (Actions Territoriales pour l'Environnement et l'Efficacité Energétique), Les Plans Environnement Collectivité, le Management environnemental ou mieux encore les Plans Climats Territoriaux... En 2004, le plan climat national est publié par le gouvernement. Il préconise l'action locale à travers la mise en place de « plans climats territoriaux » :

*« En vue d'encourager les initiatives locales pour lutter contre l'effet de serre, les collectivités locales seront invitées à mettre en place des Plans climats territoriaux. Il s'agit de définir des objectifs et de mettre en oeuvre des actions au niveau d'une région, d'un département, ou d'une agglomération. » Plan Climat National, 2004.*

Nous verrons combien ces réflexions sont indispensables à la conduite d'une politique énergétique territoriale efficace à travers trois exemples. Le *Plan Energie* + de Clermont-ferrand, le *Plan Climat* de Grenoble ou le *Klimaschutzconcept* de Fribourg.

### 2.6.1 Clermont : une programmation de la politique énergétique

La Ville de Clermont-Ferrand est une des premières villes françaises à avoir adopté un programme définissant sa politique énergétique. Le programme réalisé et proposé par l'Agence Locale de l'Energie en concertation avec les élus et les techniciens a été validé le

1<sup>er</sup> septembre 2003 par le Conseil Municipal sous le nom de « Plan politique Energie + : pour une politique énergétique durable ».

Dans ce document, sont consignés les différents objectifs programmés pour une période de cinq ans, la description de chaque opération, le cadre dans lequel elle s'insère, le budget prévisionnel, les résultats escomptés, les services concernés et la priorité de la mesure. Il visait tout de même à mobiliser 2 244 000 € sur des actions de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies renouvelables.

La politique énergétique actée dans le *Plan Energie +* s'oriente principalement sur la gestion du patrimoine de la ville (le patrimoine bâti et la flotte de véhicules). D'ailleurs, lorsque nous nous attardons sur la sélection des services concernés par les mesures projetées, nous constatons que le service Energie est le principal acteur du programme. Il avait à l'époque pour exercice la gestion, l'exploitation ainsi que la maintenance des installations énergétiques des bâtiments appartenant à la mairie et la gestion de la flotte de véhicules. Le plan d'action donne également beaucoup de responsabilités à la Direction Générale des Services Techniques qui a une vision plus générale de l'administration et par conséquent peut engager des actions plus transversales.

La politique énergétique s'oriente également sur la sensibilisation des agents et des particuliers par des actions d'information et d'incitation (« les éco-ambassadeurs », incitation financière au développement solaire thermique des particuliers...). Nous noterons aussi que la ville de Clermont a voulu se positionner sur des expérimentations dans le domaine de l'innovation en énergie renouvelable. Une des mesures est de « Favoriser la recherche technologique et l'innovation sur le thème des énergies renouvelables » :

*« Il s'agit bien d'expérimenter des solutions alternatives performantes pour pouvoir systématiser leur installation sur des équipements municipaux. Ainsi, la Ville contribuera à une réduction des émissions polluantes et à une meilleure maîtrise des charges de fonctionnement. Parallèlement, elle jouera le rôle de modèle auprès de ses concitoyens en démontrant la pertinence économique de telles solutions. » Plan Energie +.*

La politique énergétique de Clermont-Ferrand telle qu'elle était définie en 2003 reste une politique sectorielle. Les projets et les mesures, en plus d'être programmés de façon très compartimentée, se limitent à certains aspects de la politique publique en laissant de côté, volontairement ou non, des questions importantes telles que l'habitat, la construction, l'ensemble du domaine domestique, l'activité tertiaire et industrielle, la mobilité (etc...). Odile Vignal, élue au Développement Durable de la Ville de Clermont-



Ferrand évoque « une politique sans véritable coordination, une politique de dossiers » ou « une politique gérée de façon sectorielle, en quasi autonomie ».

Le rôle de Ville « aménageuse » n'a toutefois pas été totalement mis de côté puisque une mesure de l'orientation « deux axes forts : le social et l'innovant » est consacrée à la conception de quartiers dits écologiques et à la requalification du centre ville (voir figure 93).

*« Par son action, la Ville urbaniste ou aménageuse influe directement sur la qualité de vie de ses administrés. Les choix réglementaires ou volontaristes touchant à l'organisation de l'espace public (mixité des espaces), mais aussi aux déplacements urbains (transports collectifs, pistes cyclables), à certains aspects structurels (création de réseaux de chaleur par exemple) ont assurément des conséquences sur les consommations énergétiques finales des habitants. » Plan Energie +.*

La Ville, pour mettre en application ce plan s'est dotée de moyens financiers honorables à travers le FIT ENR et le FIT MDE. Le Fonds d'innovation technologique pour les énergies renouvelables d'un montant de 150 000 € par an a pour vocation de financer les installations solaires ou bois-énergie de la Ville. Il a par exemple été utilisé pour le renouvellement de l'installation solaire thermique du bâtiment HLM de « la muraille Saint-Jacques ». Le Fonds d'intervention technologique pour la maîtrise de l'énergie, aussi d'un montant de 150 000 € par an est employé à l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments municipaux comme l'isolation des combles dans les groupes scolaires.

## Le plan politique "Energie +": Pour une politique énergétique locale durable (extraits)

« La ville Clermont-Ferrand s'est engagée dès **1980** dans une politique de **maîtrise des consommations et dépenses énergétiques** et de **diversification des sources** d'approvisionnement, en expérimentant des solutions alternatives et novatrices. En 1996, afin de lancer une **programmation énergétique** urbaine et de porter une réflexion globale sur le volet énergie, elle a créé sa propre agence locale de maîtrise de l'énergie, l'**ADUHME**.

Depuis lors, la municipalité a souhaité renforcer son action pour que, localement, dans la mesure des moyens disponibles, l'on assiste à une réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre et autres pollutions qui portent atteinte au cadre de vie des clermontois. Dans cette optique, elle s'est dotée depuis **2000** d'un **plan politique énergétique** ambitieux, et d'un **programme d'actions** permettant de planifier une recherche de l'**efficacité énergétique** optimum, de développer des **énergies renouvelables** sur son propre **patrimoine** et celui des autres **consommateurs clermontois**. »

### Cinq axes d'intervention:

#### - **Patrimoine bâti et efficacité énergétique:**

- Poursuivre la gestion comptable des consommations énergétiques sous le logiciel «Territoria »
- Améliorer la connaissance du patrimoine bâti communal
- Poursuivre sur les bâtiments existants et engager un plus grand nombre d'études techniques
- Améliorer la qualité et l'efficacité énergétique du patrimoine bâti municipal
- Associer le service Energie dans toutes les phases de la construction de bâtiments neufs
- Mobiliser les intervenants sur le thème de l'efficacité énergétique.

#### - **Flotte captive, transport et efficacité énergétique:**

- Améliorer la connaissance du parc autos, poursuivre l'analyse sous le logiciel de suivi
- Optimiser la flotte dans l'optique de réduire les coûts
- Se doter d'une flotte automobile propre, ouverte aux nouvelles technologies
- Mobiliser les utilisateurs de véhicules communaux
- Engager un Plan Municipal de Déplacements auprès des agents territoriaux

#### - **Mieux communiquer pour mieux mobiliser:**

- Déployer les moyens humains nécessaires à la mise en oeuvre des actions de recherche de l'efficacité énergétique
- Editer un rapport annuel sur les activités du service Energie
- Renforcer la communication interne sur les projets en cours
- Informer et sensibiliser les agents territoriaux
- Valoriser l'engagement et l'action de la Ville
- Sensibiliser et mobiliser les clermontois sur le thème de la maîtrise de l'énergie
- Aider au développement du solaire thermique auprès des Clermontois en apportant une aide financière
- Sensibiliser les enfants à la maîtrise de l'énergie.

#### - **Ouvrir des partenariats aux niveaux local, national et international:**

- S'entourer de partenaires locaux pour asseoir sa politique énergétique
- Intégrer le groupe de travail « énergie » de l'Association des Ingénieurs Territoriaux de France
- Prendre une part plus importante dans l'animation du réseau européen Energie-Cités
- Devenir moteur dans l'échange européen et favoriser l'engagement des villes jumelles sur la recherche d'efficacité énergétique.

#### - **Deux axes forts à développer, le social et l'innovant:**

- Informer et former les travailleurs sociaux du CCAS sur le thème de la maîtrise de l'énergie
- Concevoir l'aménagement de quartiers « écologiques » sur Clermont-Ferrand
- Favoriser la recherche technologique et l'innovation sur le thème des énergies renouvelables

Figure 93 : Le programme Energie + de la Ville de Clermont-Ferrand.

## Des structures transverses pour assurer le programme Energie +

Le programme Energie + ne serait certainement pas né sans l'assistance d'une entité transversale : l'Agence Locale de l'Energie<sup>200</sup>. Baptisée l'ADUHME (l'Agence pour un Développement Urbain Harmonieux par la Maîtrise de l'Energie), cette structure financée par la ville<sup>201</sup> est la troisième Agence Locale de l'Energie créée en France après celles de Rennes et du Quercy. Elle a été constituée à l'initiative de la ville de Clermont-Ferrand, en 1996, afin d'impliquer de nouveaux acteurs du territoire dans la problématique énergie/climat.

*« La ville de Clermont-Ferrand était consciente des limites qu'elle avait au niveau de ses compétences dans ce champ d'intervention et qu'il y avait d'autres acteurs économiques, d'autres consommateurs finaux, à l'instar des particuliers, qu'il fallait accompagner par la mise en place d'un plan de réduction des consommations d'énergie et de recours aux énergies alternatives. » Sébastien Contamine, Directeur de l'Agence Locale de l'Energie.*

Les membres fondateurs de l'association créée à l'initiative locale sont la Ville de Clermont-Ferrand, la SCIC Habitat Auvergne et Bourbonnais, Auvergne Habitat SA, Logidôme, OPHIS Puy-de-Dôme et l'ADIL 63. C'est-à-dire : la municipalité et quatre bailleurs sociaux ainsi qu'une association d'information sur le logement.

Cela explique pourquoi les premières missions ont porté sur l'habitat. Par exemple, la campagne grand public: « 10 000 ampoules basse consommation pour l'an 2000 ». depuis lors, l'agence locale de l'énergie s'est emparée d'autres questions : Espace info énergie, accompagnement technique des petites collectivités, prédiagnostic de bâtiments de la Ville, plateforme d'échange d'expérience à l'échelle de la région Auvergne, événementiels (ex : « l'étiquette énergie, pensez-y »), animation du plan bois énergie, opération d'affichage Display...

Malgré certains freins politiques ou techniques, l'agence est considérée par les différents acteurs rencontrés (élus, gestionnaires des transports, services techniques...) comme utile, voire indispensable, que ce soit pour l'accompagnement et le soutien

---

<sup>200</sup> Selon la Fédération Française des Agences Locales de Maîtrise de l'Energie (FLAME), une agence locale de maîtrise de l'énergie est :

- un outil de proximité auprès duquel le consommateur peut obtenir de l'information,
- un outil d'aide à la décision du consommateur pour qu'il fasse des choix raisonnés,
- un soutien au développement de solidarités locales dont la gestion de l'énergie est un des vecteurs principaux,
- un lieu d'échange entre tous les acteurs de l'énergie : producteurs, distributeurs, autorités concédantes, bailleurs, consommateurs,
- un relais des politiques européennes, nationales et locales.

Une agence de l'énergie doit proposer un service à l'ensemble des consommateurs locaux : les ménages, les collectivités territoriales, les bailleurs privés et publics, les entreprises... Enfin, une Agence Locale de l'Energie doit traiter cette problématique dans tous les secteurs : l'habitat, les déplacements, le tertiaire public et privé et l'industrie.

<sup>201</sup> La commission européenne a subventionné les débuts de l'activité à hauteur de 150 000 écus pour 3 ans, la ville s'est associée à cette aide en offrant 300 000 Francs pour les trois premières années. Elle a poursuivi ce financement par la suite.

technique ou pour guider et fédérer les acteurs autour des questions d'énergie et de climat.

Par ailleurs, la municipalité a choisi de restructurer son organisation interne afin de diffuser la culture énergie à l'ensemble des services techniques. Comme l'illustre la figure 94, depuis 2006, le service des « Bâtiments communaux », des « Equipements techniques » et de l'« Energie » sont regroupés sous la grande direction du patrimoine bâti. Ainsi, les techniciens et les gestionnaires qui s'occupaient de l'exploitation des installations thermiques et des études énergétiques sur les bâtiments ou du pilotage des projets d'énergies renouvelables ont été répartis dans trois services : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'exploitation/maintenance. Par ailleurs, depuis mai 2007, une personne à temps plein intervient en qualité d'Ingénieur énergie. Ce poste est directement rattaché au Directeur Général des Services Techniques et aura donc la possibilité d'intervenir sur le service éclairage public comme sur le service urbanisme, à l'espace public ou sur l'eau et l'assainissement. L'action menée par ce chargé de mission sera transversale.

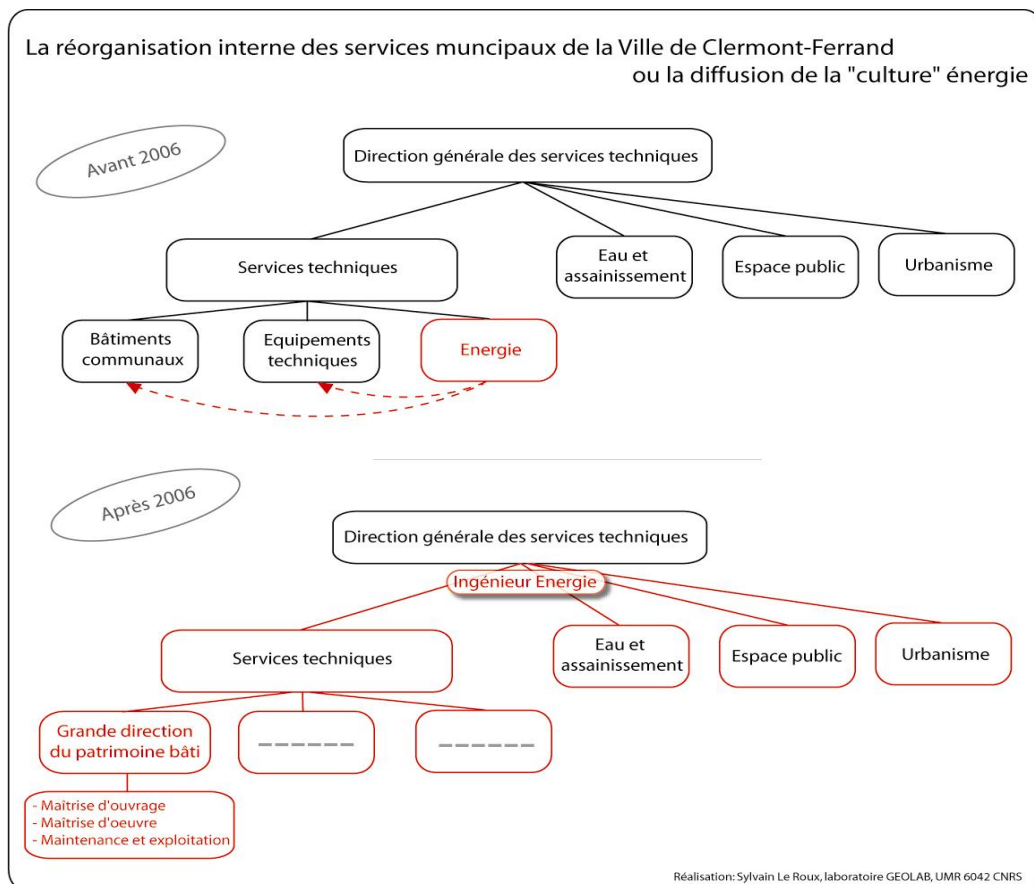


Figure 94 : La réorganisation interne des services municipaux de la Ville de Clermont-Ferrand.

## 2.6.2 Le rassemblement des acteurs autour du Plan Climat de Grenoble

Le premier Plan Climat à l'échelle d'une agglomération a été réalisé à Grenoble. L'opération y a été beaucoup plus transverse et globale qu'à Clermont-Ferrand. Débutée par une étude des consommations d'énergie et des émissions de CO<sub>2</sub> du territoire, elle a permis de réunir les principaux acteurs du territoire autour d'une planification concernant aussi bien les actions sur le patrimoine public que la sensibilisation, la production locale d'énergie, les transports et l'urbanisme. De plus, le Plan Climat de Grenoble fixe des objectifs clairs et quantifiés. De la même façon qu'à Clermont-Ferrand, le rôle joué par l'Agence Locale de l'Energie est à souligner. La structure est le vecteur du processus.

### De l'opération ciblée au Plan Climat

Depuis presque 10 ans, Grenoble accueille une des quatorze Agences Locales de l'Energie françaises. L'ALE a amorcé son activité en travaillant sur les consommations du patrimoine communal, particulièrement dans les plus petites communes ne possédant pas les moyens nécessaires en interne. Les communes les mieux dotées (Grenoble, Echirolles...), elles, attendaient de l'ALE qu'elle mette à disposition des ressources documentaires et qu'elle devienne un lieu d'échanges et de veille, ce qui s'est traduit par l'opération « les jeudis de l'agence locale » qui sont des journées d'information ou de formation réunissant généralement de multiples acteurs différents. Par la suite, avec la mise en place des Espaces Info Energie par l'ADEME, l'ALE a commencé à traiter la question de la sensibilisation du grand public. Par ailleurs, les chargés de missions se sont mis à assister les collectivités ou les bailleurs sur des opérations telles que l'installation d'une chaufferie bois ou autres énergies renouvelables, la conception d'un quartier durable (ZAC de Bonne), la démarche HQE...

Enfin, l'ALE, après avoir conduit une étude du bilan des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre du territoire<sup>202</sup>, s'est vue confier l'animation du Plan Climat Territorial, le premier Plan Climat français à l'échelle d'une agglomération. Ces deux dernières tâches ont orienté le travail de l'ALE vers une approche globalisante des questions énergétiques de la ville. Vincent Fristot, Conseiller Municipal délégué aux espaces verts, à la gestion des déchets et à la maîtrise de l'énergie, constate que c'est le début d'une démarche transversale :

*« ... le bilan énergétique de l'agglomération concerne l'ensemble des consommations de l'agglomération, pas seulement les dépenses publiques des collectivités. Et donc on voit*

---

<sup>202</sup> L'Agence Locale de l'Energie s'est adjointe la compétence du bureau d'études Explicit pour cette étude.

*qu'on inscrit vraiment la politique de l'énergie dans toutes les politiques publiques susceptibles d'avoir un impact dans ce domaine là . » Vincent Fristot.*

En effet, le plan climat, qui est une réponse aux interrogations suscitées par le bilan énergétique, est une démarche qui touche l'ensemble des politiques publiques, aussi bien le patrimoine public que l'aménagement, les transports ou les énergies renouvelables et la sensibilisation.

### **Une agence créatrice de liens**

L'Agence Locale de l'Energie a permis de constituer des ponts entre des organismes, des institutions, des services, des entreprises et n'importe quel acteur concerné par la problématique énergie/climat, des acteurs qui parfois ne s'étaient jamais rencontrés et n'avaient jamais travaillé ensemble.

L'Agence Locale de l'Energie réunit un très grand nombre de partenaires. Le président était Daniel Zenatti<sup>203</sup>, Vice-Président de la METRO, délégué à l'environnement et au développement durable. Les membres constitutifs de l'association sont partagés en quatre Collèges. Le premier Collège réunit les collectivités publiques, la Communauté urbaine mais également les 26 communes, le Syndicat Mixte des Transports en Commun et le Conseil Général de l'Isère. Dans le second Collège, il y a des entreprises : la Compagnie de Chauffage de Grenoble, EDF, Gaz de France, Gaz Electricité de Grenoble, Isergie<sup>204</sup> et Axane, une filiale du groupe Air Liquide. Le troisième Collège regroupe les organismes privés et publics (ADEME, Rhône-Alpes Energie Environnement<sup>205</sup>) ou les associations (AGEDEN<sup>206</sup>), les organismes consulaires (Chambre de commerce et d'Industrie, Chambre des métiers), l'association des bailleurs sociaux de l'Isère et les universités (Pierre Mendès France, Stendhal, LEPI-EPE, l'INP), le CEA et enfin le CAUE et l'Agence d'Urbanisme. Un dernier Collège rassemble huit autres membres (associations, syndicat, fédération...). Bref, cette longue énumération des membres constitutifs, à laquelle il faut ajouter des partenaires tels que la Région Rhône-Alpes, le réseau des Agences Locales de l'Energie (etc...), est la preuve de la diversité des acteurs que l'association implique et fédère autour des questions énergie/climat.

---

<sup>203</sup> Daniel Zenatti est décédé le 21 mars 2007, il est désormais remplacé dans ses fonctions par Jean-Marc Uhry, 13<sup>ème</sup> Vice-Président délégué à l'Environnement et au Développement Durable.

<sup>204</sup> Isergie est une société d'exploitation d'une centrale de cogénération dans laquelle sont actionnaires Gaz Electricité de Grenoble et la compagnie de chauffage de Grenoble.

<sup>205</sup> Rhône-Alpes Energie Environnement est l'agence régionale de l'énergie et de l'environnement créée en 1978 pour répondre au besoin de conseil et d'assistance des collectivités.

<sup>206</sup> AGEDEN est une association de développement des énergies renouvelables et de maîtrise de l'énergie.

La transversalité et l'implication des partenaires se retrouvent ensuite dans la grande majorité des actions opérées. Les opérations qui ont le plus mobilisé les partenaires sont le « Bilan énergétique de l'agglomération » et le « Plan Climat ».

La première phase de quantification des consommations et productions d'énergie ainsi que des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle du territoire a été un moyen de distinguer les tendances locales en termes d'énergie ; mais pas seulement. Pour Martine Echevin, directrice de l'ALE, ce bilan énergétique était, avant tout, un temps de diffusion d'une culture commune autour de l'énergie et du climat.

*« ...le grand intérêt, ce n'était pas les chiffres à la virgule près, c'était la dynamique et la culture qui a commencé à émerger entre tous les partenaires qui ont participé au comité de pilotage. L'Agence Locale de l'Energie est un lieu de rassemblement des acteurs de l'énergie locaux. (...) Il y a les collectivités locales, il y a les fournisseurs d'énergie, il y a les grandes agences et puis après, il y a les universités, les associations de locataires. C'est très large. La plupart de ces partenaires ont suivi la démarche et ont donc entendu parler d'énergie et d'effet de serre déjà dans les années 2000-2001, quand ce n'était pas le même contexte que maintenant où on en parle tous les jours. » Martine Echevin, directrice de l'ALE.*

Au vu des résultats plutôt alarmants du diagnostic - le scénario volontariste ne permettait d'atteindre que les objectifs de Kyoto - des groupes de travail thématiques ont été animés par l'ALE en 2003-2004. Cinq groupes de travail dans le domaine des transports, du résidentiel, du tertiaire, du patrimoine communal et de l'enseignement ont réuni presque 250 personnes au cours de trois réunions. De ce travail mutualisé sont ressorties une trentaine de propositions d'actions. Encore une fois, les partenaires ont été impliqués et responsabilisés tout au long de la démarche.

Suite à la publication du Plan Climat National en 2004 qui invitait les collectivités à engager des programmes territoriaux, certains des participants ont appuyé l'idée d'une transposition des propositions dans un Plan Climat. La METRO a délibéré fin 2004 pour s'engager dans cette planification. Les Grenoblois sont alors précurseurs, puisqu'il n'existe que très peu de plans climats à l'époque et que le leur sera le premier plan climat intercommunal.

### **Fédérer les acteurs autour d'objectifs : le plan climat territorial**

Les objectifs généraux du projet sont calqués sur les objectifs de Kyoto. La Communauté Urbaine grenobloise et les signataires du Plan Climat local se sont fixés un but pour la période 2005-2010 :

- stabiliser les émissions de gaz à effet de serre du territoire à l'horizon 2010 (en référence à 1999),
- stabiliser les consommations énergétiques d'électricité et de ressources fossiles pour économiser les ressources énergétiques non renouvelables (pétrole, gaz, uranium) et éviter le développement de nouvelles infrastructures de production et de transport d'électricité,
- augmenter la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale de l'agglomération pour atteindre 21% en développant la production d'énergie renouvelable produite sur le territoire (aujourd'hui moins de 8%) et en encourageant l'achat d'électricité verte dans les prochains contrats d'approvisionnement énergétique.

L'obtention de ces résultats suppose un engagement des membres signataires. Il est écrit dans le Plan Climat qu'ils doivent contribuer aux objectifs généraux en mettant en œuvre un programme d'actions, utiliser leurs propres moyens de communication, évaluer les effets des actions qu'ils mettent en œuvre et participer aux forums ou comités de pilotage du Plan Climat qui ont lieu deux fois par an.

Ces signataires sont très nombreux et très divers. Les premiers à avoir signé en mai 2005 sont la METRO et ses 26 communes, le Syndicat Mixte des Transports en Commun, le Conseil Général de l'Isère, le Conseil Régional de Rhône-Alpes, quatre bailleurs sociaux (ACTIS, OPAC 38, PLURALIS, SDH), quatre fournisseurs d'énergie (EDF, Gaz de France, GEG et la Compagnie de chauffage), l'Agence d'Urbanisme, le CAUE, le Rectorat, l'Université Pierre Mendès France, l'AGEDEN et l'ALE. En février 2007, il y a eu une seconde vague de signataires faisant cette fois entrer dans le programme des secteurs nouveaux : trois banques, un nouveau bailleur social (Grenoble-Habitat), des centres de formation : l'Institut National Polytechnique de Grenoble, l'Ecole d'Architecture et le CNFPT, des associations (MNEI, FRAPNA, CLCV, Maison de l'Architecture), un acteur de la grande distribution : Leroy Merlin, d'autres institutionnels : l'ONF et le CSTB et la SEM SAGES<sup>207</sup>.

L'enseignement, le tertiaire privé, les institutions publiques, les aménageurs, les bailleurs, les gestionnaires de la mobilité, les collectivités locales, les associations... une très grande partie des groupes socio-professionnels grenoblois sont représentés et impliqués dans la dynamique. L'absence du secteur privé (industrie, bâtiment, commerce...) se fait néanmoins ressentir.



La démarche empruntée pour la mise en application du Plan Climat conserve cette même ligne de conduite. Elle associe les partenaires puisque le programme est décliné à tous les acteurs engagés. Chacun des partenaires s'engage à réaliser un plan d'action. Ainsi, par exemple, la Ville de Grenoble, l'Université Pierre Mendès France, l'AURG, la Compagnie de Chauffage (etc.) ont constitué leur propre Plan d'Action Climat. La METRO a également réalisé un Plan Climat en phase avec ses compétences propres. Enfin, un plan d'action transversal met en cohérence ces différents programmes. Nous détaillerons plus précisément le plan d'actions transversal et celui de la METRO.

### **Le plan d'actions transversal**

Sa mise en œuvre est assurée par une équipe technique composée de l'ALE, le CAUE, l'AURG<sup>208</sup>, etc. Le programme d'actions transversal est remis à jour annuellement. Pour la période 2005-2006, la priorité a été donnée à la sensibilisation et la formation dans le domaine de l'habitat, la sensibilisation et la diffusion de la culture « énergie/climat » étant indispensable au rassemblement de nouveaux acteurs et l'habitat étant le secteur où le potentiel de maîtrise de l'énergie est le plus important. Les actions ont donc concerné la communication autour du plan climat local (16 000 €), une exposition « la maison économe » (24 000 €), la campagne « éclairage performant », (60 000 €), la réalisation d'un guide intitulé « Quand habitat rime avec Climat » à destination des citoyens ainsi que la formation et la sensibilisation des agents communaux (20 000 €).

### **Le plan d'action de la METRO**

L'ensemble des actions de la METRO est pris en charge dans les budgets des différentes compétences de la Communauté Urbaine. La communauté urbaine veut s'imposer comme le moteur de la politique énergétique de l'agglomération en assurant la maîtrise d'ouvrage du Plan Climat. Elle s'est fixée comme mesure la diminution des consommations énergétiques du patrimoine municipal :

- des bâtiments et des équipements (état des lieux des consommations du patrimoine, élaboration d'un outil d'aide à la décision pour la prise en compte énergétique dans la construction de nouveaux bâtiments...),
- liées aux habitudes de travail des agents (PDA<sup>209</sup>, tri des déchets dans les bureaux...),

---

<sup>207</sup> Société d'économie mixte en charge d'opérations d'aménagement, notamment la maîtrise d'ouvrage sur la ZAC de Bonne ou la ZAC de Vigny-Musset et dont le président est Pierre Kermen, Elu de la Ville de Grenoble à l'urbanisme et l'environnement.

<sup>208</sup> Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise.

<sup>209</sup> Plan de Déplacements des Administrations.

- liée à la politique d'achat.

Elle compte développer sa production énergétique :

- en améliorant la valorisation énergétique issue de l'incinération des ordures ménagères,
- en équipant l'effluent de la station d'épuration d'une microcentrale hydroélectrique,
- en participant à la structuration de la filière bois-énergie...

En terme de déplacement, la METRO a intégré les questions climatiques dans son plan de déplacement urbain qui vise une stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2010 (en référence à 1999) et dans la même période, une réduction de 10 % des énergies non renouvelables.

La METRO a également programmé des mesures dans le domaine de l'habitat :

- en introduisant des critères de performance énergétique dans l'aide à l'investissement pour les logements sociaux neufs,
- en finançant le volet habitat des OPATB (Opérations Programmées d'Amélioration Thermique des Bâtiments)...

Le domaine économique est aussi traité. Un volet énergie doit être introduit dans les nouvelles zones d'activité intercommunales afin de favoriser le réseau de chaleur, les énergies renouvelables et les modes de déplacements doux. Les communes et les entreprises seront incitées à prendre en compte des critères énergétiques, etc.

Enfin, dans son plan climat interne, la METRO s'approprie une compétence d'incitation et de sensibilisation à travers les actions suivantes :

- incitation des écoles à travailler sur l'énergie et le climat,
- utilisation des supports de communication de la METRO pour diffuser des informations.

Des bases solides soutiennent la politique énergétique de Grenoble grâce au processus de planification énergéico/environnementale que l'on peut résumer avec ces quatre mots : diagnostic, concertation, responsabilisation et objectifs. Ce processus finalement très rare dans l'hexagone est à saluer. Toutefois, malgré un consensus des acteurs de l'agglomération grenobloise autour de la nécessité de réduire les consommations d'énergie et les gaz à effet de serre et de développer les énergies renouvelables, les objectifs sont encore timides. Ils sont un peu plus ambitieux à Fribourg.

### 2.6.3 La stratégie énergétique globale de Fribourg

La politique énergétique et environnementale de Fribourg existe de longue date, elle a eu le temps de se profiler et de s'adapter au fil du temps, des années 70 à aujourd'hui, aussi bien dans le champ de l'énergie que des transports ou de l'urbanisme. Cette démarche s'est dessinée à travers plusieurs approches sectorielles. Déjà en 1979, un plan de circulation intégré accordait une priorité égale à tous les modes de transport. Auparavant, en 1971 le premier schéma directeur des déplacements en vélos avait été adopté. En 1986, avec le « Freiburger Energieversorgungskonzept », la ville a réfléchi à un nouveau plan de fourniture énergétique. Puis, dans les années 90, la réflexion s'est élargie.

Alors qu'en France il a fallu attendre 2004 et le Plan Climat National pour que des Plans Climats Territoriaux soient préconisés, à Fribourg, la planification énergétique destinée à la lutte contre le changement climatique était déjà à l'ordre du jour en 1996. Le « Klimaschutzkonzept » fut le fruit d'une réflexion commune entre la municipalité et la compagnie de fourniture d'énergie locale - à l'époque encore service public et donc propriété de la ville - la FEW (Freiburger Energie und Wasserversorgungs-AG).

Avec l'émergence de la problématique du réchauffement planétaire, les gestionnaires et les décideurs ont privilégié une vue d'ensemble. Le « Klimaschutzkonzept » est né de cette décision d'agir sur les émissions de gaz à effet de serre et d'engager une nouvelle stratégie globale en matière d'énergie. Cette réflexion politique et pragmatique a commencé par un bilan des consommations d'énergie et des gaz à effet de serre de la ville. Une étude prospective a ensuite permis d'élaborer des scénarios pour l'année 2010. Ensuite, l'Öko institut, en charge de l'étude, a effectué une estimation des ressources potentielles en économie d'énergie et en énergie renouvelable afin de cibler les domaines d'action les plus efficaces, ceci dans le but d'engager des actions concrètes.

A partir des résultats de ce diagnostic, la ville de Fribourg a choisi d'engager une baisse de 25 % des gaz à effet de serre d'ici 2010. Cet objectif est plus ambitieux que celui de Grenoble. Le programme de 1996 porte ses fruits. Les émissions totales ont baissé de 5,1 % entre 1992 et 2003. Dans le même temps la population de Fribourg en Brisgau a progressé de 195 790 habitants à 215 966 habitants, elle a donc augmenté de 10 %. Cependant, en 2003, on est dès lors à plus de la moitié du temps imparti et l'on peut s'interroger sur la réelle faisabilité de cet objectif. La cible pourra être atteinte

seulement si la tendance observée entre 2003 et 2004 est maintenue, sans compter l'augmentation démographique.

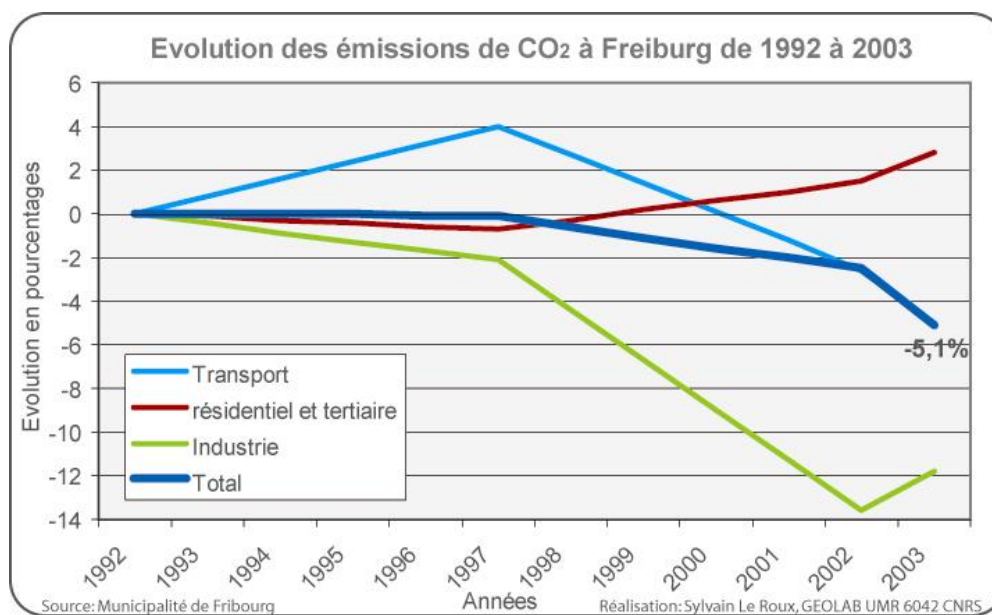


Figure 95 : L'évolution des émissions de CO2 à Freiburg.

La démarche du « Klimaschutzkonzept » fut la première approche transversale en matière d'énergie et de changement climatique. Depuis, des bilans et des suivis des consommations d'énergie et des rejets de gaz à effet de serre du territoire sont effectués régulièrement. Durant l'année 2004 une démarche parallèle et complémentaire est née. La municipalité s'est fixée comme but de produire localement et à partir de ressources renouvelables l'équivalent de 10 % de sa consommation d'électricité. Ce programme a tout d'abord nécessité, une étude actualisée du potentiel en énergies renouvelables sur le territoire de Freiburg. Base sur laquelle une stratégie de développement adaptée et réaliste a été mise en place. En 2003, les différentes ressources étaient réparties comme suit : 14 GWh en éolien, 2,9 GWh en photovoltaïque, 14,4 GWh à partir de biomasse et 1,8 GWh en hydroélectricité. Et la production locale d'électricité à partir d'énergies renouvelables atteignait 3,4 %.

Un premier plan consistait à fournir près de 5 % de la demande à partir de l'énergie éolienne. Seulement, l'autorité délimitant les zones de développement éolien dans l'ensemble du Land et délivrant les permis de construire n'a pas favorisé cette zone du Land pour des raisons de protection du paysage. Il n'est donc pour l'instant pas possible d'implanter de nouveaux parcs éoliens aux alentours de Freiburg. D'autre part, il était prévu d'assurer 0,9 % de la demande grâce à une cogénération à partir de la géothermie mais ce projet a également avorté car, bien qu'il y ait un certain potentiel, la compagnie régionale a préféré finalement se concentrer sur des sites à plus fort gisement à environ 30

km de la ville, Fribourg n'aura donc pas de production d'électricité à partir de la géothermie avant 2015. Les objectifs de départ ont été revus à la baisse. Mais tout de même 9,3 % de la demande électrique de Fribourg devront être fournis grâce à des ressources renouvelables. Le vent restera une ressource minoritaire mais la biomasse avec 6,3 % prendra une place prépondérante dans ce mix énergétique. Par exemple, il est projeté d'abandonner l'usage du charbon pour la fourniture de chaleur et d'électricité dans le quartier de l'hôpital universitaire et de le remplacer par une cogénération au bois. Il faudra également doubler la production d'énergie photovoltaïque. Enfin, ces engagements ne pourront être respectés que si la consommation d'électricité est diminuée de 10 % par rapport à 2003. Ce dernier point n'est pas forcément en bonne voie puisque deux ans après, la demande en électricité avait déjà augmenté de 2,8 %. Bref, le conseil municipal de Fribourg a planifié qu'en 2010, plus de 80 GWh électrique seront produits à partir de sources d'énergie inépuisables.

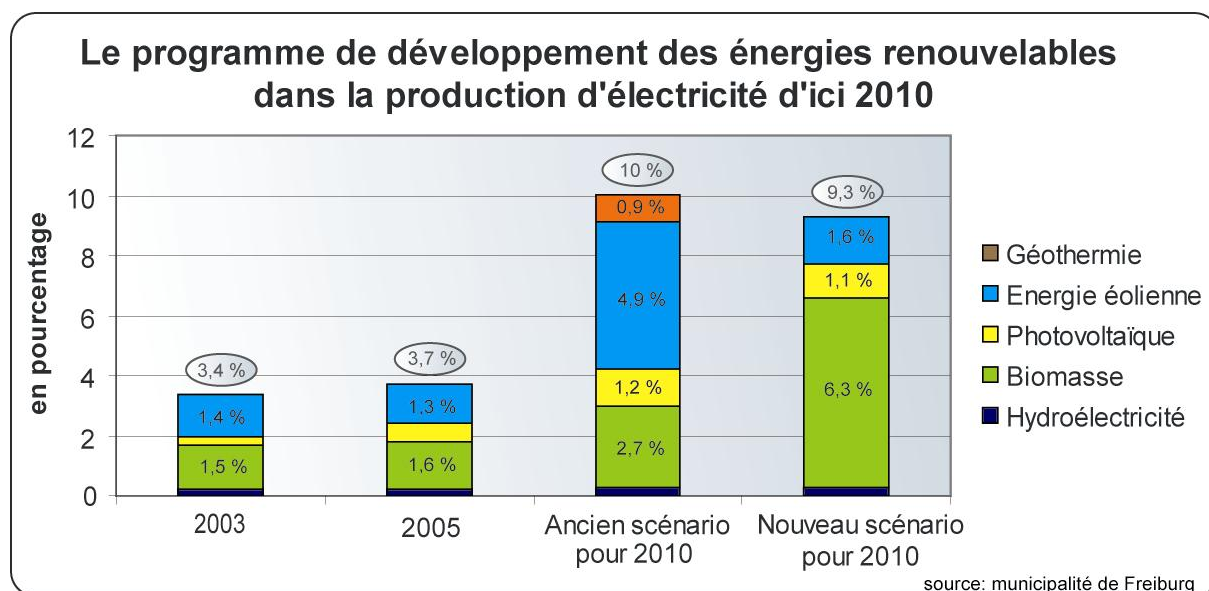


Figure 96 : Le programme de développement des énergies renouvelables de Fribourg.

De façon plus poussée qu'à Clermont-Ferrand, un département de la municipalité s'est spécialisé dans le domaine de l'énergie, des déchets et du réchauffement climatique et emploie trois personnes à temps complet ainsi qu'une à mi-temps pour traiter ces questions. Ce département applique la stratégie adoptée par la municipalité en matière d'énergie, de déchets et de changement climatique. Ce service est différent d'un service énergie classique français puisqu'il n'assure pas la maintenance et la gestion technique du système énergétique de la mairie (chaudière, circuits électriques, éclairage...) mais il s'occupe plutôt d'appliquer la stratégie dans son approche globale. Ce service est donc en relation constante avec les autres services de la mairie qui sont en charge de l'urbanisme,

des transports ou de l'énergie afin de créer des ponts indispensables entre des champs certes différents mais surtout complémentaires.

Cette volonté politique de développer les énergies renouvelables et réduire les consommations d'énergie fossile s'est renforcée depuis que les verts ont obtenu presque 30 % des voix aux élections. Elle se traduit notamment par la révision de la démarche planificatrice<sup>210</sup> en 2007. La municipalité de Fribourg démontre qu'une collectivité peut s'emparer pleinement des questions énergie/climat en adoptant une réflexion transversale à l'échelle de tout le territoire et à l'endroit de l'ensemble des acteurs.

---

<sup>210</sup> Un nouveau document de diagnostic, de planification et de prospective est en cours d'élaboration, il devait être publié durant l'année 2007.

## Conclusion de la partie III

Les résultats des deux enquêtes - l'enquête par questionnaire auprès des villes moyennes françaises et l'enquête de terrain menées dans plusieurs villes moyennes européennes - démontrent que les collectivités locales ont un champ d'action sur le système énergétique des espaces urbains relativement étendu.

Les stratégies possibles passent par la maîtrise des consommations de leur propre patrimoine, mais pas seulement. Elles ont aussi les moyens d'agir sur les consommations de l'ensemble du territoire par la sensibilisation des populations, par la gestion de systèmes de production d'énergie performants et la valorisation des ressources endogènes d'origine renouvelable, par la mise en place d'un modèle de mobilité adéquat, par la maîtrise de l'urbanisme et par la planification d'une politique cohérente.

La figure 97 suivante présente une synthèse des stratégies et des actions engagées par les collectivités. Des actions très efficaces peuvent être menées par les collectivités à l'instar du chauffage urbain de La Rochelle qui, grâce à la valorisation du bois et du rayonnement solaire permet d'éviter l'émission de 3 500 t.CO<sub>2</sub> par an ou l'usine TRIDEL de Lausanne qui exploite les déchets et fournit 15 000 MWh. La façon d'aménager la ville est également une manière très efficace de réduire les consommations et les émissions de polluants. Enfin, développer les transports en commun en site propre et les « modes doux » apparaît être primordial pour tendre vers une ville modèle.

Cependant, le rôle des collectivités dans la construction d'une ville économe en énergie et favorable aux énergies renouvelables rencontre des limites.

Certains freins sont externes. Le modèle jacobin français ne confère pas aux autorités locales des compétences légales bien définies. Leurs difficultés à agir sur la performance des bâtiments ou sur l'approvisionnement énergétique du territoire en sont des exemples criants. De plus, les collectivités locales n'ont que très peu d'emprises sur des variables considérées comme majeures dans la partie II, le secteur industriel et les consommations indirectes d'énergie (« énergie grise » des biens de consommations, etc.).

Enfin, la conduite d'une politique énergétique locale rencontre des obstacles internes. Outre les conflits entre les différents acteurs, les élus font preuve d'une certaine frilosité en matière d'environnement craignant d'aller à l'encontre du développement

économique de leur territoire. Nous l'avons observé à travers la question des infrastructures routières ou celle de l'étalement urbain. De même, les collectivités locales n'appliquent que trop rarement une politique énergétique globale et transversale préférant se contenter de mesures sectorielles. Les villes qui présentent les stratégies les plus abouties ont généralement pour particularité d'avoir une histoire constituée d'événements majeurs qui ont participé à la diffusion d'une « culture énergie » forgée sur une longue période. Les considérations grandissantes pour ces questions à l'échelle nationale et internationales vont participer à développer cette culture dans d'autres villes.



## Les stratégies possibles des collectivités locales, synthèse

“Compétences”	Actions	Points forts illustratifs
Action sur le patrimoine public	Le patrimoine bâti	Suivi des consommations Audit ou Diagnostic énergétique Performance thermique des bâtiments Lampes basse consommation Renouvellement des installations de chauffage Télégestion centralisée des chaudières Affichage des consommations des bâtiments
	L'éclairage public	Luminaires ou feux basse consommation Audit et/ou Suivi des consommations Autres outils technologiques
	La flotte de véhicule	Acquisition de véhicules moins polluants Suivi des consommations Entretien des véhicules Mise en pool de véhicules ou co-voiturage Acquisition d'un parc de vélo
	Achat d'électricité verte	
		Les consommations du patrimoine peuvent correspondre à 10% des consommations du territoire
Sensibilisation incitation	Sensibilisation	Agence de conseil Campagnes de promotion Animations scolaires Affichage des consommations des lieux publics
	Incitation et subventions	Aide à l'installation d'énergies renouvelables Aide à la performance thermique des bâtiments Aide à l'achat de véhicules propres
		50 % de la consommation d'énergie sont liés à des actes quotidiens des particuliers
Production locale d'énergie	Production de chaleur	Utilisation des énergies renouvelables Valorisation des déchets et des boues d'épuration Cogénération Récupération de la chaleur industrielle
	Production d'électricité	Cogénération Centrale hydroélectrique Centrale éolienne Centrale photovoltaïque Centrale biogaz
		- Chauffage urbain (bois, solaire), La Rochelle : 24000 MWh/an / 3500 t.CO2 évitées - Centrale déchet de Lausanne: 200 000 MWh / 35 000 t.CO2 évitées - Cogénération de la Gauthière (C-F): 9131MWh / 3000 t.CO2 évitées - Centrale de Rivesalte (Perpignan): 15 000 MWh/an / 6000 t. CO2 évitées - CET de Clermont Ferrand: 14 600 MWh/an
Urbanisme	Action sur les déplacements	Renforcement de la mixité des fonctions Renforcement de la densité humaine des pôles Gestion du stationnement payant Développement des sites propres pour les TC Coordination de l'occupation des sols et des TC Développement des pistes cyclables Développement des zones piétonnes
	Action sur les bâtiments	Promotion des bâtiments collectifs Introduction d'objectifs de performance énergétique Orientation bioclimatique des bâtiments
	Limiter l'éclairage public	Réduction de l'étalement urbain
	Favoriser l'implantation des réseaux de chaleur	Densification du bâti, classement des réseaux
		L'optimisation du PLU permettrait d'éviter 600 kg de CO2/an/hab, soit 60 000 tonnes pour une ville de 100 000 habitants. Opération immobilière Concerto (Grenoble): Division des consommations d'énergie des bâtiments par 4
Mobilité	Coordonner l'urbanisme et les transports	Action coordonnée des acteurs des transports Mise en cohérence de l'urbanisation et des TC
	Favoriser les transports publics	Achat d'un parc roulant économe en énergie Mise en place d'une desserte de qualité (réseau, vitesse, fréquence, tarification...)
	Contraindre les véhicules individuels motorisés	Gestion de la voirie et canalisation du trafic Gestion de l'offre de stationnement
	Favoriser les modes doux	Développement des voies cyclables et piétonnes Location de vélos...
	Maîtriser les transports de marchandises	
		La ligne 2 du tramway de Paris consomme six à huit fois moins d'énergie qu'un bus et 13 fois moins qu'une automobile.

Figure 97 : Les stratégies possibles des collectivités locales, synthèse.



## **Partie IV : Vers la ville moyenne durable, exercice de prospective**

Les agglomérations de taille moyenne concentrent une grande partie de la population de l'espace européen et, par conséquent, elles sont le siège d'une importante consommation d'énergie. Les modèles urbains actuels sont très fortement dépendants des produits pétroliers qui permettent d'assurer le fonctionnement d'activités aussi importantes que la mobilité intra et inter urbaine, le chauffage des bâtiments, la fabrication industrielle, la production d'électricité (excepté en France où l'énergie nucléaire est dominante)... Or, le contexte énergetico-environnemental est de plus en plus tendu. Il est nécessaire de réfléchir à des modèles urbains qui feront face à la double crise caractérisée par un épuisement des hydrocarbures et par l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Au-delà du seul rôle des collectivités locales, qui s'avèrent rencontrer des limites dans l'application d'une politique énergétique transverse et efficiente, nous devons nous interroger sur le devenir des villes afin de réfléchir à un modèle plus « durable ».

Comme dans tout exercice de prospective, il a fallu se baser sur les réflexions contemporaines qui permettent d'imaginer le contexte aussi bien énergétique qu'environnemental ou socio-économique en 2050. Or, comme nous l'avons exposé dans la première partie de la thèse, les incertitudes sont grandes à propos de l'état des ressources énergétiques, de l'évolution du climat, de l'innovation technologique, de la croissance démographique ou des choix de société qui vont s'opérer dans les décennies à venir... Notamment, il est très difficile de déterminer quel sera le niveau des ressources en pétrole dans 40 ans. Nous pouvons cependant sans trop de risque affirmer que le coût des hydrocarbures ira croissant, pénalisant un système socio-économique fondé sur un or noir à bas prix. Pour la France, la question de l'énergie nucléaire est fondamentale. Bien que l'épuisement de l'uranium soit annoncé, que la question du traitement des déchets radioactifs reste entière ou que la production présente des risques encore très importants, il est très pensable que le programme nucléaire sera relancé en France avec la construction des centrales de nouvelle génération. Par ailleurs, la population mondiale suivra une courbe de croissance qui la fera atteindre 9 à 10 milliards en 2075. Cette croissance qui sera principalement le fait des pays en développement, touchera aussi les pays occidentaux et la France, notamment par phénomène de migration des populations.

Bref, il est possible de baser ce scénario sur certaines tendances, mais l'essentiel des variables qui construisent ce travail de prospective est difficilement chiffrable. Excepté en ce qui concerne la lutte contre l'émission des gaz à effet de serre, il existe pour ce champ un objectif quantifié, préconisé par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) et repris par le gouvernement français,

l'objectif « facteur 4 ». Le Rapport du Groupe de travail «Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050» présidé par Christian de Boissieu et rendu en août 2006 donne la définition suivante du « facteur 4 ».

*« Selon le GIEC, pour une stabilisation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> à 450 ppm, la croissance de la température s'établirait dans une fourchette comprise entre 1,5 et 3,9°C. Autrement dit, la probabilité pour qu'on reste en dessous de 2°C pour une concentration de 450 ppm est largement inférieure à 50 %. Cet objectif de 450 ppm est sans doute le plus bas qu'on puisse se fixer puisque nous sommes aujourd'hui à 382 ppm avec une croissance proche de 2 ppm par an qui ne s'atténuerait que progressivement, même si nous supprimions toute émission.*

*Pour stabiliser à 450 ppm, il faut avoir réduit les émissions annuelles en 2050 à 4 Gt de carbone, soit, pour une population mondiale actuelle de 6,5 milliards d'habitants, 0,6 t de carbone par habitant et par an. La France, avec 61 millions d'habitants, aurait droit, pour une répartition proportionnelle au nombre d'habitants, à 38 Mt de carbone, c'est-à-dire une division par quatre par rapport à ses émissions actuelles (140 Mt C). »*

Il faudrait donc, pour avoir des chances de conserver un climat relativement équilibré, diviser les émissions de gaz à effet de serre par quatre. Etant donné que la combustion d'énergie est à l'origine de 70 à 80 % des émissions de gaz à effet de serre, l'objectif « facteur 4 » est directement applicable aux consommations d'énergies fossiles des villes moyennes européennes.

Dans ce dernier chapitre, nous tenterons donc de répondre à la sous-problématique suivante : **Quel pourrait être le nouveau visage des espaces urbains de taille moyenne en 2050, dans la perspective d'une baisse radicale des consommations d'énergie liée à la nécessité de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre et à la tension accrue du marché de l'énergie ?**



# Chapitre 1. Le modèle urbain actuel est-il viable ?

## 1.1 La consommation d'énergie dans les villes moyennes contemporaines et l'objectif « facteur 4 »

La France émet 140 millions de tonnes de carbone. 80 % sont directement imputables aux consommations d'énergie. Ainsi, un Français émet en moyenne 1,8 tonne de carbone à cause de la combustion de ressources fossiles. L'objectif « facteur 4 » nécessite d'atteindre un taux d'émission moyen par habitant de 0,45 teC à l'échelle nationale. Qu'en est-il pour les citoyens des villes moyennes ?

Comme l'évoque la seconde partie de cette thèse, les bilans énergétiques et les bilans carbone réalisés à l'échelle des espaces urbains de taille moyenne sont peu nombreux. Nous pouvons toutefois reprendre les exemples de villes moyennes européennes exposés précédemment (Partie II, 3.1). Les émissions de gaz à effet de serre dus à la combustion d'énergie de la commune de Limoges sont estimées à 2,05 teC/hab. Les émissions grenobloises rapportées au nombre d'habitants équivalent à 1,83 teC. Enfin, les Rochelais émettent 1,42 teC (voir figure 98).

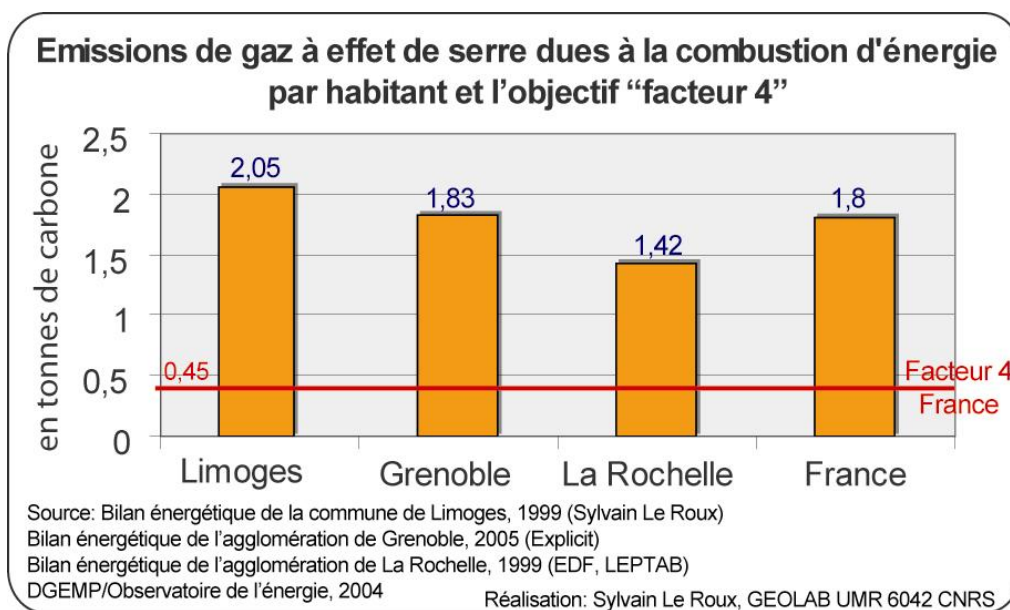


Figure 98 : Le « facteur 4 » appliqué aux villes d'études.

Bien que ces taux soient difficilement comparables entre eux pour des raisons méthodologiques, nous constatons qu'ils sont très nettement au-dessus des objectifs

français de division par quatre des gaz à effet de serre. En effet, pour respecter cet objectif à l'échelle territoriale, le territoire de Limoges devrait diviser ses émissions, et par conséquent, ses consommations d'énergie fossile, par 4,5 d'ici 2050. Il faudrait les diviser par 4,1 à Grenoble et par 3,15 à La Rochelle. Cet exercice réalisé à l'échelle d'un micro panel montre que la situation est la même, voire accentuée, à l'échelle des villes moyennes. Bien que le mode de vie citadin concentre l'habitat et limite les distances de déplacements - ce qui a des effets positifs sur les quantités d'énergie consommées en comparaison de certains modes de vie ruraux ou rurbains - les villes concentrent aussi l'activité tertiaire et industrielle. Elles sont finalement dispendieuses en énergie et émettent d'importantes quantités de gaz à effet de serre. Dans la perspective « facteur 4 », les villes moyennes aussi seraient sujettes à la division par quatre du carbone et des besoins en énergies fossiles.

## 1.2 Les objectifs visés par les villes sont-ils suffisants ?

Dans le troisième chapitre, nous avons analysé les stratégies mises au point par certaines villes moyennes européennes pour réduire leurs consommations et lutter contre le changement climatique. Certaines d'entre elles, encore peu nombreuses, se sont engagées dans une politique énergéto-environnementale globale en se donnant des cibles quantifiées à atteindre.

En 2005, la Communauté Urbaine de Grenoble a planifié de stabiliser ses consommations énergétiques d'électricité et de ressources fossiles et ses émissions de gaz à effet de serre du territoire à l'horizon 2010 (en référence à 1999). Elle souhaite également augmenter la part des énergies renouvelables dans sa consommation énergétique totale pour atteindre 21 %. Nous pouvons nous demander si cette seule stabilisation des émissions et des consommations - qui est, certes, déjà une avancée - sera suffisante pour lancer le territoire sur la voie du « facteur 4 », une volonté qui aurait pourtant été évoquée par le Conseil Communautaire.

La ville de Fribourg s'est, elle, fixée des objectifs plus ambitieux puisqu'elle a choisi d'engager une baisse de 25 % des gaz à effet de serre d'ici 2010. Ceci dit, la ville allemande, malgré un élan écologique prononcé, part de plus loin. Son taux d'émission moyen par habitant (comprenant les gaz à effet de serre non issus de la combustion d'énergie) s'élève à 2,92 teC<sup>211</sup>.

---

<sup>211</sup> Cela s'explique en grande partie par un fort taux d'émission de gaz à effet de serre attribué à la production d'électricité dans ce pays qui souhaite se passer du nucléaire.



Avec un taux aussi élevé, il faudrait diviser par cinq les émissions du territoire pour respecter l'équilibre précaire préconisé par le GIEC. Si la Ville de Fribourg respecte ses premiers engagements et qu'elle les reconduit dans les décennies à venir, alors le facteur cinq pourrait être atteint. Mais par quels moyens et dans quelles conditions ? Diviser par quatre les consommations d'énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre reviendrait à bouleverser le système socio-économique et, en ce qui concerne notre problématique, cela revient à modifier considérablement le système urbain.

### 1.3 La rupture du modèle urbain actuel ?

A partir des résultats de l'analyse de plusieurs villes moyennes (partie II, 3.2), il apparaît que le modèle des villes moyennes européennes est très fortement dépendant des ressources énergétiques fossiles, et tout particulièrement des hydrocarbures : le pétrole et le gaz<sup>212</sup>. Nous le constatons à la lecture du graphique (figure 99).

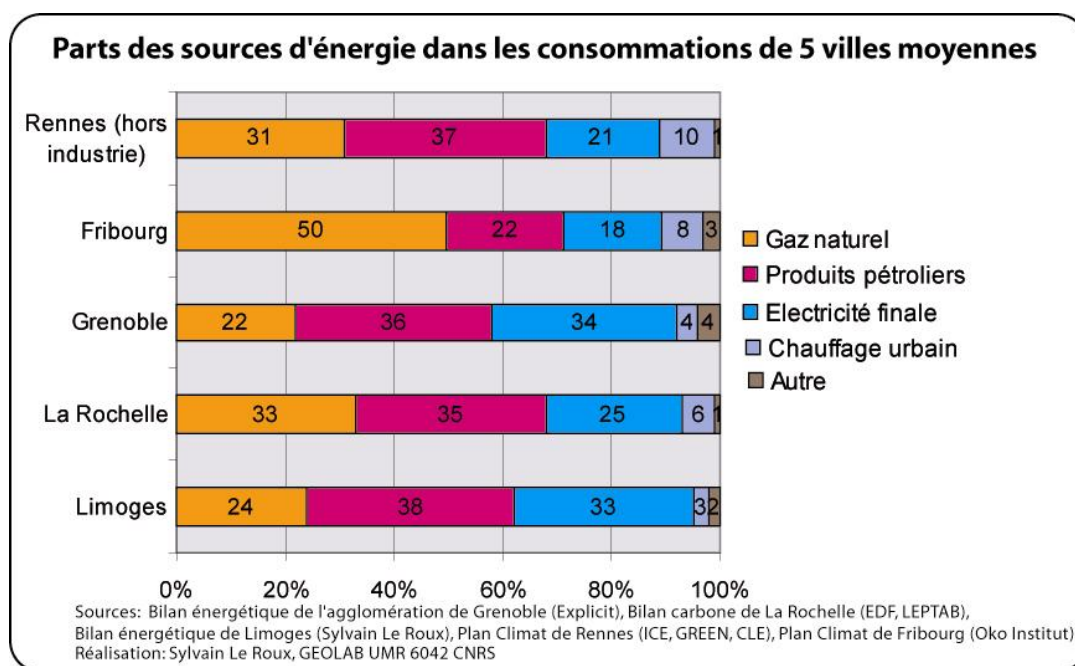


Figure 99 : Parts des sources d'énergie dans les consommations de cinq villes moyennes.

Ce graphique présente les bilans énergétiques de quatre villes françaises et d'une ville allemande, nous constatons que les produits pétroliers et le gaz constituent entre 58 et 72 % de la demande énergétique des territoires<sup>213</sup>, c'est une part considérable des consommations. Ces ressources fossiles, très émettrices de gaz à effet de serre sont

<sup>212</sup> L'électricité, qui représente une forte proportion également est dépendante du nucléaire en France et du charbon et de la lignite en Allemagne, ce qui nous intéresse dans le cas de Fribourg.

<sup>213</sup> Notons que les consommations finales d'électricité sont présentées dans ce graphique, sinon la part de cette énergie serait beaucoup plus importante. Cependant, c'est bien le service rendu aux consommateurs qui nous intéresse dans cette réflexion sur la dépendance des villes aux combustibles fossiles.

indispensables - actuellement - pour les déplacements, pour le chauffage des bâtiments et, dans une mesure plus variable, selon les villes, pour l'activité industrielle.

Dans la perspective d'une hausse continue et pérenne du prix de l'énergie et devant la nécessité de lutter contre le changement climatique, il faudra nécessairement agir sur ces consommations d'énergies fossiles. Mais, diviser par quatre, dans les villes moyennes françaises, les consommations des énergies qui assurent les deux tiers des besoins, ce serait véritablement créer une rupture avec le modèle actuel.

Le phénomène « facteur 4 », appliqué de façon plus détaillée à la ville de Limoges, nous permettra d'imaginer à quoi ressemblerait une ville « sans pétrole ». La figure 100 suivante propose deux graphiques. Le premier expose la situation actuelle en terme d'émissions de gaz à effet de serre ventilées par secteur économique et par type d'énergies. Le second présente la situation en 2050, dans le cas où une division par quatre des émissions serait opérée.

Le secteur qui ressentirait le plus profond changement est évidemment celui qui est captif à près de 100 % des produits pétroliers et qui est, par conséquent, le plus émetteur : celui des transports. Diviser par quatre les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la mobilité dans une ville comme Limoges reviendrait à diviser par quatre les consommations car l'alternative aux produits pétroliers y est aujourd'hui très minoritaire (une flotte de trolleys-bus qui assure moins de 5 % des déplacements, quelques véhicules électriques...). Se déplacer quatre fois moins, réduire les distances, concevoir des automobiles qui consomment 2 l d'essence pour 100 km au lieu de 8,3 l<sup>214</sup>... Quels sont les moyens de rendre les déplacements moins dispendieux ? Il semble que la mobilité individuelle motorisée et l'aménagement urbain soient à repenser pour conserver cette « liberté d'aller et venir ».

Avec plus de 75 % de la demande fournie par le gaz, le fioul ou le charbon, à Limoges le secteur du résidentiel a également un défi immense à relever. La réduction drastique des consommations de gaz et de produits pétroliers ne se fera pas sans un changement essentiel de la façon d'habiter, de rénover et de construire. Le secteur tertiaire, dans une moindre mesure, serait également touché massivement puisque, si l'on prend à nouveau la ville de Limoges pour exemple, 40 % des consommations d'énergie concernent les hydrocarbures (gaz et fioul essentiellement). Ce secteur consomme finalement beaucoup plus d'électricité. Alors tout dépendra de la façon dont sera produite

---

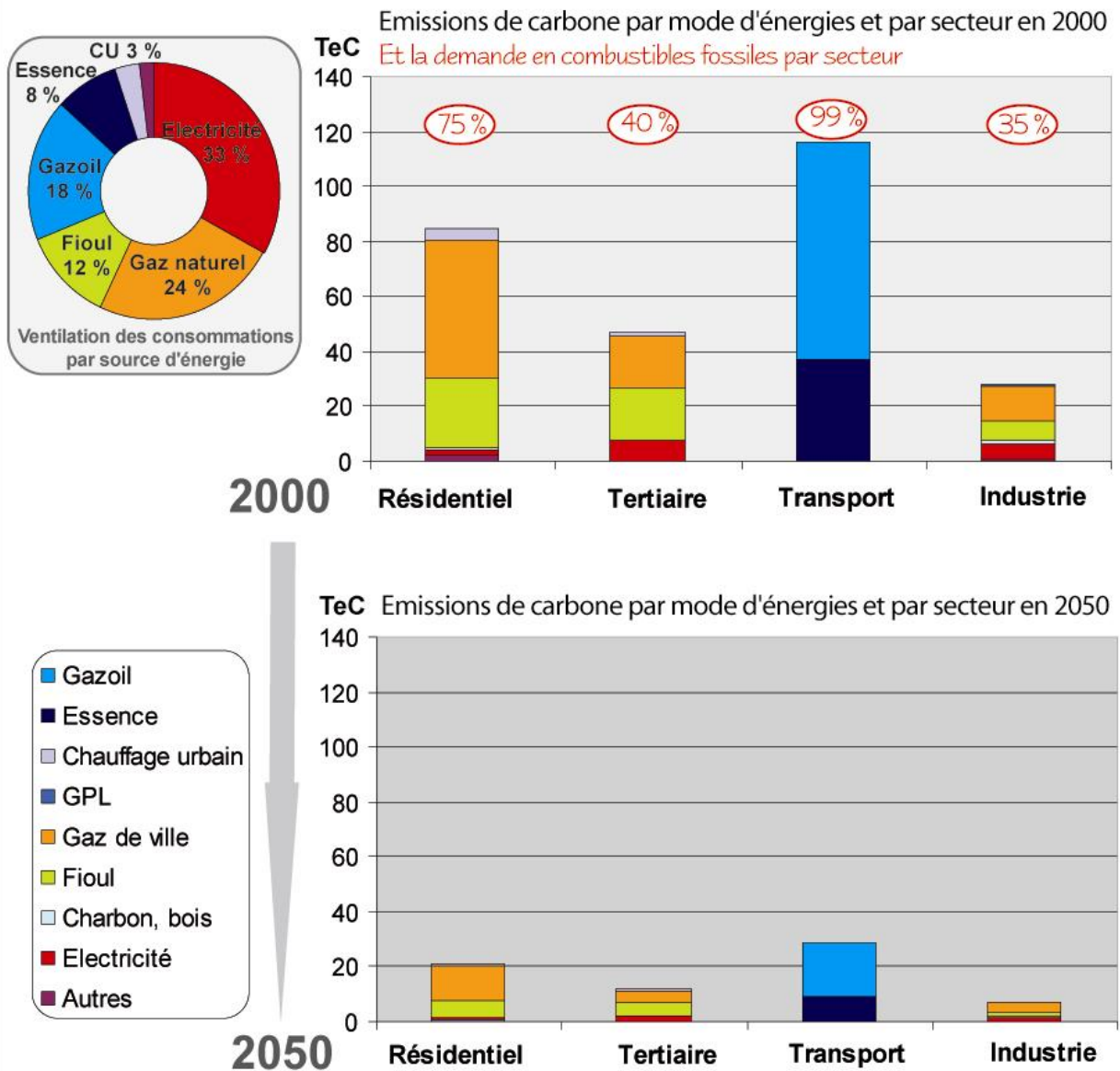
<sup>214</sup> Consommation moyenne d'un véhicule particulier essence dans une commune de plus de 50 000 habitants d'après l'observatoire de l'énergie. La consommation moyenne d'un véhicule diesel est de 6,9 l pour 100 km dans les mêmes conditions.

cette électricité en 2050 ; il est fort à parier que l'énergie nucléaire occupera encore une place prépondérante malgré la confirmation et la percée de certaines énergies renouvelables (l'hydroélectricité, l'éolien, le photovoltaïque, la biomasse...).

Pour ce qui est de l'industrie, le phénomène est moins flagrant à Limoges, pourtant il est important dans d'autres villes (voir les exemples de Grenoble et Dunkerque dans la Partie II, 3.2). Les matières premières, les biens et les produits utilisés et consommés dans les espaces urbains sont bel et bien produits quelque part. L'industrie devra également bouleverser son système dans ce scénario « facteur 4 ». L'intensité de l'activité industrielle est dépendante de variables qui dépassent le seul fait urbain, nous prendrons donc le parti de ne pas exposer de scénario de réduction des consommations d'énergie pour cette activité dans cet exercice de prospective.

**Pour réussir ce scénario, quels seraient les meilleurs atouts d'un territoire urbain de taille moyenne.** Relèvent-ils de l'innovation technologique ? L'amélioration des procédés industriels, la pile à combustible, les véhicules hybrides, la pompe à chaleur (etc) seraient-ils des solutions suffisantes ? Quelle place prendraient les énergies renouvelables ? L'énergie solaire ou l'utilisation de la biomasse semblent avoir un grand avenir dans les espaces urbains. Mais surtout, quel potentiel réservent les économies d'énergie ? Par exemple, pourrait-on conserver le même confort qu'actuellement dans un logement en diminuant substantiellement les consommations d'énergie ? L'aménagement urbain permettrait-il de rendre les territoires plus sobres ? Finalement, la question suivante est en trame de fond : Les habitants des villes moyennes pourront-ils conserver le même niveau de vie « sans pétrole » ? Nous tenterons de répondre à ce foisonnement d'interrogations dans le chapitre suivant.

## Le scénario "facteur 4" appliqué à la commune de Limoges



Source: Bilan énergétique de la commune de Limoges, 1999 (Sylvain Le Roux) Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042

Figure 100 : Le scénario « facteur 4 » appliqué à la commune de Limoges.

## Chapitre 2. Vers un modèle de développement urbain durable

Grâce à l'état des lieux des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre proposé dans la première partie de la thèse (Partie II, 3), nous avons pu dresser une liste des principales variables qui caractérisent la nature et la quantité d'énergie consommées et de dioxyde de carbone émis par l'activité des espaces urbains de taille moyenne. Rappelons-en les éléments principaux avant d'estimer le potentiel d'économie d'énergie et de développement des énergies renouvelables qu'offrent les systèmes urbains actuels.

Les principales modalités d'action sur la nature des énergies consommées portent sur :

- le type d'énergies distribuées et produites sur le territoire,
- la caractéristique énergétique des bâtiments,
- les modes de déplacements,
- la forme urbaine et ses incidences sur les déplacements,
- la nature et l'intensité de l'activité industrielle,
- et l'importation de matériaux et de produits.

L'essentiel de l'énergie consommée en ville est produite à l'extérieur de l'espace urbain. Il convient donc d'agir directement sur le système de production énergétique en utilisant des technologies plus efficaces, moins émettrices de gaz à effet de serre et en développant l'usage des énergies renouvelables. Cela est tout particulièrement valable pour le système de production d'électricité qui totalise la plus importante part des consommations d'énergie primaire en France (voir Partie I, 1.1.4). Il convient également de rehausser la production locale d'énergie afin de limiter les pertes liées à l'acheminement de l'énergie électrique et afin, aussi, de valoriser les ressources endogènes du territoire (les apports solaires, l'éolien, la biomasse...) qui sont aujourd'hui

sous utilisés. Le potentiel lié au développement des énergies renouvelables est très important. Mais, seul, il ne suffira certainement pas à garantir la demande actuelle. L'énergie nucléaire, bien qu'elle présente des nuisances allant à l'encontre du principe de précaution institué par la charte de l'environnement, restera sans doute en première ligne dans le système de production d'électricité français. Malgré tout, elle ne comblera pas l'ensemble des besoins énergétiques des espaces urbains.

Il faut donc se tourner vers la réduction des consommations d'énergie. A niveau égal de développement et de confort, le potentiel d'économie d'énergie en ville est immense. Grâce à la sobriété et à l'efficacité énergétique, certains postes trop dispendieux actuellement pourraient atteindre une division par quatre avec le savoir-faire et la technique actuels. Nul besoin d'attendre la pile à combustible ou même la fusion nucléaire pour faire des économies substantielles d'énergie dans les bâtiments qui sont le premier poste de consommation en milieu urbain, par exemple. Tentons de déterminer le potentiel réel des économies d'énergie et des énergies renouvelables en ville.

## **2.1 La répartition du gisement d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables à Fribourg**

Partant du principe qu'il était tout à fait possible de diminuer les rejets de gaz à effet de serre sans nuire à la qualité et aux modes de vie des habitants de Fribourg, la municipalité a commandé, dès 1996, une étude du potentiel de réduction des gaz à effet de serre. Ainsi, le potentiel d'économie d'énergie et de production d'énergie à partir de sources renouvelables a été estimé. Les résultats démontrent qu'en 1992, 51 % des réductions pouvaient être suscitées par des mesures dans le domaine des économies d'énergie (résidentiel, industrie, tertiaire), 28 % grâce à la cogénération et à la mise en place de réseaux de chaleur efficaces, 14 % en produisant de l'énergie à partir de ressources renouvelables et 7 % en prenant des mesures dans le secteur des transports (voir figure 101).

Cette étude a mis en évidence que le champ d'action le plus étendu était le poste des bâtiments, et particulièrement le chauffage. Par exemple, la rénovation et l'isolation thermique des logements existants renfermaient à l'époque un gisement d'économie de 100 000 tonnes de CO<sub>2</sub>, l'application des critères de « basse consommation d'énergie » pour les bâtiments neufs permettait d'éviter l'émission de 30 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Le remplacement des anciens systèmes de chauffage au fioul, au charbon ou à l'électricité par des chaudières efficaces au gaz (de type chaudières à condensation) entraînait

l'économie de 9 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Ce type de mesure est aussi bien valable dans le résidentiel que dans le tertiaire ou même dans l'industrie.

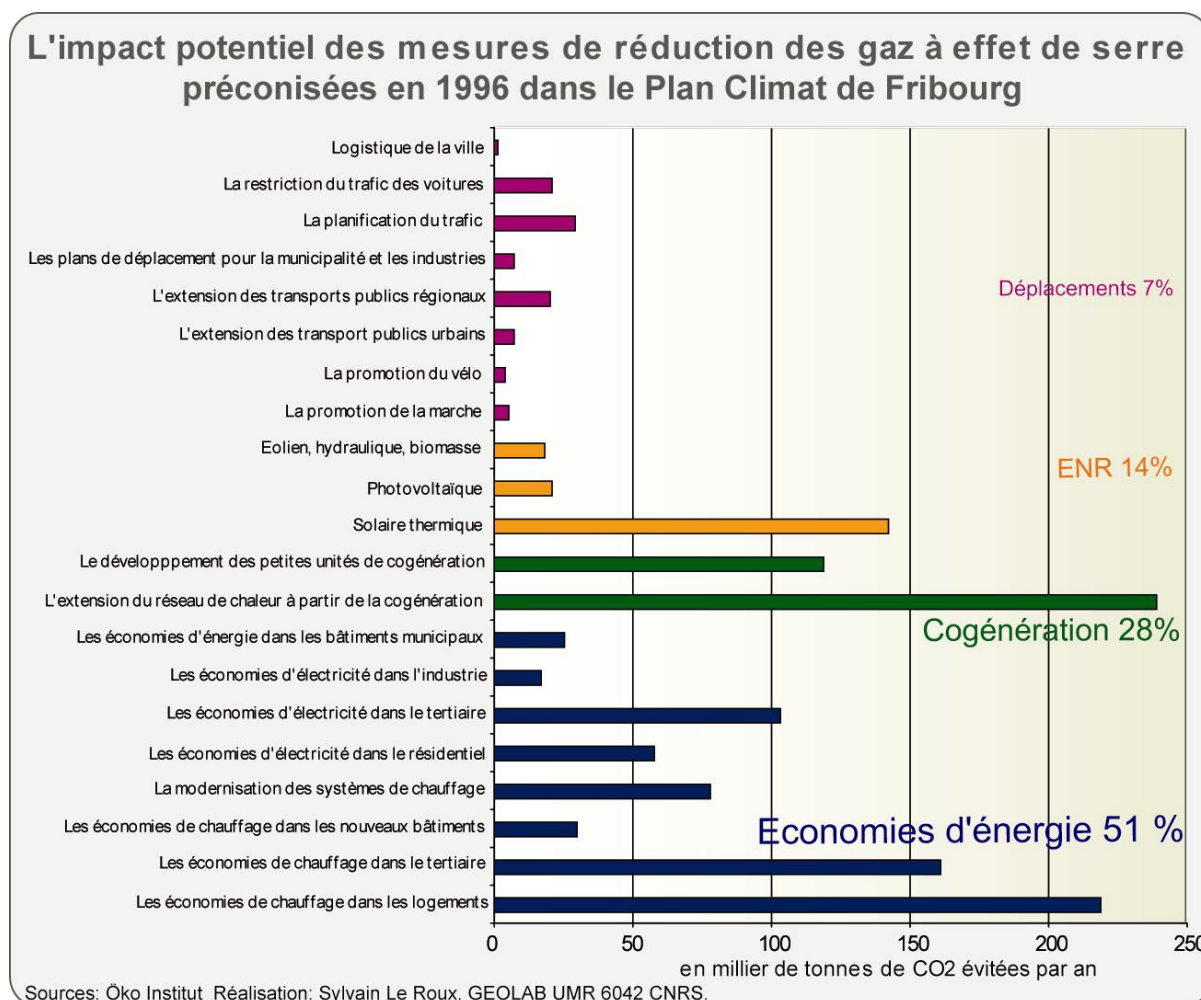


Figure 101 : Le potentiel de réduction des gaz à effet de serre de Fribourg.

D'autre part, il apparaissait que, dans les commerces ou dans les services, il résidait un gisement important d'économie d'énergie au niveau de l'éclairage. En ce qui concerne l'industrie, à Fribourg, en 1992, une seule entreprise concentrait 80 % des consommations d'énergie, l'Öko Institut a donc déterminé qu'il fallait créer un partenariat avec cette industrie car la mise en application d'une batterie de mesures adéquates permettait l'annulation d'un rejet de 50 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

A Fribourg, il existe de nombreuses installations de réseaux de chaleur basées sur des systèmes de cogénération. Ils constituent le second champ majeur de réduction des gaz à effet de serre. Le potentiel est estimé à une économie de plus de 350 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Par exemple, la construction d'une centrale de cogénération de 60 MW permettrait l'économie de 140 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

Le gisement des énergies renouvelables semble prendre une part plus relative. Mais, rappelons que cette étude date de 1996 et, qu'en une décennie, les technologies se sont très nettement améliorées. Toutefois, le développement du solaire thermique semblait déjà avoir un bon potentiel. Théoriquement, 17 % de la demande de chaleur de 1996 pouvait être fournie grâce à ce mode d'énergie. Cette estimation a été obtenue grâce à une quantification des sites d'installation de panneaux solaires (thermiques ou photovoltaïques) par la ville. En 1996, 2 millions de m<sup>2</sup> de toits pouvaient accueillir le développement solaire. En ce qui concerne l'hydroélectricité, la rivière - la « Dreisam » - qui traverse Fribourg et ses canaux dérivés présentaient en 1996 un potentiel énergétique de 700 kW. En 1996, la technologie éolienne en était encore à ses balbutiements, par conséquent, elle ne présentait pas un potentiel véritablement notable. En revanche, la biomasse était déjà une piste considérée, la ville est au pied de la Forêt Noire, c'est pourquoi la ressource ne manque pas ; grâce au seul nettoyage des forêts de la ville de Fribourg, 6 000 tonnes de bois pouvaient être directement utilisées pour le bois énergie.

L'Öko Institut a considéré que les économies potentielles du secteur des transports n'étaient pas très importantes, 7 % tout au plus des réductions totales des gaz à effet de serre. La mesure qui semblait la plus porteuse était le transfert des déplacements en véhicules particuliers motorisés vers des modes plus respectueux de l'environnement. Il faut savoir que les parts de marchés des transports en commun et des « modes doux » sont déjà très importants à Fribourg. Nous pouvons penser que le potentiel était malgré tout supérieur.

Le rapport « Klimaschutzkonzept » démontre qu'en 1996, il était possible de réduire théoriquement les gaz à effet de serre de 59 % d'ici 2010. Seulement, d'après l'Öko Institut, des objectifs si élevés auraient eu des conséquences sur le développement économique du territoire. Le seuil d'une réduction des gaz à effet de serre économiquement rentable s'arrêtait à 19 % ; au delà, la mise en place des mesures présentait un rendement direct déficitaire. La ville de Fribourg a choisi d'engager une baisse de 25 % des gaz à effet de serre, un objectif au delà du seuil de rentabilité à court terme ; afin que l'investissement supplémentaire ne soit pas directement à la charge des particuliers, il a fallu activer l'aide publique. Cette étude du potentiel de réduction des gaz à effet de serre nous donne une idée des domaines les plus porteurs.



## 2.2 Un énorme potentiel de réduction des consommations dans les bâtiments

Comme l'indique le graphique (figure 102), les consommations actuelles moyennes dans le résidentiel et le tertiaire avancées par l'observatoire de l'énergie et l'INSEE sont les suivantes : l'ensemble des résidences françaises (bâtiments avant et après 1975) présente des consommations de chauffage de 210 kWh/m<sup>2</sup>/an, d'eau chaude sanitaire de 37,5 kWh/m<sup>2</sup>/an et d'électricité à usage spécifique de 1 000 kWh/pers/an. Dans le tertiaire, les consommations unitaires de chauffage s'élèvent à 196 kWh/m<sup>2</sup>/an, 7 kWh/m<sup>2</sup>/an pour l'eau chaude sanitaire et 96 kWh/m<sup>2</sup>/an pour l'électricité à usage spécifique. Le savoir-faire actuel dans le domaine du bâtiment permet aisément de diviser par quatre ces consommations. Bien que la dernière réglementation thermique (RT 2005) exige une performance énergétique de seulement 125 kWh/m<sup>2</sup>/an, il est possible d'atteindre des performances de 70 kWh/m<sup>2</sup>/an avec les méthodes de construction ou de rénovation basse énergie voire de diviser par 20 les besoins d'un bâtiment par rapport à la moyenne française en employant la méthode de la « construction passive » déjà relativement répandue outre Rhin (label Passiv Hauss<sup>215</sup>), en Suisse (label MinergieP) et en Autriche.

En France, des exemples de quartiers entiers à basse énergie sortent de terre dans plusieurs villes (Grenoble, Limoges, Narbonne, Mulhouse...). Nous prendrons l'exemple précédemment étudié de la ZAC de Bonne à Grenoble (partie III, 2.4.2), un quartier « durable » encore en construction aujourd'hui. La ville, aidée par la commission européenne, a souhaité atteindre des objectifs ambitieux. Ainsi, lorsque l'on compare ces consommations unitaires moyennes françaises et les meilleurs objectifs de la ZAC de Bonne, on constate que l'on atteint une division par quatre des besoins de chauffage, une division par trois ou presque de l'électricité à usage spécifique, une division par deux des besoins en eau chaude sanitaire dans le résidentiel. Bref, cette opération immobilière s'approche des objectifs « facteur 4 » énoncés dans le rapport parlementaire<sup>216</sup> dirigé par Christian de Boissieu qui visent à diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050.

Un scénario positif est donc tout à fait envisageable dans le domaine du bâtiment. Les technologies sont déjà au rendez-vous, il suffit de diffuser le savoir-faire à l'ensemble des corps de métier du bâtiment. Mais, cela supposerait d'instaurer des réglementations

---

<sup>215</sup> Le label Passiv Hauss est accordé aux logements qui consomment moins de 14 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage.

énergétiques des bâtiments beaucoup plus exigeantes que ne l'est actuellement la RT 2005. Les législateurs ont programmé que la RT 2020 apporte une réduction de 40 % des bâtiments neufs par rapport à la RT 2000, le chemin du facteur 4 semble engagé dans le neuf. Seulement, les trois-quarts du parc immobilier français ont été construits antérieurement à la première réglementation thermique, ce sont de véritables passoires énergétiques, ils consomment en moyenne 328 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage. Il faudrait donc également prendre en charge les bâtiments anciens qui ne répondent à aucun seuil de performance actuellement<sup>217</sup>. L'Etat devra au plus vite considérer cet élément primordial dans les réglementations à venir. Car, comme l'explique Olivier Sidler, pour rénover les 17 millions de logements datant d'avant 1975 en 45 ans, il faut dès maintenant renforcer la performance thermique - en atteignant 50 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage - de 400 000 logements. Comme il se vend 450 000 logements par an, les travaux doivent se faire à chacune de ces ventes. Seul un système coercitif fixé par le gouvernement pourrait permettre d'atteindre cet objectif. Ce seuil de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an - techniquement atteignable par un renforcement drastique de l'isolation notamment mais plus difficile que dans le neuf - est nécessaire dès maintenant car les travaux de rénovation sont réalisés pour une longue durée et il est indispensable de ne pas gaspiller cet immense gisement d'économie d'énergie.

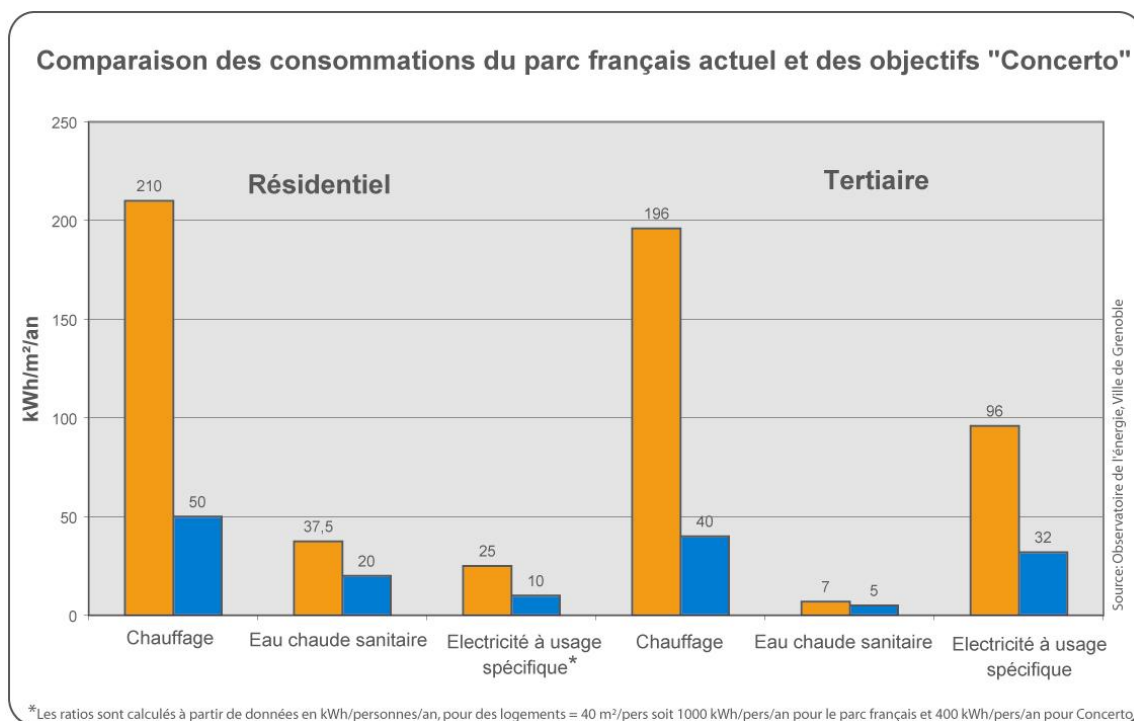


Figure 102 : Les consommations du parc immobilier français et les objectifs *Concerto* à Grenoble.

<sup>216</sup> Rapport du groupe de travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 » sous la présidence de Christian de Boissieu.

<sup>217</sup> Seules les rénovations des bâtiments de plus de 1 000 m<sup>2</sup> sont soumises à un seuil de performance énergétique actuellement. Voir Partie I, 2.4.3.

## 2.3 La remise en cause de la mobilité individuelle

Face à la progression des transports motorisés dans les villes, face à l'accroissement des distances des déplacements, face au poids de la mobilité individuelle motorisée des habitants de la périphérie, que faire pour réduire de façon substantielle les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre liées aux transports ? Quel scénario permettrait de faire face à une augmentation importante du prix du pétrole et de remplir les objectifs facteur 4 à l'échelle des espaces urbains de taille moyenne ?

Loin devant les autres, le mode de transport privilégié est l'automobile. Or, c'est le mode le plus énergivore. Un véhicule essence consomme 8,3 l pour 100 km en milieu urbain et un véhicule diesel consomme 6,9 l au 100. Un véhicule mis en service en 2003 émet en moyenne 154 g de CO<sub>2</sub>/km (norme UTAC<sup>218</sup>). Conserver le même modèle de mobilité urbaine tout en tentant d'atteindre la division par quatre des consommations des automobiles reviendrait à utiliser des véhicules qui ne consommeraient que 2 l au 100 km.

Le progrès technologique a permis d'améliorer nettement les rendements des automobiles. Une voiture mise en service actuellement émettrait 30 % de moins de CO<sub>2</sub> qu'il y a 30 ans. Cependant les véhicules sont, parallèlement, montés en gamme. Ils sont plus puissants et consomment plus. Il est difficile d'affirmer qu'il n'existera pas de véhicules capables de ne consommer que 2 l pour 100 km dans les prochaines décennies ; seulement aujourd'hui les meilleurs résultats sont obtenus par la PRIUS (véhicule hybride) qui consomme 5 l pour 100 km en milieu urbain (norme UTAC) et qui émet 104 g/km ou la Citroën C1 (5,5 l/100 km en milieu urbain). Ces deux exemples montrent que le potentiel de gains d'efficacité porte sur le système moteur - en cela les véhicules hybrides et les véhicules électriques<sup>219</sup> sont intéressants-, sur la puissance et sur le poids des véhicules.

La Commission européenne a pour ambition d'incorporer 10 % d'agrocarburants aux carburants conventionnels mais ceux-ci ne permettront pas, semble-t-il, de combler l'ensemble de la demande étant donné leur faible rendement de production à l'hectare qui les met en concurrence directe avec l'agriculture alimentaire. Le GPL et le GNV restent des solutions très marginales encore aujourd'hui et ne semblent pas offrir un très grand potentiel, certains moteurs diesels et hybrides donnent aujourd'hui des résultats comparables. Bien que le système de la pile à combustible fonctionnant au dioxygène et au

---

<sup>218</sup> L'Union technique de l'automobile, du motocycle et du cycle est chargée de mesurer dans des laboratoires agréés les consommations et les émissions des véhicules neufs. Ces mesures sont effectuées dans des conditions données et ne correspondent pas exactement aux consommations et aux émissions réelles. Les consommations réelles sont en moyenne 17 % plus élevées selon Jean-Marc Jancovici (*Méthodologie du Bilan carbone*).

dihydrogène soit souvent proposé comme une solution alternative qui permettrait de conserver en l'état le système de mobilité, c'est une technologie non aboutie - avec des problèmes de stockage embarqué et de production de l'hydrogène - qui, probablement, n'équipera qu'une part très minoritaire du parc automobile dans quelques décennies (François Roby, 2006).

Pour le mode de vie urbain, les solutions les plus encourageantes sont les véhicules légers équipés de systèmes hybrides voire de systèmes électriques (ex : véhicule alimenté par un panneau solaire...). D'autant qu'en agglomération la motorisation n'a pas besoin d'être aussi puissante qu'elle l'est actuellement, nul besoin d'avoir des véhicules qui vont à 150 km/h pour rouler à une vitesse moyenne de 50 km/h. La voiture citadine de demain fonctionnant à 2 l au 100 ne sera certainement pas aussi racée que les berlines d'aujourd'hui.

Par ailleurs, l'organisation urbaine permet de valoriser des alternatives très efficaces comme les transports en commun ou les modes « doux » pour le déplacement de personnes. D'autant que les véhicules individuels motorisés plus consommateurs seront beaucoup plus indispensables dans le monde rural qui ne peut pas bénéficier de la même diversité de modes de déplacement. De même, le transport de marchandises en milieu urbain sera certainement encore captif de la route.

C'est pourquoi, pour écrire le scénario facteur 4, les urbains devront favoriser les transports collectifs, le co-voiturage, la voiture partagée, le vélo et la marche qui présentent un potentiel d'économie d'énergie considérable. L'exemple donné dans la partie III (2.5.5.1) est très éloquent. La ligne 2 du tramway de Paris consomme six à huit fois moins d'énergie qu'un bus et 13 fois moins qu'une automobile. Et, elle émet 18 à 24 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'un bus et 40 fois moins qu'une voiture. Les transports collectifs de personnes présentent des atouts très intéressants. De la même façon, le transport de marchandises pourrait être rendu collectif, organisé à partir de plateformes de livraisons communes de manière à réduire le nombre de véhicules utilitaires et leurs distances parcourues comme cela est expérimenté à La Rochelle (plateforme Elcidis).

Augmenter sensiblement les parts de marché des transports en commun afin qu'ils atteignent des taux de plus de 30 % comme dans certaines villes allemandes ou suisses-allemandes suppose de modifier les dynamiques d'aménagement du territoire et

---

<sup>219</sup> Les véhicules électriques rencontrent des problèmes de batterie : traitement en fin de vie et autonomie. De plus, la quantité de carbone rejeté dépend du mode de production de l'électricité.

d'urbanisme. La ville devra s'organiser et se polariser autour des dessertes de transport en commun ; lesquels devront avoir la priorité sur les véhicules individuels.

Des systèmes de substitution de la mobilité motorisée privée comme le co-voiturage ou le car-sharing pourraient se développer. Dans toute l'Allemagne, environ 70 000 personnes sont membres d'une des 70 organisations de car-sharing réparties sur le territoire national. Ces citoyens ont choisi de partager une voiture communautaire et donc d'en partager le coût (achat, maintenance, assurance...). En effet, ce système permet de s'affranchir de la possession d'une voiture tout en y ayant accès lorsque la nécessité s'en fait sentir. Le vélo et les vélos électriques sont également des modes de déplacements qui ont de l'avenir.

## **2.4 Le potentiel des énergies renouvelables**

Dans les bâtiments, dans les transports, en améliorant l'efficacité des systèmes de production d'électricité (avec l'installation d'une cogénération sur un réseaux de chaleur par exemple), le potentiel d'économie d'énergie est considérable. Il faut seulement mettre en place les mesures appropriées et dépasser l'inertie ambiante. Mais, les objectifs de division par quatre ne seront certainement pas atteints sans le développement des énergies renouvelables. Nous avons constaté à travers l'analyse de plusieurs villes moyennes européennes (partie III) que certains systèmes présentent de meilleurs rendements de production que d'autres, certains sont plus rentables économiquement et plus propices à se développer selon les contextes géographiques, politiques et économiques. De plus, certains modes d'énergie de flux sont plus aisés à intégrer en milieu urbain. Lesquels sont-ils et quel est leur potentiel ?

### **2.4.1 L'intégration des énergies renouvelables en ville**

Le solaire thermique et le solaire photovoltaïque, le bois énergie, le biogaz, le petit éolien et le grand éolien, la petite, la micro et la pico hydroélectricité ou la géothermie, tous ces modes d'énergie sont adaptés pour être produits en milieu urbain, avec plus ou moins de contraintes.

L'énergie solaire présente un important potentiel, précisément en ville où elle profite des toits bien orientés. Le bois énergie est une solution également très efficace qui peut se substituer au gaz pour approvisionner les bâtiments en chauffage grâce à des poêles ou des chaudières bois individuelles ou un réseau de chaleur collectif. Dans ce dernier cas, il est possible de coupler la production de chaleur à une production d'électricité grâce à un système de cogénération, ce qui double les rendements finaux. Les

systèmes de cogénération sont d'ailleurs particulièrement adaptés pour les sites affichant une forte demande en chaleur comme les quartiers urbains denses par exemple. Le grand éolien génère d'importantes quantités d'électricité et, malgré les contraintes, peut tout à fait équiper des sites périphériques de la ville comme des zones d'activités. Le petit éolien adapté au milieu urbain est en cours de développement, il est de faible puissance mais peut profiter des vents élevés sur les toits des immeubles. Même si le potentiel est peut-être plus important en milieu agricole, le biogaz issu des centres d'enfouissements techniques, des stations d'épuration peut permettre de produire de la chaleur ou de l'électricité. La petite hydraulique équipe déjà des cours d'eau qui traversent l'espace urbain mais elle a encore de l'avenir. Enfin, la géothermie et particulièrement la géothermie haute température, qui nécessite un forage, peut alimenter les bâtiments des villes - la géothermie basse température qui demande beaucoup de surface au sol est plus adaptée au milieu rural ou à la périphérie urbaine. Enfin, nous avons en Île de France plusieurs exemples de réseaux de chaleur urbains fonctionnant à partir de l'énergie du sous-sol (la ville de Chelles par exemple). Pour mieux comprendre le degré d'intégration des énergies renouvelables en ville, il est intéressant d'étudier avec plus de précision le potentiel de trois modes d'énergie renouvelables : le solaire, le bois énergie et l'éolien.

#### **2.4.2 Le solaire en ville, gisement d'énergie et réduction des gaz à effet de serre**

En ce qui concerne l'énergie photovoltaïque, le temps de retour sur investissement actualisé<sup>220</sup> d'un système de 2kWc de cellules intégré au bâti est compris entre quinze ans (à Lille) et 8 ans (à Toulon). Au même titre, le taux de rentabilité interne va de 5 à 12 %. Depuis la loi POPE, la rentabilité économique n'est plus un frein pour le développement des installations de production d'électricité à partir des rayonnements solaires.

La centrale de Champratel à Clermont-Ferrand (Partie III, 2.3.3.1), installée en surimposition sur le toit du centre de maintenance des tramways, est constituée de 1 136 m<sup>2</sup> de capteurs. Avec une puissance installée de 150 kWc, elle produit 143 MWh/an, l'équivalent des besoins en électricité (hors chauffage et eau chaude) d'environ 150 personnes.

Une puissance de 1 kWc nécessite en moyenne les surfaces suivantes : entre 6 et 9 m<sup>2</sup> pour les cellules monocristallines et entre 7 et 10 m<sup>2</sup> pour les cellules polycristallines - les

---

<sup>220</sup> Ces données ont été calculées avec le logiciel de simulation des panneaux photovoltaïques : Calsol. Le TRA est le nombre d'années de production de l'installation photovoltaïque pour rembourser l'investissement en tenant compte du coût de l'argent et de la maintenance.

cellules polymorphes moins répandues occupent une surface comprise entre 15 - 20 m<sup>2</sup>. En fonction du rayonnement solaire - le sud de la France étant de manière générale plus ensoleillé que le nord -, une installation photovoltaïque produit entre 900 kWh/kWc et 1 200 kWh/kWc (Falk Anthony, 2006). Pour estimer le potentiel photovoltaïque de la ville de Limoges, nous considèrerons que la surface moyenne nécessaire pour obtenir 1 kWc installé est 8 m<sup>2</sup> et que la production moyenne est de 1 000 kWh/kWc.

La commune de Limoges compte 73 653 logements dont 20 000 logements individuels et 53 700 logements collectifs, soit 6 000 immeubles (INSEE). Si 2/10<sup>ème</sup> des toits des maisons individuelles étaient équipés d'une installation photovoltaïque de 2 kWc (soit 16 m<sup>2</sup>) et un tiers<sup>221</sup> des toits d'immeubles par des centrales de 10 kWc (80 m<sup>2</sup>), il y aurait, sur le territoire limougeaud, 8 000 kWc installés sur les maisons individuelles et 20 000 kWc sur les toits des immeubles. Ainsi, 28 000 MWh d'électricité seraient produits à partir de l'énergie solaire. Cela correspond à 4 % de la consommation électrique actuelle du territoire<sup>222</sup>. A cela, il faut ajouter le gisement offert par les toits des bâtiments tertiaires et des bâtiments industriels. Notons également que les rendements des cellules photovoltaïques s'améliorent d'année en année. Par contre, en l'état actuel du système de production électrique français, ce scénario de développement du photovoltaïque permettrait d'éviter l'émission de seulement 680 tonnes de carbone, l'équivalent des rejets de 340 limougeauds.

Ce mode d'énergie, bien qu'il ne présente qu'une solution restreinte dans la lutte contre le rejet des gaz à effet de serre - à moins d'alimenter des véhicules électriques - présente malgré tout un potentiel non négligeable, et d'autant plus si les opérations d'économie d'énergie menées parallèlement abaissent la demande.

Le solaire thermique est aussi un mode tout à fait abordable financièrement qui permettrait, lui, d'éviter des rejets de quantités plus importantes de gaz à effet de serre. A l'instar d'un système photovoltaïque, un système solaire thermique s'installe sur les toitures ou sur les toitures terrasses qui sont orientées préférentiellement vers le sud avec un minimum d'ombres portées (comme un bâtiment voisin, un grand arbre...). Il existe plusieurs types d'installations : le chauffe-eau solaire individuel (le CESI assure le préchauffage de l'eau chaude sanitaire), le système solaire combiné (l'installation solaire, de plus grande dimension, est couplé à une solution individuelle au gaz pour fournir l'eau chaude et le chauffage) ou l'eau chaude sanitaire collective. Pour un chauffe-eau solaire

---

<sup>221</sup> Les toits des immeubles sont beaucoup moins sujets aux contraintes de masque que les toits des habitations individuelles.

<sup>222</sup> 670 GWh sont vendus par EDF sur le territoire de la ville de Limoges.

individuel, un capteur de 4 m<sup>2</sup> permet de couvrir 50 % des besoins en eau chaude d'une maison individuelle classique de 3-4 personnes (200 l d'eau chaude), le taux moyen de production de chaleur des capteurs est en moyenne de 500 kWh/an/m<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'eau chaude collective, nous considérerons qu'1 m<sup>2</sup> permet de chauffer entre 50 et 70 l selon les régions, il faut donc en moyenne 2 m<sup>2</sup> par logement. Pour les systèmes solaires combinés, une surface de 15 m<sup>2</sup> permet d'assurer 50 % des besoins en chauffage et en eau chaude pour un pavillon (Dr Felix A. Peuser, 2005).

Si, de la même façon que pour le photovoltaïque, 2/10<sup>ème</sup> des maisons individuelles et un tiers des logements collectifs de la ville de Limoges étaient équipés respectivement de chauffe-eau solaires individuels avec 4 m<sup>2</sup> de capteurs et de chauffe-eau solaires collectifs avec 2 m<sup>2</sup>/logement de capteurs, la commune serait équipée de 51 800 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques qui produiraient 25 730 MWh ou 2 200 Tep<sup>223</sup>, soit l'équivalent de 5,4 % des besoins actuels en chaleur du secteur résidentiel (chauffage : 88 000 Tep et eau chaude appareils indépendants : 9 000 Tep). Cela permettrait d'éviter l'émission de 1 625 tonnes équivalent carbone (en comparaison d'un système au gaz), soit l'équivalent des émissions de 810 habitants<sup>224</sup>. Le gisement de réduction des consommations d'énergie et des gaz à effet de serre serait presque quadruplé et atteindrait 20 % si l'on équipait ces logements avec des systèmes solaires combinés qui assureraient une partie du chauffage des logements - les dimensionnements de capteurs seraient quatre fois plus importants. L'énergie solaire thermique est un atout certain à développer sur les bâtiments consommateurs d'eau chaude et de chauffage du résidentiel, du tertiaire et du secteur industriel. Elle représente un important potentiel, d'autant qu'elle se substitue souvent à des énergies fossiles (gaz, fioul...).

### 2.4.3 Le bois énergie

La ressource bois se présente sous forme de bûches, de granulés, de plaquettes forestières ou de briques à plusieurs origines. Elle peut être d'origine forestière ou bocagère, provenir de produits connexes de l'industrie du bois ou enfin être du bois de déchets ou de rebut. Le gisement de la ressource en milieu urbain est, certes, moins important qu'en milieu rural mais il n'est pas inexistant. Les travaux d'entretien et d'élagage des arbres d'alignement des villes, et des parcs et forêts urbaines génèrent une ressource valorisable. L'entretien (50 % élagage et 50 % abattage des vieux arbres) de 100 arbres d'alignement produit 4 à 6 tonnes par an de sous-produits ligneux (J-C Pouët, 2007).

---

<sup>223</sup> Ces données ont été calculées avec le logiciel de simulation des panneaux solaires thermiques : Calsol.

<sup>224</sup> Conversion des unités : 1 MWh à partir de l'énergie solaire thermique = 0,086 Tep, 1 Tep de gaz = 0,739 TeC.



D'autre part, le gisement du bois de rebut (palettes, cageots, portes, poteaux téléphoniques...) est généralement plus important en ville, à proximité de l'activité industrielle.

Le potentiel énergétique présenté par le bois est très intéressant. Les exemples des réseaux de chaleur de La Rochelle et de Grenoble l'ont démontré. Le chauffage urbain de La Rochelle qui fonctionne à 50 % à partir de la ressource en bois - le reste étant assuré par une cogénération au gaz - produit 24 000 MWh/an et permet d'éviter l'émission de 3 000 teCO<sub>2</sub>.

Le bois peut-être également valorisé par les particuliers dans des cheminées (les foyers ouverts ont un mauvais rendement de 5-15 % alors que les inserts ont des rendements de 30 à 70 %), dans des poêles (rendements entre 40 et 85%), ou des chaudières - les chaudières automatiques ont un rendement automatique de 70 à 85 % et une autonomie pouvant atteindre plusieurs mois (sources : ITEBE, Institut des bioénergies).

En prenant à nouveau l'exemple de la ville de Limoges, nous pouvons raisonnablement supposer (au regard de la ressource disponible et de l'organisation de la filière) que 20 % des maisons individuelles et des logements collectifs pourraient être approvisionnés en chaleur par des systèmes à bois énergie d'ici 2050. Dans ce cas, environ 15 000 logements seraient chauffés grâce à cette énergie renouvelable, ce qui permettrait d'économiser 17 600 Tep ou 1,5 GWh. C'est aussi 11 400 TeC qui seraient évitées, l'équivalent des émissions de 5 700 habitants. Pour cela, il faudrait 5 800 tonnes d'équivalent plaquette. La question de la production de la ressource et de l'organisation de la filière de distribution serait donc primordiale pour rendre possible cette hypothèse.

#### **2.2.4 Le potentiel de l'éolien en ville**

Selon les sites, les temps de retour sur investissement du grand éolien sont compris entre 7 et 15 ans et le taux de rentabilité interne s'échelonne entre 7 et 25 %<sup>225</sup>. Cette filière est actuellement en plein essor et produit d'importantes quantités d'électricité, bien que son intégration en milieu urbain soit soumise à de très nombreuses contraintes. Un seul parc de six machines de 2 MW est à même de produire plus de 30 000 MWh, soit les besoins en électricité d'usage spécifique (hors chauffage et eau chaude) de 30 000 personnes. Le gisement du grand éolien est très intéressant.

---

<sup>225</sup> Selon la SARL ENCIS WIND.

Pour l'instant, le petit éolien n'offre pas, en milieu urbain, un grand potentiel car la technologie est encore à l'état de recherche et de développement. Pourtant, l'équipement des toits des immeubles présente un gisement de vent intéressant. Mais il est soumis à plusieurs contraintes, techniques et réglementaires. Le petit éolien urbain devra s'adapter à des vents rendus très turbulents par la grande quantité d'obstacles. En cela, les éoliennes à axe vertical semblent les mieux adaptées. Par ailleurs, la réglementation en matière d'éolien comporte des lacunes qui pénalisent le petit éolien en milieu urbain, les éoliennes qui dépassent une hauteur de 12 m - y compris la hauteur des bâtiments - sont soumises à la demande d'un permis de construire ainsi qu'à une notice d'impact sur l'environnement, des procédures coûteuses et des délais très longs qui brident le développement du petit éolien en ville. De plus, la loi POPE du 13 juillet 2005 restreint l'obligation d'achat du kWh éolien aux projets qui sont dans des zones de développement éolien. Ces zones prennent rarement en compte le petit éolien, ce qui réduit d'autant sa rentabilité économique. Nous avons pour l'instant trop peu de certitudes pour annoncer le potentiel du petit éolien urbain.

## **2.5 Le gisement d'économie d'énergie et d'énergie renouvelable permettrait-il d'atteindre le facteur 4 dans les villes moyennes?**

La combinaison des actions de réduction des consommations d'énergie (fossiles) et de développement des énergies renouvelables présentée dans ce chapitre offre des potentialités qui laissent supposer que, d'ici 45 ans, un scénario facteur 4 est possible à l'échelle d'une ville de taille moyenne tout en conservant un niveau de vie et de développement sensiblement similaire à celui d'aujourd'hui. Le gisement d'économie d'énergie est très important dans les secteurs résidentiels et tertiaire, et plus généralement dans le domaine des bâtiments, mais il est important d'engager les réformes au plus vite. Par contre, il semble que la mobilité individuelle motorisée est à remettre en question. Pour conserver cette « liberté individuelle d'aller et de venir » si chère aux occidentaux, il sera absolument nécessaire de proposer sur le marché des véhicules beaucoup plus légers avec de bien meilleurs rendements qu'aujourd'hui. De plus, il est évident, qu'en milieu urbain, une part notable des déplacements en voiture devra être transférée vers les transports en commun beaucoup moins énergivores - surtout les modes sur rail - et vers les modes « doux ». Cela nécessitera et entraînera un réagencement des structures et des formes urbaines.

Par ailleurs, les énergies renouvelables ont le potentiel nécessaire pour combler les manques à gagner pour atteindre la division par 4 des ressources fossiles à l'issue des

opérations d'efficacité énergétique. Le solaire photovoltaïque ou l'éolien ont un grand avenir ; cependant, en France, les meilleurs moyens de lutter contre le changement climatique sont de produire de la chaleur à partir des énergies renouvelables. En cela, le bois énergie, le solaire thermique, le biogaz, la géothermie présentent un bon potentiel à valoriser.



## Chapitre 3. Les incidences du facteur 4 sur l'aménagement du territoire

Accroître les parts de marché des transports en commun, développer l'énergie solaire, favoriser les apports solaires passifs pour les bâtiments, réduire les distances de transport des personnes et des marchandises, s'adapter à un pétrole de plus en plus cher et de plus en plus rare aura des liens de causalité et de conséquence très forts sur l'urbanisme des villes de taille moyenne et, plus généralement sur l'aménagement du territoire.

### 3.1 Vers une nouvelle forme d'urbanisme

La seconde partie avait permis d'exposer les liens entre la morphologie urbaine et les consommations d'énergie. Dans la troisième partie, des stratégies intéressantes pour agir à travers ces questions d'urbanisme ont été proposées. Il ressort de ces deux approches plusieurs principes qui permettraient de réduire substantiellement les besoins énergétiques des villes.

- La polarisation et la densification de qualité (pour réduire les déplacements, assurer la viabilité des réseaux de chaleurs...),
- la diversification des affectations du sol,
- l'augmentation de la compacité des bâtiments (renforcer la part de l'habitat collectif),
- la coordination entre l'urbanisation et les transports publics,
- l'aménagement de la voirie publique pour favoriser les « modes doux » et les transports publics,
- et l'orientation au sud des bâtiments et des toitures (pour favoriser les apports solaires passifs et le développement des panneaux solaires).

Dans la perspective facteur 4, la ville moyenne économe en énergie pourrait alors avoir le visage d'une agglomération polynucléaire constituée d'une ville centre et de pôles

secondaires. La ville centre serait dense tout en restant aérée. Réunissant les fonctions centrales mais pas de manière sectorisée, elle serait divisée en quartiers, eux-même densifiés avec qualité regroupant des fonctions urbaines, autant que possible, mixtes et diverses (habitats, commerces, services, emplois, loisirs). Alors que l'automobile subirait des contraintes sur la voirie, les transports en commun et les modes « doux » y auraient un espace prioritaire. Les pôles secondaires périurbains seraient assez denses et diversifiés (habitats, loisirs, commerces et services de proximité, quelques emplois). Avec des pôles secondaires renforcés, l'extension urbaine et le mitage périphérique pourraient être contenus. Ces pôles périurbains resteraient reliés à la ville centre et entre eux par des réseaux de transport en commun en site propre efficaces. L'urbanisation se construirait et se renouvellerait autour de ce réseau.

Pour bénéficier des apports solaires passifs, les nouveaux quartiers seraient orientés vers le sud. Bien que dans les quartiers anciens denses, cela semble complexe, il est important d'éviter ou de résorber les masques qui porteraient des ombres significatives sur les logements et sur les toitures qui accueilleraient des panneaux solaires. Ces aspects doivent être prévus dans la planification des nouveaux quartiers et dans la réhabilitation des zones existantes. De manière à ce qu'un immeuble voisin ne fasse pas obstacle, même l'hiver, lorsque le soleil est au plus bas de son zénith, les voies et l'espace public entre les bâtiments doivent être suffisamment larges. Les voies et l'aménagement de l'espace public sont établis pour plus d'un siècle. Alors si l'on veut favoriser la construction passive ou l'énergie solaire, il est primordial d'intégrer les conditions bioclimatiques dès maintenant dans l'urbanisme. Bien sûr, ces conditions sont difficilement applicables à l'ancien ou même aux constructions neuves situées en centre ville, mais ces notions devraient être prises en compte autant que faire se peut.

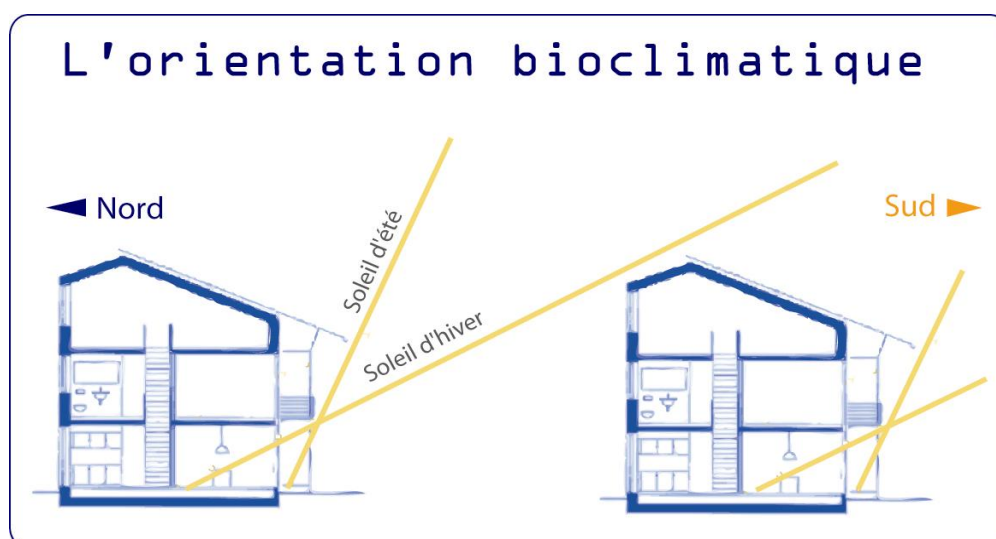


Figure 103 : L'orientation bioclimatique des constructions du « village solaire » à Fribourg.

Dans le « village solaire » de Fribourg, les pièces principales des logements profitent au maximum de la chaleur solaire grâce à une orientation au sud. La distance entre les rangées d'habitation est conçue de manière à ce que, même en période hivernale, les rayons du soleil atteignent le rez-de-chaussée des bâtiments édifiés en retrait. En revanche, la chaleur d'été n'en est pas pour autant exponentielle puisque le rayonnement, dont l'inclinaison est accentuée en été, se voit alors stoppé par des visières formées par l'avancée de la toiture photovoltaïque et les balcons (voir figure 103).

### **3.2 La modification de la relation ville/campagne**

Le système mondialisé dans lequel nous évoluons actuellement est fondé sur la rapidité des échanges culturels, politiques et économiques entre les différentes nations du monde. Il est donc rendu possible par les nouvelles technologies de communication et sur des modes de transports qui réduisent considérablement les temps de parcours. La distorsion entre les temporalités et l'espace géographique est liée à un pétrole bon marché. Les échanges de matières premières, de produits finis, de denrées alimentaires - dont l'intensité est accrue par la société de consommation - par les voies maritimes, routières, aériennes ou par le rail sont ainsi fortement dépendants du cours de l'or noir. La production industrielle, la production agricole ainsi que le transport des produits consommés par les citoyens nécessitent de grandes quantités d'énergie. Dans la perspective d'une raréfaction des ressources pétrolières, du renchérissement de l'énergie et dans un contexte de lutte contre le changement climatique, la société de consommation ainsi que le système mondialisé seraient-ils sur la brèche ? Il serait audacieux de répondre à cette interrogation en un seul paragraphe, cela nécessiterait une étude prospective très approfondie ; cependant, nous pouvons supposer qu'un contexte tel, qui engendrerait une baisse de l'intensité des échanges, serait suivi d'un certain phénomène de relocalisation de l'appareil productif - au moins pour les produits transportés par les modes les plus énergivores : l'avion et la route. En ce qui concerne l'alimentation, qui, comme nous l'avons vu dans le bilan carbone de Bourges (Partie II), est à l'origine d'une part notable des émissions de CO<sub>2</sub> du territoire, ce scénario pourrait entraîner une diversification et une augmentation de l'activité agricole des espaces ruraux proches.

Aujourd'hui, c'est l'économie résidentielle qui domine dans les espaces ruraux, au sens où ce sont les « rurbains » qui font vivre les campagnes, entraînant, par là-même, une concurrence autour du foncier au détriment des espaces agricoles (Philippe Perrier-Cornet, 2002). Le scénario de la relocalisation serait plus propice à un retour du rôle de « garde manger » pour ces territoires à vocation agraire. Car, à défaut d'importer les produits de

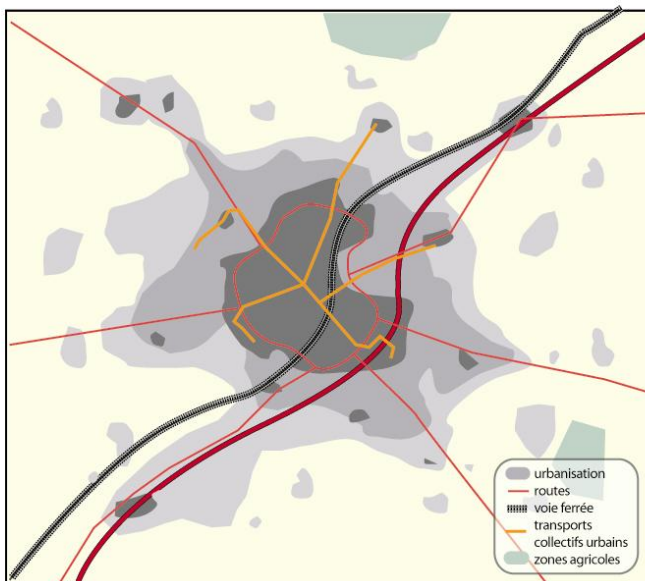
l'étranger, ou même d'autres régions (E. Bailly, 2007), les citoyens se tourneraient alors vers des « circuits courts », favorisant les producteurs locaux et les aliments de saison.

Cet ensemble de considérations nous a amené à réaliser une illustration qui synthétise les dynamiques de ce modèle d'aménagement urbain durable en opposition avec le modèle de développement urbain actuel (voir figure 104).



## De la ville moyenne diffuse à la ville durable

### La ville diffuse

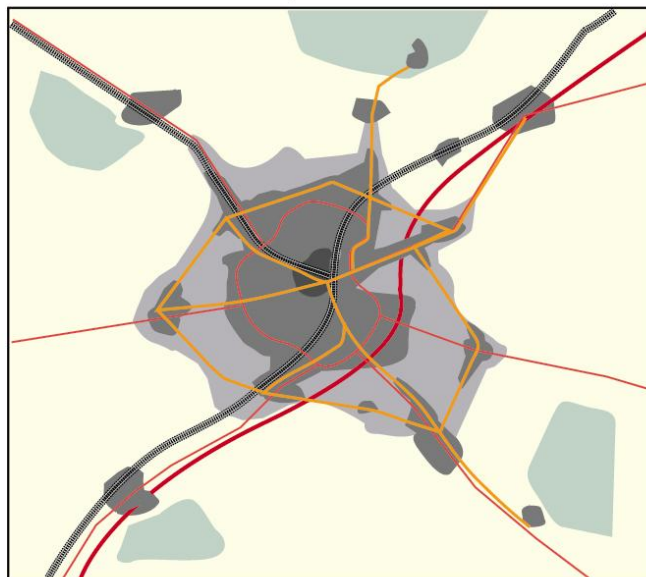


- forme étalée et zonée
- "tout routier"
- faible développement des TC
- "rurbanisation"
- faible développement des ENR
- recul de l'activité agricole

### La ville zonée

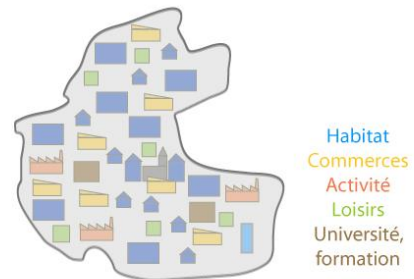


### La ville dense et polarisée



- forme compacte
- renforcement des pôles
- diversité des fonctions à l'échelle des pôles et des quartiers
- développement des TC
- maîtrise de l'énergie
- développement des ENR
- reconquête agricole en périphérie
- développement des "circuits courts"

### Des quartiers aux fonctions diverses



Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB UMR 6042 CNRS

Figure 104 : De la ville moyenne diffuse à la « ville durable ».



# Chapitre 4. Des exemples contemporains d'aménagement urbain durable

A travers les réflexions des chapitres précédents, il a été possible de dresser un tableau des différents principes d'identité, d'aménagement, d'architecture ou de mobilité qui pourraient structurer les villes moyennes en 2050 dans la perspective « facteur 4 ». Concrètement, existerait-il dès lors des espaces urbains contemporains que l'on pourrait ainsi qualifier de durables ? La ville moyenne durable existe-t-elle déjà ? Sûrement, mais en Europe, force est de constater que l'écologie urbaine se limite souvent à de rares quartiers. Les exemples du quartier de Vauban et du quartier de Bedzed sont très convaincants, mais peuvent-ils être déclinés à des agglomérations entières ?

## 4.1 Le quartier Vauban

La ville allemande de Fribourg a transformé une friche militaire en un quartier durable exemplaire. La construction du quartier Vauban est un cas d'école couramment cité pour sa prise en compte de l'environnement et pour sa politique « sans voiture ». Une participation citoyenne forte a caractérisé la mise en œuvre de cet aménagement.

Les objectifs qui sont ressortis de cette planification sont multiples, ils prennent en compte une grande partie des cibles du développement durable :

- La protection de la nature : préservation du biotope de la petite vallée et du ruisseau, conservation des arbres les plus anciens.
- La mixité sociale.
- La mobilité : priorité des piétons, des cyclistes et des transports publics, offre de service et d'emploi.
- La diversité des fonctions : offre de commerces et de services, offre de services publics (garderies, école), offre d'emplois in situ.
- Un cadre de vie de qualité : création d'espaces verts, diversité architecturale.

- Les économies d'énergie et les énergies renouvelables : équipement d'un réseau de chaleur à partir d'une centrale de cogénération, construction de logements « basse consommation d'énergie ».

En matière d'énergie et de lutte contre le changement climatique, le quartier Vauban correspond en de nombreux points au modèle de développement urbain durable qui pourrait permettre d'atteindre des objectifs ambitieux de division par quatre des consommations d'énergie, à une petite échelle. Les urbanistes et les architectes y ont combiné la densité et la diversité des fonctions (habitat, commerces, école, bureaux...), la performance énergétique des bâtiments, l'orientation au sud, le développement des énergies renouvelables (solaire, bois et biogaz) et la mobilité durable (tramway, car-sharing, pistes cyclables...).

#### **4.1.1 Des bâtiments à basse et très basse consommations d'énergie**

Grâce à un cahier des charges restrictif, l'aménagement final est particulièrement dense - environ 13 000 habitants par km<sup>2</sup> vivent dans des immeubles collectifs de trois à cinq étages - constitué de bâtiments à basse consommation d'énergie, de constructions passives et, même, des constructions à énergie positive (voir figure 105).

##### **Les constructions selon le standard « habitat à basse consommation d'énergie »**

Tous les bâtiments du quartier Vauban répondent au minimum à un standard « habitat à basse énergie » qui correspond à une consommation maximale de chauffage comprise entre 50 kWh et 65kWh/m<sup>2</sup>/an, soit une performance 30 % plus restrictive que la réglementation allemande. Ce groupe de bâtiments compacts qui représente 65 % environ des constructions est quatre fois moins consommateur que les logements existants antérieurs à 1984.

##### **Les constructions selon le standard « Passiv-Haus »**

Le premier bâtiment de logements collectifs correspondant à des critères de « Passiv Haus » a été construit à Fribourg, dans le quartier Vauban. C'est une initiative citoyenne qui a permis le développement du concept « Passivhaus Wohnen und Arbeiten »<sup>226</sup>. Environ un dixième des logements du quartier ont été édifiés selon ce standard. Il a ainsi été prouvé qu'il est possible de construire des logements dont les

---

<sup>226</sup> Traduction de l'allemand : « la maison passive pour habiter et pour travailler ».

besoins en chauffage n'excèdent pas 15 kWh/m<sup>2</sup>/an et dont les surcoûts par rapport à un logement neuf conventionnel allemand sont seulement de 7 % (Darmstadt Institut).

Un habitat passif est par définition un logement qui ne nécessite pas de chauffage actif conventionnel tel un chauffage central. Ce type de construction est qualifié de « passive » car elle permet de maintenir un niveau de température confortable essentiellement grâce aux apports du rayonnement solaire, à l'isolation, au système de ventilation et aux gains internes. En général, dans les maisons passives individuelles, l'apport de chaleur restant se fait grâce au préchauffement de l'air délivré par le système de ventilation. Dans ce cas là, une petite cogénération fournit l'appoint de chauffage. Pour bénéficier du label « Passiv Haus », la construction doit afficher une consommation d'énergie de chauffage inférieure à 15 kWh/m<sup>2</sup>. Or, les logements « Passiv Haus wohnen und arbeiten » respectent ce quota. Durant les deux années qui suivirent la construction, la demande de chauffage n'a pas excédé 13 kWh/m<sup>2</sup>/an. Les principes majeurs de cette forme de construction résident en 7 points :

- l'isolation thermique (l'enveloppe de ces bâtiments est au moins deux fois plus isolante que celle d'un bâtiment conventionnel),
- l'orientation au sud,
- le système de ventilation (l'air nouveau est acheminé vers l'immeuble après avoir récupéré dans le sol quelques calories, il est ensuite préchauffé à l'aide d'un échangeur de chaleur qui permet de ponctionner les calories de l'air chaud qui est évacué),
- les gains internes,
- les énergies renouvelables (60 % de l'eau chaude sont fournis par les panneaux solaires thermiques disposés sur le toit des immeubles. Des panneaux solaires photovoltaïques ont également été installés sur les bâtiments et utilisés comme visière contre le soleil d'été. Un système de collecte les excréments et l'urine dans un digesteur afin de produire du biogaz).

Les résultats de ces constructions passives sont très satisfaisants car, comme on l'a indiqué auparavant, la demande en chaleur n'excède pas 13 kWh/m<sup>2</sup>/an, la demande en eau chaude est de 23 kWh/m<sup>2</sup>/an mais rappelons qu'elle est fournie à 60 % grâce à l'énergie solaire. L'électricité nécessaire pour la ventilation représente 9 kWh/m<sup>2</sup>/an et le biogaz produit s'évalue à 5 kWh/an/m<sup>2</sup>. Au total, un logement d'un immeuble de standard

« Passivhaus Wohnen und Arbeiten » consommerait, tout compris, 53 kWh/m<sup>2</sup>/an alors que le taux d'un logement neuf se situerai plutôt aux alentours de 200 kWh/m<sup>2</sup>/an.

# Plan de Vauban, quartier durable de Freiburg-im-Brigau

Mobilité et consommation d'énergie dans les bâtiments



Figure 105 : Plan de Vauban, le quartier durable de Fribourg (All.).

## Les bâtiments à énergie positive

La partie Nord-Ouest du quartier Vauban se nomme le « village solaire ». C'est l'architecte Rolf Disch qui a enclenché et porté cette initiative d'un montant total de 23 millions d'euros. Deux hectares du quartier Vauban ont été investis par des bâtiments à énergie positive qualifiés de « Plusenergiehaus » par leur concepteur. L'opération du « Solarsiedlung » (le village solaire) s'est effectuée en deux temps. Dans un premier temps, cinquante-huit logements ont été construits selon les principes des « Plusenergiehaus ». Et dans un second temps, le navire solaire « Sonnenschiff » est sorti de terre.



Figure 106 : Plan et photographies du « village solaire » à Fribourg.

La caractéristique d'un bâtiment « Plusenergiehaus » est de produire l'énergie nécessaire à son fonctionnement grâce aux énergies renouvelables et plus encore, de produire un surplus d'énergie qu'il est possible de revendre. Quand on emprunte le porche sous le « sonnenschiff » qui permet d'aller de la rue principale, *Merzhauser strasse*, aux



habitations « Plusenergiehaus », le concept de maison positive est tout de suite apparent. L'ensemble des maisons d'habitation est équipé d'une toiture photovoltaïque intégrée. Ainsi, chaque maison n'est autre qu'une centrale solaire d'une puissance de 3 à 12 kW en fonction de la taille du toit. Les bâtiments sont construits sur le principe de la maison passive. Ces maisons mitoyennes de deux ou trois étages sont très bien protégées thermiquement (40 cm de laine de verre, suppression des ponts thermiques...), orientées parfaitement au sud, et possèdent une ventilation avec échangeur de chaleur...

Le Sonnenschiff, un bâtiment construit perpendiculairement aux lignes de maisons de solarsiedlung fait ainsi écran entre le village solaire et la rue *Merzhauser*. Ce grand bâtiment - 120 m de long pour 20 m de haut - accueille des bureaux, des commerces et des logements sous le même toit...« solaire », il va de soi. En effet, au rez-de-chaussée on trouve une supérette *Al Natura*<sup>227</sup>, une cafétéria, etc. tandis que les deux étages du dessus sont consacrés à l'activité de bureaux. L'Öko Institut<sup>228</sup> y a des locaux, par exemple. Enfin, neuf maisons d'habitation « Plusenergiehaus » sont réparties sur le toit. La demande en énergie des bureaux et des commerces est également très basse mais pas autant que pour les « Plusenergiehaus », elle atteint de 10 à 20 kWh/m<sup>2</sup>/an selon la situation du local dans le bâtiment ; car, hormis les habitations en terrasse, ce grand bloc n'est pas orienté idéalement pour recevoir l'énergie solaire passive, toutefois cette lacune est quelque peu compensée par la compacité du bâtiment, il y a de cette manière moins de pertes de chaleur que dans un bâtiment filiforme.

La demande restante en chauffage du « Solarsiedlung » est alimentée par 500 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques disposés sur le toit du navire solaire ainsi qu'une centrale de cogénération à base de copeaux de bois. Par ailleurs, environ 550 MWh sont produits annuellement grâce aux panneaux photovoltaïques de la section solaire de Vauban.

#### **4.1.2 Un réseau de chaleur au bois**

Exception faite des maisons passives et positives qui n'ont plus véritablement de besoins en chauffage, les bâtiments du quartier Vauban sont chauffés grâce à un réseau de chaleur équipé d'un système de cogénération. Cette centrale alimentée à 80 % par des copeaux de bois et à 20 % par du gaz naturel produit, de façon combinée, de la chaleur et de l'électricité avec un très bon rendement de 75 %. Cette production d'électricité associée à celle générée par les toitures photovoltaïques permet de couvrir 65 % de la demande d'électricité du quartier (voir photographie 10).



Photographie 20 : la chaufferie au bois équipée d'une cogénération, quartier Vauban (All.).

#### 4.1.3 Un quartier à mobilité durable

Les porteurs de projet ont décidé de réaliser un quartier contraignant pour les déplacements en automobile qui favorise les transports en commun et les modes « doux » (vélo, marche). Le tramway est la colonne vertébrale du quartier, il relie le quartier au centre ville en cinq à dix minutes. Les piétons et les cyclistes sont rendus prioritaires par rapport aux automobilistes. La circulation y est limitée à 30 km/h sur l'axe central la *Vaubanallee* et à 10 km/h dans l'ensemble des rues desservant les résidences. Les deux seules voies sur lesquelles il est autorisé de circuler à 50 km/h sont en périphérie du quartier *Merzhauser strasse* et *Wiesental strasse* (voir figure 105).

Parallèlement, dans la plus grande partie du quartier, il n'est pas possible de se garer sur la voirie. Un nouveau concept de stationnement y est appliqué. Les aménageurs ont pris le parti de renoncer aux garages et places de stationnement individuelles devant les logements. Pour les habitants qui n'ont pas renoncé à posséder un voiture - la majorité d'entre eux en fait - des places de parking collectif à étage en périphérie du quartier sont proposées à l'achat en même temps que les logements. Enfin, plusieurs véhicules de car-charing sont parqués dans le quartier.

A l'échelle d'un quartier, Vauban réunit les meilleures conditions pour atteindre les objectifs de réduction des consommations d'énergie et des gaz à effet de serre que le GIEC

---

<sup>227</sup> Supermarché vendant essentiellement des produits naturels et biologiques.

<sup>228</sup> Société de consulting en environnement et développement durable d'envergure européenne.

préconisait dans son dernier rapport sur le changement climatique. Les aménageurs ont su traiter aussi bien les questions d'architecture, d'urbanisme, de production d'énergie ou de mobilité pour en faire une vitrine écologique. Le seul bémol de cette opération concerne l'appropriation des lieux par les habitants. En effet, il semble que les objectifs de mixité sociale n'aient pas été atteints, le quartier a été investi par une certaine catégorie de la population (« écologistes » et classes moyennes « intellectuelles »).

## 4.2 L'exemple du quartier de Bedzed (Sutton)

Le quartier Bedzed (Beddington Zero Energy Development) est le premier et le plus important quartier « zéro émission de carbone » du Royaume-Uni. Il a été mis en œuvre par *Peabody Trust*, une association de promotion immobilière de Londres, et *Bio régional Development Group* en partenariat avec l'architecte Bill Dunster et les Ingénieurs de construction d'*ARUP* qui ont mis au point le concept ZED (Zero Energy Development).

Ce quartier, à 25 min du cœur de Londres en train, est un modèle de développement urbain durable qui regroupe, dans un aménagement dense, 82 logements et 2 500 m<sup>2</sup> de commerces et de bureaux. Tout a été pensé pour y réduire les besoins en énergie et en eau, pour faciliter le recyclage des déchets et des eaux usées, pour limiter les déplacements en automobile des habitants, mais aussi pour réduire l'énergie et les pollutions liées à la construction du quartier et à son fonctionnement. L'accent a notamment été mis sur l'énergie grise liée à l'alimentation.

Les architectes ont conçu des bâtiments très économes en énergie orientés au sud. La chaleur solaire passive et la lumière naturelle sont captées à travers des verrières en double vitrage qui s'étendent sur trois étages. Combiné à une isolation renforcée et un système de ventilation passive (cheminées colorées), cela a permis d'éviter l'installation d'un chauffage central. Les besoins en chauffage sont dix fois moins importants à BEDZED que dans des logements conventionnels (source : Bio Regional).

L'énergie consommée sur place provient à 100 % de ressources renouvelables. Une installation de cogénération de 130 KW fonctionnant à partir de déchets de bois fournit la demande en chaleur et en électricité. 777 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques sont installés sur les toits des bâtiments et intégrés dans les verrières (voir photographie 21). Cela produit suffisamment d'électricité pour alimenter 40 véhicules. Des bornes de charge pour voitures électriques équipent certaines places de parking. Les véhicules automobiles sont parkés en frontière du quartier, dont le cœur reste piéton. D'ailleurs, seulement 84

places de parking sont disponibles contre 180 pour une opération immobilière standard de même ampleur. La conception du quartier a, de manière plus générale, fait l'objet d'un plan de mobilité pour réduire les besoins en déplacements, promouvoir les transports publics (proximité de la gare) et offrir des alternatives à l'automobile. Le quartier est multi-fonctionnel. Les résidents peuvent habiter et avoir leur emploi sur le même site - c'est une solution optimisée pour les professions libérales. Le quartier est équipé en loisirs (bar, salle de sport, centre culturel) et propose les services d'une crèche. Les commerces alimentaires les plus proches étant à 2 km, les résidents sont incités à faire leurs courses « en ligne » par internet. Les produits sont alors livrés à plusieurs familles en même temps afin de limiter le nombre de déplacements. Ce système de livraison coordonnée est valable pour les produits de supermarché et pour les produits frais locaux. Un système de voiture partagée (ZED cars) permet aux habitants de se libérer de la voiture tout en y ayant accès si un trajet le nécessite. Ce plan de mobilité devrait permettre d'éviter l'émission de 1,3 tonnes de CO<sub>2</sub> par habitant par an.

Nous nous attardons sur cet exemple précisément car lors de la conception de ce quartier, les porteurs de projet ont considéré l'impact des consommations indirectes. Produire et transporter les aliments représente une part importante de l'énergie induite par le fonctionnement des territoires. Le projet Bedzed a intégré cette variable afin qu'un réseau de producteurs de produits frais locaux approvisionne en aliments des résidents. D'autre part, des petites parcelles agricoles jouxtent les habitations et certains des habitants cultivent leur propre fruits et légumes.

Enfin, les matériaux de construction ont été sélectionnés dans le but de minimiser les impacts environnementaux. Les structures en acier et en bois ont été récupérées sur des chantiers de démolition. Plus de la moitié des matériaux utilisés proviennent d'une zone d'un rayon de 56 kilomètres afin de minimiser le transport de marchandises.



Cliché : Sylvain Le Roux

Photographie 21 : Face sud d'un bâtiment du quartier Bedzed à Sutton (R-U).



Cliché : Sylvain Le Roux

Photographie 22 : Face Nord d'un bâtiment du quartier Bedzed, Sutton (R-U).

### 4.3 Et à l'échelle des villes moyennes ? A-t-on franchi le pas ?

Les deux chapitres précédents ont été consacrés à la présentation de deux modèles d'aménagement urbain durable, un en Allemagne et un au Royaume-Uni. Il en existe plusieurs autres en Europe : la ZAC de Bonne à Grenoble (Fr), le quartier de Kronsberg à Hanovre en Allemagne (15 000 personnes d'ici 2010), le quartier d'Inner Vesterbro à Copenhague au Danemark (34 000 personnes), le quartier Bo 01 à Malmö (10 000 personnes) ou celui de Hammarby Sjöstad à Stockholm (30 000 personnes d'ici 2010) en Suède. Souvent, ces quartiers durables sont des constructions entièrement neuves. Certains aménagements concernent l'ancien, à Vauban ou à Inner Vesterbro par exemple. Mais, dans le cadre de cette recherche, nous n'avons pas découvert de ville moyenne « durable ». Entre appliquer les principes de développement durable à une opération de construction nouvelle restreinte et étendre ces principes à toute une ville, le pas à franchir est grand.

Aucune ville étudiée - de près ou de loin - n'affiche un bilan énergétique avec des taux par habitant équivalents à 1 Tep/hab et des ratios d'émission de gaz à effet de serre égaux à 0,5 TeC. Bien sûr, il est probable que, malgré notre volonté d'étudier les cas les plus intéressants, des villes moyennes européennes combinent les critères de durabilité exposés tout au long de cette thèse (compacité, mobilité apaisée, énergies renouvelables...) et présentent un bilan énergétique drastiquement moins important que ceux des villes que nous avons sélectionnées - rappelons que Fribourg, la « capitale écologique européenne », affiche un taux d'émission de carbone de 2,9 teC/hab/an (Plan Climat, 1996). Parmi les bilans énergétiques territoriaux et les plans climat que nous avons collectés, le meilleur taux d'émission de carbone lié à l'énergie a été observé dans la municipalité de Barcelone. En effet, les habitants de cette métropole très compacte - hors du cadre de notre recherche sur les villes moyennes - émettent 0,86 teC/hab/an, un taux intéressant mais encore trop loin des objectifs fixés par le GIEC. L'écologie urbaine reste aujourd'hui limitée à de rares quartiers.

Il existe, à l'autre bout du monde, une « ville durable » en devenir. Le projet désormais célèbre de « Dongtan » nous laisse rêveur. La Chine a programmé, dans les marais de l'île de Chongming à 25 km de Shanghai, la construction d'une ville à « zéro émission de CO<sub>2</sub> » qui accueillera 15 000 habitants en 2010 et 80 000 en 2040. Le cabinet d'ingénieur ARUP - celui-là même qui a participé à la conception de Bedzed - conçoit le programme. Plan d'urbanisation compacte et mixte, généralisation du vélo, véhicules électriques, bus à l'hydrogène, bateaux-taxis solaires (etc) pour atteindre l'objectif de zéro émission de CO<sub>2</sub> dans les transports. Des architectures très performantes, la

valorisation du biogaz des rizières, la diffusion du photovoltaïque, des parcs éoliens, l'approvisionnement des citoyens par des fermes bio... Tout l'arsenal de la ville durable est réuni. Vitrine écologique de la Chine, ville utopique ? En tout cas, même si ce projet semble cohérent dans un pays qui vit une telle croissance démographique, il nous renvoie directement à la question suivante : Les villes durables doivent-elles être montées de toute pièce à côté des anciennes ? Peut-être les villes actuelles, dont la structure est le fruit de plusieurs siècles de vécu humain, ne seraient-elles pas adaptables aux objectifs ambitieux du développement durable ou du « facteur 4 » ?

Il faudrait donc raser tous les établissements humains pour en reconstruire de nouveaux, plus technologiques, plus futuristes ? La ville moyenne durable est-elle donc une utopie ? Ou l'utopie réside-t-elle plutôt dans la croyance profane en l'innovation technologique et en le progrès ? Le développement durable est l'équilibre, le raisonnable. L'énergie dépensée pour reconstruire entièrement une ville ne sera pas économisée même en cinquante ans de fonctionnement ou plus.

L'ensemble des raisonnements présentés dans le chapitre 2 et 3 de cette partie semble attester qu'il est possible de modifier nos villes vécues pour atteindre des objectifs de sobriété. Mais, cela demande la mise en place de mesures radicales dans le domaine de la performance énergétique des bâtiments, dans le neuf comme dans l'existant. Cela nécessite aussi un développement ambitieux des énergies renouvelables. Les formes urbaines devront être plus resserrées. La diversité des fonctions à l'échelle des quartiers devra être accrue. Nous devons remettre en cause le modèle de mobilité basé sur le « tout voiture ». Et surtout, il faudra introduire plus de sobriété et de bon sens dans nos échanges et dans nos comportements consommateurs. Alors, nous pourrions orienter les villes actuelles vers des modèles substantiellement moins consommateurs d'énergie et, par conséquent, moins émetteurs de gaz à effet de serre.





# Conclusion

L'énergie est nécessaire au développement humain et indispensable à la pérennité des structures sociétales, économiques et productives contemporaines. Cependant, les besoins énergétiques grandissants - causés par l'évolution démographique et l'amélioration des niveaux et des modes de vie - s'accompagnent de contraintes et de tensions de plus en plus prononcées.

Les sociétés contemporaines doivent faire face à une hausse de la demande tandis que le prix de l'énergie dépasse la barre fatidique des 100 \$ le baril. Dans un contexte où l'épuisement des ressources fossiles et fissiles est annoncé, une crise énergétique est à craindre. Par ailleurs, des pressions environnementales aussi diverses que variées, telles que la pollution atmosphérique, la pollution des sols et des nappes d'eau, les problèmes de santé publique, les risques nucléaires et le traitement des déchets radioactifs, sont causées par l'utilisation de l'énergie et principalement par l'énergie de stock (combustibles fossiles, uranium...). Ces questions environnementales ont pris une place majeure dans le débat public national, européen et même international depuis la prise de conscience du réchauffement climatique qui met en cause la combustion des énergies fossiles au premier plan.

Ces contraintes majeures conduisent à un consensus : il est urgent de maîtriser la demande d'énergie, d'accroître l'efficacité énergétique et développer les énergies renouvelables. Or, les villes sont, dans les pays industrialisés et particulièrement en Europe, les lieux principaux de consommation d'énergie, de rejets de gaz à effet de serre et de polluants.

Il est nécessaire d'agir directement sur ces territoires locaux car, ces quarante dernières années, l'évolution des espaces urbains est en opposition avec les préceptes du développement durable. La mobilité individuelle qui a bouleversé les règles d'implantation des hommes et a eu des impacts forts sur la morphologie des villes occidentales et leur interrelation avec les espaces ruraux.

La ville moyenne, comme les grandes villes, est sujette aux contraintes de pollutions, de réchauffement climatique ou de raréfaction de l'énergie. Pourtant, alors qu'elle pose des questions spécifiques à sa propre échelle, peu de travaux de recherche s'attardent sur

la question des stratégies énergétiques et climatiques intégrées dans les villes moyennes. Ce travail de thèse se veut un apport scientifique original à destination des chercheurs, des aménageurs et des décideurs qui s'interrogent sur les moyens de réduire les consommations d'énergie et les gaz à effet de serre dans les espaces urbains de taille moyenne.

Les résultats de notre étude basée sur l'analyse des bilans énergétiques de plusieurs territoires - Grenoble, Rennes, Dunkerque, Fribourg (All.), Limoges et La Rochelle - fournissent un état des lieux approfondi des caractéristiques de l'approvisionnement et des consommations d'énergie de ces villes ainsi que des relations entre leurs consommations et l'émission de gaz à effet de serre. Cet état des lieux a été rendu possible grâce à la compilation de plusieurs études de quantification des consommations d'énergie. Cet outil indispensable - quelle que soit la méthode utilisée - rencontre des limites qu'il est important de souligner. Aucune démarche ne permet actuellement de déterminer quel est le bilan énergétique réel d'un territoire infra régional. Les méthodes de quantification actuelles permettent, malgré tout, de dégager les grandes tendances, les grandes caractéristiques et les grandes variables des consommations des espaces urbains de taille moyenne. Cette démarche devrait donc être la première étape de toutes stratégies énergétiques locales.

Il ressort de cette analyse des bilans énergétiques plusieurs points communs. L'énergie consommée dans les villes moyennes étudiées provient en très grande majorité de l'extérieur en raison d'une part écrasante de produits qu'il est indispensable d'importer (le pétrole ou le gaz) et en raison de la nature centralisée du système électrique français - le cas allemand détone de ce point de vue là. La valorisation des ressources énergétiques du territoire et de son arrière pays est donc minoritaire, c'est pourquoi la part des énergies renouvelables est très faible.

Il est évident que les villes moyennes sont fortement dépendantes des produits pétroliers et du gaz qui représentent jusqu'à 70 % de la demande, mais aussi de l'électricité (jusqu'à 35 %) qui est à 75 % d'origine nucléaire en France. Le secteur des bâtiments qui regroupe l'habitat et l'activité tertiaire est très fortement représenté dans le bilan énergétique, il est suivi du secteur des transports et, de façon plus variable, du secteur de l'industrie.

Il s'avère également que la nature et la quantité de l'énergie consommées ainsi que le volume des gaz à effet de serre rejetés dépendent de plusieurs grandes variables sur

lesquelles il semblerait prioritaire de porter l'action dans le cadre d'une politique de réduction substantielle des consommations d'énergie et des impacts environnementaux.

- L'essentiel de l'énergie consommée provenant de l'extérieur, il est essentiel de garantir une **production et un approvisionnement** faisant appel à un bouquet énergétique le plus diversifié possible, composé d'énergies renouvelables et de systèmes efficaces à hauts rendements qui minimisent les impacts environnementaux. Cela est particulièrement valable pour le système électrique. Il est aussi très important de développer les ressources locales des territoires.
- **Le type de bâtiment est une variable fondamentale du bilan énergétique.** L'époque de construction, la forme, le type collectif ou individuel, l'isolation, le mode de chauffage utilisé, etc..., sont autant de critères qui modifient les besoins énergétiques des bâtiments.
- **Les parts de marché aux différents modes de transport jouent également un grand rôle.** Les déplacements individuels motorisés sont beaucoup plus consommateurs que les transports en modes collectifs ou que les « modes doux ».
- **La morphologie et les formes urbaines ont des conséquences directes sur les consommations.** La densité a des liens avec les distances parcourues, l'efficacité des transports en commun, le type d'habitat et les consommations de chauffage. Une « bonne densité » à l'échelle de la ville comme à l'échelle des quartiers sera à même de réduire la demande énergétique. De même, l'affectation des usages du sol joue sur les distances parcourues et les modes de déplacement. Les zones monofonctionnelles sont génératrices de déplacements plus longs, sollicitant des modes motorisés, tandis que les zones plurifonctionnelles permettent d'éviter un certain nombre de déplacements motorisés au profit des modes doux (marche, vélo...).
- **La nature et l'intensité de l'activité industrielle sont variables selon les villes, ce qui modifie d'autant le bilan énergétique.** Mais ces consommations ne sont pas uniquement imputables aux territoires d'accueil des industries puisque leur activité produit des biens à destination d'autres territoires - cela est aussi vrai pour l'activité tertiaire.
- **La ville est un système ouvert qui génère des consommations d'énergie indirectes** liées à la fabrication et à l'importation de matériaux, de biens ou de produits ainsi qu'aux migrations de personnes. Ces consommations indirectes

représentent une part non négligeable du bilan énergétique d'un territoire. Il serait donc nécessaire d'agir sur ces échanges.

De façon plus générale, cette analyse des bilans énergétiques de plusieurs villes françaises et allemande nous a permis de constater que le modèle urbain actuel est énergivore. Les consommations d'énergie par habitant des villes de Limoges, Grenoble, Fribourg ou La Rochelle sont à peu près équivalentes aux ratios nationaux et européens. Un grenoblois consomme quatre fois plus qu'un asiatique et dix fois plus qu'un africain. Les taux d'émission sont également élevés : entre 1,5 et 2 TeC/hab et par an. Pour respecter les préconisations du GIEC visant à stabiliser la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> à 450 ppm, et ainsi, avoir des chances de conserver un climat relativement équilibré, il faut diviser les émissions de gaz à effet de serre françaises par quatre. Dans une telle perspective, les agglomérations étudiées seraient tout autant concernées par une division par quatre.

Le modèle urbain actuel ne semble pas adapté à un renchérissement des ressources fossiles, il est très consommateur d'énergie, et particulièrement en ressources fossiles. Nous sommes face à la nécessité de trouver des solutions pour réduire cette demande en combustibles fossiles et fissiles (uranium...).

C'est pourquoi nous nous sommes interrogés sur le rôle des collectivités locales en la matière et sur les stratégies énergétiques qu'elles pouvaient mettre en place. Nous avons étudié plusieurs villes moyennes européennes dans le but de faire ressortir les exemples de politiques énergétiques parmi les plus intéressants et les plus efficaces. Il s'avère que les collectivités, malgré des compétences légales peu étendues - en tout cas en France -, ont plusieurs champs d'action à leur disposition pour agir sur le système énergétique. Ces modalités d'action relèvent de politiques sectorielles comme les transports, l'urbanisme, la production et la distribution d'énergie, la sensibilisation et l'information ou la gestion du patrimoine municipal (bâtiments municipaux, éclairage public, flotte de véhicules...).

Des solutions très efficaces ressortent de cette analyse. Les Villes gèrent des réseaux de chaleur qui peuvent être alimentés par des énergies renouvelables (bois, solaire...), les déchets urbains, ou profiter de l'énergie « fatale » des industries. Elles peuvent également produire de l'électricité à partir de système de cogénération ou en valorisant les énergies de flux (hydroélectricité, éolien, photovoltaïque...). Il est aussi possible de valoriser le méthane à partir des déchets urbains ou des boues d'épuration.

Par ailleurs, les collectivités locales peuvent introduire des objectifs de développement durable dans leur planification urbaine ou lors d'opérations d'aménagement. Limiter l'étalement, diversifier les affectations du sol, favoriser les constructions et les rénovations de bâtiments performants énergétiquement, cela fait partie de leurs compétences. Enfin, elles ont pour rôle d'organiser le système de mobilité. Celui-ci est en lien complexe avec la planification urbaine. La gestion et l'exploitation des transports publics a des incidences fortes sur les modes de transport utilisés. Par exemple, la mise en place d'un tramway ou de lignes de transport en commun en site propre peut réduire sensiblement le trafic automobile.

Seulement une politique énergétique efficace suppose une réflexion globale et transversale à l'échelle du territoire, qui regrouperaient et fédèreraient les différents acteurs concernés. La planification ou la programmation énergétique est le meilleur point de départ pour réduire substantiellement les consommations d'énergie et les gaz à effet de serre à l'échelle d'une ville. Elle peut prendre plusieurs noms : Plan Climat, Contrat Atenee, Agenda 21, Schéma énergétique, etc..., mais l'essentiel est d'engager une réflexion commune qui, sur la base d'un état des lieux, se donnera des cibles à atteindre précises et quantifiables - ce qui indique de nouveau l'importance de développer et d'harmoniser les méthodes de quantification des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, les collectivités locales se contentent de saupoudrages à travers des mesures sectorielles non coordonnées.

A leur décharge, les collectivités locales sont confrontées à de nombreux obstacles et leur rôle rencontre des limites. L'Etat français ne confère pas aux autorités locales des compétences légales bien définies conservant le monopole de l'action sur des points tels que la performance des bâtiments ou sur l'approvisionnement énergétique. De plus, les collectivités locales ont très peu d'emprise sur des variables majeures comme les consommations du secteur industriel et les consommations d'« énergie grise » des biens de consommations. Par ailleurs, les élus, font souvent preuve de frilosité en matière de développement durable craignant d'outrepasser les limites acceptés par leurs concitoyens - et leur réponse dans les urnes - ou redoutant même d'aller à l'encontre du développement économique de leur territoire.

Ainsi, très rares sont les collectivités locales qui considèrent l'objectif « facteur 4 » comme une finalité que devrait atteindre leur territoire en 2050 (peut-être Grenoble et Fribourg en prennent-elles le chemin?). Le concept de « ville durable » serait-il antinomique ou utopique ? Peut-être qu'un tel modèle n'est pas économiquement viable.

Pourtant, la combinaison des actions de réduction des consommations d'énergie (fossiles) et de développement des énergies renouvelables offre des potentialités laissant à supposer que, d'ici 45 ans, un scénario facteur 4 est possible à l'échelle d'une ville de taille moyenne tout en conservant le niveau de vie actuel.

Le gisement d'économie d'énergie dans les bâtiments est considérable. Les techniques de construction « basse énergie » et « maison passive » sont mûres, il faut les diffuser. Le programme de rénovation et de construction qu'il est nécessaire de mettre en place serait une manne pour tous les corps de métier du bâtiment - sauf, peut-être, les chauffagistes. C'est un véritable défi en terme d'innovation et de formation, mais il annonce une importante croissance économique du secteur.

La mobilité individuelle motorisée est, par contre, à remettre en question. A moins que le marché automobile ne se dirige vers des véhicules beaucoup plus légers avec de bien meilleurs rendements qu'aujourd'hui. Quand bien même, en milieu urbain, une part notable des déplacements en voiture devra être transférée vers les transports en commun et vers les modes « doux » beaucoup moins consommateurs d'énergie. Cela nécessitera et entraînera un réajustement des structures et des formes urbaines.

En effet, si l'on doit réduire les transports individuels et les échanges, d'une manière générale, la forme urbaine devra s'adapter en conséquence. Plus dense, plus polarisée, plus diverse, des bâtiments plus compacts, une orientation des constructions vers le sud, une urbanisation structurée autour des transports en commun, etc..., autant d'éléments qui vont modifier la morphologie des villes moyennes. Leur interrelation avec leur arrière pays pourrait également changer, repassant du statut de « campagne dortoir » ou de « campagne loisir » qu'elle avait gagné en quelque décennies de pétrole bon marché à celui de « campagne nourricière ».

Par ailleurs, les énergies renouvelables semblent avoir le potentiel nécessaire pour combler le reste des besoins énergétiques. Le solaire photovoltaïque, l'éolien, le bois énergie, le solaire thermique, le biogaz, la géothermie, etc..., ont de beaux jours devant eux. Là encore, les coûts d'innovation et de recherche se mutent peu à peu en débouché économiques.

Alors, concrètement, qu'en est-il aujourd'hui ? Les réseaux d'échanges de bonne pratique se multiplient. Des prix sont attribués aux villes européennes qui mettent en place une politique énergétique intéressante (European Energy Awards). La culture se diffuse lentement. Des quartiers durables poussent à travers l'Europe. Encore trop rares,

ils sont le laboratoire de la ville de demain. Mais, d'ici là, il faut que nous engagions les mesures appropriées et que nous changions nos comportements. Le principal frein est sûrement culturel. A l'aune de ce changement de civilisation (J-L Wingert, 2005), l'« Homo Industrialis » se transformera peut-être en « éco-citoyen ».

*« C'est certainement la mystique du progrès qui permet à ceux qui y trouvent intérêt de s'entêter avec bonne conscience, et aux autres de ne pas réellement les combattre : les gens subissent l'absurdité des décisions, ou l'absence de décision, parce qu'ils veulent croire que le pire n'est jamais certain, qu'on découvrira des parades, que la science trouve toujours le moyen de réparer ses erreurs. » Jacques Testart, directeur de l'Inserm, ex-président de la Commission française du développement durable<sup>229</sup>.*

---

<sup>229</sup> Préface de SO WATT ? de Benjamin Dessus et Hélène Gassin.





## Bibliographie

ACADEMIE DES TECHNOLOGIES, COMMISSION ENERGIE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE, GROUPE DE TRAVAIL PETROLE, *Que penser de l'épuisement des réserves pétrolières et de l'évolution du prix du brut ?*, 2007.

ACOT P., *Histoire du climat, du big bang aux catastrophes climatiques*, Edition Perrin, coll. Tempus, Paris, 2004.

ADEME, *Agences locales de maîtrise de l'énergie, Actions de villes européennes : Etat de l'Art*, Coll. Connaître pour agir, Paris, 2000.

ADEME, *Guide du développeur de parc éolien*, Coll. Connaître pour agir, Paris, 2003.

ADEME, *Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité*, Coll. Connaître pour agir, Guides et cahiers techniques, Paris, 2003.

ADEME, *Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage*, Coll. Connaître pour agir, Guides et cahiers techniques, Paris, 2004.

ADEME, CERTU, autres, *Bilan des PDU de 1996 à 2001: les PDU, de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie à la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain*, 2002.

ADEME, DRASTET, INRETS, *Se déplacer au quotidien dans trente ans, éléments pour un débat. Actes du colloque organisé le 22 et le 23 mars 1994 à Paris*, La Documentation Française, Paris, 1995.

ADEME, ENERGIE CITES, *Les plans d'action territoriaux contre le changement climatique, Actions de villes européennes : Etat de l'Art*, Coll. Connaître pour agir, 2002.

ADEME, MISSION INTERMINISTERIELLE DE L'EFFET DE SERRE, *Bilan Carbone® d'une entreprise industrielle ou tertiaire, Guide méthodologique de la méthode (version 3.0) objectifs, résultats exploitables, choix méthodologiques*, 2005.

AGENCIA LOCAL D'ECOLOGIA URBANA DE BARCELONA, *Agenda 21 : Barcelona, ciutat mediterrània, compacta i complexa, una visió de futur més sostenible*, 2002.

AGUR, *Schéma de Cohérence Territoriale de la région Flandre-Dunkerque*, 2003.

ALE, bureau d'études EXPLICIT, *Bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble*, 2001.

ALLAIN R., *Morphologie urbaine : géographie, aménagement et architecture de la ville*, Armand Colin, 2004.

AMETER, *L'efficacité énergétique dans l'aménagement du territoire, guide pratique franco-suisse*, 2006.

AMPE Francis, DATAR, *Les agglomérations*, La Documentation Française, Territoires en mouvement, Paris, 2001.

ANTONY F., DÛRSCHNER C., REMMERS K-H, *Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations*, Observ'ER, Paris, 2006.

ARENE, bureaux d'études ENERGIE DU VENT et ABIES, *L'éolien dans l'urbain - Etat de l'art*, 2006.

ASSISES DE L'ENERGIE (8<sup>ème</sup>), *Energie et question de société ! Collectivités et acteurs locaux : comment mieux travailler ensemble ?*, actes du colloque de février 2007.

ASPA, *Estimation des émissions dans l'air au niveau régional et local*, 2003.

BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D. (sous la direction de), *Encyclopédie de Géographie*, Paris, Economica, 1995.

BAILLY A., PELLEGRINO P., HUSLER W., RUEGG J. (sous la direction de), *Grandes infrastructures de transports, forme urbaine et qualité de vie, le cas de Genève et de Zurich*, Economica, coll.anthropos, Paris, 2001.

BAILLY E, DEBROSSE P., NGHIEM T., *Terre d'avenir pour un mode de vie durable*, Edition Alpha J-P Bertrand, 2007.

BANISTER D., WILLIAMS J., *Land use Options to Reduce the Need to Travel*, The Bartlett School of Planning, Sustainable Cities Programme (Working Paper 3), EPSRC.

BEAUCIRE F., *Les transports publics et la ville*, Milan, Les essentiels Milan, 1997.

BERTAUD A., *The spatial organization of cities, deliberate outcome or unforeseen consequence?* IURD Working papers series, Berkeley, Institute of urban and regional development, 2004

BLIEFFERT, PERRAUD, *Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets*, Editions De Boeck Université, Paris, 2003.

BRUN G., NICOLAS J.-P., (rapporteurs du groupe de travail présidé par A. Bonnafous), *Les transports et l'environnement : vers un nouvel équilibre*, La documentation Française, Lorrain, 1999.

CANTON DE VAUD, VILLE DE LAUSANNE, *Projet d'agglomération Lausanne-Morges*, 2007.

CAPELLO R., NIJKAMP P., PEPING G., *Sustainable cities and energy policies*, Springer, Advances in spatial science, Berlin, 1998.

CABAL C., GATIGNOL C. (Députés), *La voiture du futur: moins polluante et plus économe*, Rapport de Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n° 2757 Assemblée nationale, n° 125 Sénat, 2004.

CATTAN N., PUMAIN D., ROZENBLAT C., SAINT-JULIEN T., *Le système des villes européennes*, Anthropos, Paris, 1994.

CERTU, *Plans de déplacements urbains : prise en compte de la pollution de l'air, du bruit, et de la consommation d'énergie*, CERTU, 1999.

CERTU, *Villes suisses : des parts de marché des transports collectifs « mythiques » ou non ?*, Revue Transflash, n° 303, mai 2005.

CITE DE L'ENERGIE, MUNICIPALITE DE LAUSANNE, Politique énergétique et développement durable à Lausanne, 2007.

CITE DE L'ENERGIE, MUNICIPALITE DE LAUSANNE, Programme politique énergétique de la ville de Lausanne, 2003.

CHALINE C., *La régénération urbaine*, PUF, Que-sais-je?, Paris, 127, 1999.

CLE, bureaux d'études GREEN et ICE, *Etude de programmation énergétique de Rennes (Fr.)*, 2003.

CLUB DE ROME, *Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources : rapport au Club de Rome*, Terre vivante, Le XXI<sup>e</sup> siècle sera écologique, 1997.

COCHET Y., *Pétrole apocalypse*, Fayard, 2005.

COCHET Y., *Stratégie et moyens de développement de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie renouvelables en France, rapport au Premier ministre*, La Documentation Française, Paris, 2000.

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN, *Energie 2010-2020 : les chemins d'une croissance sobre: rapport du groupe plénier*, La Documentation française, 1998.

COMMISSION DES AFFAIRES ETRANGERES, Président M. Paul QUILÈS, Rapporteur M. Jean-Jacques GUILLET, *Energie et géopolitique*, conclusion des travaux d'une mission d'information constituée le 8 février 2006.

COMMISSION EUROPEENNE, *Livre vert sur l'environnement urbain*, Office des publications des communautés européennes, Bruxelles, 1990.

CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEE, MINISTERE DES TRANSPORTS, DE L'EQUIPEMENT, DU TOURISME ET DE LA MER, *Démarche prospective transports 2050, éléments de réflexion*, mars 2006.

COURRIER INTERNATIONAL, *Trop chaud, tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le réchauffement de la planète et comment y remédier*, Hors-série octobre-novembre-décembre, 2006.

CUISINIER D., *Energie et transport, deux révolutions indispensables*, L'Harmattan, Questions contemporaines, Paris, 2005.

DATAR, *Changement climatique, énergie et développement durable des territoires*, revue Territoires 2030, N°2 décembre 2005.

DE BOISSIEU C. (sous la présidence de), *Rapport du Groupe de travail «Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050»*, août 2006.

DGEMP, *Energie : références/chiffres clés*, DGEMP, 2004.

DELESTRE I, *L'aventure de Gaz Electricité de Grenoble, cent ans d'énergie : 1903-2003*, GLENAT, Bresson, 2003.

DESSUS B., *Energie : un défi planétaire*, Belin, Débats, 1999.

- DESSUS B., *Pas de gabegie pour l'énergie*, Ed. de l'Aube, Monde en cours, 1994.
- DESSUS B., GASSIN H., *So watt, l'énergie : une affaire de citoyens*, Ed. de l'Aube, Monde en cours, 2005.
- DE VIGUERIE P., CONSEIL ECONOMIQUE ET SOCIAL, *Les politiques de l'habitat et de l'urbanisme face au changement climatique*, 2006.
- DRON D. et COHEN DE LARA M., *Pour une politique soutenable des transports, rapport au Premier Ministre*, La documentation Française, Collection des rapports officiels, Paris, 1995.
- DUPUY Gabriel, *Les territoires de l'automobile*, Anthropos, Villes, Paris, 1995.
- DURAND F., *Le réchauffement climatique en débats. Incertitudes, acquis et enjeux*, Ellipses, coll. Transversale Débats, Paris, 2007.
- EDF, LEPTAB, *Bilan CO<sub>2</sub> de l'agglomération de La Rochelle (Fr.)*, 2005.
- EMELIANOFF C., *La notion de ville durable dans le contexte européen : quelques éléments de cadrage*, Cahier français n°306, réalisé sous la direction de P.Tronquoy, La Documentation française, janvier-février, 2002.
- EMELIANOFF C., *La ville durable, Etat des lieux en Europe et prospective*, Ecole normale supérieure de Fontenay, Saint-Cloud, 1997.
- ENault C., *Vitesse, accessibilité et étalement urbain: analyse et application à l'aire urbaine dijonnaise*, thèse de l'université de Bourgogne, Dijon, 2003.
- ENERGIE CITES, *Bienvenue dans 11 villes européennes : échanges de bonnes pratiques. catalogue de visite*, publié par Energie-cités, 2001.
- ENERGIE CITES, *Les municipalités et l'ouverture de marchés énergétiques*, compte rendu de la conférence organisée par Energie-cité en mars 1998 à Barcelone.
- ENERGIE CITES, *Politiques énergétiques durables : catalogue de bonnes pratiques de 1995 à 2002*, publié par Energie-cités, 2002.
- FEDERATION NATIONALE DES COLLECTIVITES CONCEDEANTES ET REGIES, *Les collectivités locales et l'énergie, Economie et politique d'un nouveau service public*, aux Editions des Imprimeries Nationales, Paris, 2001.
- FOUCHIER V., pour le Secrétariat du groupe central des villes nouvelles, *Les densités urbaines et le développement durable: le cas de l'Île de France et des villes nouvelles*, La Documentation Française, Paris, 1998.
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, *Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse, résumé à l'attention des décideurs*, 2007.
- GRENOBLE METROPOLE, *Plan climat de l'agglomération de Grenoble*, 2007.
- GROUPEMENT DES AUTORITES RESPONSABLES DE TRANSPORT, *Les politiques de transport collectif dans les collectivités*, la Lettre du cadre territorial, Dossier d'experts, 1999.

GUMUCHIAN H., MAROIS C., FEVE V., *Initiation à la recherche en Géographie: Aménagement, développement territorial, environnement, Anthropol, diffusion economica*, Paris, 425 p., 2000.

GUIDEZ J.-M., CERTU, *La mobilité urbaine en France*, CERTU, Lyon, 2002.

INRETS-ADEME, *Budgets - énergie - environnement des déplacements dans l'arrondissement de Lille*, 1996.

INSEE, *Recensement de la population : Tableaux, références et analyses / 87 Haute-Vienne*, publié par l'INSEE et le MINEFI, 1999.

JACQUET P., TUBIANA L., *Dossier Energie et changements climatiques*, Regards sur la Terre 2007, L'annuel du développement durable, Sciences Po Les Presses, Paris, 2006.

JANCOVICI J.-M., *L'avenir climatique*, Le Seuil, Paris, 2002.

JENKS M., BURTON E., WILLIAMS K., *The compact city: a sustainable urban form*, E&FN SPON, London, 1996.

KAUFMAN V., *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines: la question du report modal*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Science, technique, société, Lausanne, 2000.

KAUFMAN V., FRITZ S., FERRARI Y. et JOYE D., *Coordonner transport et urbanisme*, Science, Technique, Société, Lausanne, 2003.

LAPONCHE B., *Maîtriser la consommation d'énergie*, Éd. le Pommier : Cité des sciences et de l'industrie, le collège de la cité, Paris, 2004.

LAZARUS N., *Beddington zero fossil energy development, toolkit for carbon neutral developments -Part I.*

LAZARUS N., *Beddington zero fossil energy development, toolkit for carbon neutral developments -Part II.*

LE ROUX S., *Bilan énergétique de la commune de Limoges*, 2006.

LETREULT H., JANCOVICI J.-M., *L'Effet de serre : allons-nous changer de climat ?*, Flammarion, Paris, 2001.

MATHARAN X. SERRON C., *Les politiques énergétiques locales*, Éd. de "La Lettre du cadre territorial", dossier d'experts, Voiron, 2001.

MERENNE-SCHOUMAKER B., *Géographie de l'énergie, Acteurs, lieux et enjeux*, Belin Sup Géographie, Paris, 2007

MERENNE-SCHOUMAKER B., *Géographie de l'énergie*, Nathan, Université, coll. « Géographie d'aujourd'hui », Paris, 1997.

MERLIN P., *L'aménagement du territoire*, PUF, Premier cycle, Paris, 2002.

MERLIN P., *Energie, environnement et urbanisme durable*, PUF, Que sais-je ?, 1996.

MERLIN P., *Les banlieues des villes Françaises*, La documentation Française, 1995.

- MERLIN P., *Les transports urbains*, PUF, Que sais-je ?, 1992.
- MERLIN P., *L'urbanisme*, PUF, Que sais-je ?, 1998.
- MINEFI, *L'énergie en France*, Minefi, Paris, 2001.
- MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, *Ville, densités urbaines et développement durable*, compte rendu de séminaire, Tours, 2000.
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, MISSION INTERMINISTERIELLE DE L'EFFET DE SERRE, *Les collectivités locales engagées dans la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, mémento des décideurs*, Deuxième édition 2003.
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, *Contribution du groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, bilan 2007 des changements climatiques, résumé à l'intention des décideurs*, 2007.
- MINISTRY OF ENVIRONNEMENT OF NORWAY, *National policy guidelines for coordinated land-use and transport planning*, Oslo, 1993.
- MIQUEL G., POIGNANT S., *Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés*, Rapport de Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n°1693 Assemblée nationale, n°415 Sénat, 1999.
- MORAND-DEVILLER J., *Le droit de l'environnement*, PUF, Que-sais-je?, Paris, 2003.
- MUNICIPALITE DE BARCELONE, *Plan de Mejora Energética de Barcelona*, 2003.
- MUNICIPALITE DE BOURGES, CABINET BERNARD, *Bilan Carbone®-Collectivités et Territoires de la ville de Bourges*, 2006.
- MUNICIPALITE DE FRIBOURG (ALL.), ÖKO INSTITUT, *KlimaschutzKonzept* (plan climat), 1996.
- MUNICIPALITE DE FRIBOURG (ALL.), *Freiburg solar energy guide*, édition 2006.
- MUNICIPALITE DE FRIBOURG (ALL.), *Umweltpolitik in Freiburg, Auf dem Weg zu einer zukunftsfähigen*, 2005.
- MUNICIPALITE DE GRENOBLE, *Guide la qualité environnementale dans l'architecture et dans l'urbanisme*, 2005.
- MUNICIPALITE DE GRENOBLE, *Plan de Déplacements Urbains de Grenoble*, 2006.
- MUNICIPALITE DE CLERMONT-FERRAND, *Pour une politique énergétique locale durable, proposition de plan politique Energie +*, 2003.
- NEWMAN P. et KEWORTHY J., *Cities and automobile dependance : an international sourcebook*, Aldershot : Gower, 1989.
- NIJKAMP P., PERRELS A., *Sustainable cities in Europe*, Earthscan, London, 1994.
- OBSERVATOIRE EUROPEEN DES BONNES PRATIQUES, *Construire la ville durable*, Angers 21, n°7, 2007.

OBSERVATOIRE UNIVERSITAIRE DE LA VILLE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, *Eco-quartiers et urbanisme durable*, Revue Urbia, Les cahiers du développement durable, n°4 -juin 2007, Université de Lausanne, 2007.

OCDE, *L'énergie dans la ville: manuel de bonne gestion locale*, Editions de l'OCDE, Paris, 1995.

OCDE, *Vers des transports durables, conférence organisée par l'OCDE en mars 1996, Points saillants de la conférence et aperçu des enjeux*, Editions de l'OCDE, Paris, 1997.

OCDE/CEMT, *Transports urbains et développement durable*, Editions de l'OCDE, Paris, 1995.

OWENS S., *Energy and land use planning (atelier sur l'utilisation de l'énergie et la planification de l'occupation des sols à New-Castle-Upon-Tyne en 1992)*, OCDE, Paris, 1992.

OWENS S., *Energy, planning and urban form*, Pion, London, 1986.

OWENS S., *Energy efficiency and sustainable land use patterns in town and country planning*, vol 60 n° 2, 1995.

PARC NATIONAL DES CEVENNES, *Energies renouvelables en Cévennes*, Actes du colloque de Florac des 4 et 5 mars 2002.

PAULET J-P., *Géographie urbaine*, Armand Colin, 2000.

PERRIET-CORNET P.(collectif),*Repenser les campagnes*, Editions de l'Aube, Paris, 2002.

PEUSER F., REMMERS K-H, SCHNAUSS M., *Installations solaires thermiques, conception et mise en œuvre*, Système solaire, Paris, 2005.

POUET J-C (coordination), *Mise en place d'une chaufferie bois, étude et installation d'une unité à alimentation automatique*, EDP Sciences-ADEME, Les Ulis, 2007.

POUYANNE G., *Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. Méthodologie et premiers résultats*, les Cahiers Scientifiques du Transport, N° 45 - Pages 49-82, 2004.

PUMAIN D., Godard F., *Données urbaines*, Anthropos, Villes, Paris, 1996.

PUMAIN D., MATTEI M.-F. (coord. Par), CHENU A., CHOFFEL P.(collaboration de), *Données urbaines 2*, Anthropos, diff. Economica, Paris, 1998.

Prévoit H., ORSELLI J., *Les réseaux de chaleur*, rapport en réponse à une demande de Monsieur le Ministre de l'Industrie, Conseil Général des Mines et du MINEFI, 2006.

RADANNE P., *Energies de ton siècle ! Des crises à la mutation*, Editions Lignes de repères, Paris, 2005.

RAUX C., TRAISNEL J.-P., NICOLAS J.-P., MAIZIA M., DELVERT K., *Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL*. ETHEL. Rapport R2. Action Concertée CNRS - Ministère de la Recherche. LET, Lyon, 2005.

ROBY F., *Vers la voiture sans pétrole ?*, EDP Sciences, coll. Bulles de Sciences, Les Ulis, 2006.

- RUEDA S., *La ciudad compacta y diverse frente a la urbanización difusa*, article, 2004.
- SALOMON T. et BEDEL S., *La maison des Négawatts : le guide malin de l'énergie chez soi*, Terre vivante, Mens, 2002.
- SENAT, BELOT C., JUILHARD J-M, (rapporteurs), *Rapport d'information fait au nom de la délégation du Sénat à l'aménagement et au développement durable du territoire sur les énergies locales*, 2006.
- SIDLER O., *Diviser par 4 la consommation d'énergie des bâtiments : mythe ou réalité ?*, 2003.
- SIEPAL (Syndicat Intercommunal d'Etudes et de Programmation de l'Agglomération de Limoges), *Schéma Directeur de l'agglomération de Limoges*, 1999.
- SIOTAL, *Plan de Déplacement Urbain de Limoges*, Limoges, 2003.
- SMTC de Clermont-Ferrand, *Etude d'impact sur l'environnement du tramway de Clermont-Ferrand*, 2006.
- SMTC de Grenoble, *Enquête Ménages Déplacements, Livret 1 : Région Grenobloise*, 2005.
- SMTC de Grenoble, *Enquête Ménages Déplacements, Livret 2 : Agglomération Grenobloise*, 2005.
- VERNIER J., *Les énergies renouvelables*, PUF, Que sais-je ?, 2005.
- WINGERT J.-L., *La vie après pétrole, de la pénurie aux énergies nouvelles*, Autrement, coll. frontières, paris, 2005.



# Annexes

**Annexe 1 :** Méthodologie employée pour la réalisation du bilan énergétique de la ville de Limoges

**Annexe 2 :** Présentation géographique des villes étudiées

**Annexes 3 :** Liste des personnes interviewées

**Annexe 4 :** Questionnaire utilisé pour l'enquête quantitative auprès des unités urbaines françaises de 100 000 à 300 000 habitants

**Annexe 5 :** Résultats de l'enquête quantitative auprès des unités urbaines françaises de 100 000 à 300 000 habitants

## Annexe 1

### La méthode de quantification des consommations d'énergie de la commune de Limoges

Après une première phase consacrée à la collecte de données quantitatives auprès de différents organismes statistiques (INSEE, UNEDIC...) et d'institutions publiques (Municipalité de Limoges, DRE...), il est possible d'estimer et de reconstituer la demande en énergie du territoire. Une deuxième phase consiste à comparer ces résultats aux chiffres « réels » : La démarche « top-down » prend pour données de base les chiffres existants à une échelle communale ou supra communale. Ces chiffres sont les données réelles de vente d'agents énergétiques délivrées par les fournisseurs eux-mêmes. Cela permet d'établir un ratio de consommation par habitant applicable à une partie du territoire afin de connaître l'échelle de grandeur des ventes sur ce territoire.

#### A. Méthodologie appliquée au secteur résidentiel

Ce bilan quantitatif n'est pas un constat pragmatique du réel mais une estimation théorique. La démarche est fondée sur des données réelles : des données sur le type de logement, l'année de construction, le mode de chauffage et le combustible utilisé tirées du recensement de la population 1999 de l'INSEE et des ratios correspondant à des moyennes nationales : consommations unitaires calculées par le CEREN.

##### Les données existantes sur les résidences principales :

Nous avons choisi de ne prendre en compte que les résidences principales car les logements vacants ne suscitent pas de consommations d'énergie et les résidences secondaires sont, elles, très peu nombreuses. Qui plus est, elles n'impliquent pas de consommations d'énergie notables sur ce territoire.

Que ce soit à n'importe quelle échelle, commune, iris, îlot, la démarche est similaire ; il faut demander à l'INSEE d'extraire du recensement de la population de 1999 (thématique PRINC1) une table déclinant les variables suivantes : type de logement, année de construction, mode de chauffage et combustible utilisé.

Ainsi, les parts de marché des différents modes de chauffage sont données dans la grille INSEE, on connaît le nombre de logements utilisant tel ou tel mode d'énergie de chauffage. En revanche, la part de marché de l'eau chaude par appareils indépendants est plus difficile à déterminer, de même pour la cuisson. Il nous faut donc déterminer des coefficients à partir d'hypothèses rationnelles. En fonction du mode de chauffage employé, on peut supposer quel est le système d'eau chaude indépendante :

Hypothèses des parts de marché pour l'eau chaude indépendante				
Mode de chauffage	ECI électricité	ECI Gaz	ECI GPL	ECCC (eau chaude associée au chauffage central de même énergie)
électricité	1	0	0	0
gaz	0,1	0,3	0	0,6
fuel	0,3	0	0,2	0,5
charbon	0,5	0	0,4	0,1
chauffage urbain	0,3	0		0,7
bois	0,3	0	0,2	0,5
GPL	0,3	0	0,2	0,5

Notons que l'eau chaude associée au chauffage central n'a pas à être recomptabilisée, elle l'a été dans le bilan chauffage.

On applique le même principe pour la cuisson :

Hypothèses de parts de marché des énergies pour la cuisson			
mode de chauffage	électricité	gaz	gaz bouteille
électricité	0,8	0	0,2
gaz	0,2	0,8	0
fuel	0,5	0	0,5
charbon	0,8	0	0,2
chauffage urbain	0,8	0	0,2
bois	0,8	0	0,2
GPL	0,8	0	0,2

### Les consommations unitaires du CEREN :

Le CEREN réalise un recensement des consommations moyennes d'énergie du parc immobilier français. Il fournit une base de données des consommations d'énergie par type de bâtiment, par mode d'énergie et par année de construction (avant et après 1975). Ce qui est particulièrement intéressant pour quantifier les consommations d'énergie du secteur résidentiel, ce sont les consommations unitaires. Elles sont présentées comme suit :

		logements anciens (avant 1975)			Idem pour après 1975
		Nombre de logements équipés en milliers	Conso unitaires (en milliers de kWh/logements)	Consommation totale en millions de kWh	
Immeubles collectifs	seul en base	1396,8	4,58	6393,2	
	associé à une autre énergie en base	91,1	3,82	347,7	
	chauffage d'appoint	602,6	0,3	180,8	
	total chauffage électrique	2090,5	3,31	6921,7	
	EC indépendante	2519,9	1,41	3556,2	
	Cuisson	3647,5	0,54	1958,2	
	Usages spécifiques	7374,4	1,88	13886,2	
Maisons individuelles	seul en base	1177,9	8,95	10543,5	
	associé à une autre énergie en base	515,1	6,07	3126,9	
	chauffage d'appoint	794,3	0,45	359,2	
	total chauffage électrique	2487,3	5,64	14029,6	
	EC indépendante	3837,2	1,75	6710,3	
	Cuisson	3846,9	0,96	3688,9	
	Usages spécifiques	8553,6	2,54	21707,1	

Selon le type d'énergie les consommations unitaires sont déclinées suivant une logique différente. Le plus généralement, on trouve trois postes : le chauffage, l'eau chaude et la cuisson. Les usages spécifiques viennent s'ajouter au tableau pour l'électricité. Notons que (hors électricité) le chauffage comprend l'eau chaude, lorsque celle-ci est fournie par le chauffage central. Le détail n'est donné que pour l'eau chaude par appareils indépendants.

Les variables déclinées dans les grilles des consommations unitaires ne sont exactement correspondantes aux variables des données sur les résidences principales de l'INSEE. Il faut donc réaliser un travail de corrélation et ajuster de la grille des consommations unitaires fournie par le CEREN à la grille fournie par l'INSEE.

#### **La conversion des consommations unitaires en Tonnes équivalent pétrole :**

Les consommations unitaires comportent des indices de mesures différents : l'électricité en kWh, le bois en stère, le fioul en litre... Or, pour que le bilan final soit lisible, il nous faut convertir ces ratios afin qu'ils soient tous exprimés avec la même unité : le tep (tonne équivalent pétrole). Les coefficients d'équivalence permettent conventionnellement de comparer dans une unité commune (tep : tonne équivalent pétrole), des quantités d'énergie de natures diverses. Les coefficients d'équivalence utilisés en France sont les suivants :

- Charbon : 1 tonne = 0,619 tep
- Bois : 1 tonne = 0,3 tep environ ; 1stère = 0,15 tep
- Fuel lourd : 1 000 litres = 0,950 tep
- Fuel domestique : 1 170 litres = 1 tep
- Gaz naturel : 1 MWh = 0,077 tep
- Électricité : 1 MWh = 0,222 tep

#### **- Opération finale :**

Nous pouvons déterminer les consommations d'énergie en multipliant le nombre de logements (par type de logement, type de chauffage et par combustible et en fonction de l'année de construction) et le ratio des consommations unitaires (en tep) correspondant.

## **B. Méthodologie appliquée au secteur tertiaire**

La méthodologie employée pour réaliser le bilan énergie du secteur tertiaire se base sur trois piliers : le nombre d'employés du secteur tertiaire par commune et par sous-secteur, les consommations unitaires d'énergie calculées par le CEREN pour ce secteur et l'étude sur la régionalisation des surfaces tertiaires du CEREN qui donne les parts de marché des différentes énergies à l'échelle de la région. Ces trois éléments sont indispensables à la conduite du bilan.

#### **Le nombre d'employés et les surfaces chauffées :**

L'UNEDIC tient des statistiques sur le nombre d'employés dans le secteur tertiaire privé par sous-secteur (nomenclature : NAF 700, NAF 60, NES 36) et en fonction la commune de l'implantation de l'activité. Les données concernant le nombre d'employés dans le tertiaire ont été obtenues selon la nomenclature NES 36, ceci pour les communes de Limoges, Condat/Vienne, Couzeix, Isle, Feytiat, le Palais/Vienne et Panazol.

Seulement, ces fichiers ne recensent que l'emploi privé et ne renseignent pas sur l'emploi public. Ainsi, l'Unedic ne comptabilise ni les salariés de l'Etat et des collectivités territoriales, ni les salariés des établissements publics à caractère administratif (OPHLM, banque de France, Hopitaux publics...), les employés de maison, les entreprises publiques à caractères industriel et commercial (EDF, SNCF, et les entreprises n'ayant pas au moins un salarié.

Il ne semble pas exister d'organisme de recensement local de l'emploi public. Pour les prendre en compte, il faudra donc en déduire leur nombre en soustrayant le nombre d'emplois privés au nombre total d'emploi tertiaire par commune, ce nombre total non ventilé est donné par l'INSEE dans le RGP 1999 (emploi au lieu de travail par secteur d'activité). Il faudra ensuite répartir ce total par sous secteur (bureaux, santé...) et par commune à partir de coefficients prenant en compte la réalité du territoire.

La répartition nationale de l'emploi public se fait selon trois fonctions majeures : la fonction hospitalière ( 966 340 salariés soit 19 %), la fonction territoriale (1 522 144 salariés soit 30 %) et la fonction de l'Etat (2 543 351 salariés soit 51%) [dont l'éducation nationale : 30%]. Les EPCI (établissements commerciaux et industriels publics) sont également à prendre en compte, les transports (SNCF) représentent 260 000 emplois. A l'échelle nationale, la répartition peut se présenter ainsi :

- Bureaux : 50 %
- Santé : 19 %
- Enseignement : 30 %
- Transports : 1 %

En ce qui concerne le territoire de la ville de Limoges, la grande majorité des services déconcentrés de l'Etat, des établissements scolaires et des centres hospitaliers se trouvent sur la commune de Limoges. Au contraire, les communes périphériques n'accueillent ces établissements que dans des proportions très faibles. C'est pourquoi nous prendrons les coefficients de répartition suivants.

Limoges : bureaux (50 %), santé (30 %), enseignement (30 %), transports (1 %)

Communes périphériques : bureaux (50%), enseignement (50 %)

**- La transposition des données relatives à l'emploi en données de surface chauffées :**

Il existe un « convertisseur » fournie par le CEREN qui permet d'extrapoler la surface utilisée par chaque sous-secteur en fonction du nombre d'employés. Les indices apportés par ce « convertisseur » (voir tableau suivant) sont décomposés en sous-secteurs qui ne correspondent pas à la nomenclature NES36 (voir tableau suivant). Il est donc nécessaire de transposer et d'ajuster la grille de données de l'UNEDIC à la nomenclature établie par le CEREN.

Code Ceren	surfaces estimées (m <sup>2</sup> /employé)
Bureaux	28
Café-Hôtel-Restaurant	83
Commerce	64
Enseignement	93
Santé	20
Sport-Loisir-Culture	42
Transports	67

Cette dernière opération permet d'obtenir une estimation des surfaces totales utilisées par sept grandes catégories du secteur tertiaire.

Nous prendrons pour hypothèse que ces surfaces totales obtenues par estimation sont assimilables aux surfaces chauffées.

**Les consommations unitaires calculées par le CEREN :**

Il est indispensable d'obtenir l'équivalent-surface (m<sup>2</sup>) du nombre d'employé car les consommations unitaires publiées par le CEREN sont en kWh/m<sup>2</sup>. Ces CU sont tirées du document : *Suivi du parc et des consommations d'énergie du tertiaire en 2002*. Les résultats sont obtenus grâce à des traitements de panels à l'échelle nationale.

Cette étude ventile les surfaces chauffées, la consommation totale française et les consommations unitaires par sous-secteurs, usages et époque. Les consommations unitaires sont calculées uniquement pour le chauffage et pour l'électricité spécifique/climatisation. Le détail des surfaces alimentés en eau chaude ou équipées d'appareils de cuisson n'est pas donné.

Bien sûr, en ce qui concerne l'électricité spécifique, c'est l'ensemble des surfaces chauffées qui est équipé. Ainsi, il est aisé de donner une estimation des consommations d'énergie de chauffage et d'électricité spécifique (éclairage, appareils électrique, climatisation...) en multipliant la surface chauffée (par secteur) par les ratios du chauffage et de l'électricité spécifique. Il reste à estimer les consommations d'énergie liées à la cuisson, à l'eau chaude et autre. Pour cela, il faut déterminer des coefficients à partir de données régionales et de données nationales. La part de l'énergie hors chauffage est donnée par l'enquête du CEREN (*Régionalisation des surfaces tertiaires de 2002*). Pour l'électricité, la part de l'énergie hors chauffage et hors électricité spécifique est donnée dans l'enquête nationale : *Suivi du parc et des consommations d'énergie du tertiaire en 2002*. Ces coefficients seront appliqués aux résultats des consommations de chauffage et d'électricité spécifiques obtenus auparavant pour ainsi déterminer les consommations autres (ECS, cuisson...).

Les consommations unitaires sont calculées par le CEREN dans des conditions climatiques déterminées par la zone de leur enquête ; cette enquête reposant sur un panel. Ces conditions climatiques sont notifiées en Degré jour unifiés, Cet indicateur de la rigueur hivernale permet de comparer des consommations énergétique de chauffage dans le temps et selon la zone géographique. Les consommations unitaires présentées par le CEREN le sont pour un climat général à la France entière. Le DJU moyen de la France est approximativement de 2450 DJU.

Les degrés jours unifiés pour la zone de Limoges (87) sont équivalents à 2677°C ; le coefficient de correction qui permettra de prendre en considération la rigueur hivernale de la zone de Limoges (87) est donc de 1,09. Nous devons adapter les consommations unitaires française au climat local en les multipliant par ce chiffre.

#### Les parts de marché des énergies :

Il reste à connaître la part de marché de chacune des énergies pour établir le bilan total. Pour cela, il faut se baser sur l'étude de la régionalisation des surfaces tertiaires réalisée par le CEREN. Cette étude fourni les chiffres des surfaces chauffées pour la région Limousin ventilés par sous-secteurs et par modes d'énergie de chauffage.

#### Synthèse de la démarche

Les estimations pour le chauffage et l'électricité spécifique/climatisation sont obtenues par ce biais :

Code Ceren	surfaces estimées (m <sup>2</sup> )	Surface chauffée au fuel (m <sup>2</sup> )	Consommation totale de chauffage au fuel (kWh)
Bureaux	y	surface des bureaux x part de marché du fioul	surface des bureaux alimentés en fuel x CU du chauffage au fuel dans les bureaux

#### L'eau chaude et la cuisson :

Pour estimer la part de l'eau chaude et de la cuisson, il faut déterminer un coefficient. L'étude sur la régionalisation des surfaces tertiaires présente des données concernant les consommations d'énergie par sous secteur à l'échelle de la Région. Elle précise également la part liée au chauffage pour chacun des secteurs et chacune des énergies. Cela sous-entend que nous pouvons en déduire la part allouée aux autres usages (eau chaude, cuisson, autre).

Ce coefficient sera parallèlement déterminé à l'échelle française à partir des consommations recensées par le CEREN

#### Autre méthodes à utiliser pour comparer les résultats et faire un réajustement :

Nous pouvons déconcentrer les chiffres obtenus à l'échelle de la région et à l'échelle nationale et établir une estimation en fonction du nombre d'employés et donc en fonction des surfaces chauffées.

## C. Méthode appliquée au secteur des transports

Il existe peu de données pour le secteur des transports à l'échelle d'une ville. Les chiffres des ventes de produits pétroliers ne sont disponibles qu'à l'échelle du département. Les distributeurs locaux sont nombreux et non disposés à mettre à disposition des renseignements tels que leurs chiffres de vente pour des raisons de concurrence. C'est pourquoi les solutions restantes pour établir un bilan énergétique dans le secteur des transports sont l'estimation à partir de ratio et l'extrapolation.

### Une pré-étude :

Il faut établir un ratio de consommation par habitant à partir des données sur les ventes de carburant à l'échelle du département. Ces données sont fournies par le CPDP (Comité professionnel du pétrole). Ce ratio de consommations/habitants sera appliqué à la ville de Limoges. Dans un premier temps, cela donne une première échelle de grandeur.

### L'estimation des consommations à partir de la circulation routière réelle :

Pour établir cette estimation, il est nécessaire d'avoir à disposition trois variables : les données concernant la circulation des véhicules sur la voirie de l'agglomération, les parts de marché des différents modes de transport motorisés et les consommations unitaires.

### Les consommations unitaires :

Nous prendrons comme ratios les chiffres suivants publiés par la DGEMP / Observatoire de l'énergie et le Ministère de l'équipement. Ces ratios sont adaptés aux conditions urbaines.

Consommations unitaires / Transports / différents véhicules, en litre / 100 km								
Véhicules particuliers		Deux-roues		Véhicules utilitaires		Poids lourds		
VP essence (communes > 50000 hab)	VP Diesel (Communes > 50000hab)	Cyclo-moteurs	Moto-cycles	Véhicules utilitaires essences	Véhicules utilitaires diesel	Poids lourds diesel	Tracteurs routiers	Autocar et bus
8,3	6,9	3,3	6,6	9,6	9,8	37,5	37,7	42,1

### Les coefficients de conversion :

Un litre d'essence = 0,786 tep

Un litre de gazole = 0,866.

### Les parts de marché des différents modes de transport :

A moins qu'il y ait des études spécifiques qui aient été menées, les parts de marché des différents modes de transport sont rarement connues à l'échelle d'une ville. Lorsque des études telles que l'Enquête Ménage Déplacement (Enquête par questionnaire sur les déplacements des particuliers dans l'agglomération, méthodologie d'après un cahier des charges du CERTU) sont réalisées, elles avancent une part des marché des transports. En l'occurrence, La communauté d'agglomération de Limoges a lancé cette étude mais les résultats n'étaient pas encore disponibles.

Nous nous sommes basé sur les données à l'échelle nationale publiées dans sa thèse par Béatrice Bourdeau. *Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020* Dans sa recherche, elle avance pour la période 2004 la répartition suivante :

Parts de marché dans le parc roulant en milieu urbain (%)						
VP		VUL		PL		
VP essence	VP diesel	VUL essence	VUL diesel	Camion	Tracteur routier	Bus
41	32	1	16	3,5	5,5	1

### **Le trafic sur la voirie :**

L'objectif est de connaître le nombre de kilomètres parcourus sur la voirie de la commune de Limoges afin d'en déduire la consommation énergétique qui y est liée. La méthodologie à employer dépend de la disponibilité des données. En général, les villes moyennes et les grandes villes ont mis en place des comptages routiers, ont établi une hiérarchie des voiries en fonction de l'intensité de la circulation ou ont réalisé des modélisations de l'occupation de la voirie. La tâche s'avère certainement plus difficile sur des espaces ruraux ou peu peuplés. Dans ce cas là, on peut relever le parc urbain statique et lui appliquer des coefficients de consommation annuelles. Dans le cas de la Ville de Limoges, nous avons à disposition deux modèles SIG (systèmes d'informations géographique). Un premier nous a renseigné sur les comptages routiers, seulement, ce SIG ne présentait que des points et non des filaires ce qui ne nous a pas permis d'estimer les distances totales parcourues par l'ensemble de ces véhicules relevés lors des campagnes de comptage routier. Ce SIG nous a été utile qualitativement. Par contre un modèle Davisum avait été établi par le bureau d'étude Thalès lors de l'étude clientèle des TC. Ce modèle avait permis d'estimer le nombre de véhicules particuliers et de transports en commun qui parcouraient les grands axes de la ville. Cette base de données nous a appris le nombre de kilomètres parcourus par la totalité des véhicules motorisés sur les plus grands axes de la commune de Limoges (ne possédant que le rendu SIG du filaire voirie pour la commune de Limoges, l'enquête a été réduite à la seule commune de Limoges). Ainsi, sur 600 km de voirie de Limoges où en moyenne 4500 véhicules circulent chaque jour, 2 511 000 km sont parcourus par des véhicules à moteur.

En ce qui concerne les plus petits axes, l'intensité de circulation y a été estimée grâce à des tables SIG produites par le service régulation du trafic (qui présentent une typologie de la voirie en fonction de la circulation) et à partir des comptages routiers. Ainsi, nous avons distingué les voies de hiérarchie 2 (4000 à 10000 véhicules /jours) qui n'avaient pas été prises en compte dans le modèle de trafic routier davisum et les voies restantes classées 3-5 sur lesquelles on considère que le trafic atteint en moyenne 600 véhicules /jours /sens de circulation soit 1100 véhicules/jours pour les deux sens de circulation.

Ainsi, on obtient une estimation des distances parcourues sur la voirie de la commune par les différents véhicules à moteur en une journée.

### **Le calcul global est le suivant :**

$$C = D \times V \times T \times CU$$

C : Consommation d'énergie dans les transports, D : Distance de chacun des tronçons de la voirie auxquels sont associés une charge de véhicules, T : Coefficient de temps pour passer de la charge horaire à la charge annuelle, CU : consommation unitaire.

## **D. Méthode appliquée au secteur de l'Industrie**

### **Les données existantes :**

Les données des consommations d'énergie dans l'industrie sont publiées par la DGEMP/Observatoire de l'énergie dans « *Le bilan régional de l'observatoire de l'énergie* » mais le plus petit territoire renseigné est la région.

### **L'EACEI :**

Les résultats donnés par la DGEMP sont obtenus grâce à *l'enquête annuelle des consommations d'énergie dans l'industrie* : l'EACEI. C'est une enquête réalisée dans le cadre de la loi du 7 juin 1951, elle est réalisée par deux services : le service des études statistiques industrielles du ministère de l'Economie (SESSI) et le service central des enquêtes et des études statistiques (SCES) du ministère de l'Agriculture. Cette enquête fournit des informations sur l'industrie au sens



strict et sur l'industrie agroalimentaire. Les établissements de plus de 500 salariés sont tous interrogés. Les établissements de 20 à 499 salariés subissent un sondage, un établissement sur quatre est enquêté excepté pour quelques secteurs très consommateurs qui le sont de manière exhaustive.

Cette enquête pourrait s'avérer utile pour la réalisation d'un bilan énergétique local seulement il y a quelques contraintes. A l'échelle française, les établissements de 20 à 499 employés sont sondés mais à l'échelle d'une région ou d'un territoire infra régionale, le rapport est variable, il peut aller de 1 établissement sur 6 à 10 sur 10. Les établissements de 1 à 19 salariés ne sont pas enquêtés et le BTP non plus. Enfin, il faut être habilité au secret statistique pour accéder à ces informations. Cette option n'a donc pas été retenues pour le *bilan énergie de la ville de Limoges*.

#### **L'estimation descendante :**

Etant donné que la consommation d'énergie dans l'industrie à l'échelle de la région Limousin est connu, il est intéressant de trouver une clé de passage pour estimer la part de l'industrie à l'échelle d'une commune telle que Limoges.

Les emplois sont recensés par activité économique par l'INSEE dans son RGP 99. Ainsi, nous pouvons connaître le nombre d'employés dans le secteur de l'industrie (Industrie agroalimentaire comprise) et de la construction en région Limousin et par là-même, nous pouvons supposer que la consommation d'énergie est proportionnelle au nombre d'employé et ainsi constituer des consommations unitaires :

$$CU = CL/E$$

CU : consommation unitaire de l'industrie Limousine, CL : consommation d'énergie dans l'industrie en Limousin, E : Nombre d'employés.

A partir de cette consommation unitaire, il est possible d'estimer la consommation d'énergie dans l'industrie à limoges.

$$CLimoges = CU \times ELimoges$$

*ELimoges* : nombre d'employés dans l'industrie (avec IAA) et le construction à limoges.

#### **L'équilibrage des estimations à partir des données réelles :**

Gaz de France et EDF ont mis à disposition de la collectivité les chiffres de leur vente de gaz et d'électricité sur le territoire de la ville de Limoges.

Les ventes de produits pétroliers détaillées (essence, gazoil, fioul, GPL...) sont accessibles auprès du CPDP (Comité professionnel du pétrole) à l'échelle du département. Cela permet d'établir un ratio de consommation par habitant. Ce ratio de consommations/habitants appliqué à la ville de Limoges nous donnera une échelle de grandeur.

Ces données réelles ont été comparées aux estimations obtenues par l'étude ce qui a permis de réaliser des réajustements pour le secteur de l'industrie qui présentait la méthode d'estimation la moins fiable.

## **E. Les émissions de gaz à effet de serre du territoire**

Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie sont dépendantes des consommations d'énergie du territoire. A chaque source d'énergie consommée, on applique un facteur d'émission de gaz à effet de serre. L'indicateur retenu est l'équivalent carbone, par définition, un kg de CO<sub>2</sub> vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone, c'est à dire le poids du carbone seul dans le composé "gaz carbonique".

Les facteurs d'émission de gaz à effet de serre		
sources: Jancovici, ADEME/Méthodologie du bilan carbone		
	Kg équivalent carbone par tep	Kg équivalent carbone par kWh
essence	981	
pétrole	889	
fioul lourd	1013	
diesel, fioul domestique	958	
GPL	867	
Kérozène	952	
gaz	739	
charbon	1209	
coke de lignite	1327	
électricité	103,6	0,023
chaleur/charbon		0,107
chaleur/gaz		0,062
chaleur/fioul		0,085
chaleur/ordures		0

Le calcul est donc le suivant :

**GES = Facteurs d'émission par mode d'énergie x Consommations d'énergie primaire par mode d'énergie.**

Clermont-Ferrand

**Situation Géographique de la ville de Clermont-Ferrand**

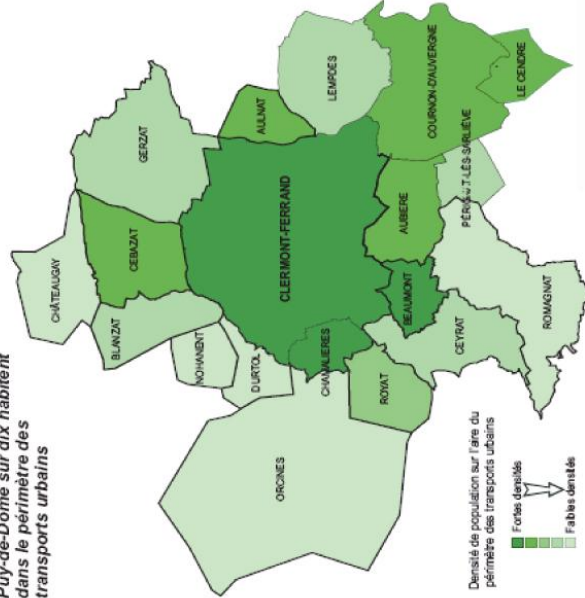
La capitale Auvergnate du nord-est du Massif Central est surplombée à l'Ouest par la chaîne des Volcans et s'étend à l'Est vers la plaine de la Limagne. Abrisée par la chaîne des Puy, à 410 m d'altitude, la ville de Clermont-Ferrand bénéficie d'une pluviométrie parmi les plus faibles de l'hexagone et d'un ensoleillement modéré de 1907 heures par an.

La ville de Clermont-ferrand se trouve à l'intersection des axes Paris-Montpellier et Lyon-Bordeaux. Le département du Puy de Dôme a subi comme partout en France une importante déprise rurale au profit de l'agglomération. Son attractivité a fait d'elle la 18ème aire urbaine française avec 409 559 habitants (INSEE, 1999). Le pôle urbain compte 250 000 habitants sur 17 communes, soit une densité de 1430 hab/km². La ville centre concentre plus de 100 000 emplois. En effet, elle est le siège d'importantes multinationales : Michelin, Volvic, Limagrain...

L'aire urbaine présente une importante périurbanisation: la seconde couronne (commune de l'aire urbaine hors de l'unité urbaine) s'étale sur 130 communes avec une densité très faible de 93 hab/km².



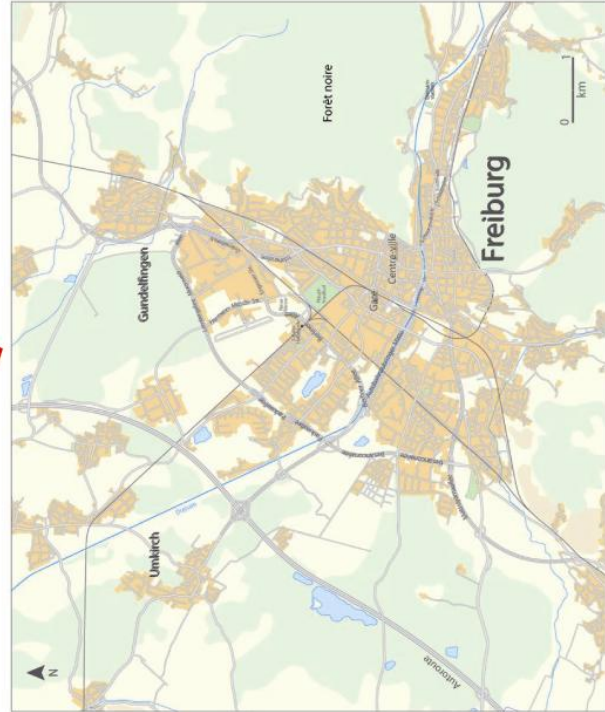
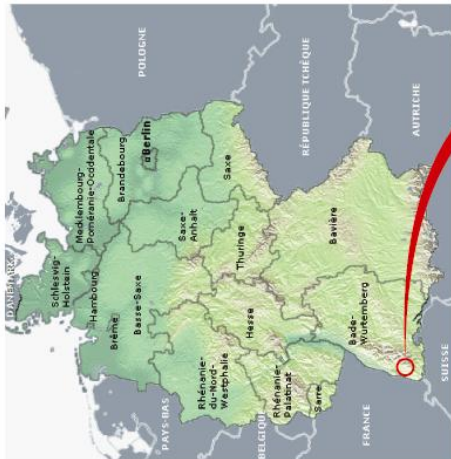
*Un peu plus de quatre habitants du Puy-de-Dôme sur dix habitent dans le périmètre des transports urbains*



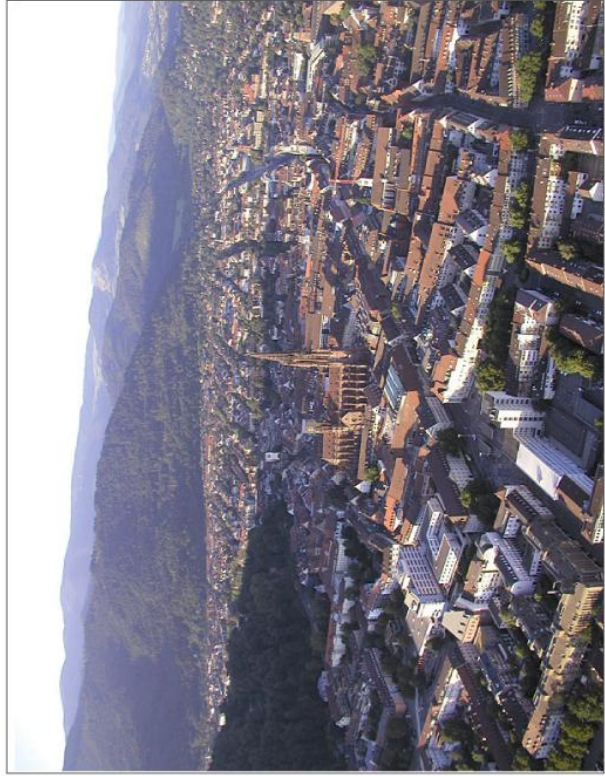
## Situation géographique de la ville de Freiburg Im Brisgau

Au sud-ouest de l'Allemagne, une des villes les plus méridionale du pays, Freiburg Im Brisgau accueille 215 000 habitants. Le chef-lieu de la Regierungbezirk de Freiburg Im Brisgau dans le Land de Baden-Württemberg est une cité fondée il y a 900 ans entre la vallée du Rhin supérieur et le massif de la Forêt Noire, à la frontière de la France et de la Suisse. Cette ville s'étend sur une superficie assez plane de 150 km<sup>2</sup> dans la vallée de la Dreisam. Elle bénéficie d'un des meilleurs ensoleillement d'Allemagne.

La ville de Freiburg Im Brisgau mène une politique écologique volontariste, elle est renommée pour son dynamisme dans le domaine du solaire et pour le quartier durable de Vauban. Cette municipalité est dirigée par le parti politique des verts avec à sa tête Dieter Salomon.



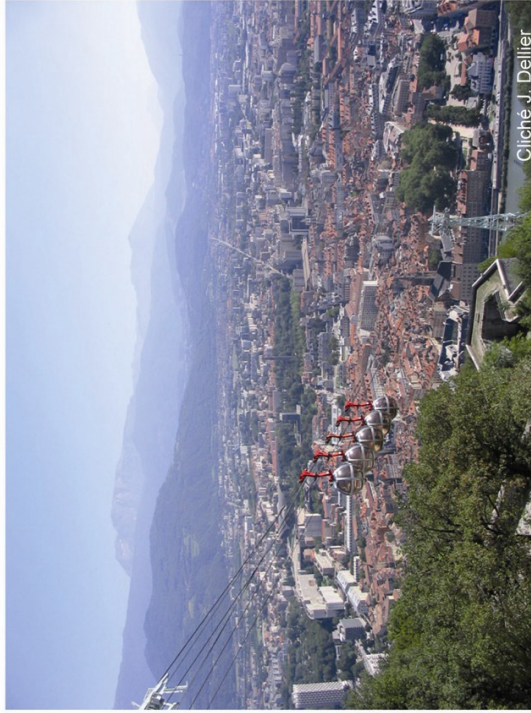
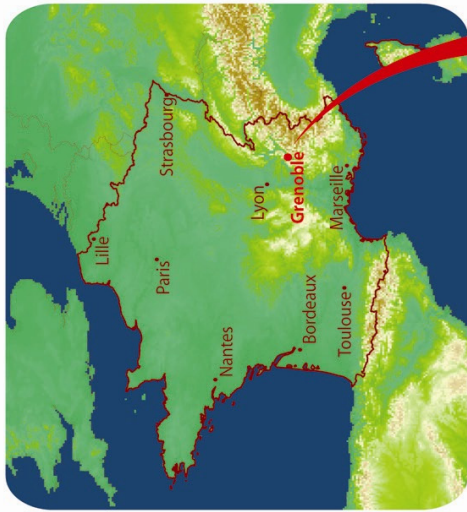
Source : d'après un fond de carte de la Municipalité de Fribourg



Cliché: Municipalité de Fribourg

## Situation géographique de la ville de Grenoble (Fr.)

Chef-lieu du département de l'Isère, en région Rhône-Alpes, la ville s'insère entre les massifs du Vercors, de la Chartreuse et la chaîne de Belledonne. L'agglomération s'étend sur les plaines alluviales de l'Isère et du Drac, elle se trouve par conséquent à une altitude moyenne de 214 m. Grenoble est une des villes les plus plates d'Europe. L'ensoleillement y est relativement supérieur à la moyenne française avec 2030 h/an. La communauté d'agglomération compte 396 792 habitants et l'aire urbaine en comprend 514 586 (INSEE, 1999).



0 10000 20000

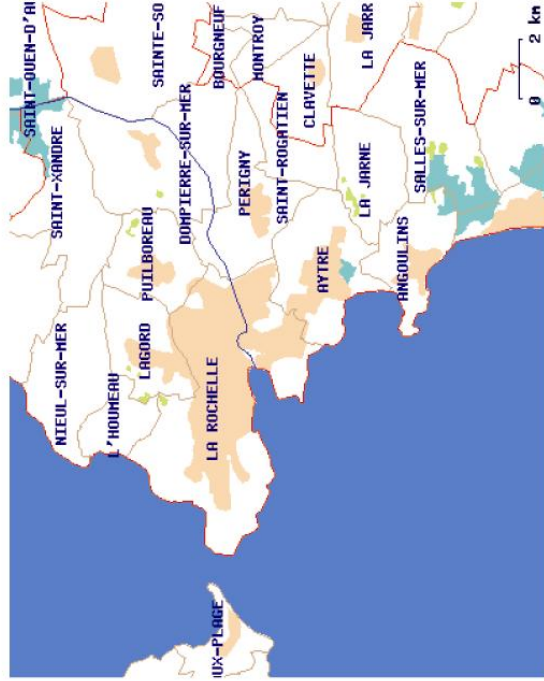
réalisé par Sylvain Le Roux, laboratoire GEOLAB, UMR 6042 CNRS

## Situation Géographique de la ville de La Rochelle

Située en bordure de l'océan Atlantique, la ville est avant tout un complexe portuaire de premier ordre. L'altitude moyenne est de quatre mètres, et le relief varie de 0 à 28 mètres. Un microclimat permet à la ville de La Rochelle de bénéficier d'un taux d'ensoleillement moyen exceptionnel (2250 heures de soleil par an). Outre son port d'activité, l'agglomération est réputée pour sa « qualité de vie ». Elle s'est depuis engagée dans une politique pionnière en matière d'écologie avec son ancien maire Michel Crépeau, ex-Ministre de l'Environnement): premier secteur piétonnier de France en 1970, premiers vélos en libre-service en 1974, premières voitures électriques en libre-service en 1986,...



www.bernezc.com



## Situation Géographique de la ville de Lausanne

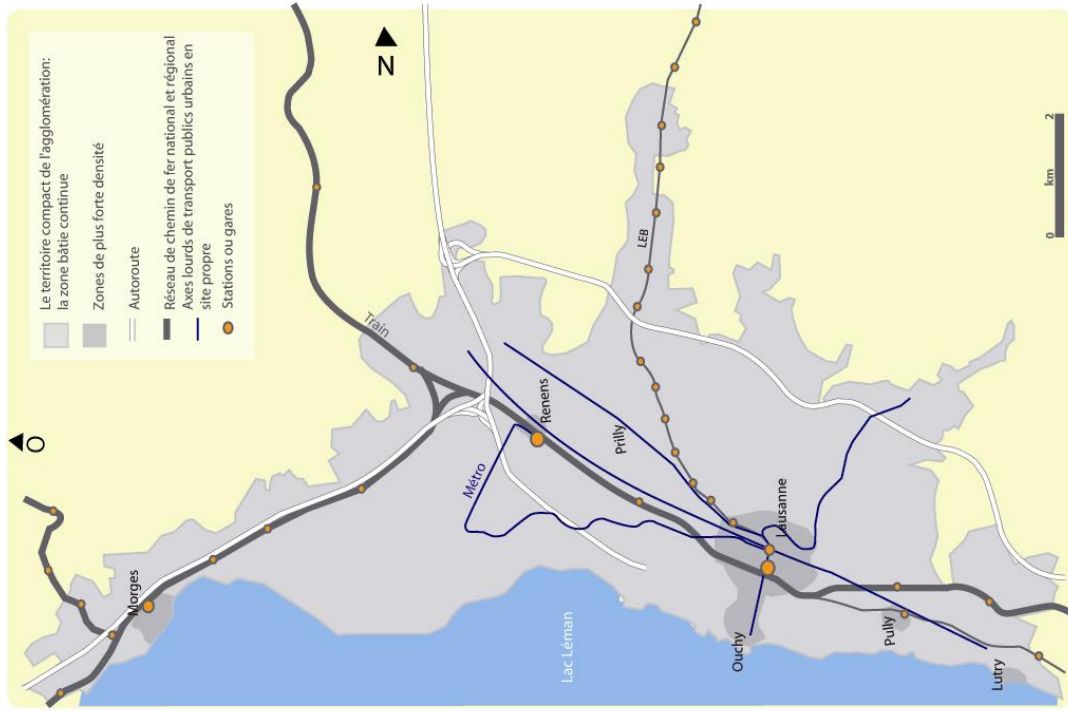
Cinquième ville de Suisse, Lausanne est la capitale du canton de Vaud. L'agglomération compte 311'441 habitants en 2000. La ville a été construite sur trois collines surplombant le lac Léman, sa topographie est par conséquent très mouvementée. Entre le port d'Ouchy au sud de la commune et les quartiers du nord, le dénivelé est de 300 m. A l'Est, les coteaux plantés de vignes inscrits au patrimoine de l'Unesco présentent des pentes très raides. Cette topographie a imposé un développement urbain vers l'ouest plutôt que vers l'est, plus contraint.

L'agglomération, située au sein de l'arc lémanique qui l'associe à Genève, Chambéry et Grenoble, est très attractive et très dynamique.

Son maire, M. Brélaz fut le premier écologiste appelé à siéger dans un parlement national au Conseil national ce qui explique la conduite d'une politique environnementale engagée.



Photo: Ville de Lausanne/Jacques Straesslé

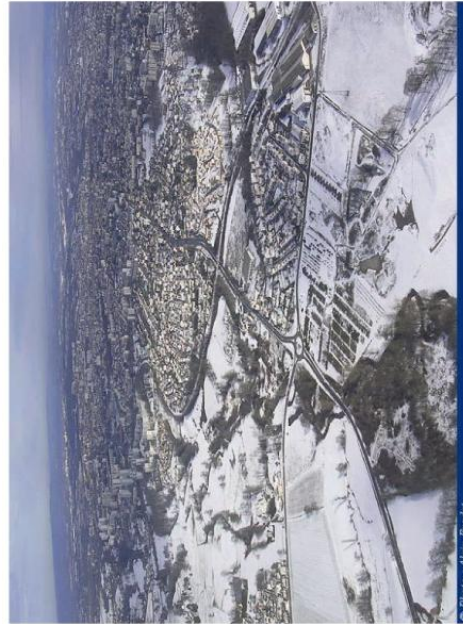


Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042

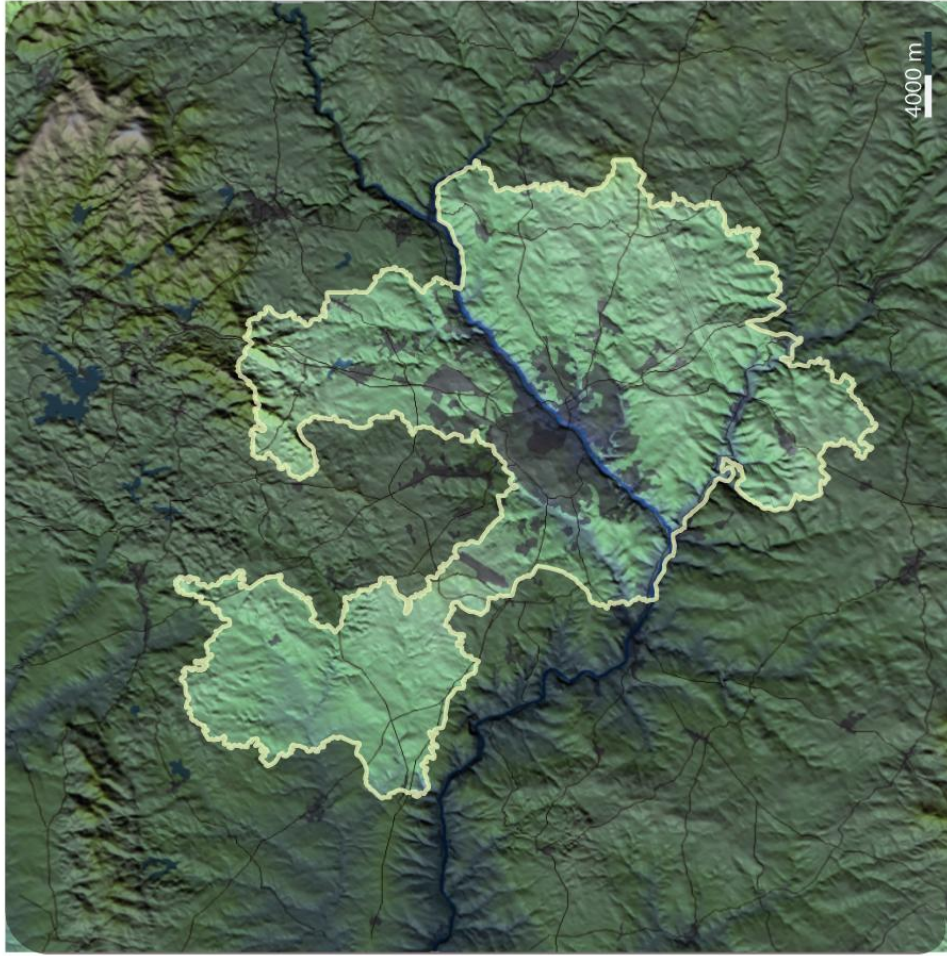
## Situation Géographique de la ville de Limoges

La ville de Limoges est la capitale de la Région Limousin, c'est une agglomération peuplée d'environ 200 000 habitants au sein du département de la Haute-Vienne, sur la partie occidentale du Massif Central.

La ville est implantée sur le plateau Limousin à une altitude d'environ 300 m. L'axe hydrographique majeur qui la traverse est la Vienne. La ville centre ainsi que seize communes périphériques sont regroupées dans une communauté d'agglomération: Limoges Métropole.



© Photo: Alain Pradier



Carte de la situation géographique de la communauté d'agglomération de Limoges

— limites administratives de la CALM  
 — routes principales  
 — cours d'eau  
 — zone bâtie artificielle

réalisé par Sylvain Le Roux, laboratoire Geolab, Université de Limoges sources : BD alt IGN, Corin lan cover, CALM



### **Annexe 3 : Les acteurs interviewés durant l'enquête qualitative**

#### **Avignon (Fr)**

Fanny Galiana, chargée d'étude à l'agence d'urbanisme d'Avignon

M. Arnaud, chargé de mission service voirie, transports

Elodie Castex, doctorante en Géographie à l'Université d'Avignon, UMR 6012 Espace

Cyril Genre-Grand-Pierre, chercheur à l'Université d'Avignon, UMR 6012 Espace

#### **Montpellier (Fr)**

Philippe Sevé, Ingénieur chargé d'opérations, Direction générale des services techniques, direction aménagement et programmation

#### **Suddon (R-U)**

Visite de BEDZED et rencontre d'une personne de l'association Bioregional

#### **Girona (Es)**

Jordi Figueras, chargé de mission développement durable.

#### **Clermont-Ferrand (Fr)**

Sébastien Contamine, directeur de l'ADUHME

Melle Ferreira chargée d'étude d'aménagement, Logidôme

Cécile jacquet et Philippe Denis, OPAC du Puy de dôme

M. Monge, en charge de la centrale PV du SMTC

Yvan Astier (politique des transports), Robert Clouvel (assistant de Patrice Charlat)

Odile Vignal, Adjointe au maire à l'écologie et au développement durable

M. Cavagna, service technique, ville de Clermont-Ferrand.

#### **Lausanne (S)**

Ulrick Liman, Service Logement

Yves Roulet, Minergie

Stéphanie Petit, ex-Services industriels de Lausanne

M Lististorf, service urbanisme de Lausanne

M. Gonzales (remplacé) servie route et mobilité de Lausanne

Mme Bozovitch, Compagnie des transports de Lausanne T2L

#### **Grenoble (Fr)**

Martine Echevin, directrice de l'ALE

Jérôme Buffière, chargé de mission à l'ALE

Vincent Fristot, conseiller municipal aux espaces verts, déchets urbains et à la maîtrise de la demande énergétique

Jean-Paul Giraud, Président directeur général de Gaz Electricité de Grenoble

Dominique Mulé, Directeur Commercial Compagnie de chauffage, CCIAG

Marie Couvrat-Devergnès, chargée d'études déplacements et Anne Marie Maur, chargée du projet Urbanisme/Transports à l'Agence d'urbanisme de la région grenobloise

Perine Flouret, Service Urbanisme/Prospective Urbaine

### **Dunkerque (Fr)**

Arnaud Duquenoy, chef du service « Utilisation rationnelle de l'énergie » de la Communauté Urbaine de Dunkerque

Francis Nave, AGUR (Agence d'urbanisme de la région de Dunkerque)

M.Saidi, service énergie de la ville de Dunkerque

### **Barcelona (Es)**

Salvador Rueda, Directeur de l'Agence d'écologie Urbaine de Barcelone

Agencia locale de energia

### **La Rochelle (Fr)**

Alain Bûcherie, Elu environnement de la Ville de La Rochelle

Jacques Brunet, Directeur de la chaufferie de Villeneuve les salines (ELYO)

Thierry Réveillère, service transports de l'agglomération

M. Mallié, Directeur d'Atmosphère / Immodirect

Emmanuel Boutin (août 2005), chargé du contrat ATENEE au service environnement de la Communauté d'agglomération de La Rochelle

Steno, chargé du contrat ATENEE

M. Lacroix, service énergie de La Rochelle.

Xavier Pujos, chargé de mission énergie de la CDA

### **Limoges (Fr)**

Aline Biardeaud, Adjointe au Maire chargée de l'Environnement

Arlette Martin-Ceuille, Directrice du service Action économique

Pascal Hamelin, Directeur du service de la DIMAP

Christophe Mathieu, Directeur-adjoint du service Urbanisme

Jean-François Desfarges, Chargé de mission au service Espace public

David Hivert, Chargé de mission au service de la DIMAP

David Bregeat, Chargé de mission au service de la DIMAP

Didier Gouban, Directeur du service SIG

Jean-Paul Renaudie, Directeur du service Transport de la communauté d'agglomération

M. Trouville, Directeur de l'OPHLM

M. Gardelle, Directeur de la SELI

Daniel Puharre, Chargé d'opérations

Marie-Joëlle Barri, Chargée d'opérations

Marie-Claire Perlès, Chargée d'opérations

Xavier Nègre, Chargé d'opérations

M. Didière, Chargé de l'opération Coeur de ville

Christian Bresson, Délégué régional EDF

#### **Fribourg en Brisgau (All)**

Walter Aussenhofer, Umweltschutzamt, Stadt Freiburg

Jan Maurer, Trafic planning departement, Municipality of Freiburg

Herr Dickmann, Stadtplanuncentre

Kirstin Bertram, Forum Solar Region

Rudolf Michna, professeur d'Université à la faculté de géographie de Fribourg en Brisgau

#### **Perpignan (Fr)**

Société Hydrelec

## Annexe 4

Questions extraites du questionnaire : Les collectivités locales des villes moyennes et la maîtrise de l'énergie

Poste de l'enquête / Coordonnées / Tendance politique de la collectivité

1. Quelle est la politique énergétique en vigueur dans votre commune ou dans votre communauté d'agglomération ?

Quels en sont les points essentiels ?

2. Existe-t-il des politiques et des pratiques visant à favoriser les économies d'énergie ?

Quelles sont-elles ?

Quels sont les résultats ?

2.bis Existe-t-il des politiques et des pratiques pour développer les énergies renouvelables ?

Lesquelles ?

Quels sont les résultats ?

3. Quelles sont les autres politiques et actions mises en place pour lutter contre les impacts environnementaux liés à l'énergie ?

4. Quelles sont les politiques et actions :

En matière de production d'énergie (chaleur, électricité...)

Ex : la ville est-elle propriétaire ou gestionnaire d'une ou plusieurs installations de production d'énergie ? Si oui, de quels types ?

En matière de consommation municipale d'énergie (chaleur, électricité...) :

Quelles sont les mesures visant à limiter les consommations d'énergie ?

du patrimoine bâti municipal :

de la flotte de véhicule :

de l'éclairage public :

En matière de transport :

Quelles sont les mesures concrètes pour limiter les déplacements en général et les trajets automobiles en particulier ?

Quels sont les modes de transport publics qui sont proposés, quelle énergie utilisent-ils ?

En matière d'urbanisme :

Ex : Les projets d'urbanisme prennent-ils en compte un volet déplacement ? Y a-t-il cohérence entre le futur bâti et les transports en commun ?

En matière de sensibilisation :

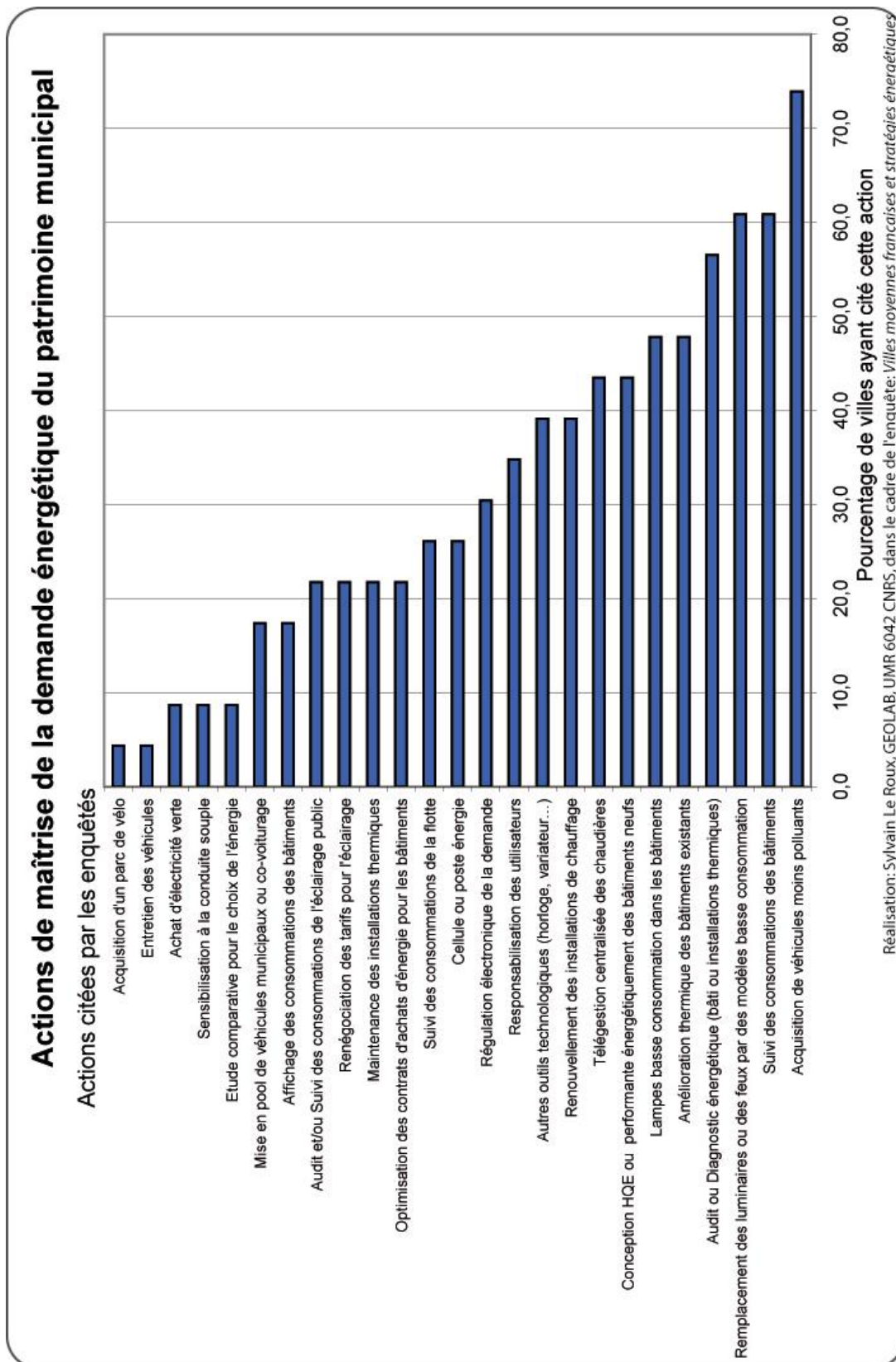
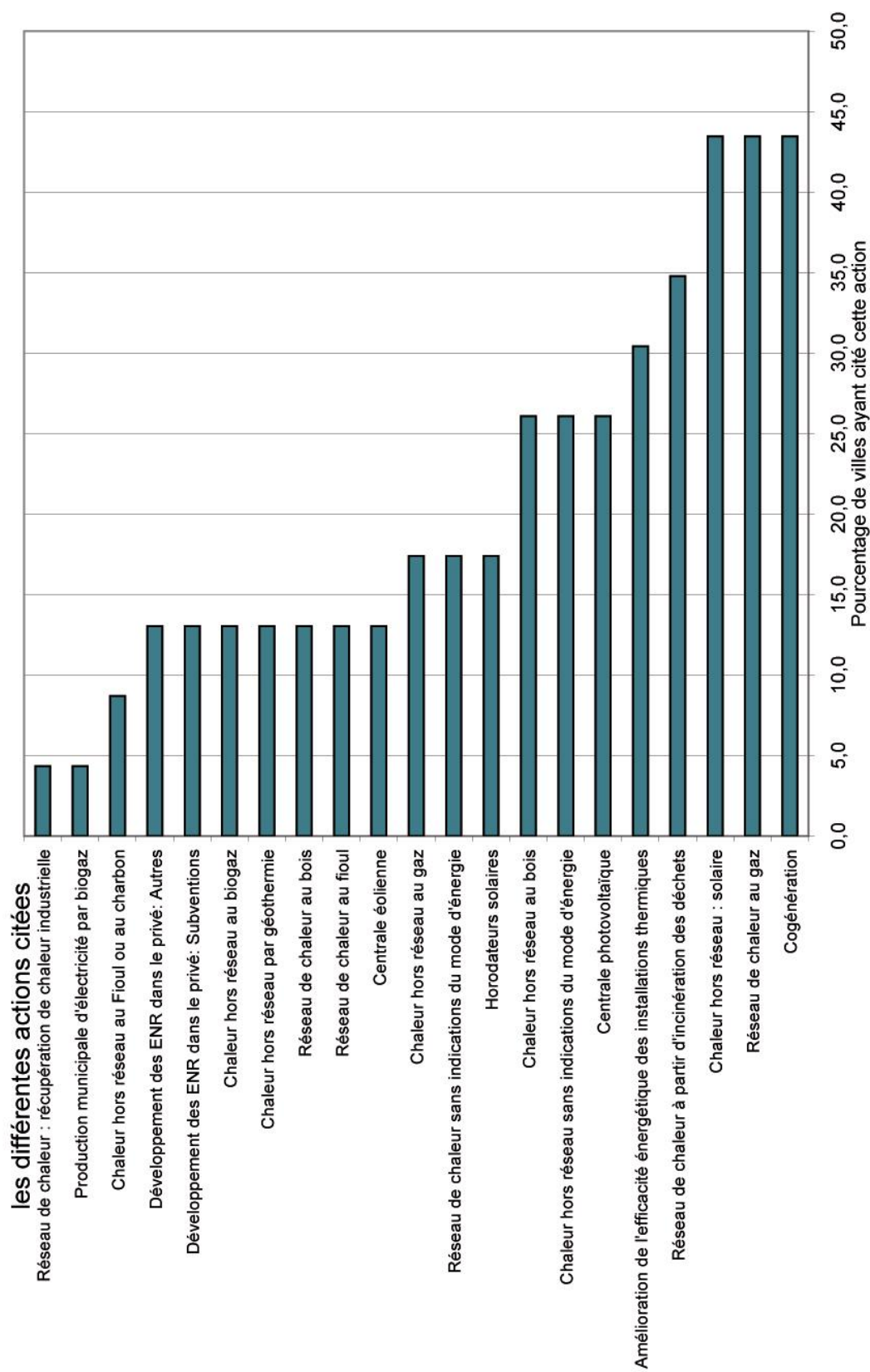


Figure A

## Le rôle des collectivités locales dans la production locale d'énergie

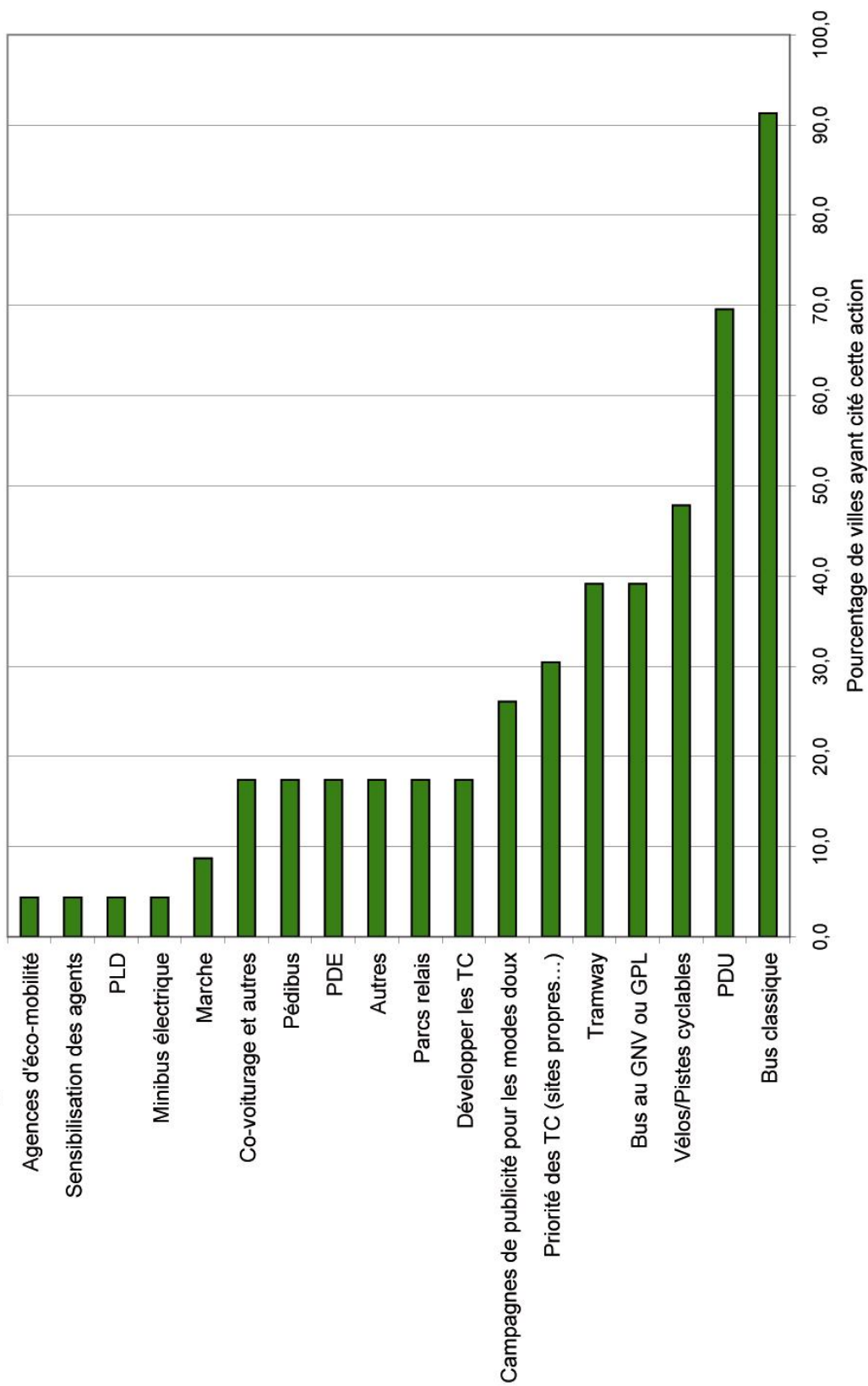


Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS, dans le cadre de l'enquête: Villes moyennes françaises et stratégies énergétiques

Figure B

## La maîtrise de l'énergie par la gestion de la mobilité:

### Les actions citées par les collectivités

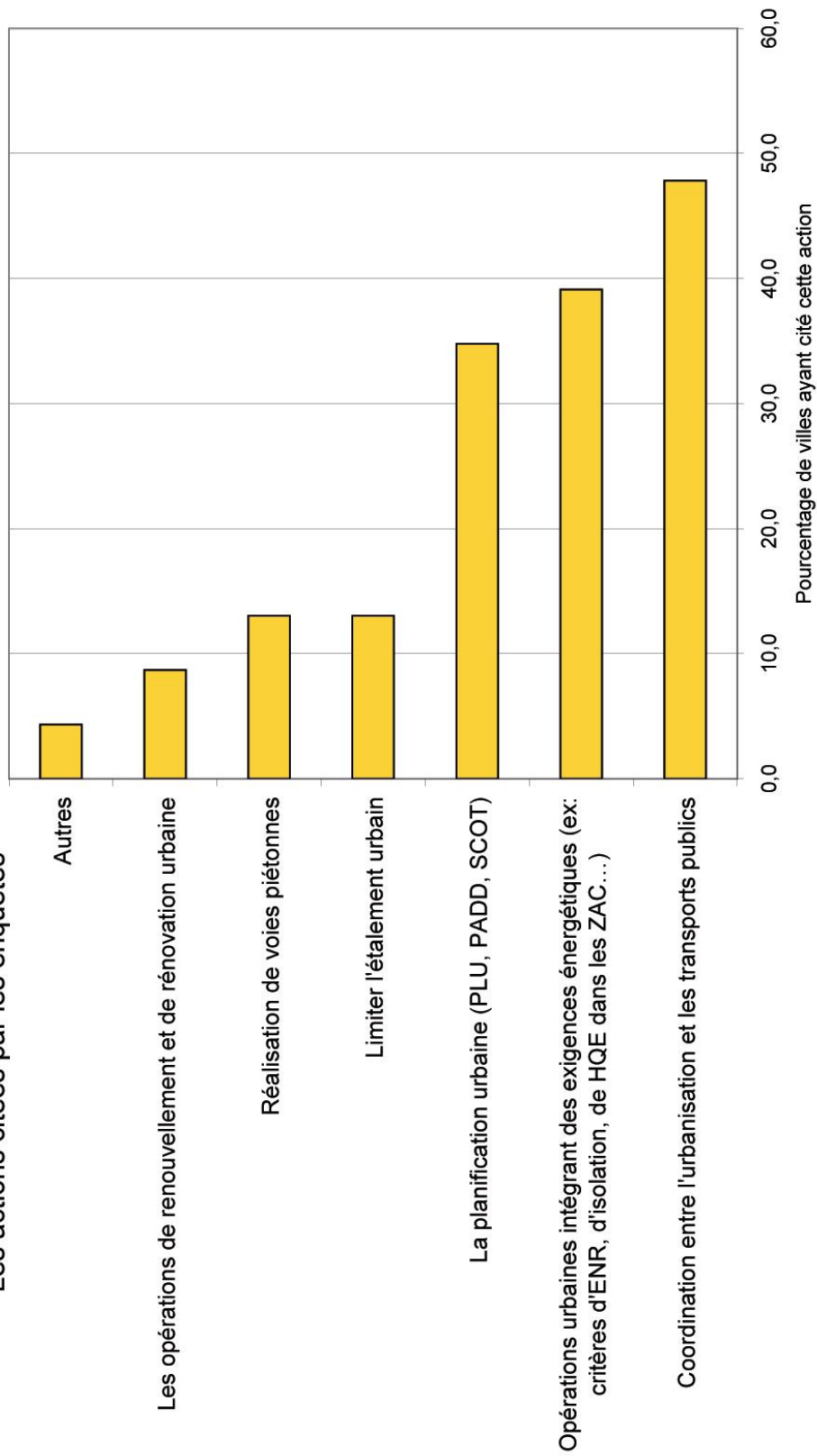


Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS, dans le cadre de l'enquête: *Villes moyennes françaises et stratégies énergétiques*

Figure C

## Les pratiques d'aménagement urbain dans la gestion énergétique des collectivités

Les actions citées par les enquêtés

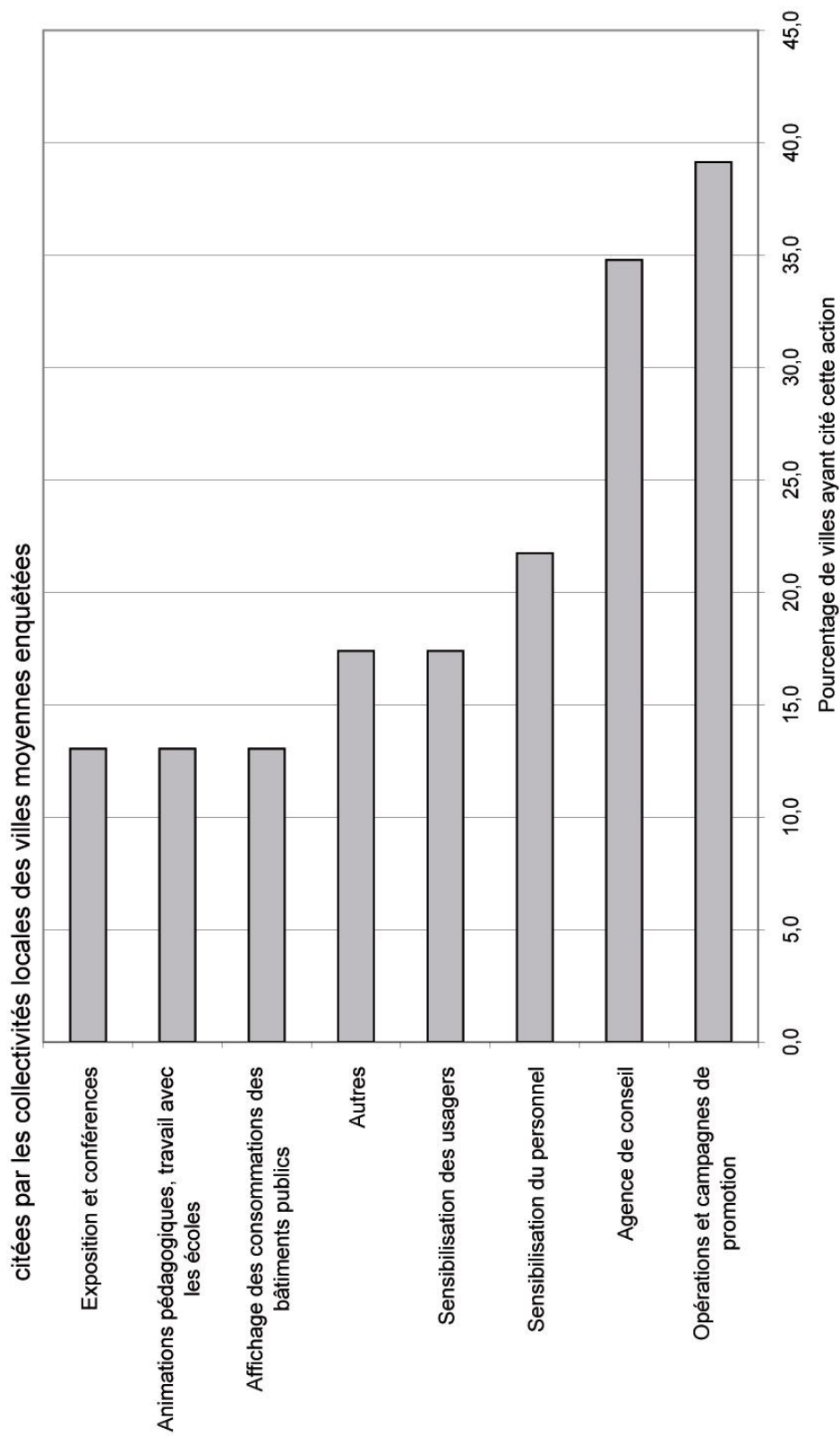


Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS, dans le cadre de l'enquête: *Villes moyennes françaises et stratégies énergétiques*

Figure D



## Les actions de sensibilisation et d'incitation en faveur de la maîtrise de l'énergie



Réalisation: Sylvain Le Roux, GEOLAB, UMR 6042 CNRS, dans le cadre de l'enquête: Villes moyennes françaises et stratégies énergétiques

Figure E



# Table des illustrations

Figure 1 : L'accroissement de la population urbaine en France. ....	17
Figure 2 : L'évolution parallèle de la croissance démographique et des besoins énergétiques. ....	24
Figure 3 : L'évolution de la consommation mondiale d'énergie. ....	26
Figure 4 : La consommation d'énergie primaire dans le monde. ....	28
Figure 5 : La consommation d'énergie primaire par habitant dans le monde. ....	29
Figure 6 : L'état des lieux énergétique français. ....	34
Figure 7 : Les réserves énergétiques mondiales par continent. ....	36
Figure 8 : Des conflits et des tensions géopolitiques avec pour toile de fond l'énergie. ....	41
Figure 9 : Les impacts environnementaux liés à l'énergie. ....	43
Figure 10 : Les émissions de gaz à effet de serre en France. ....	49
Figure 11 : Les émissions mondiales de CO2 liées à la combustion d'énergie par pays. ....	50
Figure 12 : La pollution atmosphérique liée à l'utilisation d'énergies fossiles. ....	52
Figure 13 : Les impacts sanitaires liés à la pollution atmosphérique. ....	54
Figure 14 : Tarifs de rachat de l'électricité d'origine renouvelable. ....	66
Figure 15 : Les crédits d'impôts sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. ....	68
Figure 16 : La démarche hypothético-déductive. ....	80
Figure 17 : La collecte de données. ....	80
Figure 18 : Les mots-clés et expressions de la recherche bibliographique. ....	81
Figure 19 : Les interlocuteurs de l'enquête par questionnaire. ....	84
Figure 20 : Les villes étudiées pour l'enquête par questionnaire. ....	85
Figure 21 : Les zones d'études sélectionnées pour l'enquête qualitative. ....	88
Figure 22 : Les compétences des collectivités locales en matière d'énergie. ....	90
Figure 23 : Energie et environnement, approche systémique de l'espace urbain. ....	101
Figure 24 : Analyse comparée de plusieurs méthodes de quantification des consommations d'énergie et des gaz à effet de serre. ....	108
Figure 25 : Le bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble. ....	119
Figure 26 : Le bilan énergétique de la ville de Rennes. ....	120
Figure 27 : L'approvisionnement et la production d'énergie à Dunkerque. ....	123
Figure 28 : Les réseaux de chaleur et les cogénérations de Fribourg. ....	127
Figure 29 : Consommations d'énergie de la commune de Limoges, 1999. ....	133
Figure 30 : Consommations d'énergie de l'agglomération de La Rochelle. ....	134
Figure 31 : Consommations d'énergie de l'agglomération de Grenoble. ....	135
Figure 32 : Le bilan énergétique de l'agglomération de Grenoble par communes. ....	136
Figure 33 : Les émissions de gaz à effet de serre à Fribourg. ....	137
Figure 34 : Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie à Limoges. ....	139
Figure 35 : Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie à La Rochelle. ....	139
Figure 36 : Les émissions de gaz à effet de serre à Grenoble. ....	141
Figure 37 : Les émissions de gaz à effet de serre à Bourges. ....	142
Figure 38 : Les consommations unitaires du chauffage dans le résidentiel français. ....	146
Figure 39 : Ventilation des consommations d'énergie du secteur tertiaire de Limoges. ....	148
Figure 40 : Résultats de l'enquête ménages-déplacements dans 40 villes françaises. ....	150
Figure 41 : Etude comparée de l'efficacité énergétique des modes de transports urbains. ....	151
Figure 42 : La mobilité quotidienne à Clermont-Ferrand. ....	152
Figure 43 : L'évolution démographique du bassin de vie de Clermont-Ferrand. ....	156
Figure 44 : L'accroissement démographique du bassin de vie de Clermont-Ferrand. ....	157
Figure 45 : Densité urbaine et consommation d'essence d'après Newman et Kenworthy. ....	159
Figure 46 : Formes urbaines et potentiel de réduction des consommations d'énergie selon S. Owens. ....	160
Figure 47 : Lien entre la consommation d'énergie liée aux déplacements et la densité à Lille. ....	161
Figure 48 : Les interrelations entre la densité, l'habitat et les déplacements. ....	164
Figure 49 : La population de l'aire urbaine de Grenoble par commune. ....	167
Figure 50 : Les liens entre la densité et les émissions de CO2 liées aux transports à Grenoble. ....	168
Figure 51 : La sectorisation des fonctions, génératrice de flux dans la ville moyenne. ....	171

Figure 52 : Les émissions de carbone liées aux transports et aux matériaux entrants à Bourges. . .	174
Figure 53 : Les facteurs d'émissions de carbone par mode d'énergie. ....	175
Figure 54 : Etude comparée des bilans énergétiques de plusieurs villes moyennes. ....	177
Figure 55 : Synthèse de la partie II. ....	179
Figure 56 : Réponses à la question « Quelle est la politique énergétique en vigueur sur votre commune ? ». ....	186
Figure 57 : Réponses à la question « Existe-t-il des politiques et des pratiques pour développer les énergies renouvelables sur votre commune ? ». ....	187
Figure 58 : Les actions de planification énergétique des villes moyennes enquêtées. ....	188
Figure 59 : Le potentiel d'action des collectivités locales des villes moyennes en matière d'énergie. ....	196
Figure 60 : Photo aérienne infrarouge de Dunkerque .....	199
Figure 61 : Le système énergétique du chauffage urbain de la Gauthière à Clermont-Ferrand. ....	205
Figure 62 : Le chauffage urbain de Villeneuve-les-Salines à La Rochelle. ....	208
Figure 63 : Le réseau de chaleur de Grenoble. ....	215
Figure 64 : Les chiffres du solaire thermique à Clermont-Ferrand. ....	217
Figure 65 : Les aides publiques en faveur du solaire thermique à Clermont-Ferrand. ....	217
Figure 66 : La centrale photovoltaïque de Champratel à Clermont-Ferrand. ....	219
Figure 67 : Le bilan économique de la centrale photovoltaïque de Champratel. ....	220
Figure 68 : Fonctionnement de la centrale biogaz de Clermont-Ferrand. ....	224
Figure 69 : Les installations de production électrique de GEG. ....	232
Figure 70 : Le contracting Energy : du fluide au service complet. ....	236
Figure 71 : L'origine de la fourniture d'électricité des Services Industriels Lausannois. ....	237
Figure 72 : Carte de la diversité des fonctions à Barcelone .....	245
Figure 73 : L'évolution spatiale des villes moyennes françaises. ....	246
Figure 74 : Carte du Plan Local d'Urbanisme de Grenoble. ....	248
Figure 75 : La genèse des friches urbaines. ....	253
Figure 76 : Localisation des espaces en friches à Limoges. ....	253
Figure 77 : Carte de localisation des ZAC de Vigny-Musset et de Bonne, à Grenoble. ....	260
Figure 78 : Les objectifs de consommation d'énergie pour les bâtiments de la ZAC de Bonne. ....	263
Figure 79 : Les objectifs de l'OPATB des grands boulevards à Grenoble. ....	268
Figure 81 : Les modes de déplacements des ménages de l'agglomération de Grenoble. ....	272
Figure 82 : Les résultats de l'enquête « ménages-déplacements » de Grenoble. ....	272
Figure 83 : Répartition modale du trafic pendulaire dans neuf villes suisses. ....	273
Figure 84 : Répartition des modes de déplacements à Fribourg. ....	275
Figure 85 : Le cercle vicieux de l'automobile. ....	276
Figure 86 : Le projet d'agglomération Lausanne-Morges. ....	281
Figure 87 : La stratégie de développement urbain de l'agglomération de Lausanne. ....	284
Figure 88 : Densification des axes de transports publics à Lausanne. ....	285
Figure 89 : les impacts du tramway sur l'aménagement urbain à Grenoble. ....	287
Figure 90 : L'efficacité énergétique des transports en commun, l'exemple de la RATP. ....	288
Figure 91 : Le réseau de transports en commun de Fribourg. ....	291
Figure 92 : Les itinéraires cyclables de l'agglomération de Grenoble. ....	302
Figure 93 : Le programme Energie + de la Ville de Clermont-Ferrand. ....	306
Figure 94 : La réorganisation interne des services municipaux de la Ville de Clermont-Ferrand. . .	308
Figure 95 : L'évolution des émissions de CO2 à Fribourg. ....	316
Figure 96 : Le programme de développement des énergies renouvelables de Fribourg. ....	317
Figure 97 : Les stratégies possibles des collectivités locales, synthèse. ....	321
Figure 98 : Le « facteur 4 » appliqué aux villes d'études. ....	327
Figure 99 : Parts des sources d'énergie dans les consommations de cinq villes moyennes. ....	329
Figure 100 : Le scénario « facteur 4 » appliqué à la commune de Limoges. ....	332
Figure 101 : Le potentiel de réduction des gaz à effet de serre de Fribourg. ....	335
Figure 102 : Les consommations du parc immobilier français et les objectifs <i>Concerto</i> à Grenoble. ....	338
Figure 103 : L'orientation bioclimatique des constructions du « village solaire » à Fribourg. ....	350
Figure 104 : De la ville moyenne diffuse à la « ville durable ». ....	353
Figure 105 : Plan de Vauban, le quartier durable de Fribourg (All.). ....	359

## Table des photographies

Photographie 1 : Le complexe pétrolier Total du port de Dunkerque. ....	122
Photographie 2 : Le parc éolien de la raffinerie des Flandres. ....	125
Photographie 3 : Deux centrales photovoltaïques de Fribourg en Brisgau. ....	128
Photographie 4 : Le parc éolien de Fribourg. ....	129
Photographie 5 : Deux équipements microhydroélectriques à Fribourg. ....	130
Photographie 6 : Production d'énergie à partir de biomasse à Fribourg. ....	131
Photographie 7 : La centrale Energie-déchets TRIDEL à Lausanne. ....	212
Photographie 8 : Les panneaux intégrés au bâti de la centrale de Champratel. ....	221
Photographie 9 : Les panneaux en surimposition de la centrale photovoltaïque de Champratel. ..	221
Photographie 10 : la centrale de cogénération de Pierre de Plan à Lausanne. ....	228
Photographie 11 : La station « véhicule propre » de GEG et la boutique commerciale de GEG. ....	233
Photographie 12 : L'intégration du solaire thermique à Vigny-Musset. ....	260
Figure 80 : Les grands boulevards de Grenoble, au cœur de l'OPATB. ....	268
Photographie 13 : Le tramway de Fribourg au pôle intermodal de la gare. ....	290
Photographie 14 : Le tramway de Clermont-Ferrand. ....	292
Photographie 15 : Le métro M2 de Lausanne. ....	293
Photographie 16 : Les rues piétonnes de Fribourg. ....	298
Photographie 17 : la canalisation du trafic par la limitation de la vitesse autorisée. ....	298
Photographie 18 : Une zone de stationnement de vélos à la gare de Fribourg. ....	299
Photographie 19 : Le vélo sous toutes ses formes à Grenoble .....	301
Photographie 20 : la chaufferie au bois équipée d'une cogénération, quartier Vauban (All.).....	362
Photographie 21 : Face sud d'un bâtiment du quartier Bedzed à Sutton (R-U). ....	365
Photographie 22 : Face Nord d'un bâtiment du quartier Bedzed, Sutton (R-U). ....	365



# Table des matières

Sommaire .....	5
Introduction .....	9
<b>Partie I : Contextualisation et méthodologie .....</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre 1. Le fait urbain et l'énergie .....</b>	<b>17</b>
1.1 Le phénomène d'urbanisation et la concentration de la demande énergétique .....	17
1.2 La dépendance énergétique des sociétés urbaines contemporaines .....	18
1.3 Des mutations urbaines liées à l'énergie .....	19
<b>Chapitre 2. Contexte énergétique, socio économique et environnemental....</b>	<b>21</b>
2.1 L'énergie, incontournable ressource .....	21
2.1.1 Un « outil » indispensable au développement humain .....	21
2.1.2 Une demande mondiale croissante .....	25
2.1.3 Un déséquilibre spatial .....	26
2.1.4 Le contexte français .....	30
2.2 Les contraintes liées à l'énergie .....	35
2.2.1 L'épuisement des ressources.....	35
2.2.2 Les impacts socio-économiques et géopolitiques liés à l'énergie .....	38
2.2.3 Les impacts environnementaux et humains liés à l'énergie .....	42
<b>Chapitre 3. La réaction sociopolitique .....</b>	<b>57</b>
3.1 La fluctuation des politiques énergétiques au gré des crises .....	57
3.2 La prise de conscience internationale : de la volonté aux actes .....	59
3.2.1 La première pierre est posée à Rio .....	59
3.2.2 L'ouvrage se consolide à Kyoto .....	60
3.3 La politique européenne .....	61
3.4 Le cadre réglementaire national.....	62
3.4.1 Le secteur industriel et la branche énergétique .....	64
3.4.2 Les énergies renouvelables et la cogénération .....	65
3.4.3 Les crédits d'impôts .....	68
3.4.4 La construction et le bâtiment.....	69
3.4.5 L'aménagement urbain, un nouvel enjeu .....	70
3.4.6 La politique des transports .....	71
3.5 Des options différentes en Allemagne, en Suisse et en Espagne .....	72
<b>Chapitre 4. Problématique et Méthodologie .....</b>	<b>75</b>
4.1 La justification du sujet.....	75

4.2 Les postulats de départ .....	76
4.3 L'évolution de la problématique de thèse .....	76
4.4 Méthodologie employée et zones d'études .....	79
4.4.1 La démarche hypothético-déductive .....	79
4.4.2 La collecte de données .....	80
4.5 Difficultés et limites rencontrées.....	91
4.5.1 L'étendue des recherches.....	91
4.5.2 Un sujet très évolutif .....	91
4.5.3 Les grandes inconnues de la prospective .....	91
4.5.4 Les biais des enquêtes .....	92

## **Partie II : Les villes moyennes, l'énergie et l'environnement ..... 95**

### **Chapitre 1. L'approche systémique de la ville par l'entrée « Energie » ..... 97**

### **Chapitre 2. La méthode du bilan énergétique à l'échelle d'une ville ..... 103**

2.1 La difficulté de quantifier les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle infra régionale .....	103
2.2 Les différentes méthodes existantes.....	105
2.2.1 L'estimation des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre qui y sont liées dans la limite du périmètre .....	105
2.2.2 La modélisation des émissions de polluants d'un territoire .....	107
2.2.3 L'estimation des émissions de gaz à effet de serre impliquant les consommations indirectes et l'analyse des cycles de vie.....	109
2.3 L'application d'une méthode d'estimation pour la ville de Limoges .....	111
2.3.1 Les estimations de démarche « Butom/up » par secteur .....	112
2.3.2 comparées aux données réelles de la démarche « top-down » .....	114
2.3.3 Le calcul des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie sur le territoire .....	114

### **Chapitre 3. Les caractéristiques d'approvisionnement, de consommations d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre : les exemples de plusieurs villes moyennes..... 115**

3.1 Les caractéristiques de l'approvisionnement et de la production d'énergie en ville .....	116
3.1.1 La dépendance énergétique des villes .....	116
3.1.2 Le particularisme portuaire de Dunkerque .....	120
3.1.3 Fribourg, un cas allemand de production décentralisée .....	126
3.2 L'état des lieux des consommations d'énergie en milieu urbain .....	132
3.2.1 Limoges et La Rochelle, une demande forte des bâtiments et des transports ...	132
3.2.2 La demande énergétique de Grenoble et la variable industrielle .....	134
3.2.3 Des disparités géographiques, l'exemple de Grenoble .....	135
3.3 Des émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation d'énergie .....	137
3.3.1 Les émissions de gaz à effet de serre de la ville de Fribourg (All) majoritairement liées à l'utilisation de l'énergie .....	137
3.3.2 La Rochelle et Limoges, à nouveau le poids des transports et des bâtiments....	138



- 3.3.3 L'Industrie, premier facteur des émissions de gaz à effet de serre à Grenoble .140
- 3.3.4 La prise en compte des consommations indirectes à Bourges.....142

**Chapitre 4. Les grandes variables de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre en milieu urbain ..... 143**

- 4.1 La dépendance au trio « gaz, électricité et pétrole ».....143
- 4.2 Le poids inexorable des bâtiments .....144
  - 4.2.1 Le poste principal du résidentiel : le chauffage.....145
  - 4.2.2 Les variables de consommation de l'habitat : le mode d'habitat et l'année de construction, l'exemple de Limoges.....145
  - 4.2.3 Le tertiaire et l'électricité .....146
- 4.3 Le trafic routier, près du quart des consommations.....149
  - 4.3.1 La prépondérance du trafic routier.....149
  - 4.3.2 Des consommations dépendantes des modes de transport .....151
  - 4.3.3 Formes urbaines et mobilité, l'exemple de Clermont-Ferrand .....151
- 4.4 Les interrelations entre la morphologie urbaine et les consommations d'énergie ..153
  - 4.4.1 Des processus de développement urbain fondés sur l'essor de la mobilité individuelle .....153
  - 4.4.2 L'impact des densités sur les consommations d'énergie.....158
  - 4.4.3 L'impact de la mixité des fonctions sur les consommations d'énergie .....169
- 4.5 La variable industrielle .....172
- 4.6 La ville, un système ouvert .....173
- 4.7 Des émissions dépendantes des combustibles utilisés .....175

**Conclusion de la partie II ..... 177**

**Partie III : les stratégies énergétiques des villes moyennes ..... 181**

**Chapitre 1. Les compétences des collectivités locales françaises ..... 183**

- 1.1 L'état des lieux des politiques énergétiques des villes moyennes françaises .....183
  - 1.1.1 Les compétences accordées par le législateur .....183
  - 1.1.2 Les politiques énergétiques des villes moyennes françaises .....185
- 1.2 Les actions mises en œuvre dans le cadre de la politique énergétique locale.....189
- 1.3 Les compétences des collectivités locales des villes moyennes en matière d'énergie .....192
  - 1.3.1 Les actions sur les consommations du patrimoine municipal.....192
  - 1.3.2 L'information et la sensibilisation .....192
  - 1.3.3 La production locale d'énergie.....193
  - 1.3.4 L'urbanisme durable .....193
  - 1.3.5 La gestion de la mobilité .....194
  - 1.3.6 La planification énergétique.....195

**Chapitre 2. Les moyens d'actions des collectivités locales ..... 197**

- 2.1 Les actions sur les consommations du patrimoine .....197
- 2.2 L'information et la sensibilisation des citoyens .....198
- 2.3 La production locale d'énergie.....200

2.3.1 Le chauffage urbain .....	200
2.3.2 La production de chaleur par l'énergie solaire .....	216
2.3.3 La production locale d'électricité d'origine renouvelable et la cogénération ...	218
2.3.4 Les atouts des entreprises locales d'énergie .....	229
2.4 L'urbanisme .....	239
2.4.1 La morphologie urbaine .....	239
2.4.2 La performance énergétique des bâtiments .....	254
2.4.3 Des questions d'urbanisme intégré .....	268
2.5 La gestion de la mobilité .....	270
2.5.1 Une place pour les modes de transport en commun et les modes « doux » .....	271
2.5.2 Des stratégies récurrentes .....	275
2.5.3 Les transports, une pièce dans un jeu de dominos .....	276
2.5.4 La coordination entre l'urbanisme et les transports.....	277
2.5.5 L'offre de transports en commun.....	287
2.5.6 Canalisation du trafic et gestion du stationnement .....	297
2.5.7 L'offre en modes doux.....	299
2.6 La planification énergétique territoriale, une approche globale et transversale....	303
2.6.1 Clermont : une programmation de la politique énergétique .....	303
2.6.2 Le rassemblement des acteurs autour du Plan Climat de Grenoble.....	309
2.6.3 La stratégie énergétique globale de Fribourg .....	315
<b>Conclusion de la partie III .....</b>	<b>319</b>

## **Partie IV : Vers la ville moyenne durable, exercice de prospective** ..... **323**

### **Chapitre 1. Le modèle urbain actuel est-il viable ?..... 327**

1.1 La consommation d'énergie dans les villes moyennes contemporaines et l'objectif « facteur 4 » .....	327
1.2 Les objectifs visés par les villes sont-ils suffisants ?.....	328
1.3 La rupture du modèle urbain actuel ?.....	329

### **Chapitre 2. Vers un modèle de développement urbain durable ..... 333**

2.1 La répartition du gisement d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables à Fribourg.....	334
2.2 Un énorme potentiel de réduction des consommations dans les bâtiments .....	337
2.3 La remise en cause de la mobilité individuelle.....	339
2.4 Le potentiel des énergies renouvelables .....	341
2.4.1 L'intégration des énergies renouvelables en ville.....	341
2.4.2 Le solaire en ville, gisement d'énergie et réduction des gaz à effet de serre ...	342
2.4.3 Le bois énergie.....	344
2.2.4 Le potentiel de l'éolien en ville .....	345
2.5 Le gisement d'économie d'énergie et d'énergie renouvelable permettrait-il d'atteindre le facteur 4 dans les villes moyennes? .....	346

### **Chapitre 3. Les incidences du facteur 4 sur l'aménagement du territoire ... 349**

3.1 Vers une nouvelle forme d'urbanisme .....	349
3.2 La modification de la relation ville/campagne .....	351
<b>Chapitre 4. Des exemples contemporains d'aménagement urbain durable ..</b>	<b>355</b>
4.1 Le quartier Vauban.....	355
4.1.1 Des bâtiments à basse et très basse consommations d'énergie .....	356
4.1.2 Un réseau de chaleur au bois .....	361
4.1.3 Un quartier à mobilité durable.....	362
4.2 L'exemple du quartier de Bedzed (Sutton) .....	363
4.3 Et à l'échelle des villes moyennes ? A-t-on franchi le pas ? .....	366
<b>Conclusion .....</b>	<b>369</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>377</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>385</b>
<b>Table des illustrations.....</b>	<b>411</b>
<b>Table des photographies.....</b>	<b>413</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>415</b>

## **Résumé**

Sans le soleil, il n'y aurait pas de vie sur Terre. Et sans pétrole ? Qu'en serait-il des sociétés industrielles et urbaines ? L'évolution des villes moyennes, ces quarante dernières années, va à l'encontre de la notion de développement durable. Les espaces urbains, organisés autour du trafic routier, ont étendu leur emprise sur les espaces ruraux, ils se sont distendus, le développement de l'habitat pavillonnaire a favorisé l'accroissement des distances parcourues... Dépendantes énergétiquement, les villes moyennes européennes consomment principalement du pétrole, du gaz et de l'électricité pour leur fonctionnement. Elles sont, par conséquent, le siège d'importantes émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Les tensions accrues du marché de l'énergie et les prises de consciences environnementales conduisent ces modèles urbains actuels à une rupture. Il est intéressant de s'interroger sur un modèle de ville moyenne plus durable, faisant appel à des stratégies de maîtrise de l'énergie aussi bien sur le plan de l'urbanisme, de la construction ou de l'organisation des transports et qui mettrait en scène les énergies renouvelables et endogènes. Nous poserons la question, à travers plusieurs exemples français et européens, de la capacité des milieux urbains à s'adapter à ce changement tout en mesurant le rôle des collectivités locales dans l'édification de ces villes de demain.

## **Summary**

Without the sun, there would be no life on earth. And without oil? What would happen to industrial and urban societies? Over the past forty years, the evolution of average-sized towns has been incompatible with the concept of sustainable development. Urban spaces are organized around automobile traffic; these urban spaces are encroaching on rural spaces, and as the urban spaces grow, the distance to and from individual housing is equally increasing. As a result, European middle-sized towns are addicted to energy resources, and their major consumptions are oil, gas and electricity. Consequently, cities release a great quantity of emissions, pollution, and greenhouse gases. Growing tensions on the energy market and an increase in environmental consciousness is leading to an upheaval in this urban model. Therefore it is important to consider sustainable urban models. These new models would suggest new energy saving strategies in urbanism, in the domain of construction or in urban transport management in order to develop renewable and local resources. Through French and European examples, we will analyze average-sized cities' capacities to adapt to this change, and we will try to understand the ability of local authorities to contribute to the construction of this 21st century urban model.