HAL open science

Rapport intermédiaire n°1, Ecoquartier NEXUS Energie

Gilles Debizet, Odile Blanchard, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Xavier Long, Patrice Schneuwly, Stéphanie Prost-Boucle, Celine Julien, Sylvie Blanco

To cite this version:

Gilles Debizet, Odile Blanchard, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Xavier Long, et al.. Rapport intermédiaire n°1, Ecoquartier NEXUS Energie. [Rapport de recherche] 1/3, CNRS Alpes - Grenoble 38041; Universite Grenoble Alpes; CEA-INES; Grenoble Ecole de Management. 2012, 183 p. halshs-00827191

HAL Id: halshs-00827191

https://shs.hal.science/halshs-00827191v1

Submitted on 14 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

RAPPORT INTERMEDIAIRE N° 1

Projet de Recherche Ecoquartier NEXUS Energie

http://www.nexus-energy.fr/

Vendredi 28 septembre 2012

COORDINATION TECHNIQUE: Aude Bodiguel, ADEME, Service Economie et Prospective, 27 rue Louis Vicat Paris 15

COORDINATION SCIENTIFIQUE : Gilles Debizet, UMR PACTE, Institut de Géographie Alpine, 14bis avenue Marie Reynoard, 38100 Grenoble

Remerciements

Ce rapport intermédiaire restitue la quasi-totalité de la production du premier « work package » *Etat de l'art et typologie des écoquartiers*, coordonné par Odile BLANCHARD (EDDEN) avec l'assistance de Patrice SCHNEUWLY (CEA-LITEN). L'élaboration générale de ce document et l'architecture des bases de données ont été assurées par Odile BLANCHARD, Gilles DEBIZET (PACTE) et Fabrice FOREST (SFR INNOVACS).

L'ensemble de la production NEXUS est en ligne sur le site http://www.nexus-energy.fr/ Elle est accessible de façon différenciée selon les documents.

Le coordinateur scientifique Gilles DEBIZET et les chercheurs du projet NEXUS remercient l'ADEME pour son soutien financier aux recherches menées dans le projet NEXUS et tout particulièrement le coordinateur technique Aude BODIGUEL (ADEME) pour son support aux actions menées par l'équipe projet.

Les auteurs remercient les membres du Comité d'Orientation Scientifique du projet NEXUS : Patrick CRIQUI (EDDEN) ; Romain LAJARGE (PACTE) ; Daniel LLERENA (UPMF, SFR INNOVACS) ; Vincent MANGEMATIN (GEM) ; Nicole MERMILLIOD (CEA, LITEN).

Les remerciements des auteurs s'adressent également aux personnels de support technique à la recherche du laboratoire PACTE et du laboratoire EDDEN qui ont contribué à la réalisation des recherches présentées dans ce document : Stéphanie ABRIAL (PACTE), Dinara ADYKULOVA (stagiaire EDDEN), Thierry BONTEMS (PACTE), Géraldine DIAFERIA (PACTE), Céline GAUFRETEAU (PACTE), Brigitte PALAMINI (PACTE), Annie-Claude SALOMON et Danièle REVEL (EDDEN). Remerciements enfin à Quentin BOEHM, Pierre BOULIC, Séverine PROST-BOUCLE et Alexis SICARD (étudiants de l'ENSE3, Grenoble INP).

Liste des auteurs par ordre alphabétique :

Odile BLANCHARD (EDDEN), Sylvie BLANCO (GEM), Gilles DEBIZET (PACTE), Céline JULLIEN (GEM), Stéphane LA BRANCHE (PACTE), Xavier LONG (PACTE), Philippe MENANTEAU (EDDEN), Patrice SCHNEUWLY (CEA-LITEN), Séverine Prost-Boucle, (étudiante de l'ENSE3, Grenoble INP, EDDEN).

AVERTISSEMENT – PIECES COMPLEMENTAIRES AU LIVRABLES

Le lien vers les documents moissonnés et la base de données relative aux écoquartiers européens est le suivant : https://drive.google.com/#folders/0B7qBl72ky3xIaGxYUmpaeWRoWVk

Le lien vers les documents moissonnés et la base de données relative aux écoquartiers français est le suivant : https://drive.google.com/#folders/0B-Isa0XLoS3IRXR6T2lHUUFBMlk

Un compte d'accès (nom d'utilisateur et mot de passe) a été créé pour l'ADEME et communiqué au coordinateur technique de l'ADEME lors de la remise du présent rapport. Par ailleurs, ces bases de données ont été remises à l'ADEME également sur un support DVD.

L'ADEME en bref :

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

L'Agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

www.ademe.fr

Copyright

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

Remerciements 2
Résumé français 5
Abstract 6
Introduction 7
1. Définition des objets étudiés 11
1.1. (Eco)quartier 11
1.2. Nœud socio-énergétique 13
2. Revue de la bibliographie moissonnée et choix des écoquartiers 17
2.1. Méthodologie générale 17
2.2. Ecoquartiers moissonnés 19
2.3. Ecoquartiers sélectionnés pour approfondissement 21
2.4. Fiches synthétiques et schémas des acteurs pour les EQ sélectionnés 23
3. Lecture géographique de la littérature sur les écoquartiers 26
3.1. Quelques réflexions liminaires de méthode 26
3.2. Quelles villes et quels contextes globaux ? 28
3.3. L'éco-quartier dans la ville ? 29
3.4. Le quartier comme assemblage de nœuds socio énergétiques ? 30
4. Gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers 34
Introduction 34
4.1. Corpus et objectifs de l'analyse 34
4.2. Une brève histoire du développement durable urbain… 35
4.3. Vers une définition d'un écoquartier ? 36
4.4. La crise climato-énergétique et les EQ. 39
4.5. Les EQ contemporains : une palette de types de gouvernance. 40
4.6. Les EQ : expériences de gouvernance innovante ? 43
4.7. Conclusion 46
4.8. Bibliographie 47
5. Analyse des technologies énergétiques 49
5.1. Introduction 49
5.2. Méthodologie 51
5.3. Déroulement détaillé et difficultés rencontrées 52
5.4. Avancement et suite des travaux du CEA INES 53

6. Construction d'une typologie des écoquartiers 54
6.1. Essai de construction d'une typologie sur les écoquartiers 54
6.2. Résultats 64
6.3. Analyse 71
6.4. Synthèse 78
7. Eco-quartiers, nœuds socio-énergétiques et émergence d'innovation de modèles d'affaires . 80
7.1. La dynamique d'innovation associée au concept de nœud socio-énergétique 81
7.2. Dynamique des modèles d'affaires autour de l'intelligence énergétique 83
7.3. Prémices de l'innovation de modèles d'affaires autour des solutions énergétiques émergentes 86
7.4. Bibliographie 87
Synthèse des résultats 88
Annexes 91
Annexe 1 - Fiches EQ et cartographies des réseaux d'acteurs 91
Annexe 2 - Fiches d'analyse détaillée des technologies énergétiques 111
Bibliographie 175
Liste des tableaux 183
Liste des figures 183
Pièces complémentaires numériques (base de données) 183

Résumé français

Le travail de recherche Ecoquartier NEXUS Energie vise à mettre en lumière les champs du possible en matière de stockage d'énergie et la gestion des intermittences aux échelles de l'ilot et du quartier en se focalisant sur les dimensions urbaines, organisationnelles et politiques et selon deux horizons temporels : 2020 et 2040. La différence entre ces deux échéances réside essentiellement dans le cadre d'action général du secteur de la construction (et de la rénovation) : en 2020, ce cadre sera supposé très proche de celui actuellement en vigueur alors qu'en 2040 des bouquets d'hypothèses en terme de régulations institutionnelle, politique et économique - et autant locales que nationales - constitueront les éléments de scénarios prospectifs.

Cette recherche a aussi l'ambition de caractériser des liens inédits et de tester de nouveaux regards sur la gestion de l'énergie en ville et sur les « mailles » les plus fines des réseaux d'énergie qui, demain, devraient tout à la fois être des lieux de production, de consommation et de stockage. Le concept de noeud socio-énergétique est proposé : groupe d'éléments assurant le stockage, le regroupement ou la répartition de flux d'énergie et dont la conception a été supervisée par un maître d'ouvrage en interaction avec les mêmes acteurs pendant la durée nécessaire.

Le présent rapport intermédiaire constitue la première brique de la recherche. Il se focalise spécifiquement sur les écoquartiers existants ou en cours de réalisation, étant postulé que certains systèmes énergétiques innovants mis en oeuvre à l'heure actuelle dans les écoquartiers deviendront le socle commun des villes de 2020. Il répond à trois objectifs : d'une part proposer une base de données et effectuer un état des lieux en matière d'énergie dans les écoquartiers européens ; d'autre part, présenter quatre états de l'art thématiques sur l'énergie dans les écoquartiers (approches géographique, politique, technologique, business model); et enfin, essayer d'élaborer une typologie des écoquartiers selon leur gouvernance et leur dimension énergétique.

Ce livrable se compose de sept chapitres et d'une synthèse des résultats.

- Chapitre 1 : définitions des objets étudiés
- Chapitre 2 : revue de la bibliographie moissonnée
- Chapitre 3 : analyse géographique des écoquartiers
- Chapitre 4 : gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers
- Chapitre 5 : fiches d'analyse de technologies énergétiques
- Chapitre 6 : construction d'une typologie des écoquartiers
- Chapitre 7 : les modèles d'affaires de l'énergie, du bâtiment au quartier

A cette date, deux communications mobilisant ces travaux sont programmées dans des colloques internationaux.

Abstract

The research project Ecoquartier NEXUS Energie aims at highlighting the scope of possibilities in the field of energy storage and intermittency management in urban blocs and districts. It focuses on the urban, organizational and political dimensions of the issue, along two time horizons: 2020 and 2040. The difference between these two dates lies mainly in the general action framework of the building and renovation sector. In 2020, the framework will be assumed to be very similar to the current one, while sets of assumptions about future institutional, political and economic regulations, be they local or national, will allow to build prospective scenarios to 2040.

This research also aims at characterizing unexplored links and testing new ideas on energy management in cities and on the finest pieces of energy networks that, tomorrow, should be simultaneously production, consumption and storage sites. The concept of socio-energetic node is proposed: it is a set of elements that provide the storage, the bundling and the distribution of energy flows, and whose conception, supervised by a project manager, has involved the same actors over the period of time needed.

The present intermediate report is the first research component of the Nexus project. It specifically focuses on existing sustainable districts and on those under construction, assuming that some innovative energy systems currently implemented in sustainable districts become the common core in cities by 2020. It addresses three goals: first, build a database and characterize the current energy systems in European sustainable districts; second, present four disciplinary states of the art on the energy issue in sustainable districts : geographical, political, technological, and business model approaches ; last, try to construct a typology of sustainable districts according to their governance and their energy dimension.

The deliverable is composed of seven chapters and a summary of results.

- Chapter 1 : definitions of the objects under study
- Chapter 2 : review of the bibliography references collected
- Chapter 3 : geographical analysis of sustainable districts
- Chapter 4 : governance and actors' interactions in sustainable districts
- Chapter 5 : analytical sheets of some energy technologies
- Chapter 6 : construction of a typology of sustainable districts
- Chapter 7 : energy business models : from buildings to sustainable districts

To date, two presentations linked to this research have been accepted in international conferences.

Introduction

Auteurs : Gilles Debizet (CNRS-PACTE) et Odile Blanchard (UPMF-EDDEN)

Le travail de recherche Ecoquartier NEXUS Energie vise à mettre en lumière les champs du possible des systèmes énergétiques aux échelles de l'ilot et du quartier d'une ville, en se focalisant sur le stockage de l'énergie et la gestion des intermittences.

Un des objectifs est de formuler des propositions opérationnelles à deux horizons temporels :

- 2020, identification des leviers possibles - faiblement émetteurs de GES - pour un lissage local des intermittences de la production et de la consommation de l'énergie et caractérisation des conditions de déploiement du stockage de l'énergie à partir de technologies déjà en vigueur dans le secteur de la construction en 2012,
- 2040, proposition de scénarios d'(éco)quartier ou d'assemblage en milieu urbain plus ou moins dense, capables de lisser les intermittences et plus ou moins performants en terme de facteur 4.

Dans les deux cas, il s'agira davantage de prendre en compte et décrire les faisabilités et opportunités organisationnelles que technologiques. La différence entre ces deux échéances réside essentiellement dans les hypothèses sur le cadre d'action général du secteur de la construction (et de la rénovation) : en 2020, ce cadre sera supposé très proche de celui actuellement en vigueur alors qu'en 2040 des gammes d'hypothèses en terme de régulations institutionnelle, politique et économique -locales et nationales- seront imaginées et constitueront les éléments des scénarios prospectifs.

Ce travail a aussi pour vocation de caractériser des liens inédits entre les différentes dimensions de l'énergie aux échelles susnommées et de tester de nouvelles notions, de nouveaux regards sur la gestion de l'énergie en ville et sur les « mailles » les plus fines des réseaux d'énergie. Mailles qui, demain, devraient tout à la fois être des lieux de production, de consommation et de stockage.

Nous supposons que la consommation va considérablement baisser d'ici 2040 grâce aux politiques de rénovation énergétique. La sobriété énergétique des bâtiments est postulée, elle n'est pas l'objet de notre recherche. Nous creusons l'hypothèse selon laquelle, les bâtiments et les mailles fines des réseaux d'énergie peuvent être des lieux d'atténuation des intermittences entre une production de plus en plus renouvelable (solaire, éolien, hydraulique...) et une consommation dont les fluctuations pourraient être amorties par l'inertie et le stockage de l'énergie.

Cette « gestion répartie de l'énergie » ne serait pas le fait d'un opérateur principal d'énergie, mais au contraire assurée par une multitude d'acteurs de la ville : de l'occupant d'un logement à des groupements d'immeubles, de l'utilisateur d'un véhicule à des pourvoyeurs d'énergie localisés dans la ville, de l'usager des espaces publics aux gestionnaires de la ville et des réseaux.

Le présent rapport intermédiaire constitue la première brique de la recherche. Il se focalise spécifiquement sur les écoquartiers existants ou en cours de réalisation, étant postulé que certains systèmes énergétiques innovants mis en oeuvre à l'heure actuelle dans les écoquartiers deviendront le socle commun des villes de 2020. Il répond à trois objectifs : d'une part effectuer un état des lieux des réalisations et de la gouvernance en matière d'énergie dans les écoquartiers européens, à partir d'une base de données bibliographique construite à cet effet) ; d'autre part présenter quatre états de l'art thématiques sur l'énergie dans les écoquartiers (approches géographique, politique, technologique, business model) ; et enfin essayer d'élaborer une typologie des écoquartiers selon les dimensions énergétiques et de gouvernance.

Il assemble des textes qui seront mobilisées par les membres de l'équipe aux prochaines phases de la recherche. Certaines constituent des points de vue analytiques volontairement singuliers et inscrits dans une discipline. D'autres se rapprochent de l'exercice de synthèse ou embrassent un grand nombre de cas pour tracer un panorama. Préalablement à ces éléments, nous définirons les objets étudiés en veillant à ce que ces définitions laissent des possibilités de saisissement à chaque discipline représentée.

Ce livrable se compose de sept chapitres et d'une synthèse des résultats.

- Chapitre 1 : définitions des objets étudiés
- Chapitre 2 : revue de la bibliographie moissonnée
- Chapitre 3 : analyse géographique des écoquartiers
- Chapitre 4 : gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers
- Chapitre 5 : fiches d'analyse de technologies énergétiques
- Chapitre 6 : construction d'une typologie des écoquartiers
- Chapitre 7 : les modèles d'affaires de l'énergie du bâtiment au quartier

- Synthèse des résultats

A ce stade de la recherche, tous ces textes sont signés individuellement (ou par binôme ou trinôme) afin de maintenir la diversité des regards. Certains ont fait l'objet d'une relecture par les responsables du WP1 et de NEXUS (chapitres 1, 2, 4, 5, 6) et éventuellement d'une réécriture par l'auteur; d'autres, sont parvenus trop tard pour être relus.

Pour apporter une vue d'ensemble sur cette production, voici une courte description de chaque chapitre et de la méthodologie utilisée. Les principaux résultats de ces chapitres sont présentés dans la conclusion. Certains textes n'ont pas pu être introduits ni pris en compte dans la synthèse des résultats du fait de leur réception en phase finale d'assemblage du présent document.

Chapitre 1 : définitions des objets étudiés (Odile Blanchard UPMF-EDDEN, Gilles Debizet CNRS-PACTE)

Deux expressions se situent au coeur de cette recherche : (éco)quartier et noeud socio-énergétique.

La notion d'écoquartier (EQ) étant largement utilisée en France dans différents registres d'actions, la définition adoptée pour la suite du projet s'appuie sur la littérature scientifique et celle des grands témoins de son déploiement et privilégie les dimensions énergétiques et les jeux d'acteurs.

La notion de noeud socio-énergétique (NSE) est spécifique au projet NEXUS, elle constitue l'hypothèse centrale de la proposition de recherche. Sa double dimension objet physique / objet d'interface a suscité des interprétations différentes selon les disciplines au sein de notre équipe. Un premier travail de définition a porté sur la distinction et les liens entre NSE et EQ. Elle a ensuite été illustrée en essayant d'identifier les NSE de l'écoquartier de la caserne de Bonne de Grenoble; d'une part en les considérant comme des éléments des chaînes énergétiques et d'autre part en les ancrant dans le processus de décision/conception.

Chapitre 2 : revue de la bibliographie moissonnée (Odile Blanchard UPMF-EDDEN)

Les premiers mois du projet Nexus ont été consacrés au moissonnage bibliographique, tout d'abord sur le concept même d'écoquartier, ensuite et surtout sur les questions d'énergie au sein d'écoquartiers en Europe et en France. L'objectif était de pouvoir sélectionner une dizaine d'écoquartiers portant globalement la diversité des préoccupations des chercheurs de NEXUS et sur lesquels l'équipe du WP1 porterait un regard approfondi, pour moitié en Europe hors France et pour moitié en France.

Le chapitre présente les méthodologies adoptées pour effectuer le moissonnage et la sélection des écoquartiers, ainsi que les résultats obtenus. Au total, 58 écoquartiers ont été moissonnés (35 en Europe hors France, 23 en France). Les documents pertinents collectés et leur contenu ont été répertoriés dans une base de données qui a été mise à disposition de l'ensemble des membres du projet Nexus. Cette base de données est structurée par champs thématiques, de manière à décrire le contenu de chaque document moissonné, eu égard aux éléments potentiellement pertinents pour les travaux des différents WP de Nexus : situation géographique, source bibliographique, caractères spaciaux généraux, type de bâti, type d'opération, type d'occupation, éléments d'analyse morphologique disponibles, caractéristiques techniques des systèmes énergétiques, gouvernance.

Parmi les 58 écoquartiers, douze ont été retenus à la fois pour les systèmes énergétiques mis en œuvre, les types de gouvernance et d'acteurs impliqués, et l'abondance de la littérature. Ils ont fait l'objet de fiches synthétiques standardisées présentant leurs caractéristiques majeures, puis ont servi à l'essai de construction d'une typologie (chapitre 6). Les références bibliographiques relatives aux douze écoquartiers ont été saisies non seulement dans la base de données, mais aussi sous zotero, de manière à pouvoir aisément en disposer.

Chapitre 3 : analyse géographique des écoquartiers (Xavier Long CNRS-PACTE)

Ce chapitre est parvenu trop tard pour être pris en compte dans cette introduction.

Chapitre 4 : gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers (Stéphane La Branche CNRS-PACTE)

Dans ce chapitre, Stéphane La Branche (PACTE) explore la gouvernance des EQ et la participation des acteurs. Il s'appuie essentiellement sur les documents rassemblés par EDDEN sur les douze écoquartiers. Cet ensemble est précédé d'une analyse chronologique de la prise en compte des enjeux environnementaux et énergétiques dans l'urbanisme et de définitions des écoquartiers en mobilisant essentiellement la littérature scientifique. Les questionnements annoncés sont divers : formes de gouvernance, prise en compte des attentes des acteurs, enjeux et ambitions environnementaux.

Chapitre 5 : fiches d'analyse des technologies énergétiques (Patrice Schneuwly CEA-INES)

Patrice Schneuwly du laboratoire d'énergétique du Bâtiment du CEA-INES a produit un glossaire et 10 fiches sur des technologies énergétiques utilisées dans des écoquartiers. Destinées aux non-technologues, ces fiches apportent des informations sur l'utilisation de la technologie, les performances, les coûts et le niveau de maturité.

- Stockage d'électricité par batteries
- Cogénération
- Chaufferie biomasse
- Pompe à chaleur aquifère
- Stockage de chaleur par le bâtiment ou le sol
- Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid
- Réseaux de chaleur
- Pompes à chaleur sur eaux usées
- Système de cascade ou d'optimisation énergétique
- Grandes centrales photovoltaïques

La méthodologie de sélection des fiches et de définition les rubriques combine un travail d'investigation interne au CEA-INES et une concertation au sein de l'équipe pluridisciplinaire NEXUS. En voici les principales étapes :

- Repérage documentaire et caractérisation de 35 ecoquartiers français et européens (EDDEN),
- Moissonnage documentaire à partir de termes technologiques et du mot écoquartier (CEA : INES et CELISE),
- Inventaire des besoins de connaissances des chercheurs SHS et présélection dune quinzaine de technologies (au cours d'un comité de pilotage de NEXUS),
- Proposition de rubriquage d'une fiche (CEA),
- Choix des thèmes des 10 fiches et ajustement du rubriquage (NEXUS CoPil),
- Elaboration et test de 2 fiches technologie (CEA) et remplacement de 2 des 10 thèmes de fiches en accord avec le groupe WP1 et le coordonnateur NEXUS,
- Elaboration de 8 fiches, fusion de nombreuses rubriques du fait de l'irrégularité et de la faiblesse des données disponibles (CEA INES et CELISE).

Chaque fiche correspond à un ensemble d'équipements techniques portés par un même acteur puis exploités par un acteur éventuellement différent. Les transactions et coordination s'effectuent aux frontières de ces ensembles. Le comité de pilotage a privilégié les systèmes pouvant être mis en oeuvre par plusieurs types d'acteurs des bâtiments et des écoquartiers.

Chapitre 6 : construction d'une typologie des écoquartiers (Philippe Menanteau EDDEN)

Dans ce chapitre, Philippe Menanteau (UPMF-EDDEN) compare quinze écoquartiers (7 français et 8 européens non-français) entre eux après les avoir qualifiés selon une vingtaine de critères quantitatifs. Les performances énergétiques et carbone et le niveau de centralisation de l'offre d'énergie sont ainsi mis en perspective de critères plus socio-économiques tels que la gouvernance du projet, des caractéristiques urbaines de l'écoquartier et le type de levier utilisés pour atteindre les objectifs de performance.

Les écoquartiers ont été sélectionnés dans la base de données rassemblée par EDDEN (cf. chapitre 2). Le principal critère concerne la disponibilité et la qualité des informations recueillies. Le fait de retenir le même

nombre de quartiers français et non-français a conduit à être peu sélectif sur les EQ français : ils sont encore peu analysés par des observateurs indépendants.

La critérisation est organisée en cinq familles : Nature (caractéristiques urbaines), Offre d'énergie (niveaux de centralisation des réseaux électrique et de chaleur), Gouvernance, Objectifs (performances énergétique et carbone visées), Options techniques (nature des leviers adoptés pour atteindre les performances). Ensuite, l'attribution d'une note quantifiée (1 à 5) à chaque écoquartier et pour chacun des critères est rigoureusement détaillée.

Conformément au stade d'avancement du projet de recherche NEXUS, l'auteur mène une analyse exploratoire en cherchant des liens entre les différentes caractéristiques des écoquartiers. Les écoquartiers sont représentés par un point sur des graphiques à deux axes perpendiculaires, chacun correspondant à un critère. Il peut ainsi constater des relations fortes entre certains critères ainsi que des spécificités des écoquartiers français par rapport à leurs homologues européens.

Il formule finalement des hypothèses explicatives sans omettre les limites de ces comparaisons.

Chapitre 7 : les modèles d'affaires de l'énergie du bâtiment au quartier (Sylvie Blanco et Céline Jullien GEM)

Ce chapitre est parvenu trop tard pour être pris en compte dans cette introduction.

1. Définition des objets étudiés

Auteurs : Odile Blanchard (UPMF-EDDEN), Gilles Debizet (CNRS-PACTE), Stéphane La Branche (CNRS-PACTE)

Deux notions sont centrales dans le projet NEXUS : (Eco)Quartier et Noeud Socio-Energétique. La notion d'écoquartier étant largement utilisée en France dans différents registres d'actions, la définition adoptée pour la suite du projet s'appuie essentiellement sur la littérature scientifique et celle des grands témoins du déploiement. La notion de noeud socio-énergétique est spécifique au projet NEXUS, elle résulte de l'élaboration de la proposition de recherche, sa double dimension objet physique / objet d'interface suscite des interprétations différentes selon les disciplines. La question de l'échelle étant plus ou moins traitée selon les disciplines, le travail de définition a porté sur la distinction et les liens entre NSE et EQ.

1.1. (Eco)quartier

Le quartier, qui commence avec l'îlot, constitue le périmètre extérieur de cette recherche. Certes, nous nous intéresserons à des acteurs dont l'échelle d'action dépasse largement le quartier (la ville, l'opérateur d'énergie, les promoteurs immobiliers...) mais c'est essentiellement en analysant ce qu'ils font et comment ils font aux échelles quartier et infraquartier que sera alimentée l'analyse de ces acteurs et des relations qu'ils ont les uns pas rapport aux autres.

L'échelle du quartier est aussi celle qui connaît un renouveau important dans la façon de penser (aujourd'hui) et de gérer (demain) la ville : le succès du terme d'écoquartier en est probablement le révélateur. L'équipe du projet Nexus n'entend pas élaborer une définition d'un écoquartier qui lui est propre mais plutôt s'appuyer sur les définitions existantes pour indiquer dans quel sens elle appréhende le terme d'écoquartier.

La compilation des définitions du terme « écoquartier » que nous avons effectuée au sein de la littérature francophone nous amène à distinguer deux approches : celle des experts et celle institutionnelle. L'analyse de B. Boutaud[1] reprend bien cette distinction lorsqu'il écrit :

« Nous pouvons dire qu'un écoquartier c'est :

(Histoire) Une forme d'expérimentation urbanistique initiée dès la fin du XXe siècle essentiellement dans les pays du nord et du centre de l'Europe qui débute avec le phénomène des éco-villages créé dans plusieurs régions du monde dans les années 1960 et 1970. L'ambition de ces ensembles était de concrétiser, par des opérations exemplaires bénéficiant de ressources financières exceptionnelles, certains principes environnementaux puis sociaux et économiques regroupés dans les années 1990-2000 dans la notion de développement durable. Laboratoires expérimentaux des principes de l'urbanisme du XXIe siècle, ils constituent des vitrines indispensables visant à rendre concrètes les approches théoriques d'une ville qui s'insère plus harmonieusement dans son environnement naturel tout en amorçant une diffusion de ces principes à grande échelle. Le temps des pionniers passé, tout éco-quartier développé depuis les années 2000 doit présenter des caractéristiques sociales, environnementales et économiques optimales. On distingue trois générations d'éco-quartiers :

- *Les proto-quartiers : disséminés, confidentiels et à fort caractère militant.*
- *Les quartiers prototypes : réalisés dans les années 1980 et au début des années 1990, peu nombreux, circonscrits aux pays du nord de l'Europe et aux pays germaniques, à caractère exceptionnel et devenus très célèbres (Fribourg, Malmö, Helsinki, Stockholm…).*
- *Les quartiers types : de la fin des années 1990 à aujourd'hui, très nombreux, ne dérogeant plus aux dispositifs classiques pour leur réalisation, encore principalement localisés dans une large frange nord de l'Europe mais commençant à être présent dans les espaces plus au sud.*

(Scientifique) Un espace bâti nouveau ou reconverti d'une ville, dans ou à proximité d'un centre urbain dense, de l'échelle d'un quartier, ayant pour vocation d'appliquer, de préserver et de développer sur le

[1] Benoît Boutaud, « Quartier durable ou éco-quartier ? », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Débats, Quartier durable ou éco-quartier ?, mis en ligne le 24 septembre 2009

temps long l'ensemble des principes environnementaux, sociaux et économiques de développement durable qui ont gouverné à sa conception.

(Usuel) Dans le langage courant, un quartier d'une ville désigné comme tel par ses initiateurs et répondant à un certain nombre de principes environnementaux, sociaux ou économiques. Éco-quartier est parfois utilisé comme synonyme de quartier durable bien que leurs sens divergent.

(Institutionnel) Un terme labellisé (« ÉcoQuartier ») en 2008 par le MEEDDM dans le cadre d'un concours sur la ville durable afin notamment de dynamiser le développement des pratiques d'urbanisme durable en France. »

En l'occurrence, les définitions historique, scientifique et usuelle ci-dessus se réfèrent à l'approche des experts. En France, dans ce cadre, peu d'ouvrages traitent des écoquartiers avant 2007[2]. A partir de 2007, le Grenelle de l'environnement puis les lois Grenelle I et II en 2009 et 2010 ont impulsé un intérêt nouveau de la part des experts[3] et une dynamique générale au Ministère de l'écologie, du développement durable, du transport et du logement (MEDDTL).

Du côté des experts, certains distinguent « l'écoquartier » du « quartier durable », considérant qu'un écoquartier met l'accent sur la seule dimension écologique, les performances environnementales de l'opération, tandis qu'un quartier durable intègre toutes les composantes du développement durable, à savoir au minimum les préoccupations environnementales, sociales et économiques[4]. A l'inverse, d'autres experts constatent que les termes « écoquartier » et « quartier durable » sont utilisés le plus souvent indifféremment[5].

La dynamique ministérielle impulsée depuis 2007 reflète la définition institutionnelle mentionnée par B. Boutaud. Celle-ci est à la fois prescriptive et normative : prescriptive quand le ministère affirme que « l'EcoQuartier est une opération d'aménagement durable exemplaire », qu'il « doit se poser en modèle »[6] ; normative puisque le ministère s'est doté d'un référentiel EcoQuartier lors de son appel à projets EcoQuartier en 2009, puis d'une « grille EcoQuartier 2011 » pour son deuxième appel à projets en 2011.

Le référentiel de 2009 met l'accent sur une gestion durable de l'eau, un traitement optimum des déchets, une biodiversité urbaine, l'utilisation de modes de transports « doux » (tramway, vélo...), la production locale d'énergies renouvelables, des formes urbaines denses, un recours à l'éco-construction dont en particulier l'utilisation d'éco-matériaux, une mixité sociale et fonctionnelle. La grille EcoQuartier 2011 développe une vision plus holiste, ancrée dans le concept de développement durable ; elle cherche à articuler quatre dimensions : cadre de vie et usages ; développement territorial ; préservation des ressources et adaptation au changement climatique ; démarche et processus[7].

Pour le projet Nexus, on retiendra la définition d'un écoquartier comme étant « un projet urbain de réhabilitation – ou de création – intégrant des infrastructures économes en énergie et respectueuses de l'environnement, mais aussi des préoccupations économiques, sociales, culturelles et esthétiques ». (Décider ensemble, 2011). A cette définition synthétique, nous adjoignons les principes retenus par Energy Cities [8] pour qualifier un quartier de « durable » :

- mixité sociale, générationnelle et fonctionnelle, dans un souci d'équité, d'apports de services aux habitants (santé, éducation, loisirs, commerces,…) et d'opportunités d'emplois,
- respect de l'environnement, incluant la limitation des consommations d'eau, d'énergie, de déchets, et l'utilisation de matériaux écologiques,
- limitation de la voiture par le développement des transports publics et la mobilité douce,
- gouvernance mettant l'accent en particulier sur l'implication des habitants dans la conception et la gestion de leur quartier

[2] On peut citer : Analyse de projets de quartier durable en Europe, Volume HQE2R n°3 de Philippe Outrequin et Catherine Charlot-Valdieu, 2004 ; Le guide d'expériences européennes, quartiers durables, de l'agence régionale de l'environnement et des énergies de l'Ile de France (ARENE), 2005.

[3] Voir par exemple : (PUCA, 2008), (Charlot-Valdieu et Outrequin, 2009), (Lefèvre et Sabard, 2009), (Charlot-Valdieu et Outrequin, 2011), (Souami, 2009 rééd 2011), (Yepez-Salmon, 2011)

[4] Voir Boutaud B., op. cit. ; Rey E., 2010, Quartiers durables, défis et opportunités pour le développement urbain, Office fédéral du développement territorial ARE Office fédéral de l'énergie OFEN

[5] Voir Charlot-Valdieu et Outrequin, 2009, op. cit.

[6] Voir les pages : http://www.developpement-durable.gouv.fr/-EcoQuartier,3863-.html ; http://www.developpement-durable.gouv.fr/Plan-Ville-Durable.html

[7] Voir MEDDTL, Notice explicative de la grille EcoQuartier 2011

[8] Source : http://energy-cities.eu/Qu-est-ce-qu-un-quartier-durable

1.2. Nœud socio-énergétique

L'exploration de l'hypothèse d'une gestion répartie de l'énergie et notamment d'une multiplicité d'acteurs décisionnels suppose des lieux/moments d'interactions entre ces acteurs. Ils échangent au minimum de l'énergie et des informations. Ces échangent se produisent à un moment ou à un autre autour d'objets physiques dont la propriété ou la responsabilité est délimitée. Ces objets ont été conçus et partiellement discutés par des acteurs qui ont agi en amont de la mise en fonctionnement. Une des caractéristiques qui différencient les bâtiments des réseaux réside dans la disjonction entre les organisations qui interviennent en phase de programmation-conception et celles qui agissent en phase de fonctionnement[9].

La théorie des réseaux[10] met en évidence le nœud comme objet d'articulation entre les acteurs (voire actants[11]). Nous faisons l'hypothèse qu'il est possible de délimiter des nœuds (et donc de les identifier) d'une façon qui soit aussi pertinente en phase programmation-conception qu'en phase d'exploitation. Ces nœuds ont à la fois une dimension technique et une dimension sociale. Nous les avons nommés nœuds socio-énergétiques (NSE) et définis ainsi :

- groupe d'éléments assurant le stockage, le regroupement ou la répartition de flux d'énergie,
- objet d'interfaces entre plusieurs acteurs impliqués dans son financement, sa conception ou son fonctionnement.

La définition dichotomique du NSE n'implique pas une évolution séparée de l'un et de l'autre mais elle offre deux façons de les explorer sans négliger une dimension par rapport à l'autre, quelle que soit la discipline du chercheur. C'est en creusant conjointement et/ou alternativement les composants techniques et la nature et l'intensité des interactions que seront identifiés les processus multiscalaires de construction des enjeux et de définition des fonctionnements entre (et par) les parties impliquées.

Quelles sont les implications méthodologiques de cette définition dichotomique du NSE ?

Du bâtiment au quartier, les interfaces entre acteurs en période d'exploitation sont relativement limitées : le compteur, les règles de répartition des charges et à la régulation des systèmes collectifs. Des travaux de maintenance ou d'amélioration réouvrent le champ des possibles mais d'une façon beaucoup plus limitée qu'en période de conception. Les capacités de stockage et les éventuelles coordinations pour lisser les intermittences sont donc contingentées par l'installation existante. C'est donc en phase de conception que portera essentiellement notre attention.

Un objet physique est financé par son maître d'ouvrage : il décide ou pas de le réaliser en fonction de ses attentes, de son budget et de ses obligations légales. Cependant, de nombreux autres acteurs participent à la conception : les maîtres d'œuvre qui les traduisent en une description de formes et d'objets, les entreprises qui assurent de fait la conception d'exécution et la construction. Les réseaux d'énergie traversent les périmètres des maîtrises d'ouvrage bâtiment, ce qui requiert une coordination entre eux. Les municipalités participent aussi activement à la conception par les règles d'urbanisme et, de plus en plus souvent, par des prescriptions voire un copilotage de la conception des réseaux d'énergie et des bâtiments.

Les interfaces entre ces acteurs sont à la fois définies formellement par des contrats, des règlements ou des normes et socialement construites par des modalités de collaboration plus ou moins implicites. L'hybridation des modalités préexistantes propres aux acteurs dominants de ces interfaces est guidée par la nécessité de continuité et de performance des chaînes énergétiques. Certains objets physiques ont été conçus selon des routines communes aux acteurs concernés, il n'est pas nécessaire de discuter pour reproduire ces solutions maintes fois mises en œuvre dans des contextes récurrents. D'autres sont âprement discutés, c'est le cas lorsque des changements s'imposent et, par conséquent, une coordination explicite est nécessaire.

Comment identifier et délimiter un NSE, autrement dit un groupe d'objets physiques qui a fait l'objet de discussions spécifiques ou bien à l'opposé d'un traitement sommaire au cours du processus de conception ? Le découpage des chaînes énergétiques en NSE est-il davantage structuré par le processus piloté par un maître d'ouvrage ou par l'impératif de fonctionnement performant de la chaîne pour les différents acteurs ?

A ce stade de notre recherche, les deux voies doivent être explorées. Un écoquartier constitue un terrain idéal pour identifier des NSE innovants et les resituer dans un ensemble cohérent. Des objectifs

[9] Encore que Friedberg a montré qu'une organisation ne devait pas être considérée comme homogène et structurée et qu'inversement des ensembles d'acteurs apparemment indépendants étaient pouvaient former une structure relativement stable.
[10] Dupuy L'urbanisme des réseaux,
[11] Théorie de l'acteur-réseau développée par Bruno Latour.

environnementaux sont fixés par une entité qui a de l'influence sur ce périmètre et peut sensiblement modifier les conditions du choix des systèmes énergétiques par les différents acteurs.

L'enquête NEXUS sur la caserne De Bonne n'a pas encore commencé. Cependant, en mobilisant les travaux d'étudiants de master en maîtrise d'ouvrage[12] menés sur ce quartier, nous pouvons esquisser des périmètres de NSE selon les deux entrées :

- dans le premier tableau (Tableau 1), le processus de construction définit des ensembles d'objets physiques construits sous une même autorité, une maîtrise d'ouvrage certes unique mais en dialogue avec d'autres acteurs. Les acteurs qui participent à la conception sont en rouge et en supportent les incidences financières, les acteurs qui utiliseront ou exploiteront le NSE sont en verts. La conception est relativement cadrée par des documents formels en amont et en aval. Elle porte sur des objets listés dans la dernière colonne.

- dans le deuxième tableau (Tableau 2), la chaîne énergétique structure le découpage en NSE, autrement dit le NSE est groupe d'objets physiques constituant un sous-ensemble cohérent d'une chaîne énergétique. Les acteurs qui participent à la conception sont en rouge et en supportent les incidences financières, les acteurs qui utiliseront ou exploiteront le NSE sont en verts. Dans la dernière colonne apparaissent les acteurs influençant la conception sans nécessairement être impliqués.

Ces tableaux seront complétés par l'enquête. Cependant, ils mettent déjà en évidence la complexité de la conception des objets énergétiques et la simplicité des interfaces entres acteurs en période exploitation. C'est au stade de la conception que sont déterminés, de fait, les enjeux et les conditions des jeux d'acteurs en phase d'exploitation. Il paraît opportun de privilégier par la suite les interactions s'opérant en phase de conception sur celle s'opérant en phase d'exploitation.

En conséquence, le NSE serait un groupe d'éléments assurant le stockage, le regroupement ou la répartition de flux d'énergie et dont la conception a été supervisée par un même maître d'ouvrage interagissant par les mêmes acteurs durant la période le temps nécessaire.

[12] Le co-pilotage de la QEB sur le quartier de Bonne à Grenoble, Feidt Marion, Moshkanbarians Edmond, Parmentier Guillaume sous la direction de Gilles Debizet et Michel Leullier, Mémoire de master MOBat Université de Grenoble Avril 2009, 153 p ; Conception QEB des immeubles de l'écoquartier de Bonne hors concerto, Nicolas ANSOT, Lyes BENGUERRAH , Chinèse BENZEGHIBA, Julien DELAUNAY, Souleymane DIALLO sous la direction de Gilles DEBIZET et Michel LEULLIER, Mémoire de master MOBat Université de Grenoble Avril 2010, 77p

Tableau 1 Les NSE comme groupe d'objets physiques constituant un sous-ensemble cohérent d'une chaîne énergétique

NSE	Ech. Spat.	Acteurs/parties impactés financièrement (présents en phase **Conception /** présents en phase exploitation)	Acteurs/parties impactés	**Autre acteur direct** Eléments du cadre d'action
Centrale de cogénération yc comptage vers ext et sous-station	Ilot	GEG (financeur / MOA / exploitant / vente de chaleur / récupération électricité) Promoteur et bailleur (cession de volume pour le local) Copropriété et bailleur (achats chaleur) Maitre d'œuvre (prestataire GEG)	Planète : émission CO2 Riverain et occupants : nuisance	Ville (impose la solution car vend terrain et autorise construction) Association de quartier (riverains) ? + Fédération des promoteurs / bailleurs sociaux ? Réglementation nationale de l'électricité et de la chaleur
Panneau Eau Chaude solaire jusqu'à sous-station	Bât	Promoteur et bailleur (investisseur / MOA) Copropriété et bailleur (gestionnaire / vendeur de chaleur-charge) Entreprise chauffagiste (exploitant technique) Maître d'œuvre (prestataire du MOA)	Riverains (esthétique) et occupants (chaleur)	Ville (impose en partie la solution panneau) ?? Réglementation nationale thermique (RT)
Sous-station chaleur yc comptage vers logement	Bat	Promoteur et bailleur (investisseur / MOA) Copropriété et bailleur (gestionnaire / vendeur de chaleur-charge) Occupants logement (achat chaleur ou charges) Entreprise chauffagiste (exploitant technique) + GEG (vendeur chaleur) Maître d'œuvre (prestataire du MOA)	Riverains et occupants : nuisance bruit, chaleur	Ville (impose en partie la solution panneau et cogénération et peut-être le BE maître d'œuvre ? Réglementation nationale thermique (RT)
Ventilation double flux	Bât	Promoteur et bailleur (investisseur MOA) Copropriété et bailleur (gestionnaire) Occupants logement (utilisateur – déperditeur ou pas) Entreprise chauffagiste (exploitant technique) Maître d'œuvre (prestataire du MOA)	Occupants les uns vis à vis des autres	Ville (impose sur les lots concerto)
Compteur électrique de logement	Logement	GEG (vendeur énergie et réception installation) Promoteur et bailleur (investisseur) Occupants logement (achat)	Impacts régionaux du nucléaire	Réglementation nationale de l'électricité et RT
Inertie thermique	Bât	Promoteur et bailleur (investisseur MOA) Copropriété et bailleur (gestionnaire) Occupants logement (achat)	Occupants les uns vis à vis des autres	Ville (impose la solution) Réglementation nationale thermique
Syt géothermique et PV	*Bât*	*Promoteur centre commercial et immeubles de bureau / investisse*		*Ville (régulatrice ressource du sous-sol)*
Batterie automobile	*ilot*	*Système non adopté sur le site de Bonne*		
…				

Tableau 2 Les NSE délimités selon le processus de conception sous maîtrise d'ouvrage unique

NSE	Echelle spatial	Acteurs/parties impliqués	**Documents produits** *Eléments de cadrage imposés*	Objets physiques et immatériels discutés et définis
Conception générale du quartier	Quartier	Ville et SEM Innovia GEG (financeur / MOA / exploitant / vente de chaleur / récupération électricité) Maitre d'œuvre (prestataire SEM) et AMO (Terre-Eco) Associations de quartier (riverains) et de commerçants	SEM Innovia : - Plan masse (Devilers ajustés par Aktis) : forme des ilots, découpage parcelle (lots) - Cahier des charges de cession de terrain (Terre-Eco) - Charge foncière - Modalité mise en concurrence des lots	Cogénération (centrale et ss-station) Panneau ECS Inertie thermique Ventilation double flux (lots concerto seulement)
Conception centrale cogénération	Ilot	Ville et SEM Innovia GEG (financeur / MOA / exploitant / vente de chaleur / récupération électricité) Maitre d'œuvre (prestataire SEM) et AMO (Terre-Eco) Promoteur et bailleur (cession de volume pour le local) Maitre d'œuvre (prestataire GEG)	Plan et caractéristiques des équipements Plan des locaux et réseaux *Réglementations nationales de l'électricité et des équipements d'énergie*	Cogénération (centrale et ss-station) Réseaux intermédiaires (servitude de passage, localisation …) Règles de gestion (durée engagement, prix de l'énergie …)
Exploitation centrale cogénération	Ilot	GEG (vendeur énergie) Copropriété et bailleur (achat énergie) de l'ilot	Contrat de droit privé *Réglementation nationale de l'électricité et de sécurité*	Réseaux (ajustement et maintenance) Règles de gestion (durée engagement, prix de l'énergie …)
Conception du bâtiment	Bat	Promoteur (investisseur / MOA) ou bailleur (investisseur / MOA / gestionnaire) + GEG (MOA centrale / vendeur chaleur) Maître d'œuvre (prestataire du MOA) SEM (contrôle de conformité au cahier des charges)	Ville (impose en partie la solution panneau et cogénération et peut-être le BE maître d'œuvre ? *Réglementation nationale thermique (RT)* *Cahier des charges de cession de terrain*	Structures et enveloppe (inertie thermique, isolation, protection solaire) Sous-station et Chaudière complémentaire Panneau ECS Ventilation double flux
Exploitation du bâtiment	Bât	Copropriété et bailleur (gestionnaire) Occupants logement (utilisateur – déperditeur ou pas) Entreprise chauffagiste (exploitant technique)	Contrat de droit privé *Réglementation nationale thermique (RT) Droit des copropriétés ou du logt social*	idem
Exploitation logement	Logt	*Occupants*	Contrats d'électricité (GEG) Contrats de chaleur ou charge de copro	Chauffe-eau mixte (électrique et chaleur copro ?) Émetteurs de chaleur
Exploitation batterie automobile	Bat et auto	*Inexistant sur le site caserne de Bonne mais pourrait être étudié comme NSE ailleurs*		

2. Revue de la bibliographie moissonnée et choix des écoquartiers

Auteure : Odile Blanchard (UPMF-EDDEN)

Contributeurs au travail effectué : Philippe Menanteau (CNRS-EDDEN), Xavier Long (CNRS-PACTE), Dinara Adykulova (stagiaire EDDEN), Quentin Boehm, Pierre Boulic et Alexis Sicard (étudiants de l'ENSE3, Grenoble INP)

Les premiers mois du projet Nexus ont été consacrés à un intense moissonnage bibliographique. L'objectif était d'une part de rassembler des références générales sur le concept d'écoquartier et sur le thème de l'énergie dans les écoquartiers, et d'autre part d'identifier des références relatives à des écoquartiers géo-localisés, en Europe et en France. La méthodologie utilisée pour le moissonnage fait l'objet de la partie 2.1 et les résultats sont exposés dans la partie 2.2. La partie 2.3 présente les critères de sélection qui ont prévalu au choix des douze EQ retenus pour mener une étude approfondie de leurs caractéristiques, et si possible, de leurs NSE. Les fiches synthétiques qui ont été élaborées pour chacun des douze EQ font l'objet de la partie 2.4, tout comme les schémas synthétiques qui ont été construits pour faire apparaître les interactions entre les différents acteurs au sein de certains EQ.

2.1. Méthodologie générale

Plusieurs méthodes ont été simultanément déployées pour constituer la bibliographie. La recherche par mots-clés sur Internet a été menée en parallèle à l'interrogation des fonds documentaires de nos laboratoires respectifs (Pacte et Edden), et à l'interrogation des bases de données de divers éditeurs scientifiques (Elsevier et Springer Link, entre autres). Des contacts par email ou téléphoniques ont également été noués avec divers centres documentaires de recherche universitaires (exemple, KTH en Suède, Nobatek en France) et certains acteurs des écoquartiers (assistants à maître d'œuvre, promoteurs, etc..). Seules ont été retenues et stockées les références qui apportent de l'information ou une analyse comportant une valeur ajoutée au regard du projet Nexus.

Lorsque les documents moissonnés se présentent sous forme de fichier .pdf, leur stockage a été opéré sous Google Docs, et organisé par répertoires. Trois grands répertoires ont été créés : l'un pour les EQ européens (« Europe »), l'autre pour les écoquartiers français (« France »), le troisième pour classer les documents généraux sur les écoquartiers, non focalisés sur un ou plusieurs EQ spécifiques (« Généralités »). A l'intérieur de ces répertoires, ont été placés des sous-répertoires, à raison d'un sous-répertoire par écoquartier. Le nom du sous-répertoire est soit le nom de la ville (ex. Grenoble, Lyon, Bordeaux), soit le nom de l'écoquartier (ex. BedZed , Hammarby, Poblenou). A l'intérieur des sous-répertoires, le nom des fichiers a été standardisé en prenant les 5 premières lettres de la ville ou de l'écoquartier et en les numérotant de façon incrémentale (ex. greno_01, greno_02, etc…, ou bedze_01, bedze_02, etc…). Lorsque des documents portent sur plusieurs écoquartiers européens hors France, ils sont nommés multi_01, multi_02, etc…au sein du répertoire Multicas Europe ; lorsqu'ils portent sur plusieurs écoquartiers français, ils sont nommés frmulti_01, frmulti_02, etc… au sein du répertoire Multicas France.

Outre le stockage et la saisie des références, deux bases de données ont été construites sous Excel, de manière à décrire le contenu des documents moissonnés, eu égard aux éléments potentiellement pertinents pour les travaux des différents WP de Nexus. Au niveau du WP1, ces éléments ont permis de sélectionner de façon éclairée la douzaine d'écoquartiers analysés plus en profondeur (cf point 2. 3), et, pour les écoquartiers sélectionnés, d'analyser les dimensions géographique et politique, d'examiner l'existence ou non d'une typologie socio-énergétique, et les business models (cf chapitres suivants). Au niveau du WP2, les éléments constitutifs des bases de données permettent d'indiquer les références bibliographiques à consulter pour bâtir une connaissance approfondie des terrains d'enquête, avant la conduite des entretiens.

Une des bases de données concerne les écoquartiers européens hors France, l'autre les écoquartiers français. Elles sont toutes les deux structurées de la même manière : elles comportent des champs thématiques, à l'intérieur desquels figurent plusieurs éléments descriptifs. Le Tableau 3 décrit exhaustivement les rubriques présentes dans les bases de données.

Tableau 3 : description du contenu des bases de données

Champs thématiques	Eléments
Situation géographique	Nom de l'écoquartier Ville Pays Date de l'écoquartier
Source bibliographique	Code bibliographique assigné Auteur Titre Titre fichier Type de document Revue/Ouvrage Volume Date Infos économiques ou financière Statut : D (= déclaratif) ou E (=expertise)
Caractères spaciaux généraux	Taille de la ville Superficie du projet Surface bâtie
Type de bâti	Immeubles collectifs Maisons individuelles
Type d'opération	Neuf Neuf après suppression Ancien réhabilité
Type d'occupation	Activités (% surface) Logement (% surface) Logement social (% nombre)
Eléments d'analyse morphologique disponibles	Plans Images Plans du site
Caractéristiques techniques des systèmes énergétiques	Bâtiments :BBC ; isolation ; conception low tech ; stockage énergie ; électricité spécifique ; suivi des consommations Réseau de chaleur : cogénération ; géothermie ; biomasse Renouvelables : photovoltaïque (PV) ; solaire thermique ; éolien ; biogaz Transport
Gouvernance	Acteurs publics : Union européenne (UE) ; état ; région / Land / Intercommunalité ; municipalité ; organismes de recherche Acteurs privés : fournisseurs d'énergie ; constructeurs ; entreprises clean tech ; architectes Société civile : citoyens Type de gouvernance : centralisée ; multi-partenaires

Le lien vers les documents moissonnés et la base de données relative aux écoquartiers européens est le suivant : https://drive.google.com/#folders/0B7qBl72ky3xIaGxYUmpaeWRoWVk

Le lien vers les documents moissonnés et la base de données relative aux écoquartiers français est le même : https://drive.google.com/#folders/0B7qBl72ky3xIaGxYUmpaeWRoWVk

Un compte d'accès (nom d'utilisateur et mot de passe) a été créé pour l'ADEME et communiqué au coordinateur technique de l'ADEME lors de la remise du présent rapport. Par ailleurs, ces bases de données ont été remises à l'ADEME également sur un support DVD.

2.2. Ecoquartiers moissonnés

Après trois mois de moissonnage intense, des références bibliographiques pertinentes ont été répertoriées pour 58 écoquartiers. Le Tableau 4 présente la liste des 35 écoquartiers en Europe hors France et des 23 écoquartiers français.

Tableau 4 : liste des écoquartiers moissonnés

Localisation	Nom de l'écoquartier	Ville et pays
Europe hors France	Adamstown	Dublin, Irlande
	Almere	Flevoland, Pays-Bas
	Amersfoot	Amersfoot, Pays-Bas
	Bad Ischl	Bad Ischl, Autriche
	BedZed	Sutton, Grande-Bretagne
	Delft	Delft, Pays-Bas
	Ecolonia	Alphen aan den Rijn, Pays-Bas
	Greenwich Peninsula	Grande-Bretagne
	GWL	Amsterdam, Pays-Bas
	Gland	Suisse
	Hadyard Hill	Hadyard Hill, Ecosse
	Hammarby Sjostad	Stockholm, Suède
	Kronsberg	Hanovre, Allemagne
	Lanxmeer	Culemborg
	Leidsche Rijn	Utrecht, Pays-Bas
	Ludwigsburg	Ludwigsburg, Allemagne
	Malmö Bo01 Västra Hamnen	Malmö, Suède
	Ecoparc	Neuchâtel, Suisse
	Plaines du Loup	Lausanne, Suisse
	Poblenou	Barcelone, Espagne
	Pounbury	Pounbury, Pays de Galles
	Rieselfeld	Fribourg, Allemagne
	Royal Seaport	Stockholm, Allemagne
	S. Rocco	Faezza, Italie
	Scharnhauser Park	Ostfildern, Allemagne
	Solar City	Linz, Autriche
	Trinitat Nova	Barcelone, Espagne

	ECO-city	Tübingen, Allemagne
	Valdespartera	Zaragoza, Espagne
	Vathorst, Nieuwland, Kattenbroek	Amersfoot, Pays-Bas
	Vauban	Fribourg, Allemagne
	Vaxjo (écoville)	Vaxjo, Suède
	Vesterbro	Copenhague, Danemark
	Vikki	Helsinki, Finlande
	Voralberg (Land)	Voralberg, Autriche
France	ZAC Andromède	Blagnac et Beauzelle
	Ginko le Lac	Bordeaux
	ZAC Saint -Jean des Jardins	Chalon s/ Saône
	Lotissement des Thermes	Cransac les Thermes
	ZAC de Raquet	Douai
	ZAC Four à Pain	Faux la Montagne
	ZAC des Pielles	Frontignan
	ZAC de Bonne	Grenoble
	Fort d'Issy	Issy les Moulineaux
	ZAC Camp Countal	Le Sequestre
	Rives de la Haute Deule	Lille et Lomme
	Les Temps Durables	Limeil Brévanne
	Lyon Confluence	Lyon
	ZAC Wagner	Mulhouse
	Grand Cœur	Nancy
	ZAC Plateau de Haye	Nancy, Maxéville, Laxou
	ZAC Boule Saint Geneviève	Nanterre
	ZAC Bottières Chênaie	Nantes
	Prairie du Duc de Nantes	Nantes
	ZAC du Frequel-Fontarabie	Paris
	ZAC La Courouze	Rennes
	Cap Azur	Roquebrune-Cap Martin
	ZAC Danube	Strasbourg

Le moissonnage réalisé, matérialisé par les bases de données constituées, met à jour quelques caractéristiques générales intéressantes. Tout d'abord, en Europe hors France, les écoquartiers se situent de façon prédominante au Nord de l'Europe, en Suède, en Allemagne et aux Pays-Bas surtout, mais aussi en Autriche, au Royaume-Uni, en Suisse, au Danemark. Quelques rares opérations ont été identifiées en Italie et en Espagne. Aucun écoquartier n'a été repéré à l'Est de l'Europe malgré des recherches intenses. En France, on les trouve grosso modo sur tout le territoire métropolitain, sans focalisation particulière sur une région ou une autre.

Ensuite, la date de création des écoquartiers fait apparaître des générations d'écoquartiers différentes. La plupart des écoquartiers suédois, allemands et néerlandais remontent à la décennie

1990, tandis que dans les autres pays, les projets ont démarré au mieux à la fin des années 1990, et le plus souvent dans les années 2000, voire 2010.

De ce fait sans doute, la littérature moissonnée est beaucoup plus abondante et élaborée pour les écoquartiers suédois, allemands et néerlandais que pour la plupart des autres opérations. Pour les projets récents, les documents à disposition consistent pour beaucoup en des descriptions, avec peu ou pas d'analyses, et sont fréquemment émis par des parties prenantes aux projets. Une prise de recul est nécessaire pour utiliser ces informations à des fins d'analyse dans Nexus.

2.3. Ecoquartiers sélectionnés pour approfondissement

Une première utilité du moissonnage bibliographique a été de sélectionner une douzaine d'écoquartiers sur lesquels l'équipe du WP1 souhaitait porter un regard approfondi, pour une moitié en Europe hors France et pour l'autre moitié en France.

Les critères de sélection retenus par Odile Blanchard et Philippe Menanteau (EDDEN) visaient à constituer un panel d'écoquartiers différenciés de par les systèmes énergétiques adoptés et les types de gouvernance et d'acteurs impliqués. L'existence d'une littérature abondante et de qualité était également indispensable. Pour chacun des 3 critères (système énergétique, gouvernance, littérature), une note de 1 à 3 a été attribuée aux écoquartiers moissonnés, ce qui a permis de proposer au Comité de Pilotage en janvier 2012, les écoquartiers présentant les meilleures notes globales.

Les discussions au sein du Comité de Pilotage ont donné lieu à la révision de certaines notes, pour diverses raisons. Par exemple, pour l'EQ Royal Seaport à Stockholm, une note de 1 avait été attribuée initialement au critère « abondance et qualité de la littérature » car le moissonnage opéré n'avait pas été très fructueux (du fait de la « jeunesse » du projet). La note fut révisée à 2 pour ce critère, car un des membres du comité de pilotage a un contact qui travaille précisément sur Royal Seaport au KTH (Royal Institute of Technology) de Stockholm. De même, pour l'EQ ZAC Saint-Jean des Jardins à Chalon sur Saône, un membre du Comité de Pilotage souligna le caractère spécifique de la gouvernance et insista sur la nécessité d'attribuer une note de 3 à ce critère, au lieu de 2.

Les tableaux 5 et 6 ci-dessous présentent les écoquartiers finalement sélectionnés en Europe hors France et en France, et les caractéristiques qui ont mené aux choix validés par l'ensemble des membres du WP1 et par le Comité de Pilotage. A noter qu'en France, l'écoquartier ZAC de Bonne a été retenu ex ante du fait de la proximité géographique de nos laboratoires de recherche et de la connaissance approfondie de ses caractéristiques par certains membres de l'équipe Nexus. Il ne figure donc pas dans le Tableau 6.

Tableau 5 : critères de sélection des écoquartiers européens hors France

Ecoquartier	Ville	Systèmes énergétiques innovants : synthèse	Score	Type acteurs et gouvernance	Score	Abondance et qualité littérature	Score	SCORE TOTAL
Vauban	**Fribourg (D)** 2000 lgts + bureaux 1998+ Neuf sur site ancienne caserne REX (retours d'exp)	BBC, passif et BEPOS RC cogen bois et gaz PV	2	Bottom up La ville de Fribourg-en-Brisgau, Le Forum Vauban, La coopérative de construction Genova	3	très abondante, qualité +++	3	8
Hammarby	**Stockholm (SW)** 8 - 15 000 lgts 1995+ Fin op en 2010 Réhab REX	RC: cogén, chaleur eaux usées Climatisation: Reseau EF biogaz sur STEP	3	Top down (I) Crise logement et candidature Jeux Olympiques 2004 (C, F) Municipalité, le comité environnement et santé de la ville de Stockholm, les partenaires économiques et techniques : promoteurs, constru et propr fonciers, le conseil LIP (programme d'investissement local), (Fourn energie) Birka Energi, Statoil	2	très abondante, qualité +++	3	8
Royal Seaport	**Stockholm (SW)** 10,000 lgts 2010-2025 Neuf	Stockage d'énergie SVC Light, PV, éolien, smart grid	3	Top down PPP municipalité, entr privées, universités ABB, Fortum, Ericsson, Electrolux; the Interactive Institute; the Ports of Stockholm; KTH university	3	limitée (potentiellement abondante) qualité + (potentiellement ++)	2	8
Kronsberg	**Hanovre (D)** 6 000 lgts 1996+ Neuf REX	2 systèmes de cogén cuve stockage saisonnier chaleur solaire éolien	2	Top down (I) La municipalité de Hanovre + réseau local d'experts ; Commission consultative de Kronsberg, KUKA, le Centre Energie et Environnement (..) (F): Le Land de Basse-Saxe, UE "Thermie"	3	abondante, qualité ++	2	7
Bedzed	**Beddington (UK)** 80 lgts + 2500 m² bureaux / commerces 2000+ Neuf REX	HPE Bioclim Ventilation passive	2	Top down (I) Contexte RU-Kyoto Bioregional Development Group, association environnementaliste locale, Fondation Peabody institution caritative de Londres, Bill Dunster architectes	2	très abondante, qualité ++	2	6
Poblenou	**Barcelone (SP)** 4 -5000 lgts et bureaux 2000+ Réhab sur ancienne zone industrielle et habitations	R C/F innovant, énergie solaire	**2**	(I)Le projet de réhabilitation de Poblenou rentre dans le cadre du projet 22@, MO ville de Barcelone, (Promoteur / Constr) : Aguirre et Newman, Prominmo Exemple d'échec?	1 ou 3?	limité, qualité ++	2	5 ou 7?

Tableau 6: critères de sélection des écoquartiers français (hormis ZAC de Bonne, retenu ex ante)

Ville et caractéristiques	Systèmes énergétiques innovants: synthèse	Score	Type acteurs et gouvernance	Score	Abondance et qualité littérature	Score	SCORE TOTAL	Retour expérience Remarques
Lyon Confluence 150 ha, à terme 25 000 hab, 4500 logts 2007 + Réutil bât indust, éco-rénovation, neuf	Bioclim RC à terme Smart grid	3	Top down Grand Lyon (MO déléguant), SPLA (aménageur), AMO DD (Tribu-Lyon, CETE Lyon, CERMA, GRAIN) Smart community: New Energy and Industrial Technogy Development Organisation (NEDO) / Toshiba	3	Abondante à potentiellement très abondante Qualité ++	3	9	Palmarès 2009 densité et formes urbaines
ZAC St-Jean des Jardins, Chalon sur Saône 5 ha, 140 logts 2002 1ères livraisons 2006 Neuf sur ancienne zone maraîchère	Extension RC de la ville: chaufferie bois raccordée à RC Toitures végétalisées	2	Top down Ville de Châlon: Prog Villa urbaine durable (VUD) 2001 Projet EU Life envt Prog Privilèges WWF(2003) Ademe Conseil Régional	3	Abondante Qualité ++	2	7	
Ginko, Bordeaux 23 ha, 2150 logts, 53 000 m2 burx-commerces-éqts publ P1:2010-12 P2: 2012-14 P3: 2014-17 Neuf	Bioclim RC bois - huiles végétales Boucle eau froide pour clim commerces	2	Top down RC construit, géré, financé par Cofely CUB, ville, Bouygues Immobilier, maîtres d'œuvre, AMO DD (dont Terre Eco, la Tronche)	2	(Potentiellement) abondante Qualité + +	2 à 3	6 à 7	Bilan C standard et BC approche "par le client final, ie l'habitant de Ginko" Palmarès EQ 2009, sobriété E et énergies renouvelables
Nancy **Grand Cœur (GC)** 15 ha, 700 logts, 2000 hab **Plateau de Haye (PH)** 440 ha, 14 000 hab GC 2006 P1 2010-14 PH 2009 ?-2020 GC rénov urbaine PH Rénov urbaine et extension	GC: eff éner, isolation PH: bioclim, RC bois-gaz	1	Top down GC: innovation dans la gouvernance (impulsion : maire) PH "gouvernance innovante" (concertation amont, ateliers thématiques, "Aventures partagées" des habitants…)	3	Limitée Qualité + (PH) à ++ (GC, gouvern)	1 à 2	5 à 6	GC Palmarès 2009 mobilité et PH Grand prix 2011

Au final, les six EQ sélectionnés en Europe hors France sont les suivants : Vauban, Fribourg (Allemagne) ; Hammarby Sjöstad, Stockholm (Suède) ; Royal Seaport, Stockholm (Suède) ; Kronsberg, Hanovre (Allemagne) ; Bedzed, Sutton (Grande-Bretagne) ; Poblenou, Barcelone (Espagne)

Les six EQ français sélectionnés sont les suivants : ZAC de Bonne, Grenoble ; Confluence, Lyon ; ZAC St-Jean des Jardins, Chalon sur Saône ; Ginko, Bordeaux ; Grand Cœur, Nancy ; Plateau de Haye, Nancy.

Pour les écoquartiers sélectionnés ci-dessus, l'ensemble des références bibliographiques présentes dans la base de données a été saisi en parallèle sous Zotero. Pour les documents stockés sous Google Docs, un lien automatique a été créé dans Zotero pour pouvoir utiliser facilement les références des documents.

2.4. Fiches synthétiques et schémas des acteurs pour les EQ sélectionnés

Pour chacun des douze EQ retenus, une fiche synthétique d'une page a été construite, de façon standardisée, pour décrire les principales caractéristiques des EQ, en particulier au niveau énergétique. La fiche a été proposée aux membres du Comité de Pilotage fin mars 2012. Elle a été discutée et amendée par le Comité de Pilotage en avril 2012, pour répondre au mieux aux besoins d'information et de données des membres du WP1 et du WP2.

Le Tableau 7 ci-dessous présente la fiche générique standardisée. Les fiches individuelles réalisées pour chacun des douze EQ figurent en annexe 1.

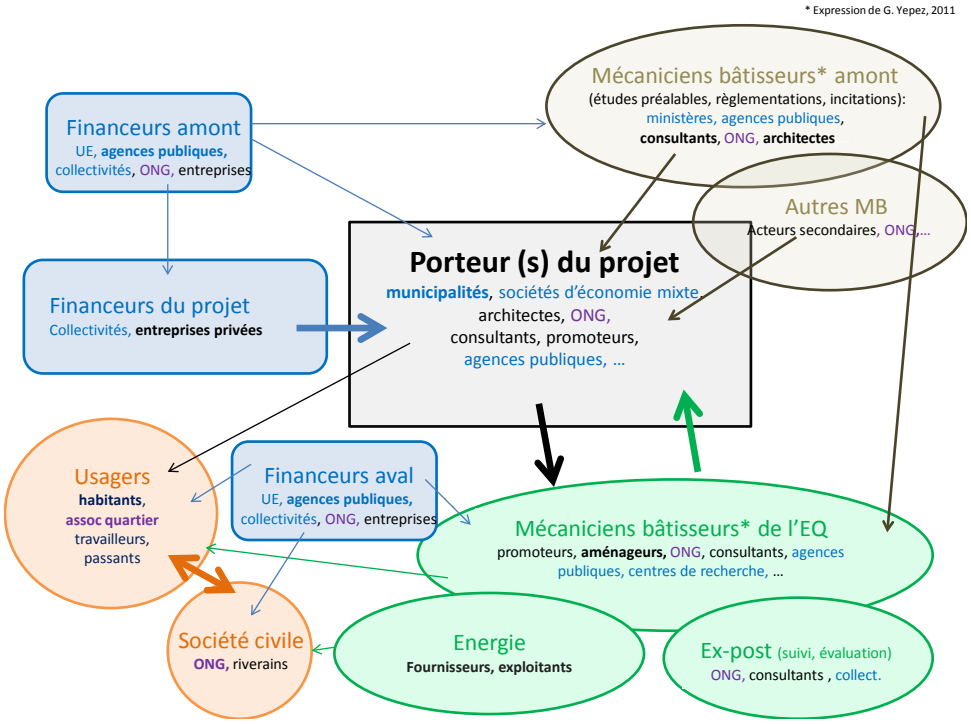
Tableau 7 : fiche descriptive générique standardisée
Nom de l'éco-quartier, ville, pays

Contexte de l'opération	Caractéristiques géographiques (localisation, …) Qui l'a initiée ? Pourquoi ? Requalification / réhabilitation / neuf
Dates repères	Lancement projet / concertation /début / fin constructions
Brève présentation de l'opération	Superficie totale dont bâtie Type de bâti (immeubles / villas), nb, fonctions (logement, professionnelle) Population attendue, nb, mixité sociale ? Activités économiques, sociales, culturelles Montant total de l'opération
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie)	
Principaux acteurs (en les qualifiant)	MO et AMO Constructeurs opérations immobilières Energie : concepteurs, fournisseurs, gestionnaires, TIC Partenariats avec agences publiques, universités, recherche Société civile
Objectifs énergétiques	Objectifs quantitatifs, labels ? Montant des investissements
Systèmes énergétiques	Technologies chauffage, refroidissement, élec : volonté d'innovation, de démonstration, ou recours à technos éprouvées Construction d'un réseau ou opérations isolées Place des renouvelables Place des TIC (smart technos) Mode de gestion de l'énergie Information sensibilisation des usagers
Retours d'expérience	Consommations réelles / objectifs Coordination acteurs Place de la concertation Dysfonctionnements
Nœuds socio-énergétiques et gouvernance	Place de l'énergie dans la conception de l'EQ NSE si possible Gouvernance : top-down, bottom-up, multi-pôles ; quels acteurs porteurs du projet ?

En plus de la création de ces fiches synthétiques, il nous est apparu intéressant d'essayer de schématiser les relations entre tous les acteurs impliqués dans la conception ou la réalisation d'un EQ. Un schéma générique a été proposé et discuté au Comité de Pilotage d'avril 2012. Des schémas ont été élaborés pour certains des EQ sélectionnés. Cependant, la difficulté et le caractère très chronophage de l'exercice n'ont pas permis d'effectuer ce travail pour chacun des douze EQ.

La Figure 1 ci-dessous présente le schéma générique standardisé.

Figure 1 : schéma générique des relations entre acteurs au sein d'un EQ



Les schémas individuels réalisés pour certains des douze EQ figurent en annexe 1.

3. Lecture géographique de la littérature sur les écoquartiers

Auteur : Xavier Long (UPMF-PACTE)

3.1. Quelques réflexions liminaires de méthode

Dans une lecture géographique, la réflexion sur la mise en œuvre d'un projet d'écoquartier correspond tout d'abord à une analyse de la ville à différentes échelles avec du "bas vers le haut", celle de l'écoquartier lui même, celle de l'espace urbain proche auquel il est rattaché, celle de l'agglomération dont fait partie la ville. A l'opposé, au sein de l'écoquartier, l'échelle plus fine des éléments du bâti et du non bâti (immeubles, voirie, espaces verts…) offre une série de points de compréhension quant au bon ou au mauvais fonctionnement du système projeté, et en préalable, d'éléments de réflexion dans la conduite du projet et sa mise en œuvre. En termes géographiques, au delà de la notion d'échelle, s'opposent ainsi le lieu et l'aire, deux "espèces d'espaces" aux propriétés différentes[13]. Le lieu "espace au sein duquel le concept de distance est peu pertinent" selon Jacques Lévy, est d'abord circonscrit par des limites. Son bornage le fait percevoir spontanément comme un tout ; cette propriété est essentielle en urbanisme : un lieu s'institue facilement, il peut être mis en scène pour générer un sentiment d'appartenance, d'identification. A l'inverse, l'aire qui est aussi limitée n'est pas indivise, elle n'est pas un espace isolable facilement. Si le territoire est "une aire délimitée affectée d'une idéologie territoriale"[14], c'est le discours qui est tenu à son propos qui en fait un espace appropriable. On comprend qu'un écoquartier de moins d'une dizaine d'hectares fasse territoire, tandis qu'une aire composite d'une centaine d'hectares même dénommée "quartier" ne puisse générer une identification aussi forte sans efforts spécifiques (organisation de la voirie, lieux publics identifiants, lieux signaux…).

Lorsque l'on se focalise sur la question énergétique au sein de ce projet urbain, utiliser les échelles pour lire l'espace permet au plan technique de séparer les niveaux de fonctionnement : quels choix sont à effectuer vis à vis du chauffage, de la climatisation, de l'isolation, de l'éclairage, du transport, etc. à l'échelon de l'immeuble, du quartier ou de l'ensemble urbain dont il fera bientôt partie. Cette lecture est donc en premier ressort nécessairement multiscalaire car les choix techniques sont évidemment fonction du niveau de leur application. En second temps, l'interdépendance des niveaux spatiaux rend aussi nécessaire une approche interscalaire[15], laquelle va permettre d'identifier des points d'interconnexion entre les différents niveaux. Ces points nodaux permettent de passer d'une technique à une autre, d'une logique à une autre selon une mécanique d'ensemble permettant au système de fonctionner. A l'inverse les dysfonctionnements devront être repérés à la fois à chaque niveau du système dans une maille d'analyse fine, mais aussi sur ces points critiques que sont les interfaces reliant les divers niveaux. Si ces interfaces sont repérées avant la mise en œuvre du projet et si des "points durs" sont identifiés à leur niveau, l'orientation technique peut s'en trouver considérablement modifiée (choix de systèmes individuels de production d'eau chaude versus une production collective par exemple).

La même mécanique scalaire s'applique aussi au terrain sociétal lequel est intrinsèquement lié à l'espace : la rationalité des choix, la réalité des pratiques qui se mettront en place sont tout à fait différentes à l'échelon d'un immeuble qui "fait lieu", ou d'un quartier qui est d'abord une aire à laquelle l'identification est plus complexe. C'est ainsi que travailler sur l'espace, c'est aborder l'ensemble des acteurs concernés (individus, groupes, institutions,…) dans ces différents échelons car les choix effectués par tel ou tel en matière énergétique sont évidemment liés aux possibilités qui s'offrent, aux contraintes qui s'imposent, lesquelles dépendent des divers niveaux de référence. Le même raisonnement multiscalaire et interscalaire s'applique dans cette analyse des acteurs : les choix d'un individu renvoient (ou ne renvoient pas) à sa propre rationalité mais aussi à toute une série de contraintes et d'incitations "englobantes" issues de niveaux supérieurs qui s'articulent entre elles par l'intermédiaire d'interfaces socio-spatiales déterminantes à la réussite d'un projet d'ensemble. Par définition un écoquartier est un "morceau" de société urbaine avec toutes les dimensions sociétales, institutionnelles et politiques que cela comporte.

[13] Lussault M. "L'homme spatial", Seuil, Paris, 2007.
[14] Ibidem
[15] L'approche multiscalaire renvoie à la nécessité d'analyser comment un même processus agit à différentes échelles, tandis qu'une analyse interscalaire met l'accent sur les effets induits d'une intervention à un échelon sur les autres échelons spatiaux de l'espace concerné.

Sur le plan de l'objet étudié : l'écoquartier, la matière soumise à l'analyse est donc profondément de nature hybride : c'est sur le terrain de la matérialité technique tout autant que sur le terrain du projet de société que l'analyse doit être conduite. On le sait, les projets d'écoquartiers sont passés par différentes phases[16], avec à l'origine la volonté de la part de certains groupes minoritaires de s'organiser autour d'un projet de vie identitaire respectueux des "équilibres naturels", jusqu'à la phase actuelle des projets "institutionnels" en lien avec la nécessité de réduire consommation énergétique et émission de gaz à effet de serre. On ne peut non plus ignorer les dimensions commerciales, les efforts en terme de marketing et de construction d'image sur lesquels reposent la plupart des projets. Donc dans tous les cas de figure, la nature profondément sociétale des réalisations, de leur exploitation, de leur fonctionnement demeure, et une analyse énergétique des écoquartiers ne peut se limiter à la seule sphère technique : cette hybridité est consubstantielle à la nature de l'écoquartier. De fait, elle va obliger le chercheur à s'intéresser autant aux articulations entre les éléments qu'aux éléments eux mêmes. Les divers champs qui s'appliquent à la ville (le social, le politique, le technique et l'économique) s'imbriquent particulièrement bien dès qu'est posée la question de la durabilité et sans nul doute que la posture postmoderne qui s'intéresse d'abord aux relations entre les objets scientifiques est celle qui convient le mieux pour qui analyse les écoquartiers[17].

Lorsqu'ils abordent la question des écoquartiers les auteurs se replacent en général dans une double perspective spatiale et temporelle qui renvoie aux dimensions urbanistiques et environnementales grâce à des exemples situés dans le temps et dans l'espace : on est entré dans le temps du développement durable et ceci est attesté par des opérations de création d'un tissu urbain d'un type nouveau.

Pour ce qui concerne la définition d'un écoquartier, l'accent est mis dans la plupart des cas sur des caractères éco durables de type environnemental (énergie, bilan carbone, préservation des ressources, densité), économique (validité du projet, viabilité de son fonctionnement[18]), social (équité, mixité[19]) et politique (gouvernance partagée depuis la mise en place du projet, jusqu'à son fonctionnement effectif[20]). Les critères développés dans le cadre de l'association Energy Cities[21] (gouvernance, transport et mobilité, environnement, économie, services, équité, diversité, mixité fonctionnelle, identité, participation citoyenne) renvoient de leur coté à une lecture plus opérationnelle et placent les réalisations sur le terrain du projet urbain. Cependant il semble que d'autres dimensions, et notamment, ce qui peut être appelé des dimensions géographiques, lesquelles doivent aussi être prises en compte.

Ainsi la notion de quartier mérite d'être revisitée ; elle est en soi complexe à définir : l'existence d'un quartier repose sur des éléments morphologiques, des paramètres de localisation, des contenus sociaux, un sentiment d'appartenance. Un quartier est un tout cohérent et identifiable, l'unité de lieu et la présence de limites qui le bornent sont essentielles. Sa taille aussi : pour être un ensemble spatial disposant d'une diversité fonctionnelle et sociale intrinsèque à sa définition, il doit être suffisamment étendu ; mais au-delà d'une certaine superficie dispose t'il encore des caractéristiques nécessaires à son identification? Sur un autre plan, un quartier est aussi un sous ensemble spatial d'une aire urbaine : comme tel, il doit être en lien avec son environnement urbain et ce à différentes échelles. Ces relations sont de nature physique ou fonctionnelle (liaisons en matière de transport, continuités et implications réelles dans le système urbain[22]). Mais un écoquartier est aussi un morceau d'un ensemble social et politique (planification, projet urbain, discours sur la ville). En tant que sous partie d'une ville, participe t'il de la fragmentation urbaine actuelle ou permet-il d'y remédier? Comment mesurer son degré d'autonomie et a contrario son degré d'intégration?

---

[16] Emelianoff C., "Les quartiers durables en Europe : un tournant urbanistique", Cahiers du Développement Urbain Durable, Urbia, Genève, Juin 2007. Multi_08

[17] Colloque TT3 "Hybride, hybridation, hybridité : les territoires et les organisations à l'épreuve de l'hybridation", 28 et 29 mars 2012, Cité des territoires Grenoble, actes à paraître.

[18] Il faudrait mesurer la distance réelle entre le déclaratif et l'épreuve du quotidien et des bilans cf. Bedzed où la centrale de co-génération de chauffage et le système de retraitement des eaux ne fonctionnent plus.

[19] Il est nécessaire d'étudier quartier par quartier la part réelle des diverses catégories de logements réalisés. En effet, peut-on parler de mixité sociale quand on relève des prix au m2 très élevés (à comparer à la moyenne locale) ? Ou quand il s'agit de zones de bureaux qui ont chassé les habitants en supprimant la mixité fonctionnelle?

[20] Idem, dans le cas de Poblenou les velléités affichées de partage décisionnel et de gouvernance ouverte se sont heurtées à l'épreuve des faits et à l'héritage top down.

[21] www.energycities.eu

[22] Exemple des commerces de l'éco-quartier de Bonne.

3.2. Quelles villes et quels contextes globaux ?

Villes du Nord / villes du Sud : deux Europe ? Les auteurs du rapport "Etude transversale de la concertation dans des écoquartiers européens. Des pionniers à la généralisation du processus"[23] insistent sur l'opposition entre le Nord et le Sud de l'Europe : au Nord, un "*contexte favorable à l'émergence de projets innovants*", au Sud beaucoup moins. Selon ce texte, c'est en Europe du Nord que se serait développée le plus précocement la prise de conscience de la question environnementale dans les projets à mettre en œuvre, et en particulier, dans le domaine de l'urbanisme. Parmi les divers facteurs, il y aurait une conception plus attentive à la nature dans le monde anglo-saxon, que dans le monde latin ; cette attention contribuerait à la construction d'une culture environnementale partagée, propice à la mise en œuvre de politiques locales de développement durable. En second point, il y aurait eu aussi un développement plus précoce d'une culture d'innovation technique dans le domaine de la construction, mais aussi de l'énergie, (dès les années 80) grâce à des mesures règlementaires et fiscales. Enfin en troisième lieu, il existerait dans le Nord de l'Europe une culture du management de projet beaucoup plus favorable qu'au Sud (ou du moins qu'en France, qui est le cas étudié). Au Nord, la flexibilité, le dialogue, l'animation seraient de règle tandis qu'au Sud, la réglementation, les normes étatiques, la contrainte seraient beaucoup plus prégnantes. Tout tourne autour de l'opposition de deux façons de faire, en lien avec des jeux d'acteurs différents (services de l'Etat en France, services publics décentralisés en Allemagne par exemple) mais aussi initiative privée (parfois "citoyenne", parfois issue du monde économique), tandis que la société civile française serait beaucoup moins à l'origine de propositions innovantes. Sur le même thème, le tableau d'Antoine Loubière issu de l'ouvrage "La ville autrement"[24] oppose les cas français à ceux de l'Europe du Nord. Ainsi traditionnellement, l'échelon du quartier serait peu présent en France dans l'action urbaine, tandis qu'il serait privilégié au Nord. A un autre échelon, les logiques de marketing territorial et de compétition prédomineraient en France au détriment de la coopération avec les autres villes. Les espaces de proximité, de la vie quotidienne ne seraient pas valorisés et les espaces publics seraient plus perçus comme des lieux de prestige que comme des lieux de vie. Les politiques nationales (exemple ANAH) privilégieraient le logement, et ce, au détriment de l'îlot ; tandis qu'au Nord les relations de voisinage revêtiraient une importance majeure. Enfin, dans le secteur de l'habitat social (organismes HLM en France, systèmes public ou associatif ailleurs) la démarche participative, l'engagement des habitants seraient très peu mis en avant ; ce qui aurait pour effet de ne jamais impliquer réellement les usagers ou les habitants, et de limiter l'acculturation.

Si on se réfère à ces publications (mais aussi à des analyses de terrain qu'il faudrait poursuivre et approfondir), le chemin vers l'écoquartier serait plus long et plus difficile au "Sud" qu'au "Nord", si l'on fait de la "participation" un élément-clé de la réussite du projet… Dans la réalité, il faudrait être beaucoup plus prudent et beaucoup plus nuancé. Il serait souhaitable d'aller plus loin et de faire ressortir, par exemple, que dans telle ou telle ville, les attendus ne sont pas forcément les mêmes que dans telle autre. Une lecture à un échelon global (ie celle d'un écoquartier "mythique" qui correspondrait à un idéal mondial ou européen) ne correspond pas forcément aux choix des responsables des projets urbains. On peut ainsi à la fois se référer à un "label", un modèle, une représentation commune et "faire ville autrement" dans une ville.

Sur le fond, les projets d'éco-quartiers s'inscrivent dans un assez similaire contexte de réflexions, de débats, d'interventions sur l'espace urbain dans des pays développés[25] : la baisse de la croissance démographique génère une volonté de proposer d'autres modèles de développement et la prise de conscience d'une réalité économique cyclique amène la remise en question de modèles uniques d'évolution. Il faudra néanmoins nuancer les contextes institutionnels, politiques…

En même temps, il peut être nécessaire de recaler cet engouement dans le temps long : il a déjà existé des projets radicalement différents du modèle ambiant dans d'autres moments de l'histoire

[23] Association *Décider Ensemble* : "Ecoquartiers : la concertation au service de l'action" 2011. Multi_15

[24] Débordes B., Nahapetian N., Paquot T. (coordination), "La ville autrement", Alternatives Economiques, Paris, 2011.

[25] Sauf dans le cas français où la croissance démographique et le faible nombre de m2 offerts posent des problèmes de croissance urbaine.

urbaine[26]. Une utopie de plus? Il y aurait peut-être un parallèle à faire avec l'urbanisme hygiéniste au 19é, ou l'urbanisme fonctionnaliste dans les années 50-60 dont les principes et les attendus étaient très "respectables", mais dont les mises en œuvre pratiques ont été plus critiquables. L'urbanisme hygiéniste a surtout profité aux plus aisés (haussmannisation) et le fonctionnalisme a contribué à la mise en place d'habitats médiocres et de ghettos sociaux. Cependant, tout le discours qui précède renvoie à l'exemple français, dont une bonne part des réalisations dans le domaine de l'urbain est liée à des politiques de niveau national très spécifiques. Aujourd'hui comme hier, le contexte global est donc à relire à l'aune des contextes nationaux.

Pour aller plus loin, on peut cependant souligner une différence fondamentale entre aujourd'hui et hier: une partie du cadre de réflexion et de référence est désormais beaucoup plus large que le cadre national. Le jeu des échelles repose désormais sur un lien local-global, largement prédéterminé par la mondialisation, et à ce titre un certain nombre de mécanismes, de référentiels et de discours s'articulent différemment.

3.3. L'éco-quartier dans la ville ?

D'emblée, une série de questions se posent :

- Où se situe l'écoquartier dans l'agglomération concernée : au centre, en périphérie ? Dans quels types de sites : friche, zone de réhabilitation, neuf ?
- En matière d'impact du projet : est-il une intervention phare sur l'espace urbain ou demeure t'il anecdotique? Peut-on attendre des effets de diffusions à partir de l'expérimentation que constitue la plupart du temps un écoquartier ? Sur quels plans : objectifs, méthodes, principes, règlementations "éco durables" ? Par le biais de qui : Mairie, communauté d'agglomération, associations ?
- En matière d'intentionnalité principale du projet : la durabilité est-elle au cœur du projet ou accompagne t'elle, par exemple, un projet de requalification fonctionnelle? Dans ce cas, qu'est ce que cela implique? Qu'est-ce que cela modifie réellement dans la structure d'ensemble de la ville, dans la réalité de la vie des ses habitants? Quelles sont les limites du déclaratif?

Les réflexions d'Alain Sallez (Observatoire de la ville) dans "Vous avez dit quartiers durables"[27] sont très éclairantes : "les recherches et les débats menés par l'Observatoire de la ville montrent qu'une politique des quartiers durables ne peut réellement porter ses fruits qu'à certaines conditions touchant l'urbanisme, l'industrie du bâtiment, la mobilité et l'organisation sociale des quartiers".

Inscrire un projet urbain dans une vision globale, c'est relier l'échelon du quartier à celui de l'aire urbaine, parce qu'un quartier s'inscrit dans des ensembles plus larges et que les articulations des différents niveaux spatiaux doivent être prises en compte dans toutes les opérations d'urbanisme. Les articulations concernent techniquement la question du transport, mais plus profondément la recomposition des rapports entre les différentes aires qui composent la ville (héritières de processus spontanés ou de politiques urbaines de type zoning). Il s'agit des liens entre centres et périphéries mais aussi entre les divers sous-ensembles du centre, il s'agit des liens entre les lieux où se trouvent les activités, le travail et les lieux d'habitat. A coté de la question des réseaux de transport, et donc de celle de l'organisation du maillage sur le double terrain de la connexité et de la connectivité[28] existe la question de la continuité de l'espace urbain : la problématique n'est donc pas la même quand le quartier nouveau est au centre ou en périphérie. Au centre, il faut se réinscrire dans une logique réelle de mixité fonctionnelle, de densification, de non rupture avec l'existant (d'où une attention majeure à la forme du bâti et à son ouverture sur le tissu existant). En périphérie, du fait de la morphologie du tissu urbain préexistant (déconnexion du réseau viaire et du bâti, distances plus importantes, taille des bâtiments plus hétérogène…) qui dit durabilité dit rupture avec le modèle ancien d'urban sprawl et donc construction d'une "nouvelle centralité" pour refaire ville : les éléments à développer sont donc différents.

[26] Sur ce plan Poblenou est un cas d'école : un éco-quartier qui prend place dans le prolongement de l'Ensanche de Cerda au sein d'une ville dont les cycles de croissance sont très liés à des contextes économiques généraux.

[27] Sallez A., "Pour une économie politique des villes", Revue Urbanisme n°362, 2008.

[28] Connexité : densité des liaisons entre les nœuds d'un réseau. Connectivité : mesure du degré de connexion dans un graphe.

Les écoquartiers sont souvent des opérations prototypes, des réalisations emblématiques significatives d'une volonté politique ; à ce titre, ils peuvent être le moyen de recomposer l'ensemble du tissu urbain s'ils sont intégrés dans une lecture globale à l'échelon de l'agglomération. Alain Sallez écrit : "*dynamiser des espaces périurbains insuffisamment structurés,…, relancer d'anciennes zones dynamiques comme les villes nouvelles des années 70*". Il pose une autre question essentielle, l'impact réel sur un projet de durabilité globale, de ces réalisations neuves : "*le renouvellement urbain ne représente que 1 à 1,5 % du parc existant. Or l'enjeu environnemental porte sur l'ensemble des bâtiments qui absorbent aujourd'hui 46 % de la consommation énergétique de la France et produisent 25 % des gaz à effet de serre*." Agir pour la réduction de ces deux paramètres, c'est bien sûr agir sur le bâti existant…

Cette question de l'échelle d'intervention est essentielle : les opérations phares sont intéressantes par leur coté promotionnel, mais c'est une action bien plus large qui aura un véritable impact. Et sur ce plan, les recettes sont tout autant sur le terrain de l'organisation, que sur celui de la construction (isolation, techniques de chauffage, réseaux, isolation, etc.). En effet si l'on considère que le transport est un élément clé, réduire les déplacements motorisés en facilitant le rapprochement domicile-travail pourrait offrir une réponse partielle. Notons que cette problématique renvoie à celle du niveau d'intervention (à propos du système de voirie, Alain Sallez évoque une réflexion à mener autour de quartiers regroupant de 2000 à 20000 habitants). Il développe un peu plus la réflexion lorsqu'il aborde la nature des emplois : "*il est certes difficile d'offrir au niveau du quartier d'une grande ville des opportunités de travail pour les adultes d'un même ménage ; au moins doit-on y favoriser la localisation des emplois résidentiels et… les emplois "basiques" de bureau et d'industrie*". Ce point de vue est assez optimiste compte tenu de la réalité actuelle de la distribution des activités dans la ville ; un autre domaine d'action concerne les déplacements secondaires, que l'auteur évoque en partie lorsqu'il met l'accent sur les autres déplacements : pour les achats, la culture, le loisir, les besoins administratifs… Le rééquilibrage à l'échelon de l'agglomération des localisations des commerces (grandes surfaces périphériques versus moyennes et petites surfaces centrales) est d'ailleurs un mécanisme à l'œuvre dans les grandes villes européennes. Nous pouvons aussi noter que les difficultés croissantes des malls aux USA témoignent de la non permanence d'un modèle qui peut donc être remplacé par un autre, avec par exemple une offre de services de proximité au cœur des quartiers.

Dans le même numéro de la revue, Dominique Bidou (Président du Centre d'information et de documentation sur le bruit" revient sur le fait que la réalisation d'un éco-quartier doit s'inscrire dans une réflexion sur la ville dans son entièreté. Il écrit : "*Vous le savez bien, il ne suffit pas de juxtaposer des maisons pour faire une ville, tout comme un ensemble de constructions HQE ne fait pas un quartier à haute qualité environnementale. Il ne suffit pas non plus de créer un éco quartier pour rendre une ville écologique.*"

3.4. Le quartier comme assemblage de nœuds socio énergétiques ?

La réalisation d'un écoquartier génère des "nœuds" socio énergétiques car elle repose sur une multiplicité des acteurs ; car elle fait intervenir des mécanismes transcalaires et construit des structures résiliaires ; enfin, car elle implique aussi une polarisation des interventions et des intervenants et permet une diffusion de modèles. Si ces nœuds socio énergétiques peuvent-être présumés en théorie et leur structure pensée de façon générique, leur réalité diffère fortement d'un écoquartier à un autre.

Les écoquartiers sélectionnés reflètent des situations très diverses sur les plans de leur taille (superficie et peuplement), de leur localisation au sein de l'espace urbain, des choix architecturaux et urbanistiques qui en conditionnent la densité, mais aussi des sites qu'ils occupent (espaces vierges ou zones bâties) et plus profondément des orientations en matière d'aménagement d'ensemble qu'ils résument.

Une première typologie oppose les quartiers de petite taille (Bedzed 1,7 ha, Saint Jean des Jardins 5 ha, Zac de Bonne 8,5 ha) aux quartiers de grande (Vauban 38 ha, Kronsberg 70 ha), voire de très grande taille (Lyon-Confluence 150 ha, Hammarby Sjöstad 200 ha, Poblenou 200 ha). Compte tenu de ce qui a été évoqué plus haut, la capacité à faire adopter des pratiques communes via des représentations communes est évidemment plus fragile dans le second cas que dans le premier. Cette question de la superficie se double de celle du nombre d'habitants, s'agissant de quartiers en devenir pour la plupart d'entre eux, celle-ci n'est pas stabilisée en ce début des années 2010 (sauf

pour les très petites réalisations atteignant dès le départ leur peuplement quasi optimal). La population projetée est à mettre en rapport avec celle de l'unité urbaine à laquelle ils sont rattachés. La plus petite réalisation, Bedzed dispose d'une population de 250 personnes, chiffre infime par rapport à Sutton, 180 000 Hab, commune de la banlieue Sud de Londres où le quartier a été réalisé. Dans ce cas, le caractère emblématique et expérimental du projet génère une notoriété bien supérieure aux effets réels de celui-ci en matière de transformation du bilan carbone londonien… Dans un ordre quasiment identique au précédent, nous trouvons ensuite Saint Jean des Jardins (450 Hab / 45 000 Hab à Chalon sur Saône), la Zac de Bonne (2 500 Hab / 160 000 Hab à Grenoble), Vauban (5 000 Hab /22 000 Hab à Fribourg), Kronsberg (15 000 Hab / 520 000 Hab à Hanovre), Royal Seaport (10 000 Hab / 1 300 000 Hab à Stockholm), Lyon-Confluence (20 000 Hab / 480 000 Hab à Lyon), Poblenou (35 000 Hab / 160 0000 Hab à Barcelone), Hammarby Sjöstad (35 000 Hab / 1 300 000 Hab à Stockholm). Ces chiffres renvoient à des projections et sont parfois difficiles à valider précisément; dans le cas de Poblenou, par exemple, l'objectif était de réaliser 4 000 logements sociaux nouveaux et de réhabiliter 4 600 logements anciens, d'où une fourchette de 32 000 à 40 000 habitants. Cette projection a fait l'objet d'enjeux politiques sérieux, car l'essentiel du projet était tourné vers des objectifs de requalification fonctionnelle, laquelle a souvent pour effet de faire diminuer l'offre de logements au profit de l'offre de surfaces destinées à l'activité économique.

Sur le plan du nombre de logements prévus dans les projets examinés, la variabilité est beaucoup plus grande ; elle renvoie à l'orientation fondamentale du projet : requalification d'un quartier dans le but de transformer le tissu urbain et les fonctions qui s'y trouvent ; volonté de créer des pôles d'activités ou à l'inverse simple opération de "modernisation" du bâti dans le cadre d'un contexte propice à la mise en œuvre de politique d'urbanisme durable.

Comme il a déjà été évoqué la production des écoquartiers repose pour la plupart d'entre eux sur le double objectif du développement durable et de la fabrique urbaine. Même si toute construction en ville renvoie à une action en matière d'urbanisme, les projets de petite taille (quelques hectares) n'ont pas le caractère déterminant sur le devenir de l'espace urbain concerné que peuvent avoir les opérations majeures, qui sont justement lancées dans ce but. Les opérations d'une dizaine d'hectares ou plus reposent le plus souvent sur une démarche de rénovation urbaine, avec suppression du bâti existant (même si des îlots anciens, des bâtiments emblématiques sont parfois conservés en leur sein) et sur des efforts de requalification fonctionnelle, surtout si elles sont situées dans les quartiers centraux. De façon générale, dans le cadre des démarches d'urbanisme liées aux principes de la ville durable, les principes d'organisation et les choix de réalisation reposent sur deux piliers essentiels, la densité et la mixité fonctionnelle. Sur le terrain de densité, les écoquartiers étudiés se situent dans une fourchette de 130 hab /ha à 180 hab b/ha comme l'illustrent Vauban (132 hab /ha), Lyon-Confluence (133 hab /ha), Bedzed (147 hab/ha), Hammarby-Sjöstad (175 hab/ha) ; Saint Jean des Jardins (90 hab/ha) et la Zac de Bonne (294 hab/ha) faisant figure d'exceptions. Au delà sont déclinés les modes classiques d'intervention : architecture bioclimatique, choix d'implantation des bâtiments favorisant l'exposition au soleil au Nord ou à l'inverse les effets d'abri au Sud, mise en place de réseaux performants en matière de distribution énergétique, création de réseau de chauffage ou de refroidissement, séparation des réseaux viaires en fonction des modes de déplacement (individuel, collectif, motorisé ou non).

A partir de ce modèle général les choix diffèrent selon la situation géographique de la ville concernée, son passé, sa taille, les lieux transformés au sein de celle-ci et en particulier la nature socio économique, l'état des quartiers remodelés. Les opérations de requalification dans le cadre des principes de l'urbanisme durable doivent à la fois se lire de façon générique et en fonction d'une situation spécifique : remobiliser les friches urbaines n'a pas le même sens s'il s'agit de petits espaces inhabités (anciennes usines, anciennes casernes comme la Zac de Bonne à Grenoble), ou au contraire des quartiers vastes où de grands établissements industriels aujourd'hui en semi ruine cohabitent avec des logements ouvriers anciens, encore occupés. Pour tenter de mieux illustrer les différences dans le fonctionnement des Nœuds Sociaux Energétiques, il serait intéressant de comparer les situations respectives des écoquartiers de Kronsberg (Hanovre), d'Hammarby Sjöstad (Stockholm) et de Poblenou (Barcelone).

Le quartier de Kronsberg a été édifié sur une zone de réserve foncière dont l'essentiel des terrains appartenait à la ville de Hanovre : l'action municipale est donc au cœur de la gouvernance d'ensemble. Ici le projet est axé sur la réalisation de logements (à la chute du Mur de Berlin, la ville de Hanovre a été confrontée à une demande très forte correspondant à l'arrivée de nombreux habitants de l'Est). Dans ce cadre, l'intervention de l'Etat central et du land de Basse-Saxe ont été nécessaires, car la situation des diverses agglomérations a reçu un accompagnement d'ensemble de la part des

échelons supérieurs. On trouve dans le projet de Kronsberg de nombreux éléments de réalisation similaires aux deux autres études de cas que nous allons évoquer : la volonté de créer un tissu urbain dense, de réaliser des transports en commun performants, de faire diminuer la consommation énergétique liée au chauffage par la réalisation de réseaux de distribution, à partir de centrales de cogénération... Par contre, si le financement du projet a reçu un appui du gouvernement fédéral et du land de Basse-Saxe, la norme qui s'est mise en place a été fortement le fait du niveau local. Les échanges entre les services municipaux de la construction et les services sociaux municipaux ont eu pour but d'adapter un projet tourné essentiellement vers le logement, à la réalité composite de la demande (taille des familles, origine culturelle…). En outre, la prise en compte de la situation bien spécifique de la Réunification a conduit à penser le projet comme devant faciliter l'intégration des néo arrivants, comme en témoigne la mise en place de nombreux locaux pensés dans ce but. Sur le terrain énergétique, l'accent a été mis sur les économies de chauffage et la réduction des émissions de CO2 en développant une "norme Kronsberg" dans le but de réduire celles-ci de l'ordre de 60% par rapport aux résultats préconisés par la règlementation allemande de 1995 sur l'isolation des bâtiments. Les "maisons à basse énergie", issues de cette norme très rigoureuse, leur raccordement obligatoire au réseau, la production d'énergie électrique d'origine solaire et éolienne ont permis d'atteindre les objectifs fixés, auxquels s'est ajoutée, lors de la réalisation des bâtiments, une conduite des travaux limitant au maximum les distances de transport des déblais et des matériaux. A coté de la mise en œuvre de cette norme locale, le projet a été accompagné par deux organismes, la KUKA et un Comité Consultatif qui ont fortement contribué à sa réussite. La KUKA, une société anonyme à capitaux publics (51%) et privés (49%) a endossé le double rôle de la promotion du projet et de la diffusion des savoir faire nécessaires à sa réalisation, par un programme de qualification en matière de construction durable. Le Comité Consultatif, composé d'enseignants, de chercheurs, de représentants des associations de protection de l'environnement a contribué à certaines orientations et a facilité l'acculturation locale à ces objectifs d'ensemble.

Dans le cas de Poblenou (22@Barcelona), le cœur du projet est la requalification d'un quartier central urbain, comme pour Hammarby Sjöstad, avec la production de bâti destiné au logement mais surtout aux activités. La zone concernée est aussi située au cœur de l'agglomération dans un ancien quartier industriel et portuaire. Néanmoins une lecture spatiale élémentaire nous révèle des nuances qui expliquent peut-être certaines divergences dans la réception locale des réalisations. A Stokholm le site très spécifique de la ville (un archipel de 14 îles, reliées par une cinquantaine de ponts) fait de l'eau un élément de liaison mais aussi de morcellement. Hammarby est "au centre" de l'espace urbain, surtout si on l'observe à un échelon métropolitain ; mais à la différence de Poblenou, les discontinuités spatiales avec les autres quartiers et la moindre prégnance de l'habitat ancien ont certainement limité l'ampleur des résistances à un projet de rénovation tout aussi important dans sa superficie (200 ha) et ses transformations fonctionnelles.

Le contexte national a pu jouer aussi de façon non négligeable : en Espagne, les "associations de voisins" nées sous la période franquiste ont longtemps exercé un pouvoir de résistance face à certains projets d'urbanisme et ont constitué un tissu d'acteurs locaux aux interventions d'autant plus emblématiques, que l'absence de partis politiques limitait les possibilités d'expression. Ces "asociaciones de vecinos"[29] sont sur un autre mode d'intervention en matière d'urbanisme que ce que l'on peut trouver dans les pays où s'exprime "la démocratie participative", car ces associations fondent une partie de leur action sur des mécanismes relationnels de proximité immédiate. Avec le temps, leur rôle a évolué : dans les années 80, la remise en place des partis politiques et la reconstruction institutionnelle ont fait une large part à la "décentralisation" dans un état marqué par des siècles de pouvoir central fort. Les différents niveaux d'organisation infra et supra métropolitains se sont alors réarticulés entre eux (le "niveau local" se découplant entre des échelons de proximité immédiate et les échelons immédiatement supérieurs). On peut donc estimer que la constitution d'un écoquartier ne repose sur les mêmes processus dans tous les pays européens[30].

En effet, il semble que si de façon générale, comme le soulignent Christian Lefèvre et Anne-Marie Roméra : "la production des stratégies, la recherche de financements et la légitimation des actions

[29] Cruz i Gallach E., Marti-Costa M., "Conflictos urbanisticos y movilizaciones ciudadanas : reflexiones desde Barcelona", Revue Finistera XIV, 90, pp. 11-132, 2010.

[30] Il est tentant de faire des parallèles avec d'autres pays centralisés ayant connu le même type d'évolution décentralisatrice, comme la France par exemple. Mais l'analyse de l'intervention des acteurs montre que des nuances importantes existent (les montages de projet ne reposant pas forcément sur les mêmes mécanismes).

entreprises reposent sur des outils de mise en relation des différents acteurs"[31], ce ne soit pas toujours aux mêmes échelons que s'articule cette mise en relation. Dans le cas de Poblenou, la mobilisation des acteurs au plan économique s'est effectuée selon ces auteurs, à l'échelon métropolitain car c'est à ce niveau que la planification stratégique est développée. L'objectif de requalification fonctionnelle dans le cadre de la réalisation de cet écoquartier est lu à cet échelon comme un projet phare de développement économique métropolitain : une partie de sa légitimité est donc liée à ce niveau. Au sein du quartier, où des résistances se sont fait jour, la société 22@Barcelona SA qui a un rôle d'aménageur et de promoteur a relayé ce projet métropolitain et municipal de façon à la fois classique et innovante. En lien avec les pouvoirs publics municipaux, la société vérifie la bonne exécution des projets mis en place, surveille la réalisation effective dans un rôle classique d'exercice du pouvoir public de décision et de contrôle. En parallèle, comme "animateur de territoire"[32] elle joue un rôle de médiation entre les différents acteurs sur les différents champs de son domaine d'intervention.

Dans le cas d'Hammarby Sjöstad, le projet lancé en 1990 a pris de l'ampleur avec un doublement des objectifs quantitatifs en matière de peuplement (de 15 000 à 30 000 personnes) : la politique de retour au centre de l'habitat et de mixité des usages a conduit ici aussi, au choix de la densification. Compte tenu des prix des loyers et des appartements, les effets sociaux de gentrification semblent similaires à ce que l'on peut observer dans la plupart des métropoles, surtout s'il s'agit de capitales. On retrouve dans la plupart des textes la même allusion à la synergie des acteurs en présence. Cependant, l'originalité de ce quartier de la capitale suédoise est dans le rôle majeur joué par la ville de Stockholm dotée d'une grande autonomie financière (programme LIP de 700 M d'€ pour les subventions destinées à l'environnement). Depuis 1999, le code de l'environnement s'impose à toutes les autres règlementations et intègre des exigences environnementales à tout document de planification : la norme est donc règlementaire et dépasse donc le cadre du quartier, même si son rôle de prototype a été important.

Ces éléments nous font donc nuancer les propos sur l'opposition entre pays du Nord et pays du Sud évoqués plus haut, les effets des héritages historiques spécifiques et des réalités de terrain sont des facteurs fondamentaux de la manière dont un projet est reçu et plus largement peut-être, de sa réussite. Au delà, cela nous conduit à questionner la définition de la ville durable : certains projets mettent en avant les dimensions environnementale, écosystémique, d'autres les dimensions citadines, les questions de mixité fonctionnelle, sociale voire culturelle. Dans tous les cas il s'agit de projets urbains aux dimensions multiples et intégratrices, c'est en ce sens que la démarche instaurée dans la métropole catalane est génératrice d'intentionnalité innovante : avec *l'équation de la durabilité* les diverses dimensions citadines sont prises en compte. Le sens de cette analyse est de rapporter la consommation de ressources naturelles nécessaires au fonctionnement urbain au degré de complexité de ce fonctionnement : de réduire la première tout en augmentant la seconde. Ce degré de complexité est une dimension qui nous semble fondamentale, car il tient compte de la réalité socio spatiale du système urbain et des multiples niveaux d'organisation de celle-ci, du quartier aux métropoles en réseau.

[31] Lefèvre C., Roméra A-M., "Entre projets et stratégies, le pari économique de 6 métropoles européennes", IAURIF, Juin 2007.
[32] Ibidem.

4. Gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers

Auteur : Stéphane La Branche (PACTE, Chaire Planète Energie Climat, IEP de Grenoble)

Introduction

Ce chapitre explore la notion d'Ecoquartier par le biais i) des évolutions en matière de prises en compte des enjeux environnementaux et énergétiques dans l'urbanisme d'abord, et dans les EQ plus précisément ensuite ; ii) de la participation des acteurs, leur mobilisation, leurs relations aux politiques urbaines locales et leurs impacts sur les volets énergie et environnement des projets d'EQ. La posture adoptée est celle des SHS, notamment la science politique et la sociologie des réseaux afin de mieux comprendre les tendances liées à la gouvernance des EQ. Nous avons procédé par une recension distanciée de la littérature portant sur 12 cas d'études, 6 étrangers et 6 français.

SIX cas étrangers ont été analysés :

- BedZed, Londres, Angleterre
- Hamarby, Stockholm, Sweden
- Kronsberg, Hannovre, Allemagne
- Poblenou, Barcelone, Espagne
- Royal Seaport, Stockholm, Sweden
- Vauban, Fribourg, Allemagne,

Ainsi que SIX cas français :

- Ginko, Bordeaux
- Quartier Saint-Jean-des-Jardins, Chalon-sur-Saône
- Caserne de Bonne, Grenoble
- Lyon Confluence, Lyon
- Nancy Grand Cœur
- Nancy, Plateau de la Haye

4.1. Corpus et objectifs de l'analyse

Notre analyse est fondée sur les textes recueillis par les membres de l'équipe Nexus, consistant pour la grande majorité de textes issus de la littérature grise, publiés par des instances politiques, des d'administrations territoriales urbaines, voire des associations et dans une moindre mesure, de textes plus académiques, issus de l'urbanisme, de la sociologie, souvent présentant une évaluation ou un bilan de ces expériences. Il s'agit de saisir les grandes tendances, les points communs, les différences et les absences entre des cas plutôt emblématiques, ***en matière de gouvernance et de jeux d'acteurs impliqués*** dans les EQ. Ce texte liasse de côté les volets purement techniques ou architecturaux des EQ. Nous nous sommes posés les questions suivantes :

- Quelles étaient les formes de gouvernance associées aux EQ (top-down, bottom-up, à double sens, transversales, directives, décentralisées) ?
- Quel était le degré de la prise en compte des souhaits et demandes des différents acteurs (habitants, certes mais aussi, promoteurs, maîtres d'œuvre, etc ?).
- Existe-t-il une relation entre forme de gouvernance et objectifs énergétiques ou environnementaux ?
- Y a-t-il un lien entre ambition environnementale ou types d'enjeux pris en compte et la diversité des acteurs ou la forme de leur prise en compte ?

Ceci servira de base pour la phase suivante de l'étude, qui explorera des thèmes spécifiques liés à la question de la gouvernance des EQ :

- comment s'est constitué le réseau d'acteurs et quelle stratégie de partenariat ont-ils adopté ?
- comment s'articulent les différentes motivations et intérêts – conflits, harmonie, synergie ?
- quels ont été les moteurs et les freins à la coordination du projet ?
- quelles sont les leçons à tirer afin de faciliter et reproduire des systèmes énergétiques sobres, en carbone voire, non carbonés ?
- Quels sont les lieux où l'on débat de performance énergétique, où l'on met en valeur les différentes contributions à cette performance et à son amélioration ?
- Comment donnent-ils à voir leurs anticipations, leurs résultats, leurs raisonnements ?
- Les EQ sont-ils des lieux d'expérimentations et d'innovations institutionnelles et organisationnelles, et si oui, de quels types ?

Des éléments de réponses à ces questions sont déjà présents dans ce texte et ils seront développés plus en détails dans nos analyses subséquents, nos lectures et nos entretiens…

Commençons par un constat : les EQ n'ont pas émergé *ex nihilo.* Ils émergent d'une évolution historique plus longue.

4.2. Une brève histoire du développement durable urbain…[33]

La planification centralisée mise en œuvre dans l'après-guerre inquiète assez tôt les sociologues, urbanistes et responsables politiques et administratifs intéressés par les questions de reconstruction et d'aménagement. Le social, l'humain ou l'urbain leur paraissent systématiquement ignorés, si bien qu'une réflexion s'organise dès les années 1960 pour proposer des alternatives méthodologiques. Les Instituts d'économie régionale, les Instituts d'aménagement régional, le Comité de la recherche et du développement en architecture (CORDA), la Mission des études et de la recherche (MER) du ministère de l'Environnement vont s'engager tôt dans cette réflexion. Leurs travaux vont chercher à tenir compte d'un ensemble de dimensions dans la programmation des projets urbains, mais aussi à proposer des façons d'impliquer les citoyens. ***Les questions environnementales et énergétiques sont peu présentes en soi, sauf par le biais de la notion de cadre de vie***. Au même moment, des études universitaires en SHS commencent à tracer les contours d'une sociologie urbaine en relevant les expériences d'urbanisme participatif qui s'érigent en contre-propositions au centralisme d'État et aux excès du pouvoir local[34]. En cela, les disciplines liées à l'urbanisme ne diffèrent pas des autres SHS, notamment la sociologie.

A relire ces travaux de recherche, on remarque leur objectif explicite de proposer des méthodes permettant de démocratiser les processus décisionnels afin d'accroître leur acceptabilité et la pertinence socio-économique des objectifs poursuivis. Une pré-version du développement durable ? Quoiqu'il en soit, il s'agit de corriger la démarche planificatrice qui encadre très fortement la production des programmes d'aménagement urbain[35]. Ces travaux de recherche ne sont évidemment pas sans liens avec des projets de réformes institutionnelles – telle la loi du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement[36].

Puis, à la fin des années 1970, le paradigme de l'urbain va connaître une division en deux grandes orientations. L'une aborde l'aménagement des villes par les pouvoirs publics dans un contexte de croissance économique et dans un mouvement général de modernisation du pays. L'autre voit dans l'urbain la forme moderne du " vivre ensemble ", qui met de l'avant la notion de " cadre de vie ". Après un certain recul de l'intérêt pour la participation et l'environnement dans les années 1970s, la question de la participation des citoyens se retrouve inscrite dans les années 1980, après des luttes vives entre aménageurs et écologistes, dans le nouveau paradigme en émergence : le développement durable et participatif.

En matière d'EQ, Boutaud distingue quant à lui trois phases historiques ou générations d'*écoquartiers* :

1. Les *proto-quartiers* : pré-1980, disséminés, confidentiels et à fort caractère militant et engagé.
2. Les *quartiers prototypes* : fin des années 1980, début des années 1990, ils sont peu nombreux, circonscrits aux pays du nord de l'Europe et aux pays germaniques, à caractère exceptionnel et devenus célèbres (Fribourg, Malmö, Helsinki, Stockholm…).
3. Les *quartiers types* : de la fin des années 1990 à aujourd'hui, nombreux, ne dérogeant plus aux dispositifs classiques pour leur réalisation, encore principalement localisés dans une large frange nord de l'Europe mais commençant à être présent au sud. En France, presque tous les nouveaux quartiers depuis quelques années se disent dorénavant « éco ».

Mais ceci ne nous offre pas une définition d'un EQ…

[33] Section en partie issue de : S. La Branche et P. Warin, Pacte. «La "concertation dans l'environnement ", ou le besoin de recourir à la recherche en sciences sociales», 2004. Pour le MEDD.

[34] Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme. Contribution des facultés des lettres et sciences humaines de Aix-en-Provence, Bordeaux, Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Rennes, Rouen, Strasbourg, Toulouse, ronéoté, mars 1968.

[35] Rapport général de la Commission de l'équipement urbain du Vème Plan (1966-1970), Paris, La Documentation française, p. 56. 1970.

[36] Cette loi est portée par la secrétaire d'État auprès du Premier ministre, chargée de l'Environnement et de la Qualité de la vie, puis ministre de l'Environnement, l'écologiste Huguette Bouchardeau, qui insiste sur l'obligation d'enquêtes dès lors que les projets sont " *susceptibles d'affecter l'environnement* " (article 1), sur " *l'information* " du public et le recueil de ses " *appréciations, suggestions et contre-propositions, postérieurement à l'étude d'impact* " (article 2).

4.3. Vers une définition d'un écoquartier ?

Une pluralité de définitions de cde que c'est un EQ existe dans la littérature relevée. Boutaud[37] offre une des réflexions les plus complètes relevées, quadruple.

Définition historique. Une forme d'expérimentation urbanistique initiée dès la fin du XXe siècle essentiellement dans les pays du nord et du centre de l'Europe. L'ambition de ces ensembles était de concrétiser, par des opérations exemplaires et expérimentaux bénéficiant de ressources financières exceptionnelles, certains principes environnementaux, sociaux et économiques regroupés sous la notion de développement durable, dans une tentative à conjuguer ville et nature. Les caractéristiques sociales, environnementales et économiques sont devenues avec le temps de plus en plus ambitieuses. Nous rajouterions à ceci une montée en puissance, sans effacement des autres enjeux, des questions de changement climatique et d'énergie, cette dernière étant associée à la première.

***Définition scientifique*.** Un espace bâti nouveau ou reconverti dans ou à proximité d'un centre urbain dense, de l'échelle d'un quartier, ayant pour vocation d'appliquer, de préserver et de développer sur le temps long l'ensemble des principes environnementaux, sociaux et économiques de développement durable.

***Définition usuelle*.** Dans le langage courant, un quartier d'une ville désigné comme tel par ses initiateurs et répondant à un certain nombre de principes environnementaux, sociaux ou économiques. *Éco-quartier* est parfois utilisé comme synonyme de *quartier durable* bien que leurs sens divergent. Pour notre part, nous notons que les EQ et les quartiers durables sont également confondus dans des textes formels, les articles etc. A savoir si une différence existe réellement, autrement que par convention de définition.

***Définition institutionnel*le.** En France, un terme labellisé (« ÉcoQuartier ») en 2008 par le MEEDDM dans le cadre d'un concours sur la ville durable afin notamment de dynamiser le développement des pratiques d'urbanisme durable en France.

Notons que ces quatre déclinaisons ne disent pas grand-chose sur la question de la participation des acteurs de l'urbanisme et de la construction dans les EQ, comme si elle en était dissociée. Pour Lefèvre et Sabard, l'écoquartier se situe à la rencontre entre l'art de construire des bâtiments durables et celui de gérer une ville durable, deux domaines d'actions dans lesquels des acteurs différents progressaient indépendamment les uns des autres jusqu'en 2004[38].

Du point de vue de la rencontre entre un système énergétique et le réseau d'acteurs qui lui y est associé (que nous nommons un nœud socioénergétique), la division des tâches entre aménagement et bâtiments en conjonction avec la montée en puissance des nouveaux enjeux écologiques peut poser de réels problèmes d'harmonisation et d'efficacité de moyens, de méthodes techniques énergétiques et de construction, d'objectifs et de capacité à atteindre ces objectifs. C'est probablement pourquoi nous constatons une rencontre croissante et de plus en plus imbriquée de ces deux domaines – avec leurs acteurs - dans les nouvelles expériences d'EQ. Mais c'est alors que l'effort même à intégrer ces volets pose aussi des problèmes de coordination, surtout lorsque le nombre, la variété, les intérêts et les logiques des acteurs impliqués sont importants.

Comme le souligne G. Debizet, « les maîtres d'ouvrage sont guidés par des logiques structurelles ; les promoteurs visent une bonne rentabilité économique ; les bailleurs sociaux sont contraints d'équilibrer l'opération en visant une faible mobilisation de leurs fonds propres ; l'aménageur cherche à équilibrer les dépenses publiques (voirie, espace publics et équipement publics) par la vente des droits à construire tout en répondant à une commande politique souvent portée par l'équipe municipale. Chacun étudie les dispositifs énergétiques selon son prisme ». Selon les exigences et peut-être l'identité du matière d'ouvrage, des dissensus portant sur des objectifs techniques, sociaux, environnementaux, architecturaux ou énergétiques, peuvent émerger. Ceux-ci peuvent être soit réglés par une décision politique forte soit par des discussions aboutissant à des compromis : charge foncière, choix technique, forme architecturale, niveau de performance, niveau d'ambition et type d'enjeu environnemental, et durée d'engagement et modalités juridiques de gestion des objets communs, type et part de logements sociaux, limitation du prix de vente…

[37] Benoît Boutaud, in « Quartier durable ou éco-quartier ? », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Débats, Quartier durable ou éco-quartier ?, mis en ligne le 24 septembre 2009 (http://cybergeo.revues.org/22583 consulté le 10 avril 2012).

[38] Pierre Lefèvre, Michel Sabard, *Les écoquartiers*, Apogée, 2009.

Nos entretiens viseront à identifier les leviers et les freins à l'adoption des solutions ainsi que les logiques d'actions récurrentes, les infrastructures de connaissances[39] et les verrous technico-organisationnels.

Lefèvre et Sabard mettent en avant une définition pragmatique, offrant les principes généraux suivants d'un EQ :

- l'implantation de l'écoquartier : principe de « croissance urbaine interne », qui consiste à construire la ville sur la ville
- l'offre en transports alternatifs
- repenser la densité : l'habitat diffus est l'ennemi No 1 du développement urbain durable. Mais la mixité doit être présente[40]
- l'écoconstruction : HQE a minima du bâtiment
- la re-naturalisation du milieu urbain (espaces verts, végétalisation du bâti, gestion des eaux pluviales et des nappes phréatiques…)
- l'essor de la démocratie participative : la consultation des habitants devrait faire partie intrinsèque de la nouvelle gouvernance[41].

On s'approche davantage ici d'une vision SHS de l'EQ, mise en avant par quelques auteurs. « L'écoquartier serait ainsi une vitrine et un symbole d'une évolution positive en profondeur de la société, mais aussi l'expression tangible d'une politique intelligente de la ville et, en même temps, un faire-valoir pour ses promoteurs »[42]. Pour Cyria Emelianoff, un EQ « n'est pas une question d'habitacle, de coque mais, au contraire, il peut servir de levier à un changement de mode de vie, qui lui-même engage une autre perception des solidarités. Il reflète un changement culturel profond, mais encore latent » [43]. L'auteure touche ainsi la question générale au cœur de la science politique, du « vivre ensemble ».

Dans leur revue de la littérature francophone, Yves Bonard et Laurent Matthey[44] mettent en avant le fait que les écoquartiers sont posés de manière quasi unanime comme des laboratoires ou des espaces témoins. Des lieux où penser et tester la ville durable à venir, que ce soit du point de vue de la gestion des déchets et des rejets, de la diffusion de comportements éco-citoyens, des modalités participative de production du bâti, de la gestion des mixités ou enfin de la capacité à contenir l'étalement urbain... Leurs critères incluent donc la dimension de mobilisation des acteurs. Clairement, les EQ apparaissent dans les textes comme des laboratoires d'un urbanisme **vertueux**, propice à l'innovation ***sociale*** et à l'apprentissage, « un outil urbanistique prometteur dans une perspective de durabilité urbaine. Ils seraient de plus, diffusables (une idée qui apparaît dès les premiers projets) soit à d'autres parties d'une même ville soit à d'autres villes.

De manière plus générique, « un EQ est un espace bâti nouveau ou reconverti d'une ville, dans ou à proximité d'un centre urbain dense, de l'échelle d'un quartier, ayant pour vocation d'appliquer, de préserver et de développer sur le temps long l'ensemble des principes environnementaux, sociaux et économiques de développement durable qui ont gouvernés à sa conception » [45]. En d'autres termes, un EQ est un ensemble de bâtiments visant à diminuer autant que possible l'impact écologique tout en préservant la qualité de vie des habitants. Au-delà, intégrer des critères plus précis dans une définition pose problème, car ceux-ci varient fortement dans la réalité : la plupart des EQ analysés pour ce texte mais pas tous, prennent en compte l'eau et depuis le tournant des années 2000, l'énergie et l'atténuation du changement climatique. L'insertion ou l'autonomie d'un quartier dans son tissu urbain varie fortement. Ensuite, les dimensions participatives sont souvent mais pas toujours présentes, non plus que les dimensions sociales (mixité et précarité). Puis, je note que dans la plupart des EQ, les critères de durabilité sont souvent appliqués dès la phase de conception ou de construction – les matériaux utilisés et la gestion du chantier de construction étant habituellement le plus durables possible. Quoiqu'il en soit, il apparaît que le type ou le degré d'implication ne fait pas d'un quartier un éco quartier même si la mobilisation des savoir-faire locaux par exemple ou de la population peuvent avoir un effet sur sa forme.

---

[39] Les infrastructures de connaissances propres à chaque acteur impliqué dans un projet jouent un rôle essentiel dans l'aboutissement et le contenu final du projet.

[40] La prise en compte légale obligatoire de la mixité et du logement social n'est pas commune à tous les pays.

[41] Les processus participatifs peuvent être variés et peuvent parfois être innovants pour certaines villes ou faire partie de la culture urbanistique depuis plusieurs années.

[42] Jacques Mirenowicz, in *La Revue Durable*, n°28. 2008.

[43] Cyria Emelianoff, in *Terrritoires*, n°487, avril 2008.

[44] Yves Bonard et Laurent Matthey, in « Les éco-quartiers : laboratoires de la ville durable », *Cybergeo : European Journal of Geography,* mis en ligne le 09 juillet 2010 http://cybergeo.revues.org/23202 (consulté » le 12 avril 2012). Ils relèvent cette tendance dans plusieurs textes : T. Souami. *Ecoquartiers. Secrets de fabrication. Analyse critique d'exemples européens*. Ed. Les carnets de l'information. 2009 ; Lefèvre, Sabard, 2009 op.cit. ; C. Charlot-Valdieu, O. Outrequin. *Ecoquartier, mode d'emploi*. Eyrolles, 2009. 243 p..

[45] Benoît Boutaud, in « Quartier durable ou éco-quartier ? », mis en ligne le 24 septembre 2009.

Un dernier élément de problématique apparaît de notre revue de littérature ; l'interchangeabilité des termes « quartiers durables » et « écoquartiers ». Nous postulons que ***ce qui distingue un EQ d'un quartier durable n'est pas autant la technique ou les normes environnementales mises en avant que le poids des critères environnementaux vis-à-vis des autres dans le processus de décision.*** Dans ce cadre, un **quartier durable** serait donc un ensemble de bâtiments vu comme un tout visant à diminuer autant que possible l'impact écologique (matériaux de construction, orientation, eau, énergies, enjeux qui sont mis en relation avec une approche participative (et parfois, une approche sociale) ***qui a la priorité sur les critères environnementaux en cas de conflits***.

Un **EcoQquartier** est également un ensemble de bâtiments visant à diminuer autant que possible l'impact écologique mais avec une différence notable : il existe des normes environnementales, climatiques et énergétiques minimales ***non négociables même par le biais de procédures de concertation***. L'EQ n'exclut pas par essence les volets de participation et de concertation mais ils n'y sont ni obligatoires ni n'ont le même statut que dans les quartiers durables. On peut représenter de manière idéelle les différents quartiers sur un continuum comme suit :

EQ 'dur'----------	----------**Quartier durable**[46]
- Sans concertation - Normes environnementales obligatoires - Top-down - Gouvernance écologique	- Concertation au coeur du projet - Normes et objectifs environnementaux négociables
(NB : les deux peuvent être multiacteurs)	

Si la littérature recensée ne fait pas cette distinction, il nous semble intéressant de faire cet exercice afin, dans le cas échéant, d'opérer une première ébauche de catégorisation. Dans la pratique, et par exemple, ceci se traduit par la question des normes « planchers » ou normes « plafonds » : quel est le degré d'ambition des objectifs fixés par une collectivité territoriale dans un projet : non négociables, efforts à atteindre, une norme 'plafond' ou 'plancher' ? Si une norme climato-énergétique fonctionne comme un "plafond", il s'agira d'atteindre des objectifs ***climato-énergétiques autant que possible***, faisant émerger le risque qu'ils ne seront pas atteints (davantage vers la droite sur le continuum). En revanche, des normes « planchers » signifient que les objectifs visés doivent dépasser a minima la norme émise dans le projet (davantage vers la gauche sur le continuum). Ceci a de nombreuses implications sur la gestion du projet, voire sa gouvernance : quelle réponse à un appel d'offre sera retenue ; action à prendre lorsque la norme n'est pas respectée ; sur quelle base trancher lorsqu'un des dissensus émerge ; la recherche de solutions techniques à un problème ; les impacts sur les coûts ; les compétences et les savoir-faire à mobiliser ; la supervision du respect des objectifs ; sur quelle base les négociations ont lieu… Cette proposition de définition demeure bien entendu à explorer mais elle offre un cadre dans lequel on pourra éventuellement opérer une première catégorisation des EQ. Ces différentes discussions, sur le poids des normes environnementales d'un EQ, ses acteurs, ses systèmes énergétiques, ses objectifs.., sont traversées par un enjeu clé : leur gouvernance, qui représente de ce fait dans ce cas un enjeu car : elle est très complexe et nécessite des innovations pour pouvoir répondre aux défis posés par l'agencement de différents réseaux d'acteurs liés à différents types d'énergie. En effet, s'il existe une différence entre les EQ et les quartiers 'classiques', c'est probablement la complexité de ces premiers - technique, énergétique, environnementale (et parfois sociale), qui s'accompagnent de formes de gouvernance également plus complexes. Une gouvernance qui ne saurait être comprises aujourd'hui sans prendre en compte l'insertion de la gouvernance climatoénergétique dans l'urbanisme.

[46] Notons que ceci renvoie aux débats en écologie politique sur les théories écocentrées et anthropocentrées. Voir R. Eckersley. *Environmentalism and Political Theory. Toward an Ecocentric Approach*. Albany : State Univ. of New York Press, 1992.

4.4. La crise climato-énergétique et les EQ.

Depuis le début des années 2000, on voit un changement en profondeur s'effectuer, les différents textes d'orientations stratégiques en matière d'urbanisme s'imprégnant de manière croissante et à différents degrés de la problématique climatique. Celle-ci est associée directement à un enjeu présent dès l'émergence des EQ : l'énergie. En effet, avant la montée en puissance de l'enjeu climatique, l'énergie est présente dans les EQ recensés : il faut diminuer la consommation et les émissions de pollution qui leur sont associées. A cet égard, des efforts sont donc engagés dès les années 1990s, pour déployer les énergies renouvelables et passives (orientation et isolation sont des méthodes couramment utilisées).

C'est donc depuis environ une décennie que la lutte contre le changement climatique (CC) apparaît fortement dans les projets d'EQ mais aussi plus généralement en gouvernance urbaine. Il existe même une association internationale de villes (1220 administrations locales présentes dans 70 pays) engagée dans les efforts d'adaptation au changement climatique[47]. En France, la gouvernance climatique (atténuation et adaptation) est depuis 2012, et par le biais du Grenelle II de l'environnement, inscrite dans les SCOT, les PLU, les PDU et les PLH. En effet, en 2012, les Plans Climat Energie Territoriaux (PCET, sous le chapeau des Schémas Régionaux Air Energie Climat - SRAEC) sont devenus une obligation légale pour toutes collectivités de plus de 50 000 habitants, et ***un texte référent auquel les autres documents de planification urbaines doivent se conformer***. S'ils n'apparaissent pas comme une réglementation dans les autres pays européens, les nouveaux EQ hors France s'insèrent également dans cette nouvelle double gouvernance climato-énergétique visant à minima, une ville sobre en carbone et en énergie à maxima, une ville post-carbone à énergie positive.

Au-delà des textes recensés portant spécifiquement sur les quartiers, la grande majorité portant sur la gouvernance climatique (dont une part très importante prenne en compte l'urbain), mettent en avant une nouvelle ville économe en énergie et émettant peu de gaz à effet de serre. Quelques-uns, plus rares, mentionnent la question de l'adaptation mais c'est réellement l'atténuation qui est au coeur des préoccupations (rapports de l'Union Européenne[48], de l'ONU[49], du GIEC[50] ou encore ceux publiés par les gouvernements nationaux). De fait, ces textes mettent en avant une nouvelle gouvernance urbaine en triptyque : le développement durable et les gouvernances climatique et énergétique sont conçus comme compatibles et au même plan, l'association entre gouvernance climatique et énergétique et développement étant même faite explicitement dans les rapports des grandes organisations internationales[51]. Pour ces institutions, il s'agit de rendre compatible les efforts de développement aux objectifs de réduction des gaz à effets de serre et à la diminution de la consommation d'énergie par le biais de *l'efficacité* (technique, dans sa définition) énergétique et, de plus en plus, de la *sobriété* (davantage liée dans sa définition aux comportements énergétiques des habitants). Mais les efforts à atteindre ces objectifs font face à une série d'obstacles techniques, économiques, professionnels, institutionnels ainsi que des changements de valeurs et de comportements des parties prenantes - acteurs économiques, bailleurs de fonds, aménageurs, professionnels du BTP, individus, consommateurs, administrations...

C'est dans ce contexte institutionnel international, européen et français qu'il faut envisager l'émergence de EQ contemporains. D'un point de vue de la science politique, cette augmentation des contraintes et des objectifs climato-énergétiques soulève de front la question de la coordination d'une grande pluralité d'acteurs aux intérêts et aux domaines de compétences différents, et donc, ***de la gouvernance d'un projet d'EQ***. En effet, la capacité à coordonner, à faire émerger de la cohérence dans un EQ composé de plusieurs îlots énergétiques associant différentes techniques et approches, elles-mêmes associés à différents réseaux d'acteurs de l'énergie et de l'urbanisme, soulève le problème de la capacité *d'organisation administrative et politique* d'une collectivité territoriale à mettre en œuvre un tel projet. Les changements organisationnels et décisionnels impliqués sont potentiellement importants : finances, techniques de construction, vision et

[47] http://www.iclei.org/index.php?id=about.

[48] Commission Européenne : European Environment Agency. *Europe's environment The fourth assessment*. European Environment Agency - Denmark , Copenhagen, 2007. 452 p ; DG Energy and Transport. *EU strategy and instruments for promoting renewable energy sources*. 30 p. 2007; *The Future of European Electricity Choices before 2020*. CEPS Policy Brief, no. 164, 2008. 12 p.

[49] UNDP. Human Development Report 2007/2008. Oxford University Press, 2008. 399 p.; UNEP. CCCC. Kick the habit. A guide to climate neutrality. 2008. 202 p.

[50] Incluant le dernier, 4e, Rapport, B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds). Climate Change 2007. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

[51] World Bank. Towards a strategic framework on climate change and development for the World Bank Group. Concept and issues paper consultation draft. 2008. 46 p.; UNDP, 2008 op.cit., ; UNEP. Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change Final Report of the AIACC Project. 2007, 250 p; et UNEP 2008, op.cit.

approche de l'urbanisme, nouvelles technologies de l'énergie, réseaux, compétences professionnelles, bâtiments…doivent dorénavant répondre à des principes généraux parfois mal définis au niveau opérationnel et parfois explicitement mentionnés dans des textes, contrats ou appels d'offre… Ces objectifs agissent souvent comme des normes contractuelles, sans que des normes techniques précises n'existent pour autant. Ainsi, des *objectifs* environnementaux, climatiques ou énergétiques (ces dernières tendent à être plus précises car plus facilement mesurables et quantifiables) existent et sont souvent présentés comme des normes.

Du point de vue organisationnel (nous laissons de côté le volet technique aux techniciens et ingénieurs de l'énergie), le problème est que la culture institutionnelle pré-existante, les savoir-faire, les compétences, etc…, n'existent pas ou ne suffisent pas toujours pour atteindre ces objectifs, et ce, malgré toutes les bonnes intentions. Ceci renvoie à l'argument de Young pour qui une institution peut contribuer à la dégradation environnementale ou à sa protection dépendant de la correspondance entre les objectifs environnementaux et sa structure interne (*institutional fit*[52] que nous traduisons par 'correspondance institutionnelle'). Mais l'inertie naturelle des institutions ("*stickiness"*) peut nécessiter d'imposer un changement de fonctionnement et même *d'identité* d'une organisation[53] pour qu'elles puissent contribuer, par exemple, à traduire opérationnellement des objectifs énergétique set climatiques. Appliqué aux réseaux de l'énergie, l'argument signifie que les efforts à intégrer des nouveaux objectifs fixés par des pionniers en l'absence de normes ou avec des normes jugées trop peu ambitieuses) peuvent être niés par *la structure même des institutions impliquées*. Mais l'analyse de nos cas d'étude montre aussi très bien que ce n'est pas toujours le cas : une administration territoriale peut être pilote, agir comme moteur avoir peu de freins internes mais faire face à la difficulté de devoir coordonner la pluralité d'acteurs de l'énergie, de l'urbanisme et du bâtiment impliqués dans un EQ.

Dans les cas analysés dans la phase de terrain de l'étude, nous approfondirons ces questions : quels sont les freins et les moteurs liés à la gouvernance du projet dans les efforts à atteindre des objectifs énergétiques ambitieux ? Quels sont les facteurs qui facilitent ou freinent la capacité institutionnelle à coordonner de manière efficace les différents acteurs participant aux volets énergétiques d'un EQ en regard des objectifs visés ? Quels ont été les obstacles et les moteurs ***perçus*** par les différents acteurs à la bonne conduite du projet, les points de divergence et les conflits ? Comment ces derniers ont-ils été résolus, et comment des solutions ont-elles trouvées (imposées, négociées)? Quels acteurs ont été mobilisés ? Répondre à ces questions dans les EQ contemporains nous permettra d'alimenter les réflexions sur les facteurs allant dans le sens d'une meilleure efficacité institutionnelle.

4.5. Les EQ contemporains : une palette de types de gouvernance.

On retrouve dans les EQ contemporains une grande palette de modèles technico-énergétiques. A Bedzed, près de Londres, la performance énergétique des bâtiments est privilégiée, la petite centrale de cogénération étant destinée aux besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire. A Grenoble, dans le quartier de Bonne, l'énergie de chauffage est partiellement fournie par des systèmes de cogénération installés dans chaque îlot. Le modèle intégré d'approvisionnement énergétique dans le quartier de Hammarby à Stockholm (Suède) permet de valoriser les rejets produits sur le site sous forme d'énergie pour le chauffage des bâtiments.

Ces quelques commentaires sont loin d'illustrer toute la complexité de ces cas puisque ces mêmes EQ associent, en leur sein même, différentes sources et des usages variés usages d'énergies, avec les acteurs économiques mobilisés et les modèles d'affaires concomitants : inertie thermique des bâtiments, panneaux solaires ECS collectifs, centrale photovoltaïque, cogénération, chauffage urbain, pompe à chaleur, rafraîchissement par la nappe, chaudières collectives au gaz... Ils peuvent combiner constructions neuves et réhabilitations. Si certains associent intimement les habitants par le biais de modifications de leurs comportements, d'autres n'ont aucune attente à cet égard. Au niveau de la gouvernance du projet, une grande variété existe également. A Limeil (Brevannes, France), une délégation de service public a permis de confier la gestion de l'énergie (installation PV et production de chaleur) de la ZAC à une entreprise privée. A Hammarby, le modèle de gestion intégrée d'une vision écosystémique complexe et intégrée d'un quartier a été conçu conjointement par les compagnies des Eaux, des Déchets et de l'énergie. Dans de nombreux

[52]Oran Young The Institutional Dimensions of Environmental Change: Fit, Interplay, and Scale, Cambridge and Massachusetts: MIT Press. 2002a, xiv-xv.

[53] Oran Young 'Matching Institutions and Ecosystems: The Problem of Fit', *Gouvernance mondiale* No. 2, les séminaires de l'IDDRI, PDF document: www.iddri.com/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/id_0202_young.pdf. 2002b.p.23-24.

pays à tradition fédérale, ce sont des entreprises municipales qui assurent le fonctionnement de la production et de l'approvisionnement en énergie des EQ.

De fait, une grande diversité de modes de gouvernance existent dans les EQ analysés : bottom-up ou top-down (et à différents degrés), plus ou moins centralisée ou décentralisée. Mais notons que l'approche bottom-up ne garantit en rien une large pluralité d'acteurs, puisqu'une demande faite par un groupe de citoyens pour un EQ (ou des souhaits spécifiques au sein d'un EQ) peut très bien être reprise par le gouvernement central et ne concerner que les habitants qui en ont fait la demande (bottom-up centralisé). Inversement, un pouvoir public peut très bien imposer un EQ et des normes environnementales minimales pour ensuite intégrer des demandes des citoyens, les faire participer à des groupes de travail avec des professionnels, l'architecte et les services de la ville. Ces citoyens peuvent ainsi avoir une réelle influence sur la forme, les objectifs et le résultat du projet (top-down, mais ensuite décentralisé). Finalement, on peut également avoir une décision décentralisée pour un système énergétique pluriel et décentralisé ou inversement. Par « centralisation », il faut distinguer une ***décision/gouvernance*** centralisée, pouvant imposer ou coordonner un système énergétique centralisé ou non. Donc, peu de liens existent entre mode de gouvernance et structure énergétique d'un EQ. Qu'en est-il des volets environnementaux ?

On pourrait penser a priori que le mode de gouvernance aurait un impact sur le niveau d'ambition environnementale, qu'une gouvernance décentralisée ou participative serait plus amène à donner lieur à des ambitions environnementales plus fortes. Sur ce point, notre conclusion fait écho à celle de Souami[54] qui montre que le ***mode de décision n'est ni associé à une structure énergétique quelconque ni au niveau d'ambition environnementale***. Dans certains cas, l'implication des citoyens contribue à la prise en compte de l'environnement (végétation, eau, énergie) ; dans d'autres, cette implication a diminué les objectifs mis de l'avant par les promoteurs ou la ville, alors que dans d'autres cas encore, cela n'a pas eu d'impacts, les préoccupations étant ailleurs (esthétique, vie collective…).

Cela étant dit, nous pouvons émettre une hypothèse préliminaire : si le niveau de mobilisation des acteurs n'est pas associé à l'ambition environnementale d'un EQ (la prise en compte des intérêts des acteurs ne mène pas nécessairement à un résultat plus écologique), il nous semble que le niveau d'ambition environnementale et climato-énergétique oblige une diversité d'acteurs plus importante. Si cela reste à approfondir, le cas de Vauban offre un exemple type d'une approche socio-écosystémique associée à une gouvernance complexe, à double sens et transversale et très participative puisque chaque futur locataire a fourni des heures de travail physique.

[54] T. Souami, op. cit., 2009, pp.52-57.

UNE PARTICIPATION AMBITIEUSE : L'EXEMPLE DE VAUBAN

La Ville de Freiburg initie, en 1995, un processus de participation citoyenne et reconnaît l'Association Forum Vauban comme 'instance' de concertation publique pour son projet tandis que le Groupe Projet Vauban (municipal) a assuré la coordination, l'administration et le travail opérationnel de développement du site. Cet outil de participation citoyenne est consulté dès le démarrage de la planification du quartier. Immédiatement, de nombreuses questions se posent au sujet de la conception du plan d'aménagement. Pour y répondre, la Ville lance un concours auquel 60 agences d'architecture vont participer

Cette association joue un rôle d'information, d'intégration des principes du développement durable dans le quartier, de promotion des groupes de construction et de soutien technique auprès des « propriétaires - promoteurs ». Au sein du forum Vauban, ces derniers co-définissent l'organisation et les aménagements extérieurs de leur futur îlot ou immeuble. Ils transmettent ensuite leur projet aux maîtres d'oeuvre, désignés en direct, réalisant ainsi des économies sur les coûts de construction, comparativement à la promotion immobilière traditionnelle

Cette initiative autogérée et indépendante rassemble, au travers d'une association et d'une SARL, des personnes à bas revenus (étudiants, parents isolés, chômeurs) souhaitant se loger dans le quartier. Son action s'est centrée sur la réhabilitation et la rénovation écologiques de quatre bâtiments de l'ancienne caserne, alors voués à la démolition, afin de fournir une offre de logements à loyer modéré. Une démarche participative, prévoyant que chaque futur locataire fournisse environ 100 heures de travail, a permis de réduire de 10% les coûts globaux de l'opération (frais d'acquisition du terrain inclus) !

La participation des habitants du quartier Vauban a été constante pendant cinq ans, depuis le concours d'architectes jusqu'aux travaux, au coût de 20 000 €/an pour la Commune, pour soutenir le processus de concertation. Au départ, la concertation a intéressé les étudiants et les alternatifs déjà présents sur le site. Elle a ensuite été élargie aux organisations écologiques, puis aux acquéreurs potentiels. Des rencontres régulières entre les habitants et les différents services de la Ville ont eu lieu tous les six mois.

La participation n'a pas donné lieu à un consensus total. Selon le chef de projet du quartier Vauban, 10 à 15% des décisions sont restées conflictuelles et ont dû être tranchées par la mairie. Le pouvoir décisionnaire a donc toujours un rôle à jouer.

La diversité architecturale est associée à deux facteurs principaux : l'agencement original urbain et la participation. Pour rappel, le quartier Vauban est constitué de 3 zones différenciées autant au niveau de l'architecture qu'aux modes de participation différents :

un squat de bâtiment de caserne ancienne rénovée

une zone cédée à des promoteurs immobiliers avec un cahier des charges imposés par la ville, les acquéreurs n'ont pas participé puisqu'ils ont acheté sur plan après le travail de conception orchestré par le promoteur.

une zone d'autopromotion collective/coopérative (ce sont ces bâtiments et ces rues qui sont le plus souvent montrés, avec un stationnement éloigné des bâtiments).

Quant à la participation, elle a fourni aux maîtres d'œuvres des demandes de la part des futurs habitants. Ceci a généré une grande diversité, chaque section du quartier ayant sa propre identité, symbolisée avec des essences d'arbres différentes et des habitats allant de la maison individuelles jusqu'à de bâtiments avec 20 appartements. Notons que les questions d'efficacité énergétique ont été déconnectées des questions de disparité économique.

Suite à cette analyse, il nous semble que l'innovation la plus importante se situe non pas au niveau des techniques et technologies de l'énergie, mais bien au niveau de la gouvernance de projet.

4.6. Les EQ : expériences de gouvernance innovante ?

Lorsque l'on regarde les différents EQ, les solutions techniques répondant à des nouvelles ambitions énergétiques et environnementales complexes ne sont pas si innovantes. Souvent, les techniques et les technologies utilisées sont déjà bien connues et éprouvées mais elles sont installées dans un contexte nouveau. Ce qui semble plus innovant, c'est plutôt leur association dans un même projet. C'est au niveau de la gouvernance de projet que l'on semble assister à des expérimentations.

Pierre Kermen dit : « En fin de compte c'est la culture du management de projet qui fait défaut. En France, on a des procédures qui valident des étapes administratives et techniques mais pas le processus de projet. On est très fort dans le réglementaire, l'obligation et l'autorité mais on est très mauvais dans le dialogue. La vraie valeur ajoutée du quartier de Bonne c'est le management de projet, l'animation, la méthodologie »[55]. La caserne de Bonne illustre en effet certaines des transformations dans les modes de gestion des projets et dans les systèmes relationnels et décisionnels liés aux EQ. Volontarisme et fermeté de l'aménageur se combinent à un système de négociation avec les partenaires pour mettre en oeuvre les principes environnementaux et de mixité de la Ville. Les orientations y sont d'autant plus affirmées que le cadre réglementaire de la ZAC permet de soutenir des prescriptions. Cette dynamique a favorisé le développement d'un dispositif de contractualisation et de management des projets d'aménagement. Mais même dans ce cas, il faut noter que ce mode de gestion du projet fait partie d'une culture institutionnelle participative à acteurs multiples plus ancienne à Grenoble.

L'EQ Ginko de Bordeaux va plus loin encore. Il a été conçu avec une concertation préalable réglementaire inscrite dans la procédure de ZAC, des échanges avec les élus, des partenariats économiques, mais aussi des animations éducatives et environnementales avec les associations et les acteurs sociaux locaux, s'apparentant davantage aux démarches souvent vues dans les EQ anglo-saxons plus friands de ce type d'intervention auprès des habitants. L'information des habitants et des entreprises riveraines a été mise en œuvre tout au long du déroulement des travaux, et une démarche d'insertion sociale dans le cadre d'une action conjuguée avec le Pôle Emploi a été construite par le biais d'une clause d'insertion sociale dans les marchés de travaux. Si cela est plutôt fréquent dans les marchés publics français, ce n'est pas le cas des EQ étrangers.

Même sans implication des populations, la complexité et les nouvelles normes (ou principes) cadrant les projets d'EQ ont des effets sur les acteurs impliqués, sur les méthodes de travail et même leur rôle. Les différentes exigences liées à l'EQ rendent nécessaires une approche systémique du projet, très en amont, dès la programmation, ainsi qu'une vision globale du coût investissement-maintenance-exploitation, et un renfort de l'équipe par des experts environnementaux. Plus la diversité des acteurs est importante, plus la coordination est délicate mais nécessaire. Au niveau d'un bâtiment unique, la coordination de l'effort collectif ne pose pas un problème sérieux mais c'est différent lorsque l'on travaille au niveau d'un EcoQuartier, qui n'est pas qu'un ensemble de bâtiments HQE séparés les uns des autres, mais bien un ensemble de bâtiments ou d'îlots de bâtiments conçus comme un ensemble en termes de fonctions, d'énergie, de service, d'infrastructures de transports d'entrants et de sortants… Il nous semble alors que le défi de la coordination entre les acteurs doit être encore plus grand si l'on souhaite qu'il y en ait une cohérence énergétique équilibrée entre les bâtiments ou les îlots. Le rôle de l'architecte en est modifié et ce, dès la conception :

- dans l'obligation de ce dernier de prendre en compte très tôt les aspects techniques : cibles HQE, normes, certifications, modes constructifs et matériaux particuliers ;
- dans l'organisation des tâches de conception et de suivi du projet.
- dans l'appropriation d'outils d'évaluation des performances du projet dans ses dimensions économiques, techniques, écologiques et sociales[56].

Le problème est que cette nouvelle manière de faire son métier n'entre pas automatiquement dans la culture de travail. Par le biais des modifications de son rôle, ce sont les relations entre l'architecte et les autres acteurs qui sont modifiées à leur tour. Le problème d'une coordination effective de la gestion du projet resurgit, et ceci repose pour large partie sur la capacité d'une ville à créer une structure de gouvernance qui diminuera les risques de dérapages et augmentera les chances de succès. Comme en témoigne Kermen :

[55] P. Kermen, interviewé in *Etude De Cas De Projet Français : Grenoble / ZAC de Bonne*, p.18. Notons que le partage d'un îlot entre trois maîtres d'ouvrage, dont un était plus en retard que les autres, fut à l'origine d'un manque de coordination dans la mise à disposition des locaux et équipements nécessaires à la co-génération principale alimentée par le gaz. Une meilleure coordination préalable, dans la phase amont de la gestion du projet, aurait pu empêcher le problème d'émerger. La SEM-SAGES et son architecte en chef ont alors dû assurer les relances auprès des maîtres d'ouvrage concernés et s'efforcèrent, avec ses AMO HQE, de trouver des palliatifs provisoires.

[56] Jacotte Bobroff. La caserne de Bonne à Grenoble : projet emblématique d'un développement durable à la française, PUCA 2011. p.46.

La coordination des acteurs à toutes les phases du projet (amont, conception, réalisation, gestion, évaluation) s'est donc accompagnée d'un processus itératif de formation de l'ensemble de la chaîne des acteurs.

« A chaque moment clé de passage de relais, il fallait être là, rappeler les objectifs, soutenir les moyens. Il faut être présent sur la durée (…). « J'ai exprimé des exigences de moyens et de résultats, écrites sur le papier, intégrées dans les contrats de cessions, etc. J'ai systématiquement inscrits les objectifs de manière contractuelle. En même temps j'ai fait monter en compétence les équipes en mettant des AMO pour la SEM et les équipes de la collectivité. Cela a permis une monté en compétence généralisée. Il y a eu un travail de suivi et d'échange très fort. Nous avons aussi mis en place des actions de formation à destination des entreprises du bâtiment notamment avec l'ALE »[57].

Même si la capacité et les compétences techniques existent, une partie du succès repose sur la capacité d'une collectivité territoriale à les rendre opérationnelles en coordonnant les acteurs : la ville comme chef d'orchestre ? Car, en effet, il s'agit bien de coordonner les différents acteurs qui ont tous leur part à jouer dans le concert des actions à mener, afin qu'elles rendent un résultats cohérent.

[57] Pierre Kermen, interviewé in Etude De Cas De Projet Français : Grenoble / ZAC de Bonne, p.13.

L'APPROCHE INTEGREE : L'EXEMPLE DE HAMMARBY

Hammarby, Stockholm, Suède est l'un des EQ avec une approche la plus globale et la plus intégrée, pensé comme un système complexe, vivant, fait de flux dynamiques entrants et sortants : déchets, énergie, transports, marchandises, eau, préservation des ressources naturelles et personnes. Le Modèle Hammarby fonctionne sur quatre grands principes :

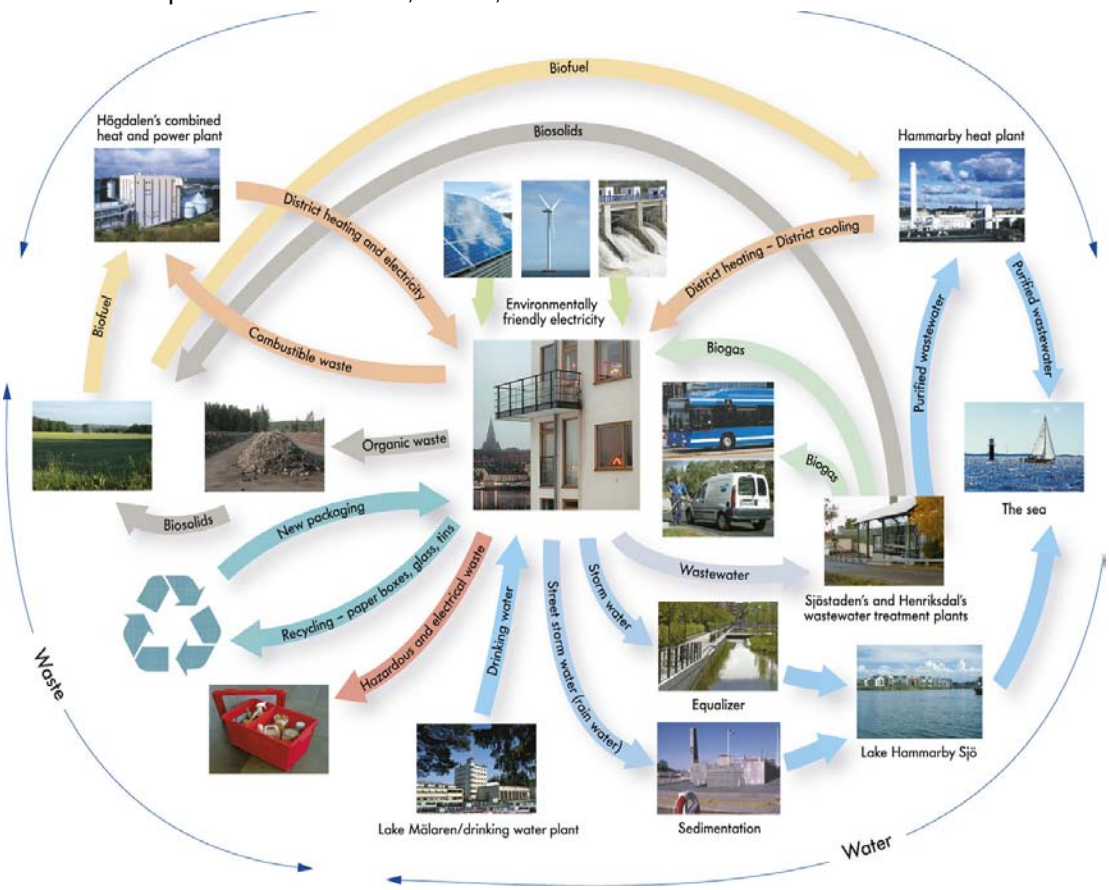
1. des écocycles fermés: le projet vise une approche en termes de cycle de vie total des matériaux, incluant des ***bâtiments recyclables*** ;
2. la réduction et l'utilisation la plus environnementale possible des ressources naturelles ;
3. l'utilisation a minima des substances dangereuses pour l'environnement ;
4. la réduction des impacts environnementaux des acteurs privés et industriels.

Les moyens utilisés vont de l'aménagement urbain, aux matériaux utilisés durant la construction, aux technologies et techniques d'efficacité énergétique, jusqu'aux animations éco-citoyennes.

Hammarby, un système intégré : les eaux usées sont traitées afin de produire du biogaz combustible qui alimente les bus et la cuisine. Le compostage de déchets organiques est utilisé comme engrais pour les plantations locales de biomasse. La combustion de la biomasse et des déchets solides est réalisée dans une centrale locale de cogénération. La biomasse est également incinérée dans le réseau de chauffage/climatisation urbain. Les eaux de pluie sont directement conduites aux lacs et aux ruisseaux. L'eau potable vient (après traitement) du lac local. L'électricité est fournie par le réseau local, en totalité basé sur les énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydrologique).

La gouvernance de Hammarby : L'équipe de projet multi acteurs a utilisé à la fois les normes, les négociations mais aussi la compétition (avec un prix du bâtiment le plus efficace ou encore pour l'idée la plus innovante). Un des critères pour la récompense monétaire était la correspondance entre l'objectif d'efficacité affiché et celui obtenu, pour encourager les concepteurs à tenter d'atteindre leurs objectifs.

L'image publique fut aussi utilisée : le problème de moisissure sur un des bâtiments a été rendu public afin de mettre de la pression sur le fautif, certes, mais aussi sur les autres bailleurs et constructeurs.



Tiré de : *A vision of Integrated Urban Planning comes to life in Stockholm's Hammarby Sjöstad district*, SWITCH Training Kit Case Study, Stockholm, Suède, p.4.

Le diagramme a de quoi laisser perplexe par sa complexité mais surtout par ce qu'il implique en termes du nombre d'acteurs, d'intérêts, de vision de l'urbanisme et du bâti, et du défi de coordination qu'il signifie et en raison des associations faites entre enjeux environnementaux et diversité des acteurs nécessaires afin d'en respecter les objectifs.

Au regard de ces différentes réflexions fondées sur des EQ avec des dimensions environnementales et énergétiques variées, nous invitons le lecteur à se pencher sur le chapitre 2, qui se concentre sur les questions *énergétiques*. Les liens entre énergie et acteurs (ces nœuds socioénergétiques) seront également explorés plus en profondeur dans les prochaines phases de l'étude Nexus, particulièrement dans nos entretiens semi directifs. Pour le moment, d'un point de vue de la science politique, il ne faut pas négliger le cadre global énergétique dans lequel les EQ et les NSE contemporains émergent. Si l'énergie, carbonée ou renouvelable, a longtemps été une question en majorité technique et financière, elle est devenue depuis quelques années un enjeu complexe à la croisée de plusieurs problématiques : politique, économique, technologique, d'urbanisme, de réseau, environnemental, éthique, géostratégique… Autrement dit, on voit une politisation croissante au quotidien de la question de l'énergie, qui devient de plus en plus liée aux contraintes climatiques, et qui ont des implications non seulement sur les types d'énergies utilisées mais également sur les acteurs impliqués dans un projet urbain. Ces nouvelles contraintes et ces nouveaux objectifs appellent de nouvelles compétences, de nouveaux acteurs, qui modifient les réseaux existants voire, en font émerger des nouveaux. De plus, les contraintes climato-énergétiques vont dans le sens d'une diversification des bouquets d'énergies, accroissant davantage la complexité des NSE. Car, les énergies renouvelables ne forment pas un tout, elles sont plurielles : le spécialiste de photovoltaïque n'est pas celui de l'isolation, de l'éolien, de la géothermie, du bois… Puis, dans le cas d'un EQ, on retrouve face à des îlots de bouquets d'énergies différents plus ou moins bien intégrés les uns aux autres, accroissant par là-même le défi de la gouvernance des EQ.

4.7. Conclusion

Bien entendu, on assiste dans les EQ à la mise en œuvre des nouvelles techniques et de nouvelles technologies de l'énergie (TICE, renouvelables, passives, aménagement…). Mais en général, ces technologies et techniques existent déjà au moment de la conception d'un EQ. Ce qui est nouveau dans ce domaine serait plutôt la mise en œuvre conjointe de différents types d'énergie et que l'on tente de s'associer. S'il existe des aspects innovants aux EQ, nous pensons qu'il s'agit bien davantage des modes politiques de gestion des projets, leur gouvernance.

Ceci ne signifie pas qu'il n'y a pas eu de changements. Avant le tournant des années 2000, un EQ ou un quartier durable (le terme anglais le plus usité à cette époque était « *sustainable* ») était, de manière très générique, une nouvelle manière de concevoir l'urbanisme dans une optique de développement durable (prenant en compte le social et l'environnemental). Ces EQ ne représentaient pas la normalité en matière d'urbanisme. Puis, les efforts d'intégration des volets énergies sobres en carbone et du changement climatique des dernières années nous semblent également une innovation car ils dépassent le simple ajout d'une norme ou d'une pratique supplémentaire. Ils s'approchent davantage d'un effort de modification profonde des structures énergétiques et des réseaux et jeux d'acteurs qui y sont associés. Ces efforts sont liés à des conditions locales sociales et politiques qui ont des implications sur les techniques et les technologies, le financement, la forme de gouvernance retenus…, dans un cadre de gouvernance climato-énergétique qui change les règles du jeu de l'énergie, et de la mobilisation collective et des politiques locales dans l'urbanisme. Nous avons également exploré dans ces pages le thème de la mobilisation des acteurs, leurs relations aux politiques urbaines locales et leurs impacts sur les volets énergie et environnement dans les EQ, comme une entrée pour mieux comprendre les systèmes de gouvernance employés dans les EQ analysés. Pour résumer, les tendances générales relevées sont les suivantes :

- On ne constate pas d'évolutions dans le temps : il n'y a ni plus ni moins de mobilisations collectives dans les années 1990s qu'aujourd'hui dans les nouveaux EQ.
- Le niveau et le type de mobilisation d'acteurs dans les projets d'EQ semblent davantage dépendre soit du contexte réglementaire national (obligation de consultation ou non) soit de la ville elle-même – par exemple, la Ville de Grenoble a une culture 'municipale' qui associe de multiples acteurs dans ses projets urbains.
- Si la plupart des EQ analysés ***se présentent*** comme innovants par leur gouvernance 'multiacteurs', 'décentralisée' ou 'bottom-up', de manière globale, on constate une diversité d'acteurs dans une des ou toutes les phases de la quasi totalité des EQ (de la conception à l'usage au quotidien).
- les EQ n'ont pas tous une visée de mixité sociale (ceci dépend en partie des contextes nationaux ;, notamment la législation , mais aussi des projets) ;

- leur reproductibilité et leur exemplarité ne sont pas aussi évidentes que les aspirations des acteurs le laissent croire, les contextes locaux, les conditions politiques, sociales, économiques et technologiques étant très variées ;
- l'ampleur de l'implication des habitants et des changements de comportements énergétiques dans les efforts de sobriété varie énormément : cela varie d'une implication personnelle importante à un encadrement 'par défaut' par les technologies.
- Les experts et techniciens mobilisés sont contractualisés s'ils n'existent pas au sein de l'administration urbaine.
- Les interactions entre les acteurs de l'EQ sont encadrés par une panoplie de mesures, allant de la contractualisation, à la participation multi acteurs, à la négociation jusqu'aux normes réglementaires, aux concours…
- On constate une augmentation de l'importance du rôle de l'architecte qui devient peu à peu un chef d'orchestre s'assurant de la cohérence du projet.

Ce chapitre offre une analyse des modes de gouvernance associés aux EQ en général, en prenant en compte à la fois leurs dimensions environnementales et énergétiques de manière générale. Il offre une base de compréhension à partir de laquelle nous préciserons nos réflexions sur l'axe principal de l'étude Nexus : les acteurs de l'énergie dans les EQ. Nous tenterons de répondre aux questions suivantes : quels sont les acteurs impliqués dans les nœuds socioénergétiques (NSE) liés aux nouveaux EQ ? Comment, au niveau de l'opérationnalité, la gouvernance de ces NSE est-elle mise en œuvre, compte tenu de sa complexité technique, économique, sociale, politique et en termes de business models ? Quels sont les moteurs et les freins à la mise en oeuvre, la traduction, de cette gouvernance ? Comment les conflits ou les problèmes sont-ils résolus et dans quel cadre ?

4.8. Bibliographie

- A vision of Integrated Urban Planning comes to life in Stockholm's Hammarby Sjöstad district, SWITCH Training Kit CASE STUDY ,Stockholm, Sweden, p.4. PDF Sans auteurs.
- Jacotte Bobroff. La Caserne de Bonne à Grenoble : projet emblématique d'un développement durable à la française, PUCA 2011. p.46
- Yves Bonard et Laurent Matthey, in « Les éco-quartiers : laboratoires de la ville durable », Cybergeo : European Journal of Geography, mis en ligne le 09 juillet 2010 http://cybergeo.revues.org/23202 (consulté » le 12 avril 2012).
- Benoît Boutaud, in « Quartier durable ou éco-quartier ? », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Débats, Quartier durable ou éco-quartier ?, mis en ligne le 24 septembre 2009 (http://cybergeo.revues.org/22583 consulté le 10 avril 2012).
- C. Charlot-Valdieu, O. Outrequin. Ecoquartier, mode d'emploi. Eyrolles, 2009. 243 p.
- Commission Européenne :
- European Environment Agency. Europe's environment The fourth assessment. European Environment Agency - Denmark , Copenhagen, 2007. 452 p.
- DG Energy and Transport. EU strategy and instruments for promoting renewable energy sources. 30 p. 2007.
- The Future of European Electricity Choices before 2020. CEPS Policy Brief, no. 164, 2008. 12 p.
- Robert Eckersley. Environmentalism and Political Theory. Toward an Ecocentric Approach. Albany : State Univ. of New York Press, 1992.
- Cyria Emelianoff, in Terrritoires, n°487, avril 2008.
- Etude De Cas De Projet Français : Grenoble / ZAC de Bonne. PDF, Date et auteurs non fournies.
- Stéphane La Branche et Philippe Warin, Pacte. «La "concertation dans l'environnement ", ou le besoin de recourir à la recherche en sciences sociales», 2004. Pour le MEDD.
- Pierre Lefèvre, Michel Sabard, Les écoquartiers, Apogée, 2009.
- B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds). Climate Change 2007. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme. Contribution des facultés des lettres et sciences humaines de Aix-en-Provence, Bordeaux, Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Rennes, Rouen, Strasbourg, Toulouse, ronéoté, mars 1968.
- Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme Rapport général de la Commission de l'équipement urbain du Vème Plan (1966-1970), Paris, La Documentation française, p. 56. 1970.

- Ministère de l'environnement et du développement durable. Programme de recherche. Concertation, décision et environnement. Récapitulatifs des rapports finaux. Paris : MEDD, 2004. 115 p.
- Jacques Mirenowicz, in La Revue Durable, n°28. 2008.
- Paul Pierson. « Increasing Returns, Path Dependency, and the Study of Politics », The American Political Science Review, Vol. 94, Juin 2000.
- Touafik Souami. Ecoquartiers. Secrets de fabrication. Analyse critique d'exemples européens. Ed. Les carnets de l'information. 2009.
- UNDP. Human Development Report 2007/2008. Oxford University Press, 2008. 399 p.
- UNEP. Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change Final Report of the AIACC Project. 2007, 250 p.
- UNEP. CCCC. Kick the habit. A guide to climate neutrality. PNUE. 2008. 202 p.
- World Bank. Towards a strategic framework on climate change and development for the World Bank Group. Concept and issues paper consultation draft. 2008. 46 p.
- Oran Young. The Institutional Dimensions of Environmental Change: Fit, Interplay, and Scale, Cambridge and Massachusetts: MIT Press. 2002a.
- Oran Young. 'Matching Institutions and Ecosystems: The Problem of Fit', Gouvernance mondiale No. 2, les séminaires de l'IDDRI, PDF document: www.iddri.com/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/id_0202_young.pdf. 2002b.

5. Analyse des technologies énergétiques

Auteur : Patrice Schneuwly (CEA-LITEN-INES)

Gilles Debizet (CNRS-PACTE) a retravaillé le texte dans un objectif de cohérence avec le reste du rapport.

5.1. Introduction

Ce chapitre constitue un **état de l'art des technologies mobilisées ou mobilisables dans des écoquartiers existants**. Il relate la production du CEA-INES conduite par le Laboratoire Energétique du Bâtiment.

Il a pour finalité d'apporter aux chercheurs en sciences sociales les connaissances des systèmes techniques nécessaires pour mieux positionner ces systèmes techniques énergétiques dans les assemblages intrinsèques à la fabrique des bâtiments et des écoquartiers. Les fiches produites exposent prioritairement les principes de fonctionnement ainsi que les limites et les conditions d'utilisation des technologies.

Comme prévu, dix fiches ont été produites.

- Fiche 1. Stockage d'électricité par batteries……...Page 118
- Fiche 2. Cogénération……..Page 183
- Fiche 3. Chaufferie biomasse…….Page 128
- Fiche 4. Pompe à chaleur aquifère……....Page 135
- Fiche 5. Stockage de chaleur par le bâtiment ou le sol……..Page 142
- Fiche 6. Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid…….Page 147
- Fiche 7. Les Réseaux de chaleur……Page 156
- Fiche 8. Les Pompes à chaleur sur eaux usées……..Page 160
- Fiche 9. Système de cascade ou d'optimisation énergétique……...Page 166
- Fiche 10. Grandes centrales photovoltaïques…….Page 170

Un « Glossaire énergétique » commun a été ajouté page 114.
Un Tableau 8 récapitulant les systèmes énergétiques utilisés dans les écoquartiers sélectionnés est inséré dans le présent chapitre, il complète le panorama du chapitre 2.

Tableau 8 : Synthèse énergétique des EQs sélectionnés

BESOINS	EQ existants / Applications	Londres	Fribourg-en-Brisgau	Hambourg	Hanovre	Ostfildern	Malmö	Stockholm	Mulhouse	Grenoble	Copenhague	Helsinki	Culemborg	Amsterdam	Gland
BÂTIMENTS	*Façades*		Végétalisation ; Maisons en bois	Stockage de chaleur					Végétalisation ; Panneaux d'osiers tressés ; Pergolas	Structures en bois ; Béton performant	Végétalisation ; Panneaux PV intégrés au bâti ; Panneaux thermiques et miroirs réflecteurs	Panneaux PV intégrés			
	Toiture		Végétalisation ; Panneaux PV		Végétalisation	Panneaux PV intégrés au bâti	Végétalisation ; Panneaux PV			Panneaux PV		Capteurs thermiques intégrés	Panneaux PV et capteurs thermiques	Végétalisation	Panneaux PV
	Vitrage	Triple vitrage	Triple vitrage	Triple vitrage ; Contrôle solaire	Triple vitrage					Vitrage à lame d'argon	"Paroi solaire" (paroi vitrée, lame d'air et capteurs)			Double vitrage	
	Matériaux de construction / Faible énergie grise	Matériaux naturels ou recyclés provenant d'un rayon inférieur à 35 miles de l'EQ			Réutilisation de matériaux recyclés	Réutilisation de matériaux recyclés	Réutilisation de matériaux recyclés	Sains, secs et certifiés favorables à l'environnement	Matériaux respectueux de l'environnement ; Brique monomur ; Façades en bois	Réutilisation de matériaux recyclés ; Production locale du béton		Réutilisation de matériaux recyclés ; Constructions en bois	Matériaux de construction durables	Réutilisation de matériaux recyclés	
	Ventilation	Capuchons abat-vent sur les toits			Système de ventilation avec récupération de chaleur					Ventilation double flux avec récupération de chaleur	Récupérateurs de chaleur à contre-courant individuels				Aération douce et contrôlée
	Exposition étudiée des bâtiments	x	x							x	x	x		x	
	Autres		Maisons passives		Maisons passives					Isolation du bâti	Bio climatisme passif ; Puits de lumière	Energies solaires passive et active			
PRODUCTION / STOCKAGE D'ENERGIES	*Chaleur / Froid / ECS*	Chaudière biomasse à bois ; Collecteurs thermiques	Collecteurs thermiques ; Chauffage aux granulés à bois ; Pompes à chaleur	Sondes géothermales	Collecteurs thermiques	Centrale thermique solaire	5 puits géothermiques ; Pompes à chaleurs aquifères ; Capteurs solaires sous vide	2 centrales : à partir de l'incinération des déchets et à partir de l'épuration des eaux	Chauffage au gaz naturel	Collecteurs thermiques ; Rafraîchissement par pompe à chaleur sur eau de nappe	Chauffage par rayonnement à partir du plancher	Systèmes de chauffages solaires indépendants	Géothermie	Echangeurs de chaleur	Réseau de chauffage à distance ; Chaudière biomasse à bois
	Electricité	Panneaux PV (rechargement VE)	8 centrales PV ; 9 éoliennes ; 1 turbine hydroélectrique	Panneaux PV ; 2 éoliennes sur site	Panneaux PV ; 3 éoliennes		Centrales PV ; Eoliennes urbaines et offshore			Centrale PV			Petites éoliennes		
	Cogénération		1 centrale à huile de colza ; 1 centrale 80% bois 20% gaz naturel		1 centrale au gaz naturel	1 centrale biomasse à bois				Micro-cogénération au gaz naturel dans chaque bâtiment		x	Station de biomasse	x	
	Gaz		Biogaz à partir des eaux noires et des déchets	Biogaz à partir des déchets			Biogaz à partir des eaux usées et des déchets	Biogaz					Biogaz à partir des eaux usées		Gaz méthane à partir des boues
	Smart Grid / Smart Bulding / Economies d'énergies			Appareils ménagers basse consommation	Appareils ménagers basse consommation		Compteurs communicants dans chaque bâtiment				Compteurs électriques individuels ; Contrôle de gestion d'énergie				
EAUX (dont ECS) / DECHETS	*Traitement eaux usées*	Living Machine	Fermentation des eaux noires ; Plantes filtrantes					x					Séparation des différentes eaux		Raccordement à la station d'épuration
	Récupération eau de pluie	Réservoirs souterrains	Citernes de récupération ; Noues		Pompes de relevage ; Citernes ; Fossés ; Trous d'infiltration Bassins de rétention Systèmes d'épandage	Systèmes de drainage	Bassins de rétention à ciel ouvert ; Rigoles pavées ; Canaux	x	Systèmes de puits		Cuves enterrées	x	Systèmes de drainage ; Bassins de rétention	x	Noues paysagères
	Stockage d'eau chaude						Provient de la géothermie et de chauffe-eau solaires								
	Valorisation des déchets		Fermentation des déchets	Fermentation des denrées alimentaires											
RESEAUX DE TRANSPORT	*Transports en commun*	Tramway ; Bus ; Chemin de fer	Tramway ; Parkings-silo		Tramway ; Métro ; Chemin de fer	Tramway ; Chemin de fer	Bus	Tramway ; Bus ; Ferry	Tramway	Tramway ; Stationnement limité			Bus ; Gare centrale	Gare centrale (tous transports)	
	Véhicules électriques (VE)	Partage de véhicules ; Bornes de recharge	Location de voitures				Partage de véhicules ; Bornes de recharge	Partage de véhicules ; Bornes de recharge					Partage de véhicules	Partage de véhicules	Quartier sans voiture ; Parking à l'entrée
	Piétons / cyclistes	x	x		x		x	x	x		x	x	x	x	

Dans les fiches et la suite de ce chapitre, l'expression "technologies" est couramment utilisée pour désigner un système technique que l'on définit comme un ensemble d'objets physiques basé sur un type de technologie et assurant usuellement les mêmes fonctions[58].

5.2. Méthodologie

Les travaux du CEA INES peuvent être regroupés en deux activités imbriquées entre elles. Cette activité du CEA s'est articulée avec la production des partenaires du premier des quatre "work packages" (WP1) du projet NEXUS.

- panorama des technologies utilisées dans les écoquartiers,
- élaboration de fiches de technologies.

Panorama des technologies utilisées dans les écoquartiers

Voici, les principales étapes. Les détails du déroulement sont décrits dans la section 5.3.

La première tâche a consisté à cerner l'utilisation des technologies fréquemment utilisées dans les Eco-quartiers tels que le réseau de chaleur, la chaufferie biomasse, la mini-centrale de cogénération, la micro-éolienne, les centrales PV... avec des stockages énergétiques éventuels et des gestions intelligentes à l'échelle des bâtiments, des îlots (Smart Grids, Smart Buildings ...).

Pour ce faire, le laboratoire Energétique du Bâtiment s'est appuyé sur le service du CEA CELISE (Cellule d'Intelligence Scientifique et Economique) afin d'identifier les technologies classiquement utilisées dans les Eco-quartiers et de classer ces technologies en s'inspirant de la grille fournie par le CEA INES

Concrètement, les tâches suivantes ont été réalisées :

- Recherche d'informations sur internet à base de mots-clés (écoquartier ; éco quartier ; smart city ; smart cities ; écoquartiers en Europe ; …).
- Récupération des informations à partir de pages web ou de documents au format pdf.
- Tri de l'information.
- Répartition de l'information par EQ, avec un premier niveau de segmentation adéquat – représentant les besoins au sein d'un EQ – par « domaine » (Bâtiments – Production / Stockage d'Energies – Eaux / Déchets – Réseaux de transport) à partir des documents fournis par le CEA INES.
- Création d'un second niveau de segmentation – représentant différentes applications propres et/ou utiles aux EQ – (Façades, toitures, chauffage, récupération des eaux de pluie…), en fonction des documents fournis par le CEA INES et de l'information disponible par EQ.
- Répartition des différentes technologies utilisées par EQ et par application.

Attention : le « x » présent dans certaines cases du tableau signifie que le système existe pour tel EQ et pour telle application, mais que la technologie en elle-même n'est pas connue.

De fait, le moissonnage des références bibliographiques sur les EQ par le CEA recoupe et complète partiellement celui réalisé par EDDEN (chapitre 2). Il a contribué au choix définitif des EQ qui seraient étudiés dans la suite du projet en comité de pilotage de l'équipe NEXUS.

Elaboration des fiches de technologies

Voici, les principales étapes Les détails du déroulement sont décrits dans la section 5.3.

Après avoir recueilli la nature des informations dont avaient besoin les partenaires de NEXUS, le CEA INES a proposé une première fiche type pour l'analyse approfondie des technologies énergétiques. Pour ajuster les rubriques de cette fiche type à la disponibilité des données, plusieurs modèles successifs ont été soumis à l'équipe du WP1 puis au comité de pilotage NEXUS : cf. § 4.

Ensuite, le choix des 8 à 10 technologies complexes observées dans les EQ retenus (cf. chapître 2) a été mené au niveau du WP1 et de NEXUS à partir de propositions du CEA. Ce choix a nécessité de discuter de du niveau de décomposition des chaînes énergétiques pour définir sommairement le périmètre des systèmes techniques devant faire l'objet de fiches de technologies.

[58] paragraphe ajouté par Gilles Debizet

Ces fiches se situent en annexe 2 du présent document.

5.3. Déroulement détaillé et difficultés rencontrées

Concernant la méthodologie de la moisson faite sur la bibliographie sur les EQs, CELISE a donné les grandes lignes de ce qui a été récupéré en 3 semaines. 14 EQs sont ressortis. Ce sont des **EQs réalisés** sur lesquels on peut avoir du retour d'expériences.

Ils sont dans les 35 listés par PACTE et EDDEN sauf la Suisse (Genève et Lausanne).

Pour chaque EQs, on a une fiche avec : bâtiments, matériaux, production et stockage, eaux et déchets et réseaux de transports (très tourné sur les Véhicules Electriques).

On a identifié ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas avec des retours d'expérience à chaque fois que possible. On a aussi des retours suite aux visites d'étudiants. Ces retours apportent des choses différentes de ce qu'on trouve dans la littérature.

Les EQs proposés par CELISE sont les suivants :

- Bedzed, Londres
- Vauban (une centrale fermée car coût d'exploitation trop élevé)
- HafenCity (Hambourg) : peu de données
- Kronsbert, Hanovre
- Ostfildern, DE
- Malmo, Suède – éolien urbain – pas mal de choses d'un point de vue énergétique
- Stockholm, Suède
- Cité Wagner, Mulhouse
- De Bonne, Grenoble
- Vesterbro, cophenhague
- Eco-vikki, Helsinki
- Eva lanxmeer, NL – beaucoup de choses sur l'eau, cogénération, éolienne canadienne. Ils vont assez loin dans le traitement des eaux (pour être autonomes) mais le système ne fonctionne pas.
- Amsterdam
- Gland (CH) proche de Genève

Lors de l'établissement de fiches et grilles d'analyse de technologies énergétiques, le CEA INES a réalisé des réunions de « brain storming » avec différents laboratoires du Département des Technologies Solaires. Ces réunions ont permis de faire ressortir des grilles d'analyse qui comportaient soit insuffisamment de rubriques pour « critériser » les technologies énergétiques, soit trop de rubriques à renseigner.

Ainsi les rubriques ont toujours comportées les différents types de technologies à analyser, qui apparaissaient soit sous forme de lignes, soit sous forme de colonnes dans un tableau. Et pour le 1er tableau, celui-ci comportait des rubriques permettant de classer ces technologies suivant des grands critères type « Production centralisée, Mutualisation, Etc. ». Ces critères étaient incomplets, et ce tableau manquait d'ergonomie pour le compléter. Pour le 2nd tableau, les critères d'analyse étaient très techniques du type « Efficacité (rendement, couverture, performance), Environnementale (Ep et gr CO^2/kWh), Etc. », avec une répétition de ces critères d'analyse par besoins de type « Chauffage, Froid, ECS, Etc. ». Deux lignes en tête du tableau permettaient de classer les technologies soit à l'échelle du bâtiment, soit à l'échelle de l'îlot/quartier.

En finalité, les grilles élaborées pour « critériser » les technologies énergétiques qui seraient choisies, paraissaient complexes à remplir avec des chiffres et des mesures. Grâce aux échanges effectués avec les partenaires du projet, il a été décidé d'établir une fiche par technologie. Une 1ère version de fiche a été proposée, avec une 2nde version apportant des petites modifications sur les critères. Un glossaire énergétique a été transmis à la demande des partenaires du projet : cf. annexe 2 jointe au présent rapport.

En final la récolte des données a amené à faire évoluer le contenu de certaines rubriques ou redéfinir/ajuster le périmètre de certaines fiches : voir le résultat en annexe 2 joint au présent rapport. Ainsi les détails qualitatifs d'une technologie sont restés généraux car très difficile à renseigner avec tous les critères initiaux (Intégration, locaux techniques, pertes de distribution, pertes de stockage,

performances (base), Etc.). CELISE a participé à la récolte des données pour une version « béta » des fiches d'analyse de technologies énergétiques.

Il faut noter que le choix des technologies à analyser a évolué au cours de l'établissement des fiches. Ainsi à travers les échanges faits lors des réunions plénières ou des groupes de travail, les technologies ci-après ont été remplacées par les suivantes :

- « Production d'électricité par pile à combustible » par « Les Réseaux de chaleur ».
- « Production de chaleur ou de froid par absorption ou par adsorption » par « Les Pompes à chaleur sur eaux usées ».

Ces remplacements se justifiaient par le fait qu'aucun des EQs sélectionnés n'utilisait ce type de technologie, et que d'autre part les technologies remplaçantes, elles, faisaient partie de certains EQs. Cette constatation provient certainement de la différence du niveau de maturité entre les technologies initialement choisies, et celles analysées. De ce fait, les technologies écartées seront analysées dans la 2ème phase du travail à mener par le CEA INES.

D'autre part, deux fiches complémentaires ont été ajoutées à la liste initiale des technologies analysées :

- « Glossaire énergétique »
- « Grandes centrales photovoltaïques »

Ces fiches ont été demandées par les partenaires du projet, d'une part pour se familiariser avec le « jargon » de l'énergétique, et d'autre part pour intégrer la 1ère énergie renouvelable, le solaire photovoltaïque aux technologies analysées.

Les partenaires du projet ont souhaité voir intégré aux fiches, des grandeurs qui soient les plus parlantes possibles. Cette demande a été plus ou moins satisfaite suivant les technologies.

5.4. Avancement et suite des travaux du CEA INES

L'objectif du CEA INES était de rendre un livrable avant le début des enquêtes effectuées dans le cadre du WP2. Cet objectif a été atteint, car 8 fiches sur 10 ont été transmises mi-juin, la 9ème début août et la 10ème et dernière fin août. La diffusion a été précédée pour chaque fiche d'une validation par un ou des experts du CEA INES dans la thématique correspondante.

Le prochain livrable de CEA INES concerne les technologies en émergence susceptibles d'être largement utilisées en 2040. Avec la présente livraison, il constituera une brique de connaissances permettant la prospective à l'horizon 2040.

6. Construction d'une typologie des écoquartiers

Auteurs : Philippe Menanteau (CNRS-EDDEN), Séverine Prost-Boucle, (étudiante de l'ENSE3, Grenoble INP, EDDEN)

Contributrice : Odile Blanchard (UPMF, EDDEN)

6.1. Essai de construction d'une typologie sur les écoquartiers

L'objectif de cette partie est d'élargir la perspective au-delà des seules frontières françaises en intégrant les projets d'écoquartiers réalisés depuis une vingtaine d'années dans différents pays européens. Sans prétendre conduire une analyse détaillée et exhaustive de l'expérience européenne en matière d'écoquartiers, ce qui dépasserait largement le cadre de cette étude, notre projet consiste à décrire les principales caractéristiques d'un échantillon limité de projets pour tenter de faire apparaître des similitudes ou des différences et éventuellement proposer un essai de typologie. Pour cela 15 écoquartiers européens ont été identifiés (dont 7 écoquartiers dans des villes françaises) parmi l'ensemble des projets décrits dans la base de données constituée pour le WP1.

La démarche retenue consiste à définir un certain nombre de critères visant à caractériser les projets d'écoquartiers, puis à quantifier ces différents critères et enfin à comparer les résultats obtenus de deux points de vue. Tout d'abord, les résultats des villes françaises ont été comparés aux résultats de l'ensemble des écoquartiers examinés. Puis dans un deuxième temps, différents critères ont été combinés pour tenter de faire apparaître d'éventuelles dépendances (ou indépendances) pouvant révéler des relations particulières, telles que l'ambition des objectifs et la taille de l'écoquartier ou le degré d'innovation et l'âge des réalisations.

Nous sommes bien entendu conscients des limites que peut présenter un tel exercice dans la mesure où l'échantillon choisi est trop limité pour permettre une réelle analyse statistique. Les résultats présentés ne prétendent donc pas établir des vérités générales ; ils présentent toutefois l'intérêt d'attirer l'attention sur des évolutions, des différences, des similitudes qui apportent un éclairage nouveau sur l'expérience française dans le domaine des écoquartiers en comparaison avec les réalisations européennes.

6.1.1. Le choix des écoquartiers étudiés

La sélection des écoquartiers a été faite de façon à conserver une certaine diversité, du point de vue de leurs caractéristiques socio-techniques (cf infra) et de la couverture spatiale qu'ils représentent. Compte tenu du nombre important de critères retenus pour qualifier les écoquartiers examinés et de la quantité d'informations nécessaires pour renseigner de façon qualitative l'ensemble de ces critères, le choix a été fait de limiter l'échantillon à un nombre restreint de cas.

La méthode utilisée pourrait bien entendu être appliquée à un échantillon plus étendu mais il faut alors être conscient que cela nécessiterait un volume d'informations et un temps d'analyse conséquents pour produire des grilles d'analyse complètes.

En se basant sur l'information disponible dans la base de données, nous avons retenu pour la présente étude, 15 écoquartiers européens, dont 7 français.[59]

[59] Une première analyse a été menée sur onze des 12 EQ retenus pour l'analyse approfondie (exception : Poblenou) puis, dans un deuxième temps, 4 nouveaux cas ont été ajoutés à partir d'une sélection d'EQ bien documentés mais qui n'avaient pas été retenus pour l'analyse détaillée.

Tableau 9: liste des écoquartiers étudiés

Noms	Villes	Pays	Abréviations
Bedzed	Londres	Angleterre	*Bedze*
Hammarby Sjostad	Stockholm	Suède	*Hamma*
Kronsberg	Hanovre	Allemagne	*Krons*
Royal Seaport	Stockholm	Suède	*Royal*
Vauban	Fribourg	Allemagne	*Vauba*
Bo01 Västra Hamnen	Malmö	Suède	*Malmo*
Scharnhauser Park	Ostfildern	Allemagne	*Schar*
Lanxmeer	Culemborg	Pays-Bas	*Lanxm*
Ginko	Bordeaux	France	*Borde*
Saint Jean-des-Jardins	Chalon	France	*Chalo*
De Bonne	Grenoble	France	*Greno*
Lyon Confluence	Lyon	France	*Lyon*
Grand Cœur	Nancy	France	*Nancy*
Plateau de la Haye	Nancy	France	*Plate*
Boule Sainte Geneviève	Nanterre	France	*Nanter*

6.1.2. Les éléments de caractérisation des écoquartiers

Les critères ont été choisis en résonnance avec la problématique liée aux nœuds socio-énergétiques des écoquartiers. On s'intéresse en effet en particulier au mode de production et d'approvisionnement de l'énergie dans l'écoquartier (famille de critères "offre d'énergie") mais pas uniquement. Il importe également d'être en mesure de préciser la nature du projet, le type de gouvernance, l'ambition des objectifs poursuivis, les options retenues, etc.

Les critères choisis décrivent les écoquartiers étudiés sur 5 thématiques principales :

Nature : les principales caractéristiques du projet (date de mise en œuvre, taille, type de projet, ie, construction neuve, réhabilitation, etc.),

Offre d'énergie : les modes d'approvisionnement en chaleur et en électricité, du point de vue des sources utilisées (fossiles vs renouvelables) et des modes de distribution (centralisé versus décentralisé),

Gouvernance : implication des collectivités publiques dans la réalisation du projet et participation des résidents,

Objectifs : degré d'ambition et nature des objectifs poursuivis au sein de l'écoquartier

Options techniques : éléments complémentaires à la thématique offre d'énergie visant à apprécier le caractère innovant ou pas des options techniques retenues et à faire apparaître des stratégies particulières (maîtrise de la demande d'énergie (MDE), bioclimatique, par exemple)

Au total 24 critères ont été retenus pour décrire ces 5 catégories.

Tableau 10: les familles de critères

	Critères	Définitions
Caractéristiques		
1	Date début	Cette catégorie représente la carte d'identité de l'écoquartier (date, taille, densité, nombre de niveaux, nature). Elle permet de représenter l'écoquartier autrement que par une approche socio-énergétique et de justifier certains aspects socio-énergétiques de l'écoquartier.
2	Taille	
3	Densité	
4	Niveaux	
5	Nature	
Offre d'énergie		
6	Chaleur : décentralisé	Il s'agit dans cette partie d'analyser la provenance des apports énergétiques (chaleur et électricité) de l'écoquartier. Il convient également de qualifier la nature de l'énergie (renouvelable ou fossile).
7	Chaleur : autonomie (production)	
8	Chaleur: autonomie (source)	
9	Chaleur : EnR	
10	Electricité : décentralisé	
11	Electricité : autonomie (production)	
12	Electricité : autonomie (source)	
13	Electricité : EnR	
Gouvernance		
14	Implication collectivité locale	On s'intéresse aux aspects sociaux et politiques qui ont permis la construction de l'écoquartier, en déterminant les différents acteurs (privés, publics, citoyens) mis en jeu dans la conception de l'écoquartier, ainsi que leurs relations.
15	Participation résidents conception	
16	Qualité gouvernance	
Objectifs		
17	Objectifs CO2/EnR	On évalue par là le degré d'ambition des objectifs (émission de gaz à effet de serre et consommation d'énergie) ainsi que la présence d'un suivi de l'écoquartier pour garantir une bonne conformité entre objectifs et résultats.
18	Objectifs énergie	
19	Evaluation	
Options techniques		
20	Bioclimatisme	Cette catégorie réunit les principaux outils ainsi que leur nature qui permettent la mise en œuvre et le fonctionnement de l'écoquartier. On peut voir se dégager les axes privilégiés suivant lesquels un écoquartier a été conçu.
21	Innovation	
22	Standardisation	
23	Comportements	
24	Maîtrise de la demande d'électricité	

6.1.3. Les critères retenus : définitions / échelle de quantification

La démarche retenue vise à positionner chaque critère sur une échelle de notation allant de 1 à 5 de façon à autoriser ensuite les comparaisons entre expériences et tenter de faire apparaître des différences ou des similitudes. Pour cela chaque critère doit pouvoir être estimé précisément et doit donc être définit de manière très précise afin de lever toute ambigüité sur sa signification.

Caractéristiques générales

Cette catégorie vise à préciser les caractéristiques générales des projets d'écoquartier. Pour les critères « date », « taille », « densité » et « niveaux », les cas étudiés ont été positionnés sur un axe puis les valeurs ont été normées de façon à obtenir un classement de 1 à 5. En revanche, pour le critère « nature » on a utilisé une échelle de quantification absolue.

Tableau 11: les caractéristiques générales

Critères	Définitions	Quantifications
Date début	Date à laquelle les travaux sur l'EQ ont commencé (réalisation, aménagement)	Echelle 1 (ancien) à 5 (récent)
Taille	Caractérisation de la taille du projet : superficie totale	Echelle 1 (petite taille) à 5 (grande taille)
Densité	Nombre d'habitants par hectare	Echelle 1 (faible densité) à 5 (forte densité)
Niveaux	Nombre d'étages des constructions. Caractérise la hauteur des bâtiments	Echelle 1 (constructions basses) à 5 (constructions élevées)
Nature	Opération sur quartier existant avec réhabilitation ou construction neuve (après destruction éventuellement)	Echelle 1 (quartier existant réhabilité, rénové) 2 (plus de rénovation que de neuf) 3 (moitié neuf - moitié ancien) 4 (plus de neuf que d'ancien) 4,5 (ancien quartier démoli) à 5 (nouveau quartier)

Date : l'ensemble des écoquartiers étudiés se situe sur une période étendue qui va du début des années 1990 à l'année 2010. La date retenue correspond à l'année de démarrage des travaux. Le plus ancien écoquartier est Hammarby (1994) et les plus récents sont Royal Seaport et Nancy Grand Cœur (2010)

Taille : le critère de taille est évidemment important pour situer l'ambition d'un projet (il est a priori plus aisé de conduire un projet très innovant s'il est limité à quelques bâtiments que lorsqu'il concerne une zone urbaine très étendue). Il doit toutefois être pondéré par le critère « densité » car la présence d'espaces publics (parcs, espaces verts) par exemple peut classer un écoquartier parmi les grands sans pour autant qu'il soit très urbanisé. Le plus petit écoquartier étudié est Bedzed (1,7 ha) et le plus grand est Nancy Plateau de La Haye (440 ha)

Densité : la densité désigne ici le nombre d'habitants par hectare. Il ne s'applique donc qu'aux logements et ne prend pas en compte l'activité tertiaire. Cet indicateur permet néanmoins d'estimer la contrainte d'occupation des sols à laquelle était soumis le projet d'aménagement. L'écoquartier le moins dense est Lanxmeer (33 hab/ha) et le plus dense est Nanterre (300 hab/ha)

Niveaux : ce critère apporte des éléments complémentaires aux informations sur la « taille » et la « densité » : il donne une information sur le nombre moyen d'étages que comprennent les batiments construits sur l'écoquartier. On peut ainsi estimer si l'écoquartier est composé de constructions élevées mais recouvrant faiblement le territoire (immeubles isolés) ou au contraire, d'une architecture constituée de bâtiments de faible hauteur. Le calcul du nombre de niveaux est effectué en divisant le CUS (surface totale habitable / surface parcelle) par le COS (surface bâtie / surface parcelle) ou bien en ajoutant 1 au nombre d'étages. L'écoquartier Bedzed a le nombre de niveaux le plus faible (2,3 niveaux) tandis que l'écoquartier de Lyon est le plus haut (9 niveaux)

Nature : il s'agit ici de caractériser le type de constructions réalisées dans l'écoquartier : construction neuve ou réhabilitation de l'existant. Lorsque l'information est disponible, le résultat tient compte de la proportion de logements neufs ou rénovés (la réponse n'est pas binaire). Les écoquartiers Nancy Plateau de La Haye et Vauban possèdent plus de bâtis rénovés que de constructions neuves. A l'inverse, Bedzed, Bordeaux, Châlon et Lanxmeer sont des quartiers nouveaux qui n'existaient pas auparavant. On notera qu'aucun des écoquartiers étudiés n'est uniquement constitué de constructions existantes rénovées.

L'approvisionnement énergétique

Dans cette catégorie, les critères retenus caractérisent les systèmes énergétiques des écoquartiers examinés du point de vue de la production et de la distribution d'énergie (électricité et chaleur). Les systèmes de distribution d'énergie sont positionnés sur un axe centralisé versus décentralisé, et de même la production d'énergie est appréciée selon son degré d'autonomie (système propre à l'EQ ou autonome). Enfin les sources d'énergie sont classées selon qu'elles sont d'origine renouvelable ou fossile.

Pour tous les critères de cette catégorie, l'échelle est absolue. L'explicitation des notes attribuées à chaque configuration est donnée dans le tableau suivant ("quantification"). Lorsque plusieurs systèmes coexistent (pour l'approvisionnement en électricité par exemple) chaque système est

positionné sur l'échelle (centralisé versus décentralisé) puis on opère une pondération qui tient compte des quantités d'énergie distribuée par chaque système.

Tableau 12: L'offre d'énergie

Critères	Définitions	Quantifications
Chaleur : décentralisé	Type d'option technique mise en œuvre pour l'approvisionnement énergétique (chaleur) : production centralisée de chaleur (chaufferie ou incinération de déchets) ou semi-centralisée (chaufferie locale) ou décentralisée (chaudières ou cogénération par îlots) ou distribuée (dispositifs individuels ou en pied d'immeuble)	Echelle 1 (chauffage urbain) 2 (chaufferie centralisée EQ) 3 (chaufferie par îlot) 4 (chaudières en pied d'immeuble) 5 (chaudières individuelles)
Chaleur : autonomie (production)	Type d'option technique pour l'approvisionnement énergétique (chaleur) : à qui appartient le moyen de production (système intégré au réseau existant ou propre à l'EQ)?	Echelle 1 (0% production EQ) 2 (25% production EQ) 3 (50% production EQ) 4 (75% production EQ) 5 (100% production EQ)
Chaleur: autonomie (source)	Type d'option technique pour l'approvisionnement énergétique (chaleur) : d'où vient la source de chaleur?	Echelle 1 (0% source EQ) 2 (25% source EQ) 3 (50% source EQ) 4 (75% source EQ) 5 (100% source EQ)
Chaleur : EnR	Nature des sources utilisées pour la production de chaleur (chauffage + ECS) (fossiles ou renouvelables)	Echelle 1 (0 % EnR) 2 (25% EnR) 3 (50% EnR) 4 (75% EnR) à 5 (100 % EnR)
Electricité : décentralisé	Type d'option technique mise en œuvre pour la production d'électricité : production centralisée (raccordement au réseau) ou décentralisée (cogénération par îlots) ou distribuée (PV individuel, petite cogénération)	Echelle 1 (réseau électrique) 2 (production par l'EQ) 3 (production par îlot) 4 (production en pied d'immeuble) 5 (production individuelle)
Electricité : autonomie (production)	Type d'option technique pour l'approvisionnement énergétique (électricité) : système raccordé au réseau existant ou propre à l'EQ	Echelle 1 (0% production EQ) 2 (25% production EQ) 3 (50% production EQ) 4 (75% production EQ) 5 (100% production EQ)
Electricité : autonomie (source)	Type d'option technique pour l'approvisionnement énergétique (électricité) : à qui appartient la source d'alimentation en électricité ?	Echelle 1 (0% source EQ) 2 (25% source EQ) 3 (50% source EQ) 4 (75% source EQ) 5 (100% source EQ)
Electricité : EnR	Nature des sources utilisées pour la production d'électricité (fossiles ou renouvelables).	Echelle 1 (0 % EnR) 2 (25% EnR) 3 (50% EnR) 4 (75% EnR) à 5 (100 % EnR)

Comme indiqué au tableau 4, les notes sont croissantes à mesure que le degré de décentralisation du système énergétique augmente. Ainsi, si le dispositif de chauffage des bâtiments s'appuie sur le réseau de chaleur de la ville, il est plutôt centralisé alors qu'il est considéré comme décentralisé si la chaleur est produite par des chaufferies gaz en pied d'immeuble. De même pour l'électricité, l'approvisionnement par le réseau électrique correspond à une situation centralisée et la production locale (type PV) à une situation décentralisée.

Ces définitions de décentralisation et d'autonomie (chaleur ou électricité) peuvent être élargies : on accorde une note plus élevée que pour un système centralisé "pur" lorsque le dispositif de production de chaleur ou d'électricité a été conçu spécifiquement pour l'EQ même s'il est situé hors du périmètre de l'EQ. Ainsi, la note est augmentée lorsqu'il existe un dispositif décentralisé qui complète le système d'approvisionnement en chaleur et on considère qu'une éolienne construite proche de l'écoquartier et qui l'alimente en priorité agit en faveur de l'autonomie de l'écoquartier (idem s'il existe un système de stockage ou de vente de chaleur produite).

A titre d'exemple voici comment ont été construites les notes concernant l'écoquartier De Bonne à Grenoble. Plusieurs éléments ont été pris en compte ; notamment les bâtiments existant représentent la moitié de la surface de l'EQ, ils sont alimentés en chaleur par le réseau de la ville (50% de biomasse et 50% d'énergie fossile) et en électricité par le réseau. Pour les bâtiments neufs, les besoins en chaleur sont couverts par la cogénération et le réseau de chauffage urbain (50/50) et les besoins d'eau chaude sanitaire par les capteurs solaires et le réseau (50/50). La cogénération au gaz naturel en pied d'immeuble couvre elle 100% des besoins en électricité des bâtis neufs.

Sur cette base, les notes ont été calculées de la façon suivante:

<u>Chaleur : décentralisée :</u>

½ *1 (ville)+½ *(2/3*(½*4 (immeuble)+½*1(ville))+1/3*(½*4(solaire)+½*1(ville)))=2,5

<u>Chaleur : autonomie (production) :</u>

½*0(ville)+½ *(2/3*(½(immeuble)+½*0(ville))+1/3*(½(solaire)+½*0(ville)))=3

<u>Chaleur : EnR :</u>

Le solaire représente 1/12 de la chaleur et le bois ½*½=1/4 -> note : 1/12+1/4=2,5

Electricité : décentralisée :

½ *1 (ville)+½ *4 (immeuble) + 0,5(PV)=3

La gouvernance

Après différentes tentatives, nous n'avons finalement retenu dans cette catégorie que trois critères liés à l'implication des acteurs (acteurs publics et futurs résidents) dans le processus d'élaboration du projet et au retour d'expérience sur ce processus. Les critères plus pointus ont été abandonnés en raison des difficultés d'accès à l'information.

Pour tous les critères de cette catégorie, l'appréciation des critères s'effectue en comparant les écoquartiers les uns par rapport aux autres.

Tableau 13: les critères de gouvernance

Critères	Définitions	Quantifications
Implication collectivité locale	Place de la collectivité locale parmi les acteurs majeurs du projet	Echelle 1 (faible implication de la collectivité) à 5 (très forte implication de la collectivité)
Participation résidents conception	Qualification du processus de décision pour la conception de l'EQ : processus descendant (la ville ou un acteur lié à la ville décide) ou ascendant (les futurs habitants sont étroitement associés au processus de décision)	Echelle 1 (décision entièrement prise en charge par la municipalité) 3 (concertation organisée) à 5 (très forte implication des habitants)
Qualité gouvernance	Qualification du processus de gouvernance : concertation, coordination, harmonie entre acteurs versus non-concertation, conflits, …	Echelle 1 (désaccords - conflits) 3 (neutre) à 5 (coordination - harmonie- structure mise en place)

On observera que les critères liés à la gouvernance sont assez subjectifs. La qualité de la gouvernance et de l'implication de la collectivité locale sont parfois difficiles à apprécier. La qualité de la gouvernance notamment reste un critère flou qui peut, comme on le verra dans les conclusions, être fortement influencé par l'origine et la nature des sources bibliographiques utilisées.

Implication de la collectivité locale : ce critère estime le degré d'implication de la collectivité locale dans le processus d'élaboration de l'écoquartier. Dans certains cas, celle-ci est faible comme à Bedzed par exemple où le projet a été en grande partie porté par Bill Dunster Architects, Peabody trust et l'ONG environnementaliste BioRegional Development Group. En revanche, à Lyon, la collectivité locale est très présente au travers de la SEM Lyon Confluence présidée par le maire de Lyon, qui est également président du Grand Lyon, et assume de ce fait les rôles de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage.

Participation des résidents dans la conception : ce critère évalue la participation active des résidents à l'élaboration du projet. A Hammarby par exemple, le projet d'écoquartier est porté par le pouvoir politique sans que les futurs résidents ne participent à la conception alors qu'à Vauban, le Forum Vauban, créé par les citoyens, a participé à l'élaboration du quartier tout au long de la création du quartier.

Qualité de la gouvernance : par ce critère on tente d'estimer au travers des informations rapportées dans la littérature le degré d'harmonie entre les acteurs à l'origine de l'écoquartier. A Hammarby, par exemple, les documents consultés font état de nombreux conflits apparus au cours de la construction de l'écoquartier avec pour conséquence la modification de certaines règles ou cahiers des charges en cours de route. A Grenoble et Lyon, en revanche, les informations disponibles indiquent une gouvernance exemplaire s'appuyant sur une étroite collaboration et beaucoup de concertation entre les membres du projet.

Objectifs

On s'intéresse dans cette catégorie à l'ambition des objectifs poursuivis en termes de réduction des émissions de CO2 et d'efficacité énergétique, ainsi qu'à l'existence ou non de dispositifs d'évaluation.

On distingue deux catégories d'objectifs pour tenir compte de stratégies différenciées visant plutôt la préservation du climat ou l'efficacité énergétique. Le critère CO2 ne désigne pas uniquement les objectifs de réduction des émissions de GES mais également la valorisation des sources d'énergie

renouvelable et de façon plus large la transformation du mix énergétique dans le but de limiter les émissions. Le critère énergie désigne lui exclusivement les objectifs visant à réduire les consommations d'énergie.

Pour tous les critères de cette catégorie, l'appréciation des critères se fait en comparaison des écoquartiers entre eux.

Tableau 14: les critères relatifs aux objectifs poursuivis

Critères	Définitions	Quantifications
Objectifs CO2/EnR	Existence et ambition des objectifs climatiques (réduction des émissions de CO2 par rapport à une référence année 0 et investissement dans les EnR), au regard des normes existantes et des réductions des GES fixées	Echelle 1 (absence d'objectifs) à 5 (objectifs très ambitieux de réduction d'émissions et développement EnR)
Objectifs énergie	Degré d'ambition des objectifs énergétiques retenus.	Echelle 1 (faible niveau de performance) à 5 (performance énergétique très élevée)
Evaluation	Procédure de suivi et d'évaluation destinée à vérifier que les objectifs sont atteints.	Echelle 1 (absence de suivi après livraison) 3 (évaluation ex post mais pas de suivi régulier)à 5 (calendrier pour suivi des performances)

Le niveau d'ambition des objectifs (en matière de réduction des émissions de GES notamment) peut varier selon l'époque à laquelle les écoquartiers ont été réalisés. Dans l'appréciation des objectifs, il a donc été tenu compte de l'époque de réalisation. On trouvera dans les tableaux à suivre les principaux éléments utilisés pour évaluer les objectifs. De façon générale, on a considéré que l'absence d'information sur les objectifs poursuivis pouvait être interprétée comme une absence d'objectifs spécifiques. On observera que les écoquartiers les plus anciens ne fixaient pas systématiquement d'objectifs relatifs aux émissions de GES alors que c'est le cas pour les plus récents.

- Objectifs CO2/EnR :

Tableau 15: éléments d'information pour l'appréciation du critère "objectifs CO2"

EQ	Note	Commentaire
Bedze	5	zéro carbone (EnR); CHP: éviter 326 tonnes CO2 à production électrique nationale
Hamma	5	100 % besoins énergétiq par EnR; émission max CO2 de 10g/MJ pr chauffage
Krons	5	réduire émissions CO2 de 60-80% par rapport aux normes actuelles
Royal	5	pas d'énergie fossile (2030) / réduire émissions CO2 de 67% par rapport à la moyenne ville; produire 30% élec localement; Ecolabelled elec; ; demande-réponse flexible basée sur prix et CO2
Vauba	1	ville: réduire émissions CO2 de 25% d'ici 2010
Malmo	3	ville: réduire émissions CO2 de 25% d'ici 2005; 100% EnR locales, 60% EnR d'ici 2010
Schar	3	< 200 t/an (par unité de cogen (3 unités au total))
Lanxm	4	systèmes d'EnR – tendant vers équilibre zéro dans conso ménages: production EnR + minimisation conso énergies provenant de sources fossiles; production d'énergie à partir déchets et eaux usées
Borde	3	éviter rejet CO2 de 3 500 t/an (=consommation annuelle de 2 300 véhicules), 100 % besoins énergétiq par EnR, diviser par 4 émissions CO2
Chalo	3	bois -> -95% EGES
Greno	1	éviter rejet CO2 de 316 t/an; 100% besoins élec par cogén ; 50% besoins ECS par énergie solaire thermiq
Lyon	3	pas d'EGES supplémentaires entre lancement opérations ZAC 1 (2005) et fin construction quartier; EnR: logts: 80% chauffage et ECS, 50% élec parties communes; bureaux: 80% chauffage, 30% élec pr clim
Nancy	4	zéro carbone; assurer prod significative d'EnR sur site
Plate	3	réduction EGES ambitieux et encadrés (Bilan carbone, Agenda 21….) dans Plan Climat Énergie Territorial du Grand Nancy (chaufferie bois-gaz, logements labellisés Bâtiment Basse Consommation (BBC), Tour des Energies, etc.)
Nanter	3	éviter émission CO2 de 13 500 t.

- Objectifs énergie :

Tableau 16: éléments d'information pour l'appréciation du critère "objectifs énergie"

EQ	Note	Commentaire
Bedze	5	réduire demande chauffage de 90%, ECS et élec de 33%
Hamma	3	consommation divisée par 2: 60kWh/m²/an (100kWh/m²/an Stockholm 2005); prod et conso locales; conso chaleur: 40kWh/m²/an; conso élec: 20kWh/m²/an; 2015: conso: 50 kWh/m²/an dt 15 kWh/m²/an pr élec
Krons	5	chauffage : 55kWh/m²/an (norme Kronsberg=50); préoccupation centrale concernant l'eff énq
Royal	3	55 kWh/m²/an; maisons passives vers maisons à En+; adapter sa conso; réduire les pics de conso; Energy Quality Hierarchy (use high energy quality only for needs that require high energy quality)
Vauba	4	conso énq: 65 kWh/m²/an (-30 % sur normes actuelles, moy All 2006: 170kWh/m²/an); maison passives: 15 kWh/m²/an; maisons positives; ttes nouvelles construction: BBC au moins
Malmo	3	charte de qualité: conso énq: 105 KWh/m²/an ie -50% par rapport ville; autosuffisance énq
Schar	3	basse conso énq; bâti Polycity: 56 kWh/m²/an, autres: -25% par rapport à norme nat (basée sur une plus ancienne législation)
Lanxm	2	systèmes d'EnR – tendant vers équilibre zéro dans conso ménages: production d'énergie renouvelables + minimisation de la consommation d'énergies provenant de sources fossiles; production d'énergie à partir des déchets et des eaux usées ; logements indépendants sur le plan énergétique, au point de ne pas être connectés au réseau
Borde	1	HQE; 70% logts 1ère tranche BBC (45 kW/h/m²shon/an d'én prim)
Chalo	1	cahier charges HQE
Greno	3	cahier charges HQE, programme européen Concerto (conception bioclimatiq, eff Enq) pr îlots A, B et G; chauffage: 50kWh/m²/an; ECS: 20kWh/m²/an; élec: 15kWh/m²/an; logts: réduction de consommation de 40%; bureau En+, commerce: pas de clim
Lyon	3	phase 2: En+ (2020); Ste blandine: 50 kWh/m²/an (2020) ie conso énq/4; ZAC 1 (Concerto): logts : chauff: 60kWh/m²/an (moy nat: 110kWh/m²/an ie -50 %), ECS : 25kWh/m²/an (moy nat: 40kWh/m²/an ie -37 %), élec: 25kWh/m²/an (moy nat: 50kWh/m²/an ie -50 %); bureaux: chauff: 40kWh/m²/an, ECS: 5kWh/m²/an, autres usages élec: 35kWh/m²/an, clim: 10kWh/m²/an; bâti pssif (E4): conso énq /4;
Nancy	1	BBC; plan masse bioclimatique
Plate	1	Plan Climat Énergie Territorial du Grand Nancy: BBC, etc.
Nanter		

Evaluation : ce critère vise à compléter les deux critères précédents concernant l'ambition des objectifs poursuivis en qualifiant la nature du processus d'évaluation : existence ou non d'un dispositif d'évaluation ex-post, pérennité du processus, etc. A Bordeaux, par exemple, le suivi des émissions de carbone s'effectue sur 2 ans seulement et il n'y a pas de programme mis en place pour veiller à ce que les résultats soient conformes aux objectifs. A Malmö, aucun dispositif spécifique n'a été mis au point afin de contrôler les performances énergétiques des logements. Par ailleurs, à Scharnhauser Park et Royal Seaport, un système de suivi des consommations via internet est mis en place.

Options techniques

Cette famille de critères a pour objet de préciser la nature des options technologiques mobilisées dans l'écoquartier. On s'intéresse ici à des approches innovantes ou emblématiques (utilisation des principes bioclimatiques, programmes spécifiques de maîtrise des consommations d'électricité, etc.). Par ailleurs, on tente d'apprécier la volonté d'expérimentation (recours à des technologies très innovantes) des concepteurs ainsi que la diversité des technologies utilisées. Enfin, on apprécie également la place laissée aux comportements dans la réalisation des objectifs d'efficacité énergétique. Pour tous les critères de cette catégorie, l'échelle est absolue.

Tableau 17: les critères sur la technologie

Critères	Définitions	Quantifications
Bioclimatisme	La conception architecturale de l'EQ intègre-t-elle la dimension énergétique ? Exemple, prise en compte de la forme urbaine pour apports bio climatiques (positionnement, ombrages, végétation, …)	Echelle 1 (approche bâtiment) à 5 (approche globale)
Innovation	Les solutions techniques retenues s'appuient-elles sur des options éprouvées ou innovantes ? Quelle est la prise de risque réelle sur les technologies mises en œuvre ? Le caractère innovant est à estimer par rapport à un critère de diffusion de la techno au moment de la construction de l'EQ	Echelle 1 (le cœur de l'approvisionnement énergétique s'appuie sur des technologies éprouvées) à 5 (technologies très innovantes)
Standardisation	Recherche d'une solution efficace généralisée à l'ensemble des bâtiments ou vitrine technologique avec diversité importante (y compris effet de vitrine ou opérations de démonstration)	Echelle 1 (forte diversité de technologies) à 5 (faible diversité - solution technique généralisée)
Comportements	Il s'agit ici de qualifier le projet selon qu'il prend ou non en compte la variable comportementale : information, campagnes de sensibilisation, incitations au changement des comportements des habitants	Echelle 1 (l'efficacité énergétique résulte uniquement de technologies performantes) à 5 (les comportements des résidents sont aussi considérés comme une variable déterminante)
Maîtrise de la demande d'électricité	Existence d'actions spécifiques pour la maitrise des consommations d'électricité : compteurs électriques - signal tarifaire - actions de MDE (incitation d'achats)	Echelle 1 (pas d'action sur la maîtrise des consommations d'électricité) 3 (actions d'incitation sur équipements performants) à 5 (information des consommateurs par compteurs - signal tarifaire)

Bioclimatisme : cette démarche qui vise à maximiser les apports naturels (apports solaires, protections contre les vents dominants, etc.) peut être mobilisée à l'échelle du bâtiment mais également de manière plus globale au niveau de l'écoquartier. La note attribuée à ce critère en tient compte. Ainsi, à Kronsberg, la plupart des bâtiments suivent les courbes de niveaux du site sur lequel est implanté l'écoquartier, ce qui permet de tirer le meilleur parti de la lumière naturelle en début et en fin de journée. A Lyon, des îlots ouverts et des percées privilégiées dans l'axe nord/sud permettent une ventilation dans cet axe en cas de vent. En revanche, à Nancy Plateau de La Haye, le bioclimatisme reste une notion lointaine, même à l'échelle du bâti.

Innovation : comme pour les objectifs en matière de réduction des émissions, le caractère innovant ou non d'une technologie dépend de l'époque à laquelle l'écoquartier a été construit. Ainsi, une petite cogénération en pied d'immeuble était innovante au début des années 90 mais l'est moins au milieu des années 2000. On doit toutefois également tenir compte du contexte national, certaines technologies étant à une même époque, largement diffusées dans certains pays ou encore émergentes dans d'autres.

Tableau 18: éléments d'appréciation du critère "innovation"

EQ	Note	Commentaire
Bedze	4	Contrainte de viabilité économique, ce qui est difficile pour une CHP de petite taille ; coûts d'innovation incompressibles ; pas d'effets d'apprentissage dans la construction du projet; hors CHP, structure simple privilégiée basée sur technologies déjà connues ; coupler techniques du 20e siècle moins coûteuses en énergie fossile
Hamma	5	forts investissements dans les nouvelles technologies; maximisation de la durée vie des matériaux (modèle 50 ans); expérimentation sur les technologies ; difficilement reproductible dans une autre ville; 1ère expérimentation in situ en Suède sur pile à combustible alimentée par H2.
Krons	4	réservoir servant à stocker chaleur: béton haute performance anti-dispersion: substance récemment mise au point (additifs plastiques spéciaux);
Royal	5	Smart grid: plus que de la technologie; solutions de nouvelles technologies; nouveaux business models; nouvelles règles de marché; nouveaux comportements et rôles des consommateurs; SRS Innovation Center; Innovation Arena
Vauba	4	(innovant par rapport à l'époque)
Malmo	4	médiatisé: nbre important d'innovations couvrant la totalité du spectre actuel d'expérimentations des principes de développement durable en milieu urbain
Schar	3	première centrale de ce type en Europe: machine réfrigérante lithium-bromide; système moderne de connection à la CHP
Lanxm	1	semi-autonome; systèmes d'énergies renouvelables – tendant vers un équilibre zéro dans la consommation des ménages: production d'énergie renouvelables + minimisation de la consommation d'énergies provenant de sources fossiles; production d'énergie à partir des déchets et des eaux usées ; logements indépendants sur le plan énergétique, au point de ne pas être connectés au réseau
Borde	3	réseau unique en France; seul écoquartier en France à fonctionner grâce à chaufferie centrale «100% EnR»; outil intelligent: Gestion Technique Centralisée
Chalo	1	
Greno	3	1er bâtis passifs à Gre; système rustique de rafraichissement
Lyon	3	innovation techno pour îlot P; pompes chal couplées à extraction nat de l'air; pompes chal réversibles ; expérimentation smart grid
Nancy	1	
Plate	1	
Nanter	3	réseau de chaleur innovant développé pour la 1ère fois en France sur un nouveau quartier

Standardisation : ce critère qualifie la stratégie d'innovation poursuivie sur l'écoquartier selon que les concepteurs adoptent une démarche d'expérimentation avec une diversité technologique importante ou au contraire cherchent à standardiser les technologies utilisées pour une plus grande efficacité. A Vauban, par exemple, le système énergétique est très diversifié : maison passives, maisons positives, cogénération, solaire et PV. Nous sommes loin d'un quartier plus uniforme comme Bedzed, entièrement alimenté par une chaudière au gaz naturel.

Comportements : avec ce critère on traduit l'importance relative accordée à la transformation des comportements (par rapport aux seules technologies) dans la réalisation des objectifs de performance énergétiques. Ainsi à Hammarby, 20% des objectifs environnementaux devraient être atteints grâce au choix de mode de vie des résidents. Cet objectif doit être réalisé grâce à des campagnes de sensibilisation ou des périodes de formation.

Maîtrise de la demande d'électricité : place des actions destinées à réduire les consommations d'électricité spécifiques (éclairage, électroménager, etc.) et plus généralement intérêt accordé aux consommations d'électricité par rapport aux consommations d'énergie de chauffage. Royal Seaport est intéressant de ce point de vue : du matériel spécifique est mis en place pour suivre en temps réel la consommation électrique des résidents et des signaux tarifaires sont envoyés pour inciter les résidents à moduler leur consommation.

6.1.4. La quantification

Nous ne reviendrons pas en détail sur les éléments utilisés pour positionner les écoquartiers sur les différents critères. Comme indiqué ci-dessus, la démarche adoptée a consisté de façon générale à collecter et organiser l'information relative à un critère spécifique puis à positionner chaque écoquartier en relation les uns avec les autres sur une échelle de 1 à 5.

Certains critères ont toutefois nécessité une approche différente en raison de la multiplicité des éléments à prendre en compte. C'est le cas notamment pour la famille de critères relatifs à l'offre d'énergie. A titre d'illustration on rappelle donc ci après (Tableau 19) les principaux éléments chiffrés retenus pour chaque écoquartier. Ces éléments ont ensuite été pondérés comme détaillé dans le cas de Grenoble pour obtenir la note finale traduisant le degré plus ou moins grand d'autonomie ou d'utilisation des sources d'énergie renouvelable.

Tableau 19: les éléments quantitatifs pour qualifier les systèmes énergétiques

EQ	Chaleur	Electricité
Bedze	Chaudière de l'EQ : gaz naturel	20% de PV
Hamma	- 50% : centrale de cogen de la ville : incinération de déchets	Centrale de cogen de la ville : incinération de déchets
	- 50% : pompe à chaleur de l'EQ	
Krons	- 2/3 de l'EQ : 2 centrales de cogen de l'EQ au GN	- 2/3 de la production : cogen au GN
	- 1/3 de l'EQ : cogen individuelle au GN	- 1/3 de la production : éolienne pour le quartier
Royal	Centrale de cogen de l'EQ : bio fioul (déchets de l'EQ)	- 70% : centrale de cogen de l'EQ : bio fioul (déchets de l'EQ)
		- 30% : PV sur immeuble
Vauba	Centrale de cogen de l'EQ : 80% bois + 20% GN	- 65% : centrale de cogen de l'EQ : 80% bois + 20% GN
	+ un peu de solaire	- 35% : appoint de la ville : GN
		+ un peu de PV
Malmo	- 85% : centrale construite pour l'EQ : biogaz (déchets de l'EQ) + géothermie (eaux usées de l'EQ)	Presque totalité : 2 éoliennes
	- 15% solaire	
Schar	Centrale de cogen de l'EQ : 80% bois + 20% GN	- 50% : centrale de cogen de l'EQ : 80% bois + 20% GN
		- 40% : PV
		- 10% : réseau
Lanxm	Centrale de cogen de l'EQ : déchets + eaux usées	Centrale de cogen de l'EQ : déchets + eaux usées
		+ éolienne + PV
Borde	Chaudière construite pour l'EQ : bois	Un peu de PV
Chalo	Chaudière de la ville, réseau urbain : bois	réseau
Greno	- Bâti ancien = ½ de l'EQ :	- Bâti ancien = ½ de l'EQ :
	-> réseau de la ville : ½ biomasse + ½ fossile	-> réseau + un peu de PV
	- Bâti neuf = ½ de l'EQ :	- Bâti neuf = ½ de l'EQ :
	• Chauffage = 2/3 de la chaleur	-> cogen GN en pied d'immeuble
	-> ½ cogen GN en pied d'immeuble	+ un peu de PV
	+ ½ réseau de la ville	
	• ECS = 1/3 de la chaleur	
	-> ½ solaire + ½ réseau de la ville	
Lyon	- 2/3 de l'EQ : centrale de cogen par îlot : 80% bois + 20% GN	Réseau
	- 1/3 de l'EQ (quartier Ste Blandine) : réseau de la ville : GN	+ un peu de PV
	+ un peu de solaire	
Nancy	Centrale de l'EQ « Plate » : 60% biomasse	Eolienne de l'EQ
Plate	Centrale de l'EQ : 60% biomasse	réseau
Nanter	- 39% : géothermie en amont de l'EQ	Un peu de PV
	- 14% : géothermie sur nappe	
	- 47% : appoint GN	

6.2. Résultats

L'ensemble des critères a été renseigné pour les 15 écoquartiers retenus. Les résultats sont d'abord présentés de façon exhaustive dans un tableau puis sous forme de graphiques de façon à faire ressortir d'éventuelles différences ou similitudes.

6.2.1. Application des critères aux EQ étudiés

Le tableau ci après rassemble tous les résultats obtenus pour les différentes familles de critères, pour les écoquartiers européens d'abord puis pour les écoquartiers français. Les deux dernières colonnes établissent la moyenne des écoquartiers européens (excluant les EQ français) puis la moyenne française pour chaque critère.

Tableau 20: résultats pour l'ensemble des critères

		Bedze	Hamma	Krons	Royal	Vauba	Malmo	Schar	Lanxm	Borde	Chalo	Greno	Lyon	Nancy	Plate	Nanter	MOY. Eur	MOY. Fra
Caractéristiques																		
1	Date début	2,8	1	1,5	5	1,8	2,8	1,5	2	5	3,5	4	3,3	5	4,3	4,5	2,3	4,2
2	Taille	1	2,8	1,6	3,1	1,3	1,2	2,3	1,2	1,3	1	1,1	2,4	1,1	5	1	1,8	1,8
3	Densité	2,8	2,5	3,7	2,5	2,7	2,4	2,8	1	3,4	2,1	4,3	2,2	3,1	1,1	5	2,6	3,0
4	Niveaux	1	3,2	1,1	3,8	2	2	2,6	1,4	3,2	1,7	3,2	5	1,6	3,8	2,6	2,1	3,0
5	Nature	5	4,5	4	4	2	4	4	5	5	5	4	4	3	2	4	4,1	3,9
Offre d'énergie																		
6	Chaleur : décentralisé	2	1,5	3	2	2,5	2,5	2	2,5	2	1	2,5	3	1	2	2	2,3	1,9
7	Chaleur : autonomie (production)	5	3	5	5	5	5	5	5	5	1	3	5	1	5	5	4,8	3,6
8	Chaleur: autonomie (source)	1	3	1,5	5	1	5	1	5	1	1	1,5	1,5	1	1	3	2,8	1,4
9	Chaleur : EnR	1	5	1,5	5	4,5	5	4,5	5	5	5	2,5	4,5	3,5	3,5	3	3,9	3,9
10	Electricité : décentralisé	1,5	1	2	2,5	2,5	1	2,5	2,5	1,5	1	3	1,5	1,5	1	1,5	1,9	1,6
11	Electricité : autonomie	1,5	1	5	5	3,5	1	4,5	5	1,5	1	3	1,5	1,5	1	1,5	3,3	1,6
12	Electricité : autonomie (source)	1,5	1	2,5	5	1,5	1	2,5	5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1	1,5	2,5	1,4
13	Electricité : EnR	1,5	5	2,5	5	3	4,5	4,5	5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1	1,5	3,9	1,4
Gouvernance																		
14	Implication collectivité locale	1	5	5	3	3	3	3	3	2	5	5	5	4	4	3	3,3	4,0
15	Participation résidents conception	1	1	2	1	5	4	1	5	3	1	3	4	3	3	1	2,5	2,6
16	Qualité gouvernance	3	1	4	3	3	3	3	4	3	4	5	5	4	4	3	3,0	4,0
Objectifs																		
17	Objectifs CO2/EnR	5	5	5	5	1	3	2	4	3	3	1	3	4	3	3	3,8	2,9
18	Objectifs énergie	5	3	5	3	4	3	3	2	1	1	3	3	1	1		3,5	1,7
19	Evaluation	4	3	4	5	1	1	5	3	1	1	4	3	3			3,3	2,4
Options techniques																		
20	Bioclimatisme	5	1	5	2	3	2	2	3	3	4	3	5	3	1		2,9	3,2
21	Innovation	5	5	4	5	4	4	3	1	1	1	3	3	1	1	3	3,9	1,9
22	Standardisation	5	4	1	4	1	3	3	3	5	5	3	1	5	5	5	3,0	4,1
23	Comportements	2	5	5	1	2	1	1	3	3	1	2	3	2	2	1	2,5	2,0
24	MDE	4	3	4	5	1	3	4	1	1	1	2	1	1	1	1	3,1	1,1

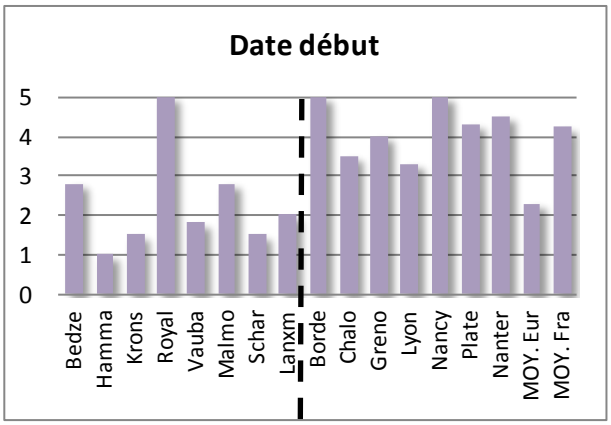
6.2.2. Comparaisons des écoquartiers

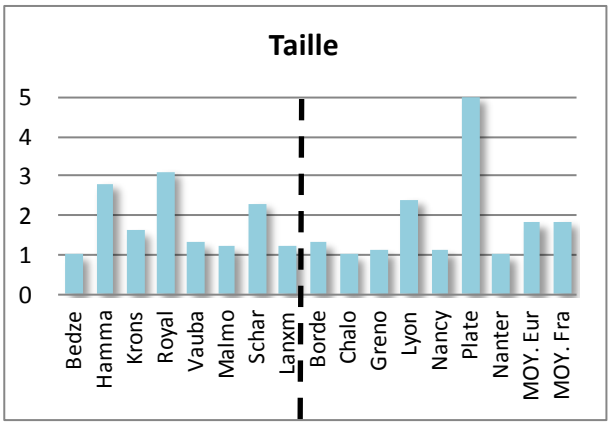
On ne présentera pas ici la totalité des résultats obtenus sur tous les critères mais une sélection de diagrammes qui font apparaître les aspects communs à la plupart des écoquartiers ou au contraire les différences les plus significatives. On s'attachera en particulier aux écarts observés entre les écoquartiers européens (par convention on désignera par EQ européens tous les EQ qui ne sont pas situés dans des villes françaises) et les écoquartiers français pour identifier d'éventuelles différences dans les approches, les objectifs poursuivis ou les technologies utilisées.

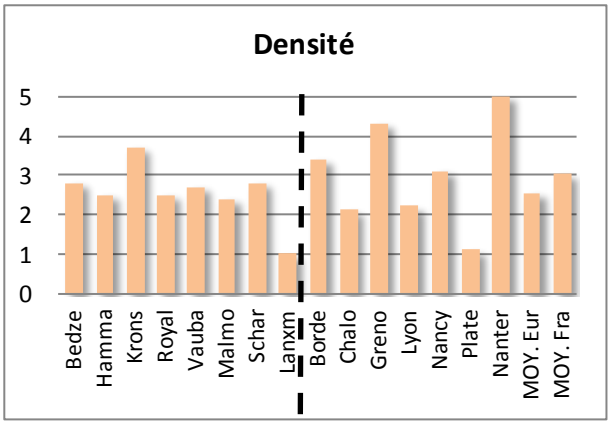
Caractéristiques générales

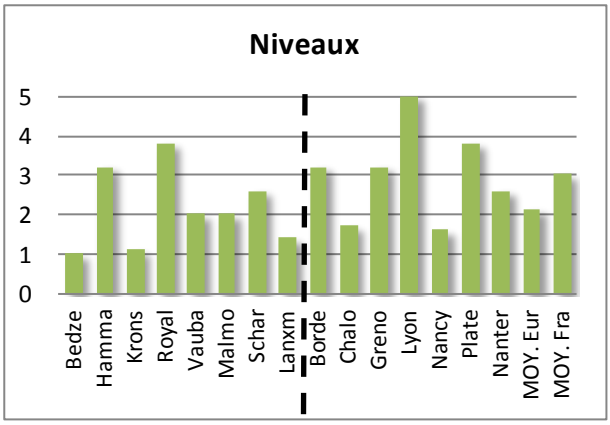
En ce qui concerne les grandes caractéristiques des projets examinés, on observera que les écoquartiers français sont de façon générale, plus récents que les écoquartiers européens. Cette distinction est importante et pourra expliquer une partie des différences observées sur les autres critères. Par ailleurs, plusieurs EQ en sont encore au stade de la réalisation, la construction ayant tout juste débuté pour plusieurs d'entre eux (Bordeaux, Nancy Grand Coeur, Nanterre, Royal Seaport).

En revanche le critère de taille ne fait pas apparaître d'écarts significatifs entre écoquartiers français et européens. Cinq écoquartiers ont une taille très supérieure aux autres dont Nancy Plateau de Haye (plus de 400 ha). A l'exception de ce dernier (Nancy – Plateau de la Haye est particulièrement peu dense) les écoquartiers français présentent une densité proche ou supérieure à la moyenne, ce que confirme le critère "niveaux". Il s'agit donc plutôt de quartiers urbains de densité élevée constitués de bâtiments à usage collectif de grande hauteur.



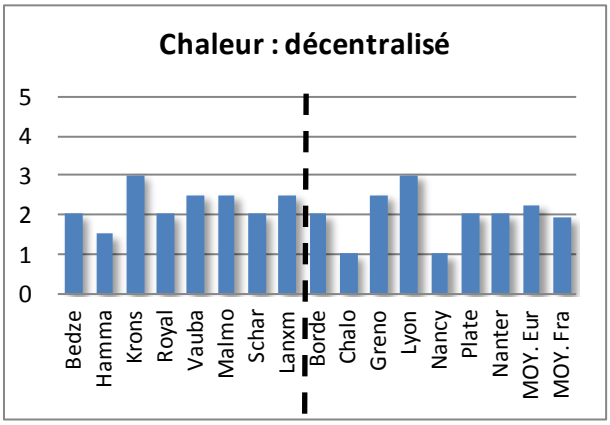


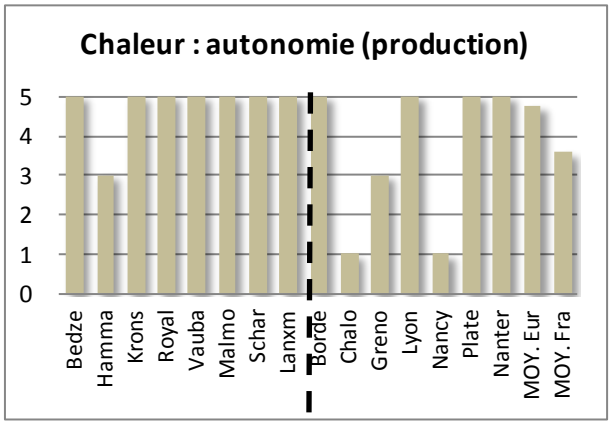




Offre d'énergie (chaleur)

La plupart des écoquartiers se situent autour de 2 sur le critère de décentralisation de la chaleur. Le schéma habituel de production / distribution de chaleur correspond donc majoritairement à un réseau de chaleur spécifique alimenté par une chaufferie autonome. Pour la France on observe une diversité plus grande avec des EQ alimentés directement par le réseau existant (Chalon, Nancy) ou des configurations associant réseau de chaleur et chaufferies en pied d'immeuble (Grenoble, Lyon). Les EQ européens sont presque tous autonomes pour la production de chaleur (ils disposent de leurs propres systèmes de production) alors que ce n'est qu'en partie le cas pour les EQ français.

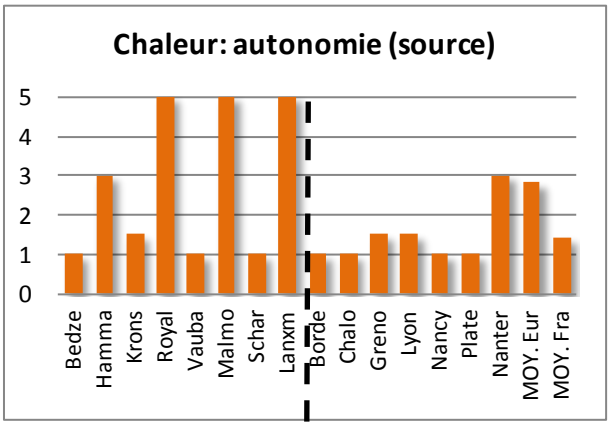


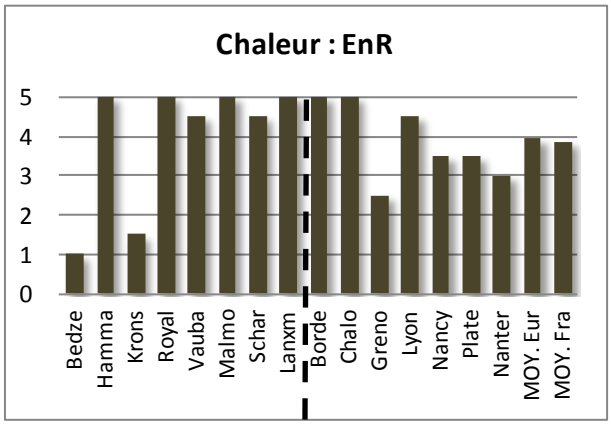


Le critère autonomie (source) mesure la proportion de la source d'énergie utilisée pour la production de chaleur qui provient directement de l'écoquartier (solaire, déchets, géothermie, etc). Par convention nous avons considéré que la biomasse provenant de l'extérieur de l'EQ ne constituait pas une source autonome. En majorité les EQ utilisent des sources d'énergie qui proviennent de l'extérieur de l'EQ

mais certains sont autonomes pour la production de chaleur. C'est le cas notamment de Royal Seaport, Malmö, Lanxmeer. En France, Nanterre présente une proportion de production autonome plus élevée que la moyenne (géothermie) mais cette configuration reste exceptionnelle.

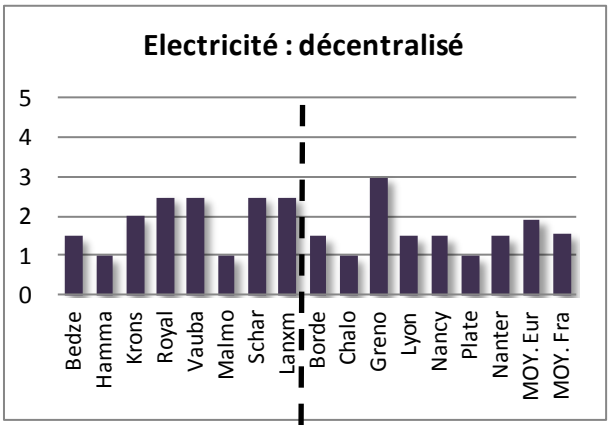
A l'exception de Bedzed et Kronsberg, les écoquartiers européens utilisent exclusivement des sources d'énergie renouvelable pour la production de chaleur. Seule une partie des EQ français sont dans ce cas, la majorité associant sources fossiles et renouvelables.

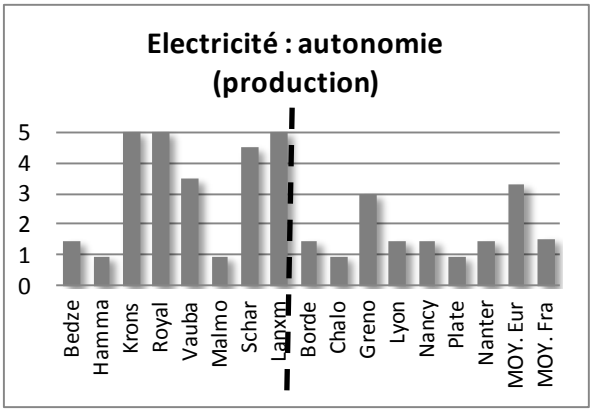


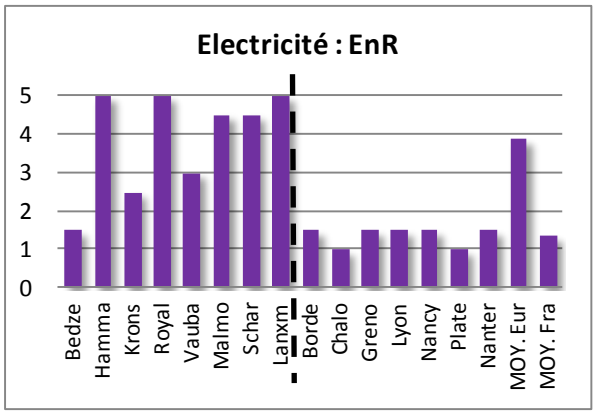


Offre d'énergie (électricité)

Pour la production d'électricité, la moyenne sur le critère "décentralisation" est globalement inférieure à celle obtenue pour la chaleur. On observe un écart significatif entre les EQ européens et français sur le critère d'autonomie pour la production d'électricité. Plusieurs EQ européens sont autonomes ou proches de l'autonomie (Kronsberg, Royal Seaport, Lanxmeer, etc.) ; en revanche aucun EQ français ne produit de façon autonome une part significative de son électricité, sauf peut-être Grenoble (cogénération). Les principaux dispositifs techniques utilisés sont des cogénérations (au gaz le plus souvent) et des éoliennes.







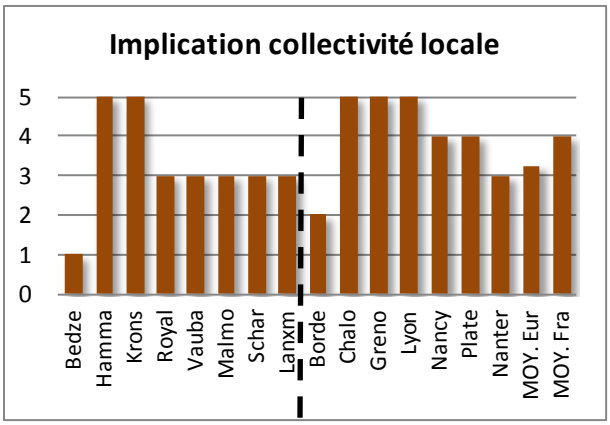
De même qu'il existe des différences significatives entre EQ français et européens sur le critère d'autonomie de la production, on retrouve un écart important sur le critère de valorisation des sources d'énergie renouvelables pour la production d'électricité. Si, pour la plupart des EQ européens, l'électricité est produite en partie ou en totalité par des sources d'origine renouvelable, c'est loin d'être le cas en France. On notera qu'une note maximale sur le critère ENR ne signifie pas que l'électricité est produite en totalité dans l'EQ par des sources renouvelables ; pour Hammarby par exemple, l'électricité est produite en cogénération à partir de biomasse (dont déchets) mais à l'échelle de la ville. L'EQ est donc alimenté en électricité renouvelable mais il n'est pas autonome. Pour Lanxmeer et Royal Seaport en revanche, l'électricité est produite en totalité à partir de sources renouvelables à l'échelle du quartier (cogénération déchets, PV, éolien).

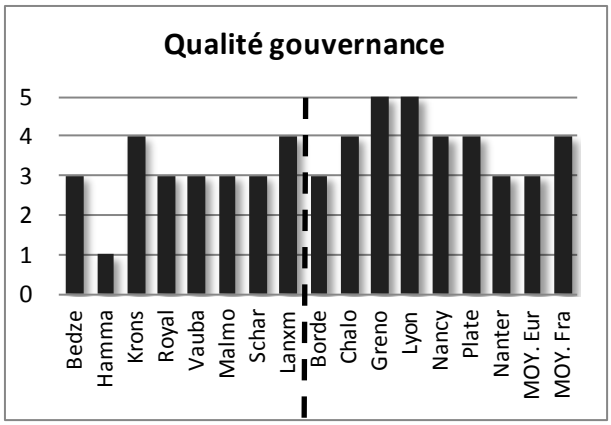
Gouvernance

Le critère gouvernance fait apparaître des différences significatives entre EQ européens et français mais contrairement à ce qui a été observé plus haut et qui suggère que les EQ français se situent un peu en retrait du point de vue de l'autonomie énergétique ou de l'utilisation des énergies renouvelables, on constate sur ces deux critères une plus grande implication des collectivités, une plus grande participation des résidents (non illustrée ici) et une meilleure qualité de gouvernance.

On peut interpréter ce résultat en lien avec la relative jeunesse des réalisations françaises en matière d'EQ, qui profiteraient du retour d'expérience des premiers projets pour améliorer les relations entre les acteurs au stade de la conception ou interagir plus nettement avec les futurs habitants.

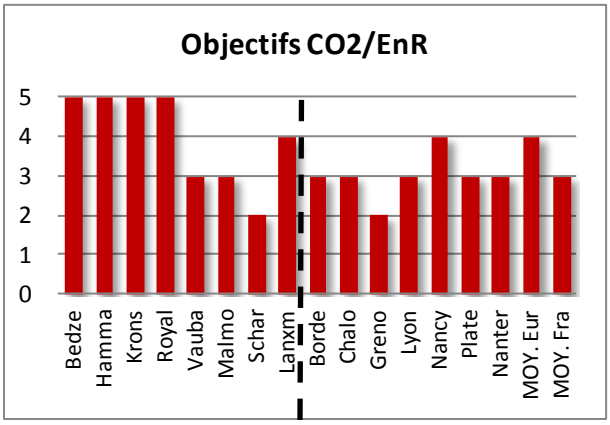
Mais on peut également y voir un biais lié aux sources d'information utilisées ; plus souvent alimentées directement par les collectivités locales pour le cas de la France, elles n'ont pas nécessairement la distance critique nécessaire alors que les EQ européens, plus anciens, ont souvent fait l'objet d'analyses indépendantes. Les résultats observés ici pourraient donc simplement traduire une différence dans la nature des sources bibliographiques utilisées plutôt qu'une réelle avance du coté des EQ français. Ils pourraient aussi correspondre à des projets en cours de réalisation pour lesquels la gouvernance est jugée bonne en l'absence d'informations contradictoires provenant que seuls les retours d'expérience pourront fournir.

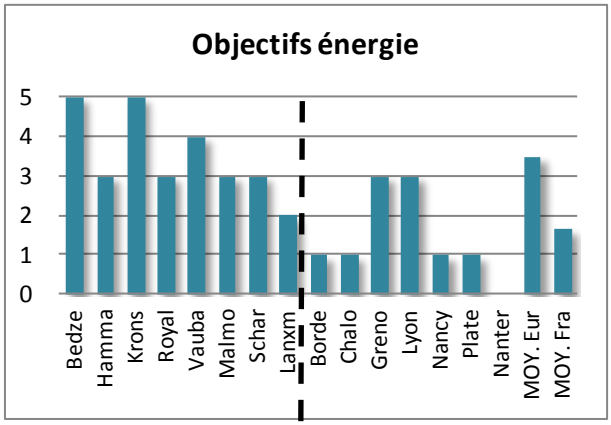




Objectifs

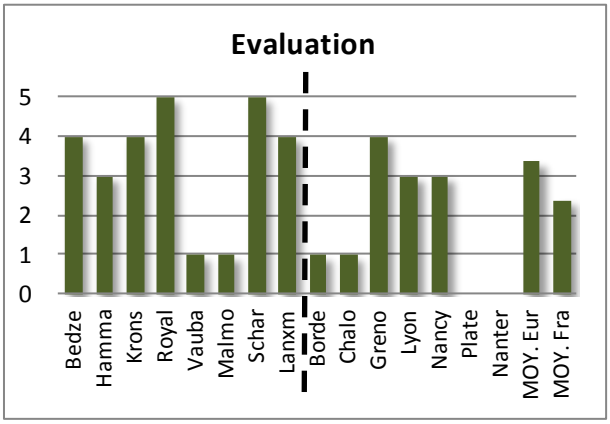
Comme indiqué plus haut, le premier critère concerne l'ambition des objectifs de réduction des émissions de GES ainsi que la valorisation des sources d'origine renouvelable, le second est centré sur l'efficacité énergétique.





On estime ici le niveau d'ambition des objectifs affichés. Il existe un écart entre EQ français et européens pour ce qui concerne les objectifs CO2 mais l'écart apparaît plus marqué sur les objectifs "énergie" de nombreux EQ français ont des objectifs relativement peu ambitieux.

Le critère "évaluation" suggère un suivi systématique moindre de la réalisation des objectifs pour les EQ français. L'existence d'un dispositif d'évaluation est plus systématique dans les EQ européens. En France, pour certains EQ, nous n'avons trouvé aucune information sur le sujet, ce qui peut laisser supposer qu'aucune procédure d'évaluation n'a été envisagée.



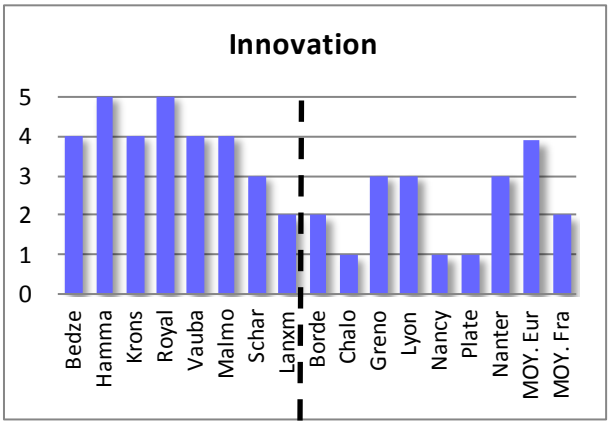
Technologies

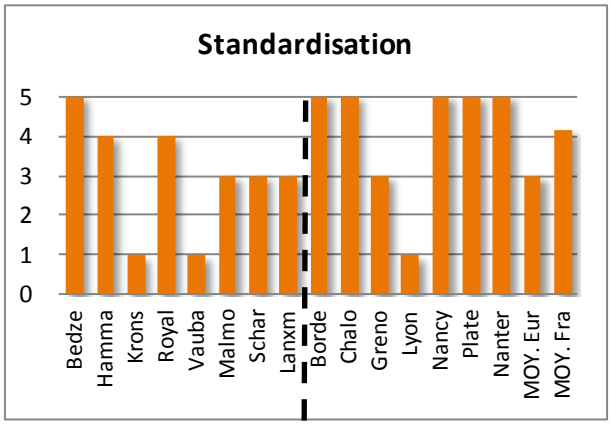
Les deux critères qui suivent sont relativement plus difficiles à apprécier. Il s'agit pour le premier de décrire les technologies utilisées dans l'EQ selon qu'elles sont plutôt innovantes ou au contraire déjà en partie diffusées et donc plus éprouvées. Le second critère vient compléter le premier en appréciant le caractère standardisé ou non des options technologiques retenues : il s'agit d'apprécier si l'on se situe plutôt dans une logique d'expérimentation avec une grande diversité de technologies ou au contraire de standardisation avec un nombre limité de technologies appliqué à l'ensemble des bâtiments.

Chaque diagramme fait apparaître des écarts entre les EQ européens et français avec un caractère plus innovant pour les premiers et une volonté de standardisation plus nette pour les seconds. On voit donc apparaître deux types d'EQ :

En Europe, des technologies plus innovantes (tableau innovation) qui sont parfois généralisées à l'ensemble de l'EQ (Bedzed sur le tableau standardisation) mais sont plus souvent associées à une grande diversité

En France, un caractère innovant moins marqué et une recherche de standardisation, ie., utilisation d'un nombre limité de technologies plus éprouvées.



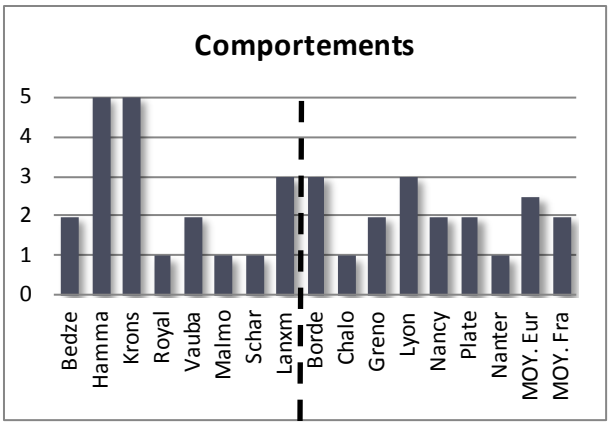


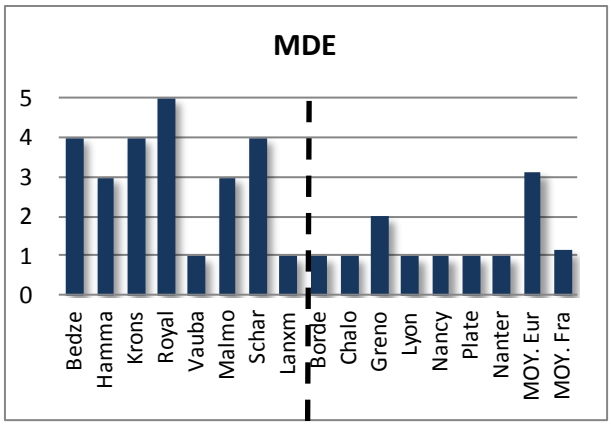
Cette observation peut être associée à la période de construction des EQ ; les premiers EQ (européens) ont été le lieu d'expérimentations technologiques (diversité de technologies innovantes sur un même EQ) alors qu'aujourd'hui avec une certaine maturité, on s'oriente vers des technologies plus éprouvées et généralisées à l'ensemble du quartier. Les EQ européens décrits ici sont à des degrés divers, des références connues au plan international, pour leur caractère innovant ou l'ambition de leurs objectifs ou la qualité de leur gouvernance. Les EQ français correspondent à des réalisations plus standardisées où la prise de risque technologique est probablement moins importante (mais pas totalement absente dans certains cas) parce que moins nécessaire. Après une première période d'expérimentation axée sur la diversité technologique (au cours des années 90), les EQ semblent entrer dans une seconde phase de standardisation technologique qui accompagne l'élargissement de leur diffusion et leur relative banalisation (qui n'exclue pas des domaines d'innovation avec les smart grids par exemple).

Pour finir on retiendra deux critères qui s'intéressent à des degrés divers aux comportements des résidents. Le premier identifie les projets qui prennent en compte la variable comportementale (information, campagnes de sensibilisation, incitations au changement des comportements des habitants) et le second les actions spécifiques orientées vers la maîtrise des consommations d'électricité.

Pour le premier on observe qu'à deux exceptions près (Bedzed et Hammarby), la variable comportementale n'est pas considérée comme un levier d'action majeur. Il n'y a sur ce plan pas de différence notable entre les EQ français et européens. Pour la MDE en revanche, la différence est plus nette. Les actions de maîtrise des consommations d'électricité sont systématiques (ou presque) dans les EQ européens, alors qu'elles restent rares dans les EQ français.

Ce résultat confirme une observation faite plus haut : en France, la maîtrise des consommations d'électricité, la production locale ou la transformation du mix électrique apparaissent d'importance secondaire par rapport aux actions portant sur le secteur de la chaleur. En Europe, en revanche, électricité et chaleur ne sont pas traitées de façon différente : maîtrise de la demande et transformation du mix énergétique s'appliquent aux deux secteurs sans que l'un soit privilégié au détriment de l'autre.





6.3. Analyse

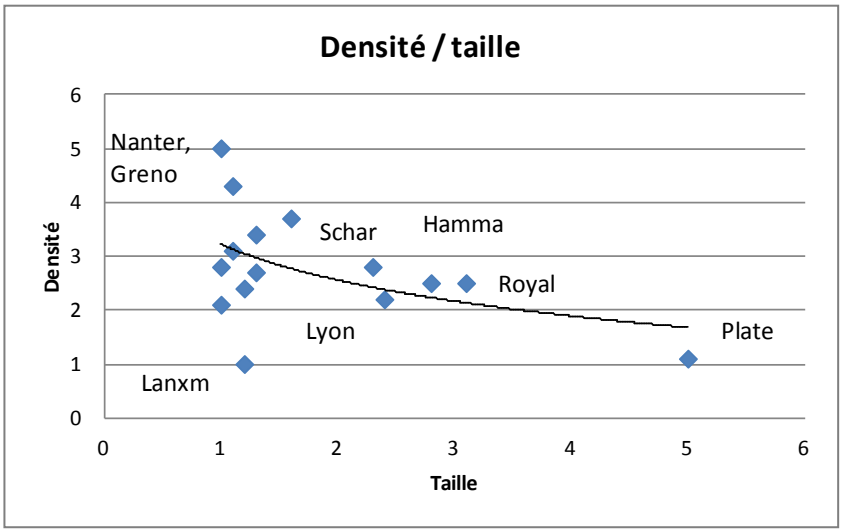
Dans la partie qui suit nous croiserons plusieurs critères pour essayer de faire apparaître des relations entre ces critères ou de représenter sur des quadrants des groupes d'EQ ou de pays ayant des positionnements proches ou au contraire en opposition. Tous les croisements tentés n'étant pas signifiants (loin de là), nous ne présenterons ici que les résultats les plus intéressants.

6.3.1. Confrontation des critères

Moindre densité pour les EQ de grande taille

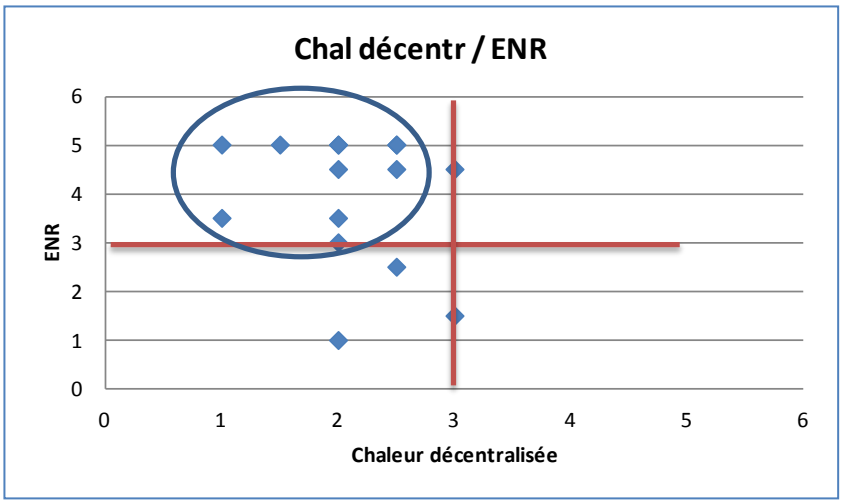
Le rapprochement des critères densité et taille vise à faire apparaître une baisse de la densité à mesure que la taille de l'écoquartier augmente, ce qui est bien confirmé sur le diagramme ci-dessous. A l'exception de Lanxmeer, la densité moyenne des EQ tend à diminuer avec la taille. Il est de fait difficile de maintenir des densités élevées sur des zones urbaines de grande taille ; l'alternance entre petits collectifs et bâtiments de grande taille ou l'insertion d'espaces verts, par exemple, conduit mécaniquement à une diminution de la densité.

Ce résultat ne présente pas d'intérêt particulier en soi ; tout au plus permet-il de vérifier que notre estimation des tailles et des densités sur les EQ étudiés est correcte et conduit à un résultat intuitif.

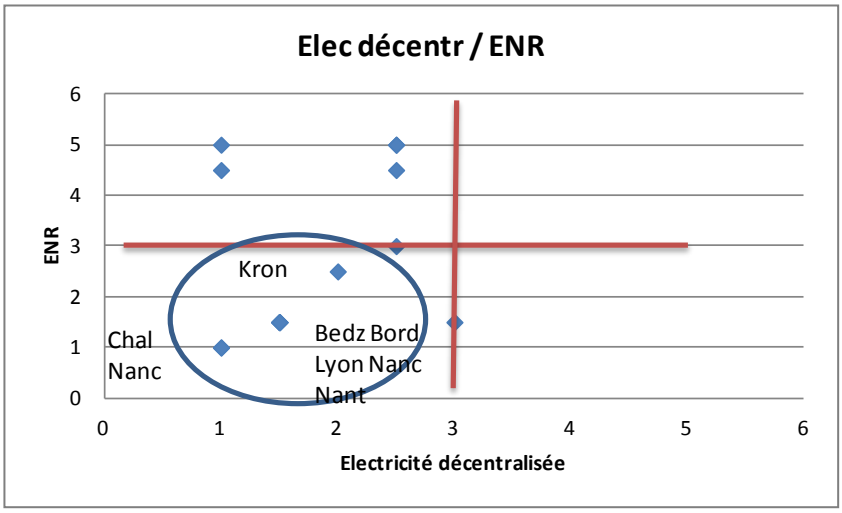


Production et distribution de la chaleur / électricité

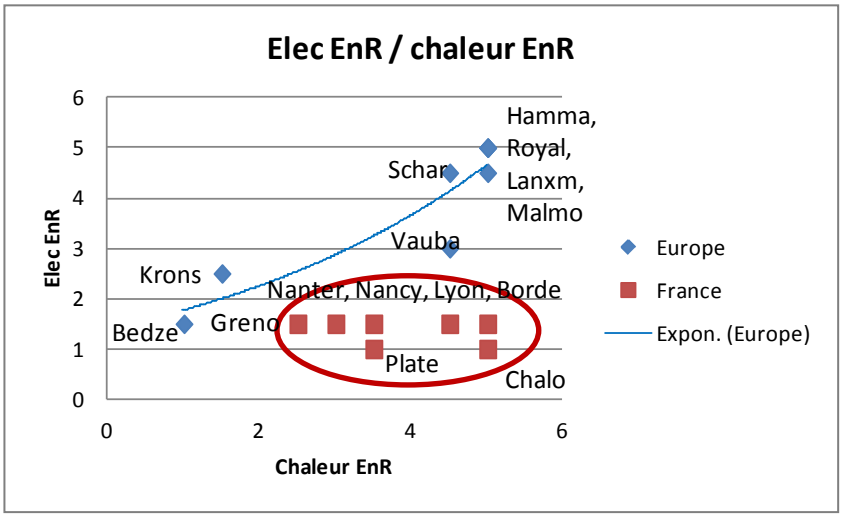
En croisant les critères qui caractérisent le mode de distribution de la chaleur et la nature des sources utilisées on observe que l'essentiel des écoquartiers sont rassemblés dans un quadrant particulier qui correspond à une production de chaleur de type centralisé (extension du réseau de chaleur de la ville ou réseau spécifique à l'écoquartier) couplé à une production d'origine renouvelable (biomasse ou déchets). Quelques écoquartiers se situent dans le quadrant inférieur ie, un mix de production ayant une plus forte proportion de fossiles et des moyens de production plus décentralisés (Grenoble avec des petites cogénération en pied d'immeuble ou Lyon avec des cogénérations par îlots). Aucun des écoquartiers examinés ne repose principalement sur des moyens de production décentralisés (chaufferie en pied d'immeuble ou moyens de production individuels), qu'ils soient renouvelables ou pas pour la production de chaleur.



Le diagramme construit avec les mêmes critères pour la production d'électricité produit des résultats proches mais la proportion d'écoquartiers dont l'électricité est produite à partir de sources renouvelables est sensiblement plus faible. L'essentiel des EQ se situe dans le quadrant inférieur qui correspond à des situations de production centralisée (pour mémoire, un EQ avec un moyen de production de chaleur dédié mais centralisé correspond à la note 2) couplée à une production où dominent les sources fossiles. Quelques EQ sont cependant alimentés en électricité renouvelable, soit par le réseau soit par une production dédiée à l'échelle du quartier (éolien, déchets, etc).



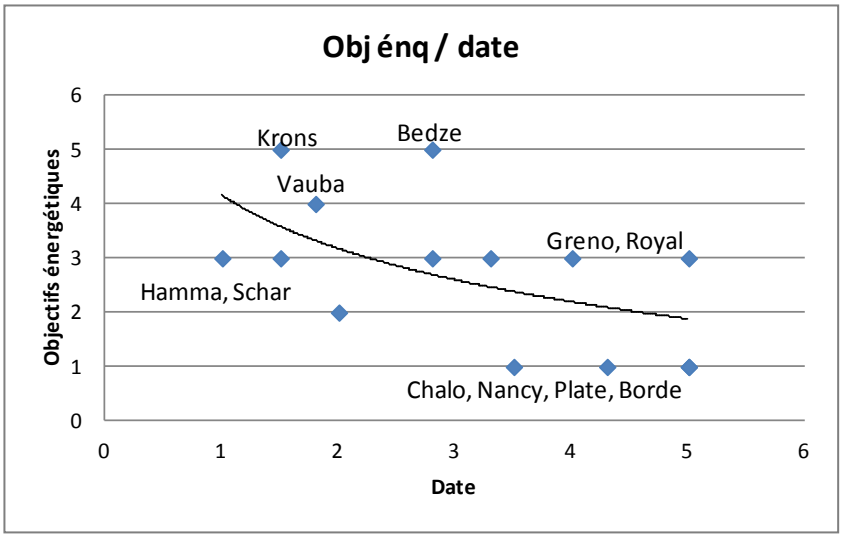
Le rapprochement des critères de production d'origine renouvelable de chaleur, d'une part, et électricité, de l'autre, révèle à nouveau une nette séparation entre EQ français et européens. A l'exception de Kronsberg et Bedzed, les EQ européens produisent au moins en partie électricité et chaleur à partir de sources renouvelables. En France, la production de chaleur fait appel à des sources renouvelables mais très peu l'électricité.



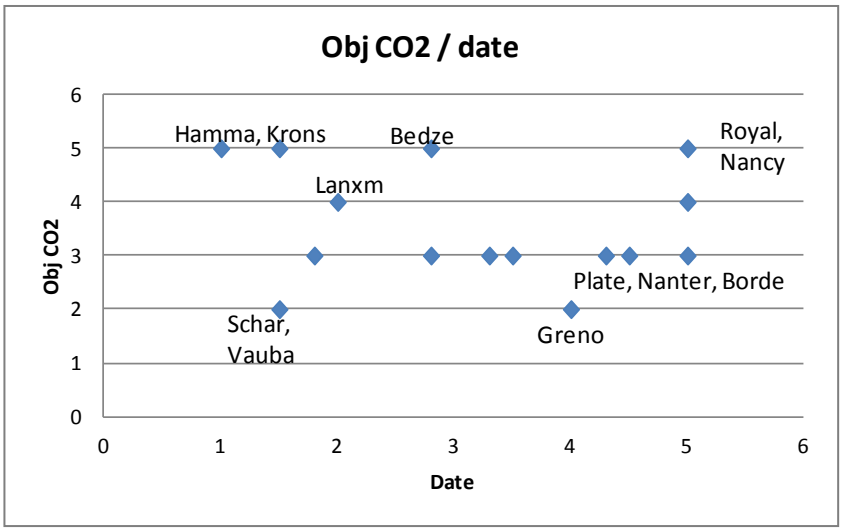
Evolution des objectifs selon la période de construction

Contrairement à ce que l'on pourrait penser les objectifs d'efficacité énergétique ne se renforcent pas pour les EQ les plus récents. A l'inverse, on observe une tendance qui semblerait indiquer que les EQ récents ont des objectifs moins ambitieux sur le plan de l'énergie.

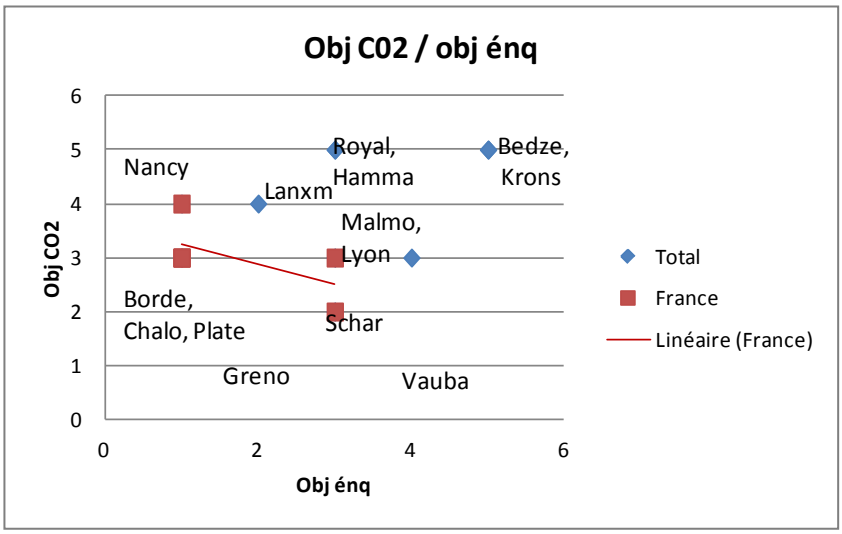
Attention toutefois aux possibles biais induits par un échantillon trop limité et aux caractéristiques de cet échantillon : les EQ dont les objectifs sont les plus limités sont aussi les EQ français. Le résultat observé est donc peut être simplement une corrélation entre EQ français et date de construction.



Pour ce qui concerne les objectifs de réduction des émissions, pas de tendance marquée. Les EQ les plus anciens, de même que les plus récents présentent des objectifs ambitieux sur ce plan.



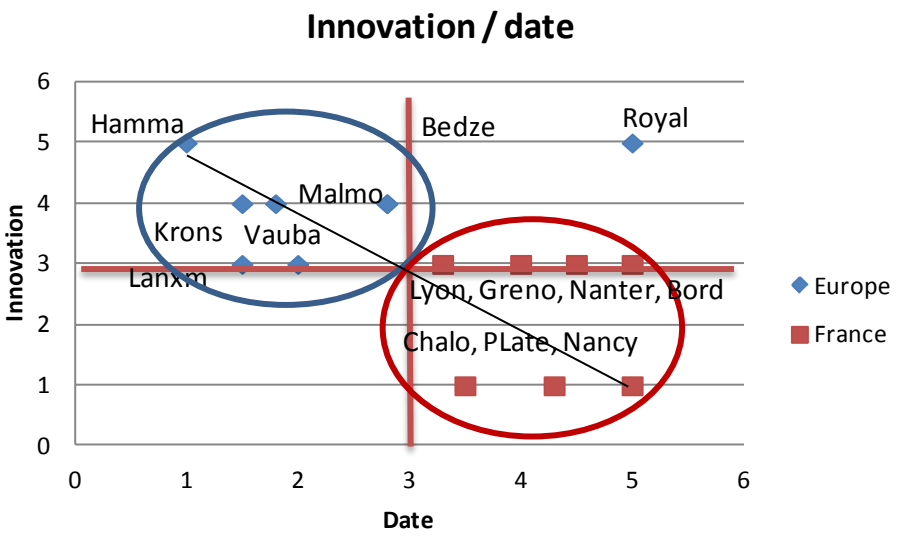
Qu'observe t-on si on rapproche les deux critères d'objectifs ? Globalement, pas de regroupement ou de tendance significatifs. On constate toutefois qu'aucun EQ ne se situe dans la zone en bas à gauche (objectifs limités aussi bien pour les émissions de GES que pour l'énergie), ce qui est rassurant. Si on isole les EQ français (en rouge) et européens (en bleu) on observe que le niveau d'ambition est moins élevé pour les premiers (plus proches de l'origine). Deux écoquartiers, Bedzed et Kronsberg ont des objectifs aussi élevés pour l'énergie que pour les émissions de GES.



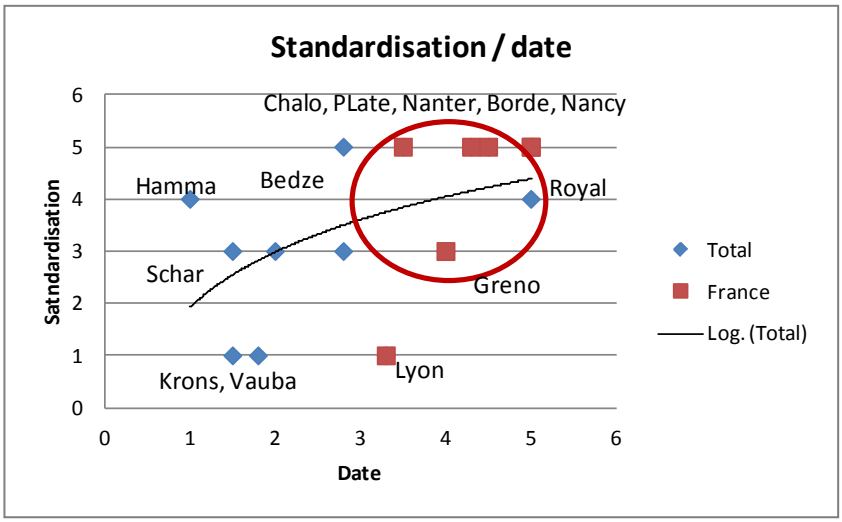
Innovation

Le diagramme qui couple innovation et période de construction de l'écoquartier fait apparaître un résultat assez frappant ; à l'exception de Royal Seaport, tous les écoquartiers sont rassemblés dans deux quadrants opposés : dans le premier en haut à gauche se retrouvent les EQ européens, plus anciens et innovants alors que dans le quadrant inférieur droit sont rassemblés les EQ français plus récents et utilisant des technologies éprouvées.

Comme suggéré plus haut, les premiers écoquartiers ont expérimenté de nouvelles technologies innovantes à l'époque alors que les EQ récents ont tendance à s'appuyer sur des technologies aujourd'hui plus matures. Les EQ français, tous relativement récents, se retrouvent dans cette dernière catégorie.



De même le rapprochement des critères date et standardisation montre que les EQ les plus récents utilisent un nombre plus limité de technologies là où les premiers EQ présentaient une diversité importante (expérimentation).



6.3.2. Regroupements d'EQ aux fonctionnements similaires

Sans que cela constitue une typologie, on observera que certains écoquartiers ont des comportements relativement similaires, c'est-à-dire, qu'ils se situent très régulièrement dans des zones proches sur les différents diagrammes présentés ci-dessus. Sur cette base on distingue trois grandes familles :

Hammarby, Royal Seaport, Scharnhauser Park :

Critères	Description
Caractéristiques	anciens *(sauf Royal Seaport)* grande taille neufs
Objectifs	objectif CO2 forts objectifs énergétiques moyens évaluation forte
Offre d'énergie	chaleur : bonne autonomie, bon investissement dans les EnR électricité : bonne autonomie *(sauf Hammarby)*, bon investissement dans les EnR
Options techniques	peu d'aspects bioclimatiques innovation, MDE forte standardisation moyenne
Gouvernance	pas de participation des résidents dans la conception de l'EQ

Ces réalisations correspondent à des écoquartiers de grande taille, ayant des objectifs ambitieux et pour lesquels l'innovation technologique est importante. Les énergies renouvelables y occupent une place essentielle dans l'approvisionnement énergétique. Ils sont proches de l'autonomie énergétique associée à une standardisation de leur parc énergétique.

Bedzed, Kronsberg, Vauban :

Critères	Description
Caractéristiques	anciens petite taille, faibles niveaux neufs
Objectifs	objectif CO2 forts *(sauf Vauban)* objectifs énergétiques forts évaluation forte
Offre d'énergie	chaleur : bonne autonomie, peu d'investissement dans les EnR *(sauf Vauban)* électricité : bonne autonomie *(sauf Bedzed)*, peu d'investissement dans les EnR
Options techniques	forts aspects bioclimatiques innovation, MDE forte peu de standardisation *(sauf Bedzed)*

Ces écoquartiers sont plus anciens, de petite taille, mais étaient fortement innovants au moment de leur réalisation. Ils s'appuient également sur l'innovation pour répondre à des objectifs très ambitieux et ont choisi de mettre l'accent autant sur l'efficacité énergétique que sur les EnR. Ils tendent vers l'auto-suffisance énergétique mais présentent un caractère expérimental plus marqué que les premiers.

Bordeaux, Chalon, Nancy Grand Cœur :

Critères	Description
Caractéristiques	récents très petite taille neufs
Objectifs	objectif CO2 moyens objectifs énergétiques très faibles évaluation faible
Offre d'énergie	chaleur : peu d'autonomie *(sauf Bordeaux)*, bon investissement dans les EnR électricité : pas autonomie, pas d'investissement dans les EnR
Options techniques	des aspects bioclimatiques innovation, MDE très faible standardisation très forte

Ces écoquartiers récents sont de petite taille et ne présentent pas un caractère innovant très marqué. Les objectifs poursuivis sont relativement peu ambitieux. Ils valorisent les énergies renouvelables pour les apports de chaleur mais pas pour l'électricité. Ils sont très éloignés de l'autosuffisance énergétique mais tendent vers une forte standardisation de leur parc énergétique.

6.4. Synthèse

Avant de tenter une synthèse de l'ensemble de ces résultats il est important de rappeler la démarche suivie et les limites inhérentes à cette démarche. La méthode retenue a consisté à choisir un échantillon réduit d'écoquartiers puis à les caractériser avec un certain nombre de critères spécifiques, enfin, à comparer les EQ entre eux sur ces différents critères.

Une des limites de l'exercice tient nécessairement à la petite taille de l'échantillon retenu. Avec une quinzaine d'écoquartiers, il n'est bien sûr pas possible de prétendre à un échantillon représentatif, de la diversité des situations européennes ou simplement des principales options technologiques pour l'approvisionnement énergétique.

Par ailleurs, parmi les EQ étudiés, certains sont achevés et fonctionnent depuis longtemps alors que d'autres sont toujours au stade de la conception ou des premiers travaux. Si les premiers peuvent être analysés avec un certain recul permettant d'apprécier les succès et les échecs, les seconds ne peuvent être jugés que sur des projets, des objectifs, qui seront ou non réalisés.

Enfin, l'échantillon choisi peut présenter des biais :

- Les EQ français sont par exemple plus récents que les EQ européens ; de ce fait les choix technologiques opérés peuvent différer non pas tant en raison de préférences spécifiques aux EQ français mais parce que les choix technologiques sur les EQ récents sont différents de ceux opérés sur les EQ des années 90
- La sélectivité sur les EQ européens est forte ; on ne décrit pas ici des réalisations ordinaires mais des projets qui ont été identifiés pour leur intérêt spécifique et ont fait l'objet de rapports, de papiers de recherche, etc.
- La nature des sources bibliographiques utilisées peut différer également, entre les EQ européens sur lesquels les sources indépendantes sont plus nombreuses et les EQ français qui n'ont pour l'instant encore pas ou peu fait l'objet d'évaluations indépendantes.

Pour ces raisons, cet exercice ne prétend pas présenter la robustesse scientifique qui permettrait d'établir des éléments de connaissance incontestables. Tout au plus permet-il d'attirer l'attention sur des similitudes et des divergences au sein de cet échantillon limité qui devraient éventuellement être confirmés par une étude plus approfondie sur un échantillon significatif.

Avec ces limites en tête, on peut néanmoins faire ressortir de cette analyse différents résultats qui suggèrent que les EQ français présentent des caractéristiques assez différentes des EQ européens sur plusieurs points :

- Les écoquartiers français sont récents (années 2000), avec une forte proportion de bâtiments neufs (peu de rénovation ou réhabilitation). Il s'agit plutôt de quartiers urbains, de petite taille mais présentant une densité plutôt élevée et une grande hauteur (peu ou pas de maisons individuelles).
- Sur le plan énergétique (chaleur), ils sont moins autonomes que les écoquartiers européens qui disposent presque tous de moyens de production de chaleur qui leur sont propres alors que les EQ français utilisent de la chaleur produite à l'extérieur de l'EQ (qui peut être d'origine renouvelable)
- La différence est beaucoup plus nette pour l'électricité ; les EQ français produisent beaucoup moins d'électricité locale que les EQ européens et par voie de conséquence, la proportion de renouvelable dans l'électricité consommée est très inférieure à ce que l'on observe dans les EQ européens.
- Sur le plan de la gouvernance, les résultats suggèrent une forte implication des collectivités locales et une bonne qualité de la gouvernance mais le caractère subjectif de ce critère et le risque de biais lié à l'origine des documents étudiés ne permettent pas de conclure sur ce point.
- Les objectifs en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont un peu moins ambitieux que ceux des EQ européens mais c'est surtout sur les objectifs d'efficacité énergétique que l'on observe une différence sans qu'une explication claire n'émerge. Peut-être une corrélation avec la période de construction des EQ qui ferait que les objectifs d'efficacité énergétique sont aujourd'hui moins mis en avant que les objectifs CO2..
- Enfin, les EQ français présentent un moindre caractère d'innovation technologique et une plus grande standardisation qui peut s'expliquer par le fait que les EQ récents ont moins besoin d'expérimenter que ceux des années 90. Ils privilégient de ce fait l'utilisation d'un nombre limité de technologies éprouvées au détriment de la diversité technologique, aujourd'hui peut être moins nécessaire, les solutions à promouvoir étant mieux connues.

La vision des EQ français qui ressort de cette comparaison est donc celle de systèmes énergétiques qui s'attachent essentiellement à l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et à la mise en place de systèmes d'approvisionnement en chaleur performants (réseaux, cogénération, sources renouvelables). En revanche, les EQ français s'intéressent peu au vecteur électricité ; l'approvisionnement est essentiellement assuré à partir du réseau (la production électrique locale et décentralisée y reste symbolique) alors que les EQ européens cherchent à développer la production locale notamment renouvelable aussi bien pour la chaleur que pour l'électricité. Ce manque d'intérêt des EQ français pour le vecteur électricité transparaît dans la quasi-absence des actions de MDE alors qu'elles sont très répandues dans les EQ européens pourtant plus anciens.

Il existe probablement plusieurs raisons qui expliquent que les collectivités locales s'intéressent plus à la chaleur et assez peu à l'électricité. Une des principales raisons est certainement liée au caractère spécifique du mix électrique français très peu carboné du fait de la place importante occupée par la production d'électricité d'origine nucléaire. En conséquence, la production d'électricité à partir de sources renouvelables ou en cogénération, ne sont, en France, pas des priorités en matière de politique climatique. En revanche, la substitution du charbon ou du gaz pour la production de chaleur par la récupération de chaleur (incinération, eaux usées, la cogénération ou les sources renouvelables (géothermie, biomasse) sont des options souvent mises en œuvre dans les EQ français.

Parallèlement on notera que les technologies utilisées dans les EQ français semblent moins innovantes et sont plus systématiquement généralisées à l'ensemble de l'EQ ce qui montrerait que ceux-ci sont entrés dans une phase de standardisation dans laquelle l'expérimentation passe au second plan. Ainsi les bâtiments BBC ou à énergie positive conservent un caractère innovant mais se développent rapidement sous l'impulsion de la réglementation et les EQ ne semblent pas impulser une dynamique particulière.

Pour autant l'expérimentation technologique n'est pas totalement absente des nouvelles réalisations ou projets français d'écoquartiers ; on voit notamment se développer les smart-grids qui restent aujourd'hui encore au stade des premières réalisations expérimentales in vivo. Mais on ne retrouve pas dans ces projets l'ambition ou la prise de risque qui caractérisait certains des écoquartiers européens réalisés au cours des années 90. Certes, notre échantillon présente un biais qui juxtapose des réalisations emblématiques à l'échelle européenne avec des projets plus récents mais également plus standardisés et plus conventionnels. Mais on peine à retrouver dans les projets français l'innovation tous azimuts de l'EQ Vauban, ou la démarche participative de Lanxmeer ou la vision systémique de Hammarby.

7. Eco-quartiers, nœuds socio-énergétiques et émergence d'innovation de modèles d'affaires

Auteures : Céline Jullien (GEM) et Sylvie Blanco (GEM)

Une conviction répandue et partagée aujourd'hui quant aux *modèles d'affaires de l'énergie renouvelable et intelligente* est de reconnaître que de *nouveaux* modèles d'affaires sont à inventer. Les entreprises sont au bord de la falaise, convaincues et incitées à aller vers un autre monde, sans avoir trouvé à ce jour les conditions de performance et de profitabilité de leur activités futures, tout en ayant à se jeter dans le vide et à décider aujourd'hui de leurs investissements de demain.

Les éco-quartiers ne constituent pas à notre connaissance une forme d'organisation à partir de laquelle auraient été menés des travaux de recherche en sciences de gestion permettant de proposer des typologies de modèles d'affaires futurs. Il en est de même pour les questions de la gestion des intermittences ou du stockage de l'énergie, que le projet NEXUS conçoit comme des nœuds socio-énergétiques. Toutefois, ces concepts émergents constituent des lieux ouverts et collaboratifs nécessaires à l'émergence d'innovations toujours plus complexes dans leurs composantes, plus sophistiquées dans les connaissances et les technologies intégrées, plus radicales et durables dans leur impact socio-économique, plus ouvertes dans le nombre et la diversité des acteurs parties prenantes de la conception et de la mise sur le marché de nouvelles offres. A ce titre, il est pertinent de mieux comprendre la façon dont les acteurs en présence approchent ensemble la création de valeurs économiques et sociales au travers de « plateformes-territoires » communes tout en prêtant une attention particulière à la façon dont ils se partagent cette valeur alors même que les coûts d'innovation tendent à croître, du fait notamment du coût des technologies et de la nécessité du durable, tout en voyant la taille des marchés stagner ou croître très légèrement. Ces observations permettront de faire apparaître quelques mécanismes propres à la création de modèles d'affaires collectifs partant d'une diversité de modèles individuels tout en comprenant mieux la dynamique que chaque organisation donne à ses propres modèles d'affaires, par l'expérimentation collective dans des lieux privilégiés comme les éco-quartiers et les nœuds socio-énergétiques.

Dans la lignée des travaux de H. Chesbrough et A. Osterwalder, nous définissons le modèle d'affaires comme *un modèle utilisé pour décrire simplement la façon dont une organisation crée et capture de la valeur sur ses marchés.* Ainsi, il s'agit d'articuler, autour d'une proposition de valeur centrale, l'accès au marché et la génération de revenus avec les moyens, processus et ressources internes et externes mobilisées pour délivrer cette proposition, créant ainsi un coût. L'écart entre coûts et revenus permet d'établir un modèle de profit dont on peut estimer le caractère durable. Cette approche est particulièrement appropriée pour étudier les modèles d'affaires associés à l'innovation en phase amont. Il est de plus en plus admis aujourd'hui que les dynamiques d'innovation imposent des modèles d'innovation plus ouverts qui nécessitent de renouveler sans cesse les modèles d'affaires des entreprises sans pour autant que l'on ne comprenne clairement les liens entre les facteurs de changements externes et l'impératif d'innover autrement. En outre, la question de la capture et du partage de la valeur s'avèrent souvent un point d'achoppement entre les acteurs qui, chemin faisant, peuvent limiter le degré d'ouverture de la collaboration et finalement nuire à la réussite de l'innovation. Cette problématique fait l'objet d'une attention naissante par la communauté académique des sciences de gestion, abordant les processus de co-création au sein des écosystèmes d'innovation. Toutefois, l'approche reste le plus souvent ancrée dans des logiques de stratégie d'entreprises sur ses marchés ou autour de cas de ruptures technologiques au sein de systèmes complexes : le véhicule électrique, la médecine personnalisée, les bâtiments à énergie positive, les solutions d'efficacité énergétique. Ces travaux apportent une compréhension des types de changements de modèles d'affaires sans pour autant contribuer à en comprendre les modalités d'émergence dans l'action. En particulier, les liens entre la façon dont les acteurs agencent leurs processus de co-création dans les phases amont de l'innovation et leur capacité à faire évoluer ou renouveler leurs modèles d'affaires est une question peu abordée, qui pourtant conditionne finalement la réussite de l'innovation et la création de valeur.

C'est en ce sens que nous menons cette étude sur les modèles d'affaires au sein de Nexus. Il s'agit d'observer de comprendre les motivations des acteurs pour s'impliquer dans l'expérimentation collective et les principales dimensions de leurs modèles d'affaires qu'ils testent et le cas échéant modifient durablement dans ce nouveau contexte. Il s'agit de déterminer, à l'échelle des éco-quartiers la manière dont les organisations en présence envisagent de créer et de capturer de la valeur dans

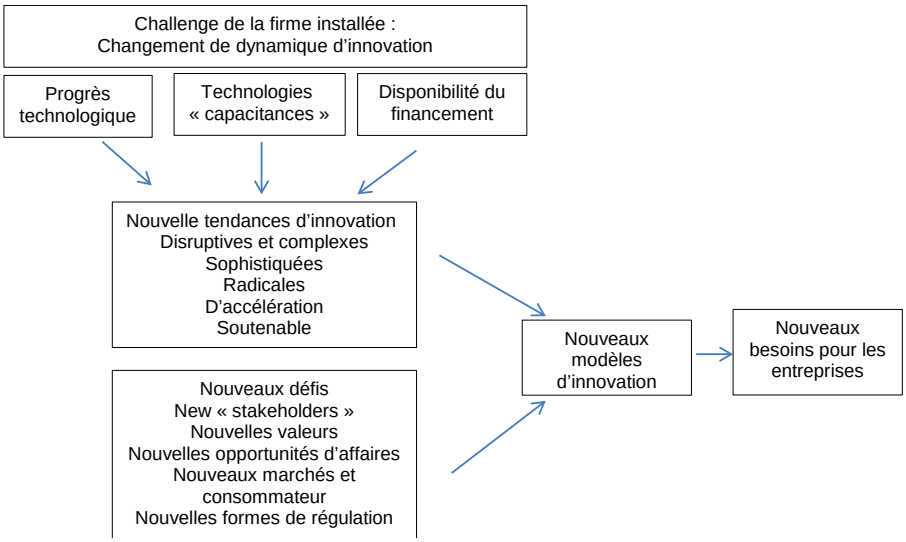
l'interaction avec leurs partenaires et finalement se produit ou non l'innovation de business model. Pour cela, nous proposons dans ce papier de concevoir un modèle conceptuel de l'émergence des modèles d'affaires à travers des processus de co-création de solutions innovantes radicales, durables et complexes par une diversité d'acteurs liés et interdépendants. Le cas du nœud socio-énergétique présente un intérêt conceptuel fort ici. Nous commencerons par identifier les paramètres de l'impératif d'innovation pour ensuite décrire les principales dimensions des modèles d'affaires que l'innovation ouverte remet en question.

Notre apport dans NEXUS, complémentaire aux apports sur la définition des nœuds socio-énergétiques, la typologie des éco-quartiers et la typologie des technologies est bien de caractériser les facteurs et la nature du changement des modèles d'affaires des entreprises de l'énergie. Elle consiste à comprendre l'innovation en termes de modèles d'affaires, d'identifier les synergies et les tensions qu'occasionnent les innovations à l'échelle des éco-quartiers, ou autrement dit les sources de renforcement ou de remise en question, d'amplification ou de destruction, de renouvellement ou de dégradation, des activités, des offres, du positionnement et des performances des entreprises.

7.1. La dynamique d'innovation associée au concept de nœud socio-énergétique

De manière générale, il est admis que l'innovation durable tend à modifier significativement nombre d'industries dont, en première ligne, l'énergie. Les tendances de fond en matière de nature d'innovation posent des difficultés majeures aux industriels établis et ce sont ainsi de nouveaux défis et questionnements qui s'imposent cf. Figure 2 ci-après pour poser le cadre des dynamiques d'innovation.

Figure 2 : Cadre générique d'analyse des dynamiques d'innovation de rupture



Un terme utilisé pour caractériser la dynamique d'innovation dans l'énergie est celui de *révolution* caractérisant la « grande transformation » des conditions et modalités de production, de transport, de distribution et de consommation d'énergie à l'occasion des développements technologiques dans tous les secteurs de l'énergie (« clean coal », smart grids, buildings, cities, renouvelables, biomass…). Cette révolution est à la fois tirée par les politiques de l'énergie et du climat, affichant des objectifs quantitatifs et des horizons temporels de réalisation, adressée et portée par les industriels et consommateurs citoyens. Le second terme associé à cette dynamique est celui *d'accélération* : les enjeux ne sont pas dans le seul développement des innovations technologiques, mais dans l'accélération de ce développement qu'il s'agisse des Etats-Unis (*Energy Recovery Programm*), de l'Europe (*Strategic Energy Technology Plan)* ou de la France (*Innovation pour le Facteur 4*). Les marchés, les secteurs, les acteurs et la régulation sont en transformation. La littérature qui caractérisant cette révolution en cours est celle des roadmap technologiques, qui entendent faire le point sur l'état des développements technologies, et surtout développer les visions, perspectives,

« milestone » et jalons vers le futur. Finalement, la dynamique d'innovation dans l'énergie est celle des *énergies renouvelables et de l'énergie intelligente,* qui sont en train de transformer les fondamentaux du monde de l'énergie, sur au moins trois dimensions : concurrentielle, sectorielle, et d'innovation.

En matière de concurrence, l'énergie n'est plus une donnée dans l'équation des comportements individuels et collectifs mais devient une *variable*. La production d'énergie n'est plus uniquement l'affaire des seules grandes entreprises installées, dont la taille et le poids concurrentiels sont justifiées par la nature des investissements en technologies et en capacités de production (lourds, capitalistiques et de long terme). Les énergies renouvelables sont l'affaire de « plus petits », et le sont structurellement. Le développement des panneaux solaires ou des éoliennes n'est en technologie ni en capacité pas comparable à la production à base de charbon ou de nucléaire, mais leur développement dans le monde va croissant, et s'il donne des signes d'essoufflement ci ou là en Europe, il n'en donne pas dès que l'on regarde le monde et en particulier de la Chine, bien au contraire. L'offre d'énergie se diversifie, s'étend et s'intensifie, avec un ensemble d'acteurs qui constituent aujourd'hui une réelle frange concurrentielle. Les énergies intelligentes elles, sont l'affaire « d'acteurs nouveaux », non pas issues du monde de l'énergie, mais du monde des nouvelles technologies. S'ils ont toujours contribués au secteur de l'énergie, ils prennent en revanche aujourd'hui une tout autre place à l'occasion de l'énergie intelligente. Les solutions ne sont plus invisibles et cachées, mais destinées à être expliquées, justifiées et valorisées en tant que telles. La chaine de valeur de l'offre d'énergie se transforme : la production amont est valorisée dans les solutions intelligentes à l'aval des filières. La consommation d'énergie n'est plus non plus du seul ordre d'un service universel fourni, mais la conséquence d'un choix de plus en plus raisonné, l'on dit « active » (B to B to comme BtoC). Là encore, ce changement est structurel : le choix de consommer « vert », de consommer différemment, moins, voire de ne pas consommer ne devient pas seulement possible sur le front de l'offre, mais bien demandé. Au citoyen partie prenante des choix énergétiques se substitue un consommateur d'énergie conscient. Au client « entreprise » assumant un coût structurel de l'énergie, se substitue un investisseur. Offre et demande d'énergie se transforment ainsi, et avec elles, les produits, les services, les contrats, les engagements et conséquemment les coûts, la valeur et les prix. *Les éco-quartiers sont une échelle concurrentielle particulière en taille et en nature (marché expérimental) où l'on entend observer les comportements individuels et collectifs et leur changement. Les nœuds socio-énergétiques sont une nouvelle offre et/ou demande énergétique à caractériser.*

S'agissant des secteurs de l'énergie, leur transformation est engagée, leur objectif de long terme déclaré, leur configuration et leur régulation à *concevoir et organiser*. La politique européenne de la concurrence et la libéralisation du secteur de l'énergie, la politique énergétique et le grand choix pour 2050 portés par le plan stratégique européen engagent l'Europe dans une direction, celle d'un monde « bas carbone ». A l'échelle internationale, les roadmaps technologiques et sectorielles suggèrent un objectif partagé, cherchent à déterminer les voies possibles du changement et à donner un rythme aux transformations. Elles sont une nouvelle manière de concevoir et d'organiser, une autre manière d'encadrer et d'inciter aux transformations technologiques et initiatives privées dans l'énergie. Elles reflètent et révèlent la difficulté de l'exercice envisagé, la somme des incertitudes, risques et irréversibilités. Au cœur de ces difficultés c'est la vision des transformations des chaines de valeurs de l'énergie qui est en jeu (toutes les chaines de valeurs de l'énergie) leur entrecroisement, chevauchement et notamment transpercement par le secteur des technologies de l'information et de la communication. Les regards et les benchmarks depuis les énergéticiens sont orientés vers Google, non pas uniquement par mode, mais bien par anticipation du futur. Les barycentres de valeur sont en train de bouger, se déplaçant à la fois dans des dimensions verticales de chaine de valeur (de l'amont vers l'aval) et horizontale (la construction, les transports, l'agriculture…). Les barycentres de décision changent également, depuis le choix de solutions industrielles centralisées vers des solutions décentralisées et distribuées, voyant les villes ou les quartiers comme lieu d'expérimentation des solutions du futur. *Les éco-quartiers sont un lieu de reconfiguration de la chaine de valeur et de son partage entre acteurs de l'énergie. Ils sont des laboratoires vivants, des lieux d'expérimentation, de conception et d'organisation de nouvelles chaines de valeur.*

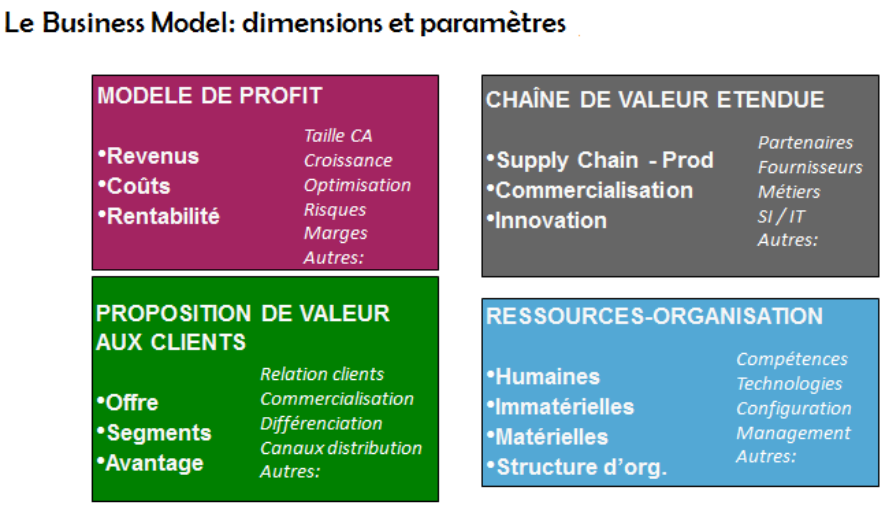
Enfin au titre de l'innovation, la technologie ne changera pas à elle seule le monde de l'énergie, mais les comportements individuels et collectifs associés à ces nouvelles technologies. Le monde de l'énergie est plus que d'autres, fortement scientifique et technologique. Le progrès y est technologique, tiré depuis toujours par les opportunités technologiques nouvelles, généralement de procédés et incrémentales. S'ouvre désormais une ère en partie nouvelle, où l'énergie dite intelligente et renouvelable transforme les conditions de succès des innovations. Cette ère est comportementale,

en lien avec le développement des innovations de services dans l'énergie, sous la pression institutionnelle, réglementaire et territoriale qui crée les conditions idéales pour des ruptures. Le modèle traditionnel de valeur est bousculé. Le consommateur est progressivement actif, et entend adopter, contrôler et piloter voire déléguer les innovations énergétiques qu'il choisit. Les entreprises ne tirent plus à elles seules le développement des innovations, et cherchent à innover en matière de proposition de valeur des solutions énergétiques nouvelles qu'elles envisagent de proposer aux consommateurs devenus actifs. Pour l'un comme pour l'autre, il s'agit d'innovation. Coût des technologies, et notamment de la part du « durable », qui va payer pour cette part, sans compter sur la bonne volonté ni les moyens du client final ? *Les éco-quartiers sont des lieux d'observation de la transformation du modèle traditionnel de valeur de l'énergie. Quelles sont les transformations qui ont lieu à l'occasion des nœuds socio-énergétiques ?*

7.2. Dynamique des modèles d'affaires autour de l'intelligence énergétique

Nous avons retenu la définition et l'approche de Osterwalder et Pigneur en matière de modèle d'affaires. La Figure 3 décrit de manière détaillée les composantes du modèle d'affaire dans un schéma intégratif qui permet de lister les paramètres d'observation de la dynamique des business modèles.

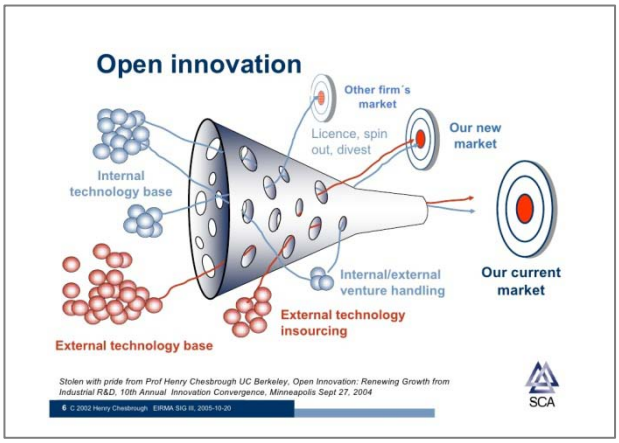
Figure 3 : Dimensions et paramètres du modèle d'affaires



Au-delà du concept et des typologies de modèles d'affaires, des tendances lourdes sont identifiées aujourd'hui tant par les chercheurs que par les enquêtes de terrain. Les principaux facteurs de dynamiques incluent : le progrès technologique associé à la convergence technologique par les technologies capacitantes qui augmentent le potentiel des activités de services et qui rapprochent voire hybrident les marchés ; la maturité des IT qui modifient les façons de travailler, de collaborer et de vendre par exemple changeant considérablement les processus et les performances des entreprises qu'il s'agisse de productivité, de réactivité ou de qualité ; l'importance croissante de l'innovation comme relais de développement voire de survie en fait un élément de stratégie central des entreprises (et non plus une activité marginale et isolée) et un élément de politique publique majeure – qui tend à fédérer l'innovation au sein d'écosystèmes spécialisés. Le poids des technologies de l'information et de la communication associées aux capteurs et actionneurs enfouis dans l'environnement dans la transformation du monde vers plus d'intelligence est sans doute un des principaux moteurs de dynamique. Ce sont les trajectoires du Cloud computing et du smart grid notamment dans le domaine de l'énergie. Il doit être associé à la problématique environnementale de développement durable au sens large, qui affecte les réglementations (de nouvelles obligations) et la société (de nouveaux comportements, plus exigeants et plus sélectifs). En définitive, les modèles d'innovation qui tendent à modifier les modèles d'affaires établis présentent les caractéristiques suivantes, propres aux modèles dits ouverts (Chesbrough 2003 ; voir Figure 4) : penser en dehors de la boîte c'est-à-dire en dehors des métiers et/ou des offres établis ; changer tout ou partie des processus clés de l'entreprise, notamment en relation avec le client ; développer les capacités

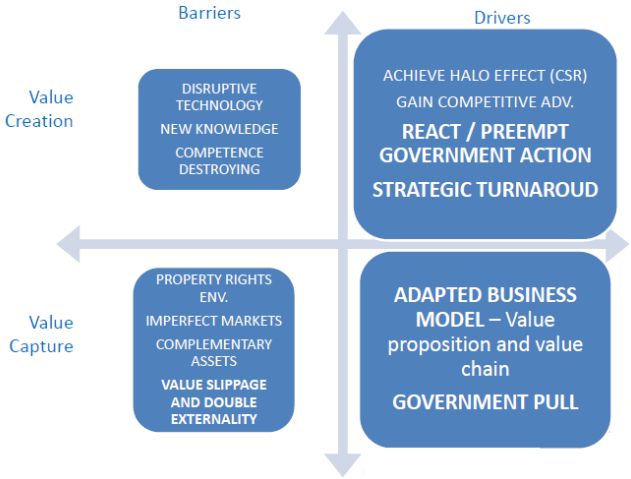
entrepreneuriales internes en collaboration avec l'environnement externe, au sein de nouvelles formes d'organisation.

Figure 4 : Modèle d'open innovation de Chesbrough



Les principaux leviers d'actions pour changer et faire évoluer les modèles d'affaires face à l'innovation radicale et durable sont, selon la littérature (Figure 5) :

Figure 5 : Barrière et moteurs des conditions de création et de capture de valeur



Ce que la collaboration et l'ouverture apporte à la réussite de ce type d'innovation comprend, une communication plus performante, une promotion et visibilité accrue, un meilleur accès aux savoirs et connaissance, une réduction des coûts, un accès aux nouveaux marchés, une meilleur intégration de la chaine de valeur, et un environnement plus favorable aux affaires. Les clusters technologiques apporte un cadre institutionnalisé de recherche performant, des bases industrielles solides, des venture capitalistes présents, développement des talents, des infrastructure de collaboration, une visibilité internationale.

L'entrée dans des approches ouvertes de l'innovation soulèvent systématiquement des questions que nous avons identifiées dans la littérature. Les plus redondantes qui semblent annonciatrices de changement potentiel au niveau du business model sont :

- La recherche de nouvelles façons de voir les choses au niveau stratégique
- Les nouveaux régimes d'appropriation et de partage de la valeur
- Les connexions et collaborations étendues
- Les nouveaux mécanismes de génération et d'intégration de connaissances
- La performance de l'innovation et son efficacité face à une pléthore de possibles
- L'accès à de nouveaux marches et consommateurs

- L'agilité, la flexibilité et les nouvelles formes d'organisation
- Les capacités créatives et entrepreneuriales des individus en interne et en externe
- L'importance des hommes et de leur participation
- Les structures et espaces d'expérimentation neutres et isolés
- Les questions d'éthique et de valeurs à renforcer

Aujourd'hui, l'ensemble des chaînes de valeur de l'énergie est en mutation, transformant la manière de produire, de transporter, de distribuer et de consommer de l'énergie. Par exemple, une entreprise comme Schneider Electric s'affirme aujourd'hui comme un fournisseur de services et intègre massivement des activités de « data center », notamment pour lutter contre l'arrivée de nouveaux entrants en provenance du numérique. Il y a une prise de conscience généralisée quant à l'impératif de changer les règles du jeu de l'industrie et les métiers. Toutefois, changer ne signifie pas nécessairement substituer totalement et brutalement. Il nous semble ainsi qu'une réflexion sur les modèles d'affaires, appliquée aux nœuds-socio énergétiques et/ou aux éco-quartiers n'a de sens qu'en lien avec cette transformation générale que vivent les entreprises tant dans leur offre (proposition de valeur) que dans leurs processus clés (supply chain, commercialisation et innovation), leurs ressources (technologiques mais aussi humaines, de marque, etc.), leur modèle de profit, toutes ces dimensions étant interdépendantes.

La transformation du modèle de valeur est profonde et au cœur de la dynamique des modèles d'affaires dans l'énergie. On citera trois changements profonds s'agissant du comportement des consommateurs (que l'on retrouve dans la littérature sous le vocable de « consumer challenges ») en matière de perception et de croyances, de confiance et de crédibilité, de préférence et d'adoption. Perceptions et croyances individuelles quant à l'énergie consommée sont très souvent éloignées de la réalité des consommations effectives. A l'exception de l'énergie consommée au titre des transports, la plupart du temps la consommation est méconnue, car en partie invisible (c'est le cas notamment pour l'électricité), ou non systématiquement rapportée à un système de mesure relative (combien de fois plus de gaz que d'électricité, ou combien de fois plus pour cet appareil que pour un autre, ou combien de fois plus d'énergie pour le chauffage par unité de température extérieure). La majorité des consommateurs finaux n'est soit pas en capacité de s'informer sur ses niveaux fins de consommation, ou n'est pas en mesure de pouvoir, par la pratique, s'informer sur ses niveaux de consommation. Dès lors perceptions et croyances sont sources de substitutions éventuellement peu efficaces, et en général de gaspillage, eux-aussi invisibles et involontaires. La transition vers un monde où l'énergie est distribuée, mesurée, mesurable et utilisable à la discrétion du consommateur nécessite alors d'être apprise et vécue, plus qu'informée et expliquée. L'expression de sa valeur en unité monétaire est un pas supplémentaire le long d'une courbe d'apprentissage à l'allure inconnue. S'agissant de la confiance et de la crédibilité, les systèmes de mesure de consommation, d'automatisation ou de report de consommation sont vécus comme autant de système de contrôle et de surveillance du consommateur (à la manière « big brother »). S'ajoute à cela un déficit de crédibilité vis-à-vis des entreprises porteuses de ces solutions, quant à leur motivation à défendre l'intérêt de tous et le leur en particulier. La transition vers des solutions individualisées doit elle aussi être expérimentée. Enfin, s'agissant des préférences du consommateur vis-à-vis des nouvelles technologies de production et de consommation d'énergie (vis-à-vis des solutions d'efficacité énergétique) et de ses capacités d'adoption des nouvelles technologies, les fondamentaux ne sont ici pas si nouveaux : la préférence est aux solutions peu couteuse, peu invasive, et transparente.

Face à ces mutations des clients finals, les entreprises du secteur de l'énergie se trouvent dans une situation d'incertitude et d'ambiguïté extrême. Le champ des offres possibles est extrêmement ouvert. On observe une pléthore d'idées et de projets en émergence, proposant de très nombreuses fonctionnalités : autour du respect et de la performance environnementale, de l'information et de l'économie d'énergie, du design et de l'image en relation avec les valeurs personnelles des consommateurs, de santé, de nouveaux services simplifiant la vie du consommateur. Il serait déraisonnable de ne pas changer car ces valeurs ajoutées finiront probablement, pour partie, par être commercialisées et par générer de la valeur. Mais s'il est admis qu'il faut changer, la première question est, au sein des entreprises : pour aller où ? Face à une telle incertitude, les mécanismes de décision sont sujets à des biais cognitifs majeurs et connus dont une préférence pour le statu quo. Les organisations tendent à renforcer cette inertie comme l'explique fort bien Tripsas et al. (1998) en décrivant le cas Polaroïd face au numérique. Dans le cas de l'énergie, ce peut vouloir dire vendre du service au lieu de produits, écouter le client plutôt que le convaincre, modifier les processus de commercialisation de l'accès au marché jusqu'au la contractualisation et au suivi client. Dès lors, les fondamentaux des connaissances acquises durant de longues années par les équipes marketing s'effondrent : on ne sait pas exactement quoi vendre, quels critères de différenciation utiliser puisqu'il

faut les créer et quel impact ils ont sur le client, à partir de quel seuil de performance, à quel prix et dans quelles conditions d'acceptabilité et d'adoption. D'ailleurs, le client a lui-même changé comme décrit précédemment, et les segments de marché se transforment et se diversifient, avec des populations vieillissante d'une part et d'autres en très jeune et en très forte croissance au sein des pays en développement. Au final, le risque est de dégrader la satisfaction client, grand critère d'évaluation de la performance des équipes. C'est inacceptable pour tout manager sauf en créant des zones d'actions et d'expérimentations comme des projets d'innovation collaboratifs autour de la notion d'éco-quartier et du concept de nœud socio-énergétique. Dès lors, nous ne savons rien sur le lien entre ces expérimentations et l'évolution des pratiques marketing et commercial qui constituent un élément du business model.

7.3. Prémices de l'innovation de modèles d'affaires autour des solutions énergétiques émergentes

Comme évoqué précédemment, il ne s'agit pas de découvrir le prochain « killing » modèle d'affaires, celui qui va permettre à une entreprise de devenir très largement leader sur le marché, qu'elle y soit déjà installée ou bien nouvel entrant. La question est bien celle de la capacité dynamique des entreprises à faire évoluer, transformer, multiplier ou éliminer des modèles d'affaires de son portefeuille. Il est donc important de comprendre où l'on est aujourd'hui en matière de modèles d'affaires des acteurs d'un nœud socio-énergétique pour envisager ensuite par différentiel, les modifications apportées en lien avec la collaboration et comprendre les mécanismes de leur émergence et de leur rétention. Ce point de départ suppose d'identifier des modèles d'affaires parfois inexistants ou inconscients, parfois informels et souvent plus conceptuels que pratiques. Nous proposons d'adopter une logique partant des modèles d'affaires dominants au sein de chaque industrie ou métier des partenaires et de positionner ses derniers par rapport à ces modèles, tels qu'ils s'auto-perçoivent et se décrivent. Notamment, quatre modèles sont utilisés à titre de positionnement initial : « solution-push », basé sur le logiciel et les royalties, basé sur l'innovation et sa diffusion, basé sur l'immobilier et la vente / location d'espaces. Ensuite, il s'agit de comprendre les nouveaux éléments de la « recette » du modèle d'affaires qui sont imaginés, testés et éventuellement retenus pour créer et capturer de la valeur. La revue de littérature sur les innovations de rupture et durables notamment permet d'anticiper trois problématiques majeures susceptibles de stimuler des changements au niveau du modèle d'affaires : la formule de profit pour notamment rentabiliser des investissements technologiques croissants en montant et en niveau de risque et plus incertains en termes de retour sur investissement ; l'excellence et l'expertise sont susceptibles de devenir obsolètes alors que les nouveaux domaines d'excellence requièrent d'acquérir rapidement de nouvelles expertises ; de nouveaux problèmes de coordination émergent tant au sein des chaînes de valeur qu'avec de nouveaux partenaires « inconnus », avec lesquels il n'existe ni langage ni valeurs communes.

Ainsi, la dynamique d'évolution des modèles d'affaires est, dans la pratique, source de tensions et de conflits car elle met en difficulté les organisations, notamment les « opérationnels ». Il est dès lors intéressant de comprendre si les acteurs en présence mobilisent ces ressources opérationnelles internes ou bien ne prennent pas le risque de perturber leur fonctionnement et leur performance et créent des équipes et des structures ad hoc plus libres et indépendantes pour créer de nouveaux éléments de modèles d'affaires ou modifier les paramètres et les formules existantes. Ensuite, au fil de l'émergence de l'innovation à travers la collaboration, il est essentiel d'identifier les sources de conflits qui ont trait au modèle d'affaires pour comprendre comment les difficultés sont réglées, le cas échéant en modifiant les approches initiales des partenaires. Les critères qui guident ces décisions permettent de comprendre de manière plus affinée les modèles d'affaires et leur potentiel d'évolution. Enfin, il est essentiel aussi de focaliser notre attention sur les moteurs et les leviers mobilisés par les acteurs pour faire changer leurs modèles d'affaires. Par exemple, lorsque un obstacle majeur à la réalisation des bénéfices clients est identifié, alors il se peut que les partenaires mutualisent différemment leurs efforts sous forme par exemple de task force et d'ouverture vers des communautés externes pour trouver des réponses. Dès lors, le modèle d'affaire envisagé initialement peut de nouveau se trouver remis en question drastiquement par des solutions d'une nature significativement décalée.

7.4. Bibliographie

- Abernathy, W. Utterback, J.M. (1978). “Patterns of innovation in technology.” Technology Review, 80, 40-47.
- Amit, R. and C. Zott (2001). "Value creation in e-business " Strategic Management Journal 22(6-7): 493-520.
- Amit, R. and C. Zott (2008). "The fit between product market strategy and business model: implications for firm performance " Strategic Management Journal 29(1): 1-26.
- Brink, J. and M. Holmén (2009). "Capabilities and Radical Changes of the Business Models of New Bioscience Firms." Creativity and Innovation Management 18(2): 109-120.
- Casadesus-Masanell, R. and J. E. Ricart (2010). "From Strategy to Business Models and onto Tactics." Long Range Planning April-May.
- Chesbrough H.W. and Rosenbloom R.S. (2002). "The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies " Industrial and Corporate Change 11(3): 529-555.
- Chesbrough, H. (2010). "Business Model Innovation: Opportunities and Barriers." Long Range Planning 43(2-3): 354-363.
- Christensen, C.M. (1997). The innovator’s dilemma : when new technologies cause great firms to fail. Harvard Business School Press, Cambridge, MA.
- Gatignon H., Tushman, M.L., Smith W., Anderson, P. (2002). “A structural approach t oassessing innovation: construct development of innvoation locus, type and characteristics”. Management Science, 48, 1103-1122.
- Hedberg B., Jönsson S. (1978). Designing semi-confusing IS for organizations in changing environments. Accounting , Organizations and Society.
- Henderson, R.M., Clark, K.B. (1990). “Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms.” Administrative Science Quarterly, 35, 9-30.
- Hill, C.W., Rothaermel, F.T. (2003). “The performance of incumbent firms in the face or radical technological innovation.” Academy of Management Review 28, 257-274.
- Magretta, J. (2002). "Why Business Models Matter " Harvard business review(May): 86-92.
- March G.J., Feldman M. (1981). Information in organizations as signal and symbol. Administrative Science Quarterly 26 171-186.
- Nonaka, I., Takeuchi H. (1995)°, The knowledge-creating company, New York: Oxford
- O’Reilly A., Tushman M.L., 2004, The Ambidextrous Organization, Harvard Business Review, Vol. 82, No. 4, p. 74-81
- Osterwalder, A., Y. Pigneur, et al. (2005). "Clarifying business models: origins, present, and future of the concept." Communications of the Association for Information Systems 15.
- Shea C.M. (2005). “Future management research directions in nanotechnology: a case study.” J. Engineering and technology Management, 22, 185-200.
- Smith, W. K., A. Binns, et al. (2010). "Complex Business Models: Managing Strategic Paradoxes Simultaneously." Long Range Planning 43(2-3): 448-461.
- Teece, D. (1998). Capturing value from knowledge assets: the new economy, markets for know-how, and intangible assets, California Management Review, 40(3), 55-79.
- Teece, D. (2010). "Business Models, Business Strategy, and Innovation " Long Range Planning 43(2-3): 172-194.
- Voelpel, S. C., M. Leibold, et al. (2004). "The wheel of business model reinvention: how to reshape your business model to leapfrog competitors." Journal of Change Management 4(3): 259-276.
- Zott, C. and R. Amit (2010). "Business Model Design: An Activity System Perspective." Long Range Planning 43(2-3): 216-226.

Synthèse des résultats

Près d'une année s'est écoulée depuis le démarrage de la recherche, il en reste encore deux avant de rendre le rapport final[60]. Le travail d'intégration des connaissances se concrétisera la dernière année dans l'élaboration des scénarios prospectifs à l'horizon 2040 et la rédaction de synthèse à visée opérationnelle. D'ici là, l'enjeu est double pour l'équipe du projet NEXUS, d'une part partager des connaissances sur les écoquartiers et les technologies, notamment sur les acteurs, le contexte et les processus de décision, et d'autre part, croiser et confronter nos regards disciplinaires sur les mêmes objets.

Outre rendre compte de l'avancement de la recherche aux financeurs, ce rapport intermédiaire a vocation à partager des connaissances au sein de l'équipe. Il ne s'agit pas encore de relier les observations et les résultats des différents textes produits, il est important que chaque chercheur ait sa propre lecture avant de la confronter dans les prochains mois pour constituer les briques de connaissances préalables aux ateliers prospectifs.

Les premières analyses conduisent à définir les principaux objets de cette recherche ainsi :

- Un écoquartier est un projet urbain de réhabilitation – ou de création – intégrant des infrastructures économes en énergie et respectueuses de l'environnement, mais aussi des préoccupations économiques, sociales, culturelles et esthétiques.
- Un nœud socio-énergétique est un groupe d'éléments assurant le stockage, le regroupement ou la répartition de flux d'énergie et dont la conception, supervisée par un maître d'ouvrage, a impliqué, le temps nécessaire, les mêmes acteurs.

Limitons-nous aux premiers constats issus des textes de ce rapport intermédiaire parvenus à temps pour être assimilés dans cette synthèse.

Fiches d'analyse des technologies énergétiques (CEA-INES Schneuwly)

De l'ensemble des technologies présentées, il ressort cinq modes de stockage de l'énergie utilisés dans des immeubles ou les quartiers ;

- l'inertie thermique intérieure des bâtiments lisse, de façon passive, la demande en chaleur des ménages,
- les produits combustibles : la biomasse que l'on considère renouvelable mais aussi les combustibles fossiles peuvent être stockés à proximité de la chaufferie.
- les réservoirs d'eau :
    - le ballon d'eau chaude sanitaire stocke l'eau chaude et, par conséquent décale (voire lisse) la demande de chaleur (éventuellement d'électricité), le ballons d'ECS doit être situé à proximité des points de puisage, c'est à dire dans le logement ou en pied de colonne d'un immeuble,
    - le réservoir de fluide caloporteur stocke la chaleur excédentaire généralement produite par des panneaux solaires, il peut être situé dans le bâtiment ou à l'extérieur,
- le sous-sol et les volumes d'eau de plein-air constituent des sources chaudes (ou froides en été) pour des pompes à chaleur, elles sont réalimentées en calories par les apports solaires et par le sol (en frigories par le sol et l'air frais),
- l'accumulateur électro-chimique (communément appelé batterie électrique) stocke et restitue l'énergie électrique.

Ces modes de stockage sont plus ou moins réversibles : l'accumulateur électrique l'est à tout instant, le réservoir de fluide caloporteur et les sous-sols fonctionnent de façon saisonnière mais associés à une pompe à chaleur, ils peuvent absorber ou restituer de la chaleur instantanément. L'inertie thermique n'est réversible qu'en période estivale (rafraichissement nocturne). L'eau chaude sanitaire du ballon ne peut pas être restituée, mais dans certaines conditions techniques, elle peut restituer de la chaleur. Quant au combustible, sa combustion est irréversible.

Les réseaux sont aussi inégaux en flexibilité :

[60] Ensuite, les six derniers mois de cette recherche seront consacrés à la valorisation.

- Le réseau électrique couvre tous les bâtiments mais la production d'électricité au sein d'un quartier se limite de fait à la cogénération et au panneau photovoltaïque. Les accumulateurs électriques constituent le seul type usuel de stockage de ce réseau.
- Les réseaux de chaleur sont morcelés, voire inexistants en France mais ils utilisent et produisent des éléments relativement stockables à toutes les échelles de la ville. La distribution de la chaleur et la gestion des équipements sont très variables.

Construction d'une typologie des écoquartiers (EDDEN Philippe Menanteau)

La conclusion de la typologie des EQ (EDDEN, Philippe Menanteau) se focalise sur la comparaison EQ français vs européens :

- les EQ français sont plus récents; la sélection française correspond à des zones plus petites et plus densément construites.
- les solutions technologiques sont moins variées.
- la recherche d'autonomie énergétique est moins poussée; autrement dit, les EQ français recourent peu aux énergies solaire et éolienne et davantage à des apports énergétiques exogènes. Cette différence est encore plus marquée si on considère seulement l'électricité.
- l'effort de décarbonatation concerne surtout la production de chaleur, où l'on s'efforce à mobiliser la biomasse et les déchets ou à récupérer la chaleur des eaux usées ou de la géothermie.
- les objectifs de réduction des émissions de GES sont moins ambitieux et/ou peu mentionnés.
- les collectivités locales sont plus impliquées dans la gouvernance.

Pour expliquer ces différences (français vs européens), Philippe Menanteau formule deux hypothèses très intéréssantes pour la suite :

- L'apprentissage collectif sur les écoquartiers - ici à l'échelle européenne- conduit à (permet de) restreindre la gamme de solutions (les quartiers les plus récents mobilisent une gamme de solutions énergétiques plus restreintes).
- La spécificité du parc électrique français, à savoir, la relative faiblesse des émissions de carbone dans la production d'électricité conduit les collectivités françaises à concentrer leurs efforts sur la production de chaleur et à choisir la consommation énergétique (plutôt que les émissions de carbone) comme objectif principal.

Gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers (PACTE Stéphane La Branche)

Stéphane La Branche pose des briques successives que nous tentons de résumer ainsi. Commençons par la première partie du texte mobilisant la littérature scientifique :

- des années 60 aux années 80, la participation citoyenne a progressé dans les projets d'urbanisme sous la pression congruente des habitants et, avec quelques années de décalage, du cadre législatif, elle stagne depuis,
- la mobilisation idéelle du changement culturel et du "vivre ensemble" associée aux EQ n'implique pas nécessairement la participation des citoyens
- les écoquartiers sont plus complexes que les quartiers classiques : la montée en puissance des nouveaux enjeux environnementaux pose des problèmes de coordination des acteurs et requiert des arbitrages politiques ou des compromis entre acteurs sont nécessaires pour faire avancer le projet,
- la question du changement climatique, surgie à la fin des années 90, a été intégrée récemment comme orientation dans les documents cadres de l'action urbaine, elle se traduit par une augmentation des contraintes sur les EQ et se heurtent à la culture et aux inerties institutionnelles,
- cependant, ce sont très souvent des administrations territoriales qui sont à l'initiative et pilotent les changements.

L'analyse des documents rassemblés sur les douze écoquartiers permet de tirer quelques enseignements :

- les modes de gouvernance et de mobilisation sont très variés,
- il n'y a pas de relation évidente entre le niveau d'ambition environnementale, la centralisation du système énergétique et celle de la gouvernance,

- par contre, un niveau d'ambition environnementale élevé exige une plus grande diversité d'acteurs (Vauban l'illustre) et entraîne une plus grande complexité du projet et du processus (Hammarby-Stockholm)
- l'innovation d'un EQ se caractériserait davantage par la gouvernance (Vauban-Fribourg, Ginko-Bordeaux) et le management du projet (De Bonne-Grenoble) que par les technologies mises en œuvre

***

In fine, ce "work package" apporte des connaissances nouvelles. Certaines ont été discutées au sein de l'équipe NEXUS notamment pour le choix des écoquartiers et des technologies. D'autres, n'ont été formulées que dans la phase de rédaction de ce rapport.

Les chercheurs qui sont impliqués dans le "work package 2" auront besoin d'échanger sur ces connaissances dès cet automne pour mener l'enquête au sein du quartier De Bonne à Grenoble et les enquêtes sur les nœuds socio-énergétiques complémentaires. Parallèlement, le partage des connaissances et le croisement des regards disciplinaires restent des objectifs de l'ensemble de l'équipe pendant cette deuxième année du projet.

Annexes

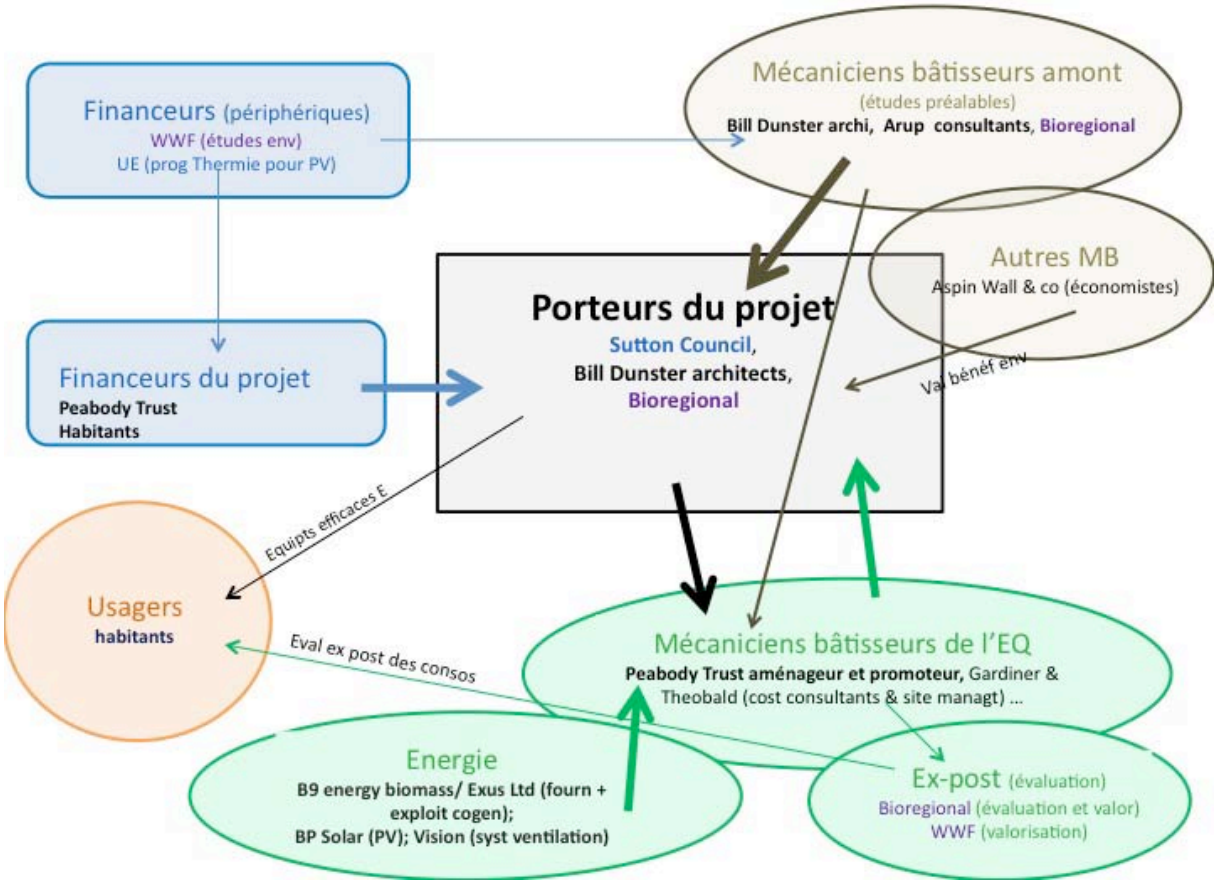
Annexe 1 - Fiches EQ et cartographies des réseaux d'acteurs

Auteurs : Odile Blanchard (UPMF-EDDEN), Dinara Adykulova (stagiaire EDDEN), Philippe Menanteau (CNRS-EDDEN), Xavier Long (PACTE)

BedZed (Beddington Zero Energy Development), Sutton (banlieue de Londres), UK

Contexte de l'opération	• Expansion urbaine sur ancien site houiller • Agenda 21 de Sutton + EMAS (Eco-Management and Audit Scheme)
Dates repères	• 1996-2002 : 1996 développement du concept d'EQ par l'architecte Bill Dunster et Bioregional Development group ; 2000 démarrage des constructions ; 2002 premiers résidents
Brève présentation de l'opération	• 1,7 ha, 82 logements, ex-nihilo • En amont : analyse du cycle de vie des matériaux potentiels + simulation informatique pionnière des besoins énergétiques et de la production ENR avec une vision intégrée de l'EQ, dont conception bioclimatique des bâtiments (bedze_11) • Immeubles d'habitation, 2 500 m² de bureaux et de commerces, 5000 m² d'espaces verts ; forte densité de 100 logements et de 200 bureaux par ha construit. • Coût total : 17 millions d'€ (dont 14 millions pour la construction, 2,5 millions pour les taxes professionnelles, 0,5 million pour la planification et le contrôle de la construction)
Objectifs sociaux, économiques, environnementaux (hors énergie)	• Mixité sociale ; 1/3 en propriété, 1/3 en logements sociaux, 1/3 en location • Logements de haute qualité environnementale, neutres en carbone, avec accent sur des systèmes techniques « passifs » minimisant besoins en eau, matériaux et énergie • Réduction de 50 % de la consommation d'eau par rapport à la moyenne UK • Recours maximal à des matériaux de construction de récupération ou provenant d'un rayon de 50 km. • Réduction et recyclage des déchets • Réduction de l'usage de la voiture et promotion des TC et modes doux
Principaux acteurs (en les qualifiant)	• Conseil municipal de Sutton (Sutton Borough Council) • Initiateurs : architecte Bill Dunster engagé dans l'éco-construction, en partenariat avec cabinet Arup (designers) et consultant environnement Bioregional Development Group (bedze_11) • Peabody Trust (fondation caritative de Londres, dédiée à l'habitat), développeur, aménageur et financeur du projet. Achat des terrains à la municipalité de Sutton • Financement partiel par le WWF (partenariat avec Bio Regional) • Fournisseurs des systèmes énergétiques : cogen + exploitation du système (B9 Energy Biomass devenue Exus Ltd); PV (BP Solar) ; ventilation (Vision) • Gardiner & Theobald (cost consultant & construction management)
Objectifs énergétiques (bedze_14)	• Zéro énergies fossiles, zéro émissions de GES • 100% d'énergies renouvelables • Logements quasi-passifs pour le chauffage • Réduction d'un tiers de la conso d'élec par rapport à la moyenne UK • Réduction de 50 % de la conso d'énergies fossiles des voitures
Systèmes énergétiques (bedze_11, bedze_14, bedze_15)	• Conception bioclimatique, apports solaires passifs, triple vitrage, toitures végétalisées, isolation renforcée, étanchéité à l'air • Chauffage résiduel + ECS provenant d'une centrale de cogénération prototype, (gazéification biomasse – élagage local des arbres) • Ventilation passive double flux innovante par cheminées et capuchons orientables au vent sur les toits, • Panneaux PV initialement pour 40 véhicules électriques ; financement partiel par l'UE • Appareils ménagers les + performants / conso élec & eau (achat groupé) • Information & sensibilisation des usagers à maîtrise énergie (compteurs ECS et élec visibles, info sur les consos de l'EQ)
Retours d'expérience (bedze_02, bedze_03, bedze_14)	• Objectifs ambitieux ont guidé tout le projet, démonstrateur avant tout • Nombreuses pannes techniques de la centrale de cogénération dès le début + faillite de Nexus Ltd ; arrêt complet de la centrale en 2005. Remplacement par chaudière gaz à condensation performante (fin de la cogen donc !) • Panneaux PV pas utilisés par VE (pas d'achats VE) mais pour 20% des besoins élec de l'EQ (suite à panne de la cogen) ; le reste de l'électricité vient du réseau national • Faute de demande de bureaux, transformation de bureaux en logements. Efficacité énerg moindre car bureaux prévus ont été construits au Nord • Consos 2007 élec /hab : - 38% / moy de Sutton ; chauffage+ECS /hab : -77% ; économies substantielles de charges pour les habitants • Bilan carbone : -68% d'émissions /m2 / à moy nouveaux bâtiments UK de 2002 • Comportements + ou – vertueux des habitants : écart de 1 à 3 des consos • Enseignement : « ne pas affirmer que toute l'énergie nécessaire à un site doit être développée dans tous les cas sur le site » (bedze_14)
Nœuds socio-énergétiques et caractérisation de la gouvernance	• Principaux acteurs, moteurs de l'opération : Bill Dunster, assisté des ingénieurs de Arup et de BioRegional Development Group. • Financement principal : Peabody Trust • Gouvernance – top down, forte volonté de déployer des technologies innovantes, mais peu d'accent sur l'incitation au changement de comportements des usagers

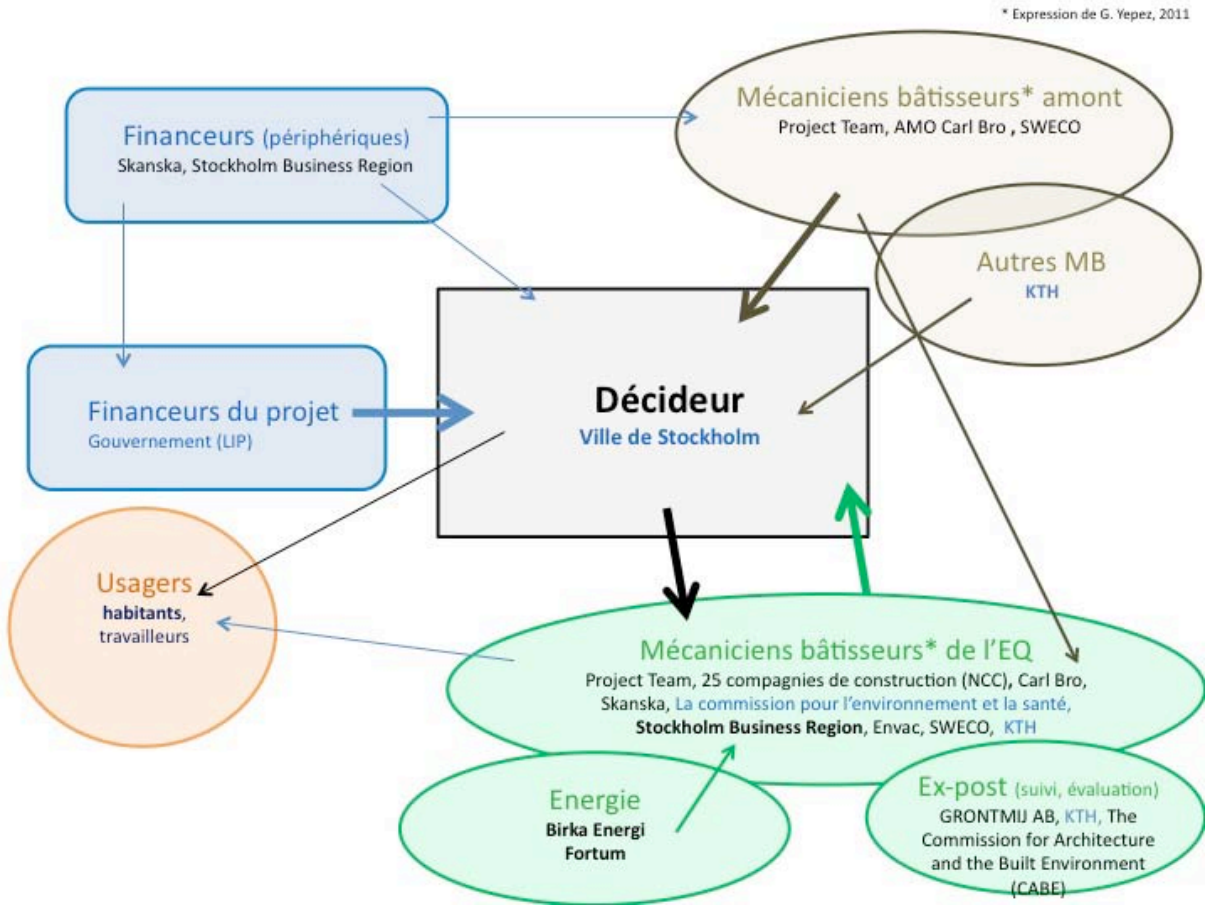
Figure 6 : BedZed – Cartographie des réseaux d'acteurs



Hammarby Sjöstad, Stockholm, Suède

Contexte de l'opération	• Quartier situé au sud de Stockholm autour du lac Hammarby Sjo • Opération initiée à l'origine en lien avec le projet d'accueillir les Jeux Olympiques 2004 (village olympique à faible impact environnemental) • Requalification d'une ancienne zone industrielle et portuaire pour construction de logements neufs • Ville Stockholm principal propriétaire des terrains
Dates repères	• Début chantier 1994-95/ premiers résidents 2000 / fin construction 2015
Brève présentation de l'opération (hamma_05)	• Objectif 11 000 logements pour 25-35 000 hab sur 200 ha (sup totale). • Logements collectifs • Coût global 4.5 Mds € • Octroi de financements par le Programme pour l'Investissement Local (LIP), qui alloue fonds aux projets avec moindre impact env. (hamma_06)
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (hamma_05)	• Minimisation impacts environnementaux (« Hammarby model », cf infra): énergie, eau, déchets, … • Le projet prévoit d'accueillir logements et activités professionnelles. Mixité et intégration sociale. Propriétaires occupants et bailleurs sociaux. Divers équipements publics et commerces.
Principaux acteurs (en les qualifiant) (hamma_06)	• Ville de Stockholm et Project Team • AMO environnement : Carl Bro AB consulting firm • Autres acteurs importants (Ville Stockholm) : Stockholm Vatten (Cie des eaux), Stockholm Energi (rachetée ensuite par Fortum -opérateurs énergétiques), Stockholm Waste Management Admin • KTH (Royal Institute of Technology) institut de recherche
Objectifs énergétiques (hamma_05, hamma_03, multi_01)	• « Hammarby model » à l'origine des choix énergétiques : réduction impact environnemental (moins 50% - ref années 90) par création système en boucle qui valorise économies d'énergie et d'eau, ressources locales et recyclage • Offre énergie 100% renouvelable dont énergie issue des déchets et eaux usées (80% des apports) • Consommation max logements 60 kWh/m² - ajusté à 100 kWh en 2005
Systèmes énergétiques (multi_02, hamma_07, hamma_06)	• Réseau de chaleur alimenté par incinération des déchets (cogen) et chaleur des eaux usées (pompes à chaleur -PAC) • Eau froide après PAC pour réseau climatisation • Production biogaz (usage cuisson et transport public) par traitement des eaux usées (boues station épuration) • Quelques bâtiments équipés PV, plus expérimentation pile à combustible au Centre d'information environnementale (GlashusEtt)
Retours d'expérience (hamma_06, hamma_04, hamma_05)	• Objectifs ambitieux de performances thermiques pas forcément tenus (conso réelle très supérieure aux objectifs. ; proche de 120 kWh/m²) • Bon fonctionnement station épuration des eaux et production biogaz (3.5 Mm3 gaz dont 3.1 pour chaleur ; solde utilisé par bus) • Absence de cahier des charges détaillé. Bâtiments pas conçus pour dépasser les normes nationales • Conflit entre objectifs environnementaux et réalisations architecturales.(hamma_08, hamma_09) Ex : objectif de 60 kWh/m2 en contradiction avec recherche confort, grandes surfaces, grandes fenêtres avec vue sur le lac…
Nœuds socio-énergétiques et caractérisation de la gouvernance (hamma_06)	• Approche de type "top-down" : l'équipe de projet manage et coordonne tous les autres acteurs (aménageurs, consultants, administration etc.) • « Hammarby model » développé par Carl Bro et Project Team en partenariat avec Stockholm Water Company, Fortum and the Stockholm Waste Management Administration.

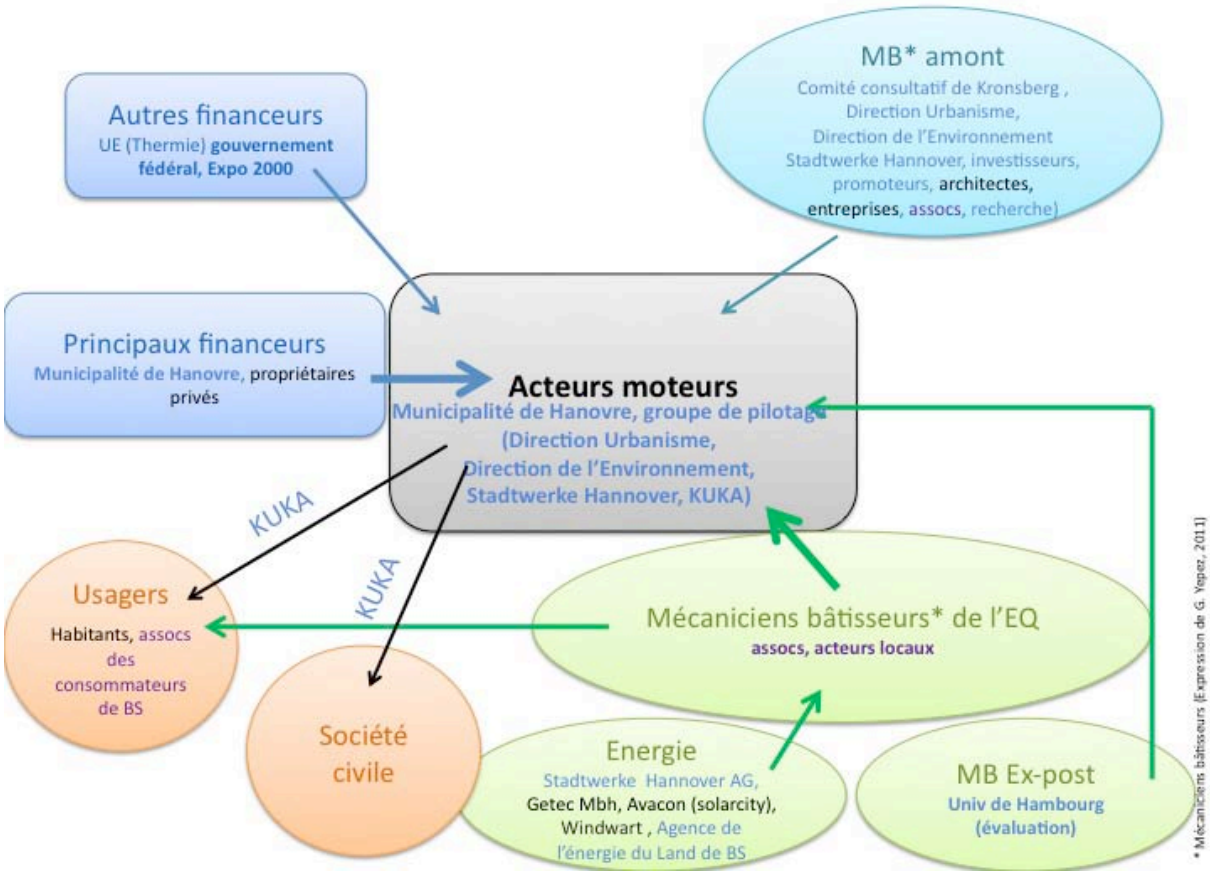
Figure 7 : Hammarby – Cartographie des réseaux d'acteurs



Kronsberg, Hanovre, Allemagne

Contexte de l'opération	• Pénurie de logements. Volonté création quartier vert en périphérie. • Lien avec expo universelle de 2000 à Hanovre. Innovation technique, caractère démonstratif (technology, nature, humanity) • Réserve foncière. 80% des terrains détenus par la Ville
Dates repères	• Projet initié début 90s / début construction 1995-97? /inauguration en 2000 (3000 logements)
Brève présentation de l'opération (multi_03, krons_03, multi_01)	• Terrain 70 ha (dont 45 constructibles), avec 6000 logements dont 300 maisons pour un total de 15000 hab. à terme • Diversité occupation recherchée : individuel (10%) et coll., privé et public, locataire et prop., logement social, accession prop., etc. • Logements essentiellement mais aussi commerces et équipements collectifs (maison quartier, crèche, écoles, équipements sportifs, …)
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie)	• Mixité sociale, équilibre entre objectifs environnementaux et sociaux, différents types de logements, etc. • Réduction des émissions de CO2 : 60% (ref 1995)
Principaux acteurs (en les qualifiant) (krons_03)	• Service Environnement de la ville associé au Groupe de planification env. pour Expo 2000 • Comité consultatif de Kronsberg (ville et experts divers domaines) créé par municipalité pour orientation et suivi actions • Agence de communication et de médiation environnementale KUKA (51% ville) • Centre Energie et Environnement • Consultation publique, participation citoyenne • Stadwerke Hannover et Getec (gestion réseaux)
Objectifs énergétiques (krons_03, multi_02)	• Etablissement de normes de performance (environnemtales, low energy house) et pénalités en cas de non respect • Consommation chauffage et ECS : 55 kWh/m² contre moy nationale de 125 kWh. Réduction consommation électricité de 50% par rapport standard. • Gain 30% pour bâtiments tertiaires • Total besoin d'investissement estimé à 2.2 Mds€
Systèmes énergétiques krons_03, krons_07, multi_02	• Bâtiments conçus suivant des standards BBC ; réseau de chaleur et centrales en cogénération gaz (2 centrales en sous-sol immeuble : 23% besoins) ; programme de maîtrise des consommations d'électricité spécifique ; production d'électricité par éoliennes (1.5 et 1.8 MW) • Diverses réalisations expérimentales (maisons passives, solaire thermique -1350 m² de panneaux- avec stockage inter-saisonnier, PV, etc.) • Accompagnement, formation, brochures, subventions aux usagers pour chauffage et équipements BC
Retours d'expérience krons_01, krons_03, multi_03	• En moyenne, consommations de 55 kWh/m² obtenues en 2000 • Croissance quartier plus faible que prévue – pas achevé en 2000
Nœuds socio-énergétiques et gouvernance (krons_03, multi_02)	• Ville de Hanovre leader de l'opération avec souci constant de dialogue avec les acteurs (propriétaires, investisseurs, entrepreneurs, …) ; création d'un comité consultatif pour conception (enseignants, chercheurs, associations, etc) • Démarche très planifiée et coordonnée (norme Kronsberg pour isolation) • Information et sensibilisation des habitants • Efficacité énergétique au cœur de la démarche, approche centralisée (réseau) et qq réalisations vitrines (PV, solaire th.)

Figure 8 : Kronsberg – Cartographie des réseaux d'acteurs



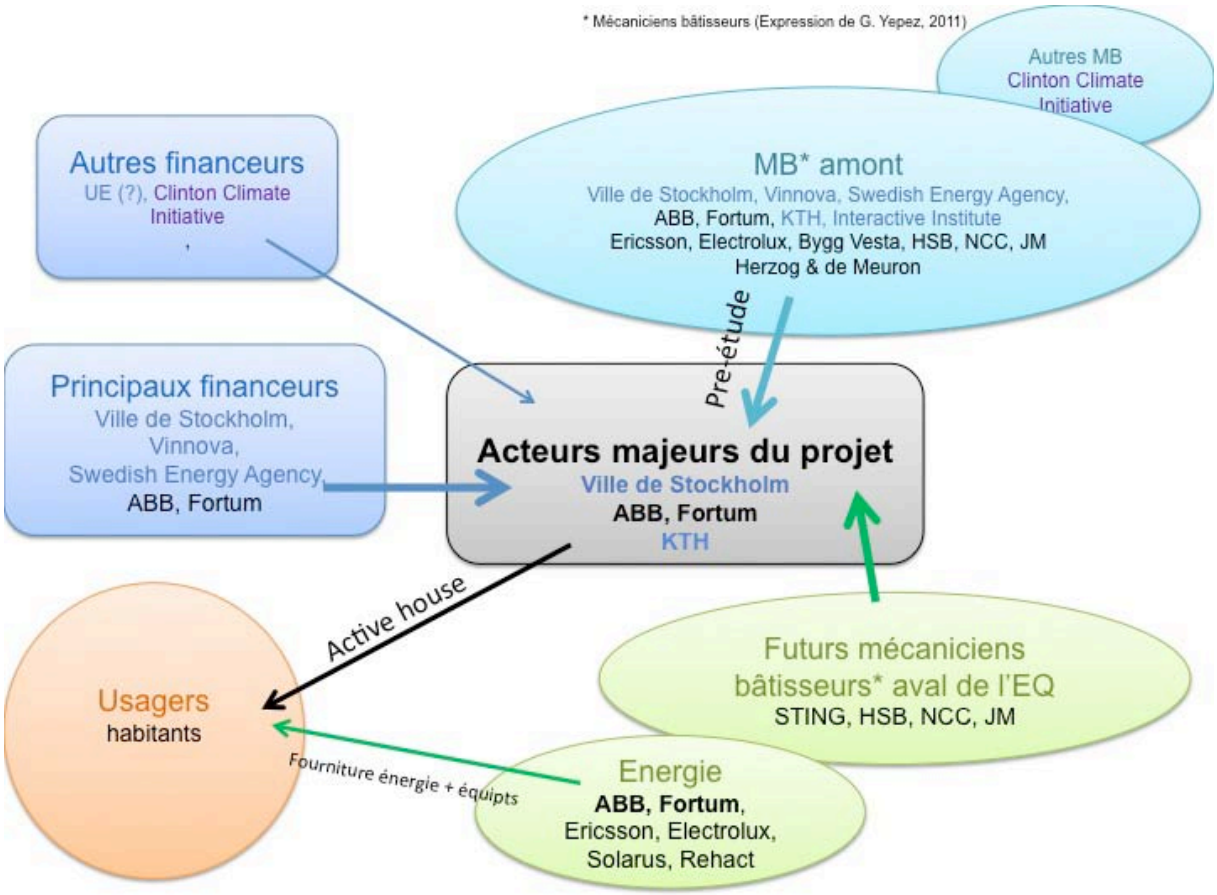
Poblenou (22@Barcelona), Barcelone, Espagne

Contexte de l'opération	• Nord Est du centre de Barcelone, quartier de Poblenou, sur la trame de l'Ensanche. • Projet lancé par la Municipalité de Barcelone dans un but de requalification d'une zone urbaine péricentrale en promouvant un autre modèle de développement. • Rénovation par suppression du bâti ancien et réhabilitation (habitations et bâtiments industriels).
Dates repères	• Lancement projet en 2001 (plan d'urbanisme), concertation en première phase 2001-2003, réalisation d'infrastructures en 2003, début des constructions en 2004, en cours d'achèvement en 2012.
Brève présentation de l'opération	• 198,26 ha (115 îlots). 4 M m2 de surf. bâtie (3,2 M m2 activités de production, 0,8 M m2 pour habitat équipement et services, 145 000 m2 d'équipements culturels. 11400 m2 espaces verts). • 180 M € d'euros investis par la ville dans les infrastructures. • 30 000 à 40 000 habitants attendus (4600 logements réhabilités, 4000 nouveaux logements sociaux), 45 000 emplois installés en 2010. • Activités orientées vers l'économie de la connaissance et quartier d'affaires. • Mise en place de clusters sur les médias, les TIC, les technologies médicales, l'énergie.
Objectifs sociaux, économiques, environnementaux (hors énergie)	• Développement de la mixité des usages. Nouveau document d'urbanisme le MPGM : passage du *22 a* orienté industrie au *22 @* mélant activités high tech, habitat, équipement, recherche, zones vertes. • Augmentation de la densité (Cos passe de 2 à 2,7 ; ou 3 si terrain privé échangé pour création d'espaces publics). • Réduction des émissions atmosphériques : création pistes cyclables, modernisation des transports en commun, séparation des modes de déplacement. Objectif : 70% de déplacements à pieds, TC ou vélo. • Mixité sociale par la réhabilitation ou la création d'habitat social.
Principaux acteurs (en les qualifiant)	• MO : ville de Barcelone • Interlocuteur unique des investisseurs privés pour la mise en oeuvre : 22@bcn SA société privée municipale (type SEM). • Energie : Districlima fournit eau de refroidissement et de chauffage 50,8 % Elyo (filiale Suez), 19,2% AGBAR (eau de Barcelone), 20 % Tersa (traitement déchets), 5 % IDAE (agence nationale de l'énergie durable), 5 % ICAEN (institut catalan de l'énergie). • Partenariats avec la Generalitat de Catalunya pour université, centre de recherche et formation, L'Aire métropolitaine de Barcelone pour la transformation des déchets ménagers et végétaux et la Chambre de Commerce et d'Industrie pour les liens avec entreprises. • Agence de l'énergie de Barcelone : gestion du Plan d'Action Energétique.
Objectifs énergétiques	• A l'échelon de l'ensemble de la ville : en août 2000, mise en place de l'Ordonnance solaire de Barcelone (multiplier par dix la surface de panneaux solaires installés d'ici 2010). En 2002, le PEMB prévoit 4 milliards d'€ d'investissements (dont 87 % public) d'ici 2010. Panneaux photovoltaïques 14 MW, capteurs solaires thermiques 100 000 m2, 100 GWh/an d'électricité produite grâce au biogaz, d'un parc éolien de 7 à 15 mâts 7600 MWh/an (9 M d'€, 1/3 financés par Commune de Barcelone).
Systèmes énergétiques	• Pour Poblenou : un des 4 Ecoparcs (unités de méthanisation appartenant à l'AMB, association des communes de la zone métropolitaine de Barcelone) fournit biogaz à centrale gérée par Districlima qui alimente le réseau centralisé de chauffage et de climatisation. • 10,8 km de réseau de distribution (t° : 5,5°-14° pour le froid ; 60°-90° pour le chaud). • Système de réseau de fibre optique pour le contrôle de la distribution.
Retours d'expérience	• A l'échelon de Barcelone : 2 750 000 Gj par an d'économie d'énergie soit 4,1% de l'énergie totale consommée à Barcelone en 2010. 50% des objectifs fixés en 2002 atteints en 2009. 95% des dépenses des entreprises publiques prévues étaient engagées en 2010. Réduction de 20% des émissions atmosphériques grâce à l'énergie solaire entre 1987 et 2005. • Dans Poblenou : Forum des cultures (2004) 10500m2 panneaux photovoltaïques : 1,3 MW. Le réseau de fourniture de froid pour la climatisation et d'eau chaude pour le chauffage permettrait de couvrir 55% de la demande et d'économiser 45% de l'énergie consommée sur le quartier. • Coordination des investisseurs par les sociétés et agences publiques. • Concertation tout au long du projet de requalification avec les divers intervenants de la société civile n'a pas empêché les tensions fortes lors de la réaffectation des terrains.
Nœuds socio-énergétiques et gouvernance	• La requalification du quartier de Poblenou s'est faite dans le cadre d'une démarche d'ensemble de développement durable à l'échelon de l'agglomération et surtout de la ville de Barcelone. • La gouvernance en matière énergétique peut être qualifiée de top-down car la municipalité (directement ou indirectement) pilote. Cependant le précoce engagement de la ville dans la démarche d'Agenda 21 a généré une forte implication de nombreux acteurs, laquelle est renforcée par le rôle des Associations de voisins. L'imbrication des différents niveaux (Etat, région, métropole, commune, quartier) est aussi à noter.

Royal Seaport, Stockholm, Suède

Contexte de l'opération (royal_04)	• Intégration de la variable environnement dans toutes les décisions de la ville de Stockholm. • Opération de grande ampleur sur une ancienne zone industrielle / portuaire, s'appuyant sur l'expérience de Hammarby. • Un des 18 projets du Clinton Climate Positive Development Program
Dates repères	• 2009-2025/30 ; 2012-13 : fin de construction des 700 premiers bâtiments résidentiels (royal_04, _15) ; premiers tests smart grid 2013-14 (royal_15), développementt 3-7 ans, maturité 7-15ans (royal_01)
Brève présentation de l'opération	• 236 ha, 10 000 appartements, 30 000 bureaux, 600 000 m2 commerces en 2030, zone portuaire passagers, 3 zones géographiques dont Hjorthagen (1ère phase de construction), Frihamnen (port)-Loudden, Värtahamnen (dernière phase 2017-2025, 5000 logements, bâtiments commerciaux). • Dimension majeure : innovation technologique avec mise en œuvre "smart-grid"
Objectifs sociaux, économiques, environnementaux (hors énergie)	• Pas d'objectifs sociaux indiqués • 2030, quartier sans énergie fossile (royal_4), à impact positif sur le climat • Emissions < 1,5 tC02/ hab en 2020 (4.5 t/hab à Stockholm en 2008) • Adaptation aux changements climatiques (avec + de précipitations) • Réduction des pollutions liées à la zone portuaire
Principaux acteurs (en les qualifiant) (royal_19)	• Ville de Stockholm (leader du projet SRS en termes de transport, infrastructure, déchets, financement) • Projet smart grid développé avec projet de Innovation Arena autour de : o ABB – Fortum (initiateurs), Ericsson, Electrolux, Solarus (PV), Rehact (échangeurs de chaleur) o Swedish Energy Agency, VINNOVA (agence suédoise pour l'innov), consortium ind-univ-rech InnoEnergy, o business incubator Stockh. Innov. and Growth (STING), non-profit company, financée par Electrum Foundation (publ.), Innovationsbron, KTH,… • Constructeurs : NCC, HSB, JM ; Herzog & de Meuron - archi • Universités : The Royal Institute (KTH), Interactive Institute • Autres : Clinton Climate Positive Development Program, UE.
Objectifs énergétiques (royal_01, royal_15)	• Efficacité énergétique, forte part ENR, intégration de la production ENR locale (obj de 30 % en 2020) + stockage intelligent ds véhicules électriques • Labo d'expérimentation smart grid pour faire évoluer le système énerg suédois : nvlles TKs, nvx business models, nvlles règles marché, nvx rôles des consommatrs • Haute perf énerg. des bâtiments (bât. passifs < 55 kWh/m², positifs pr certains)
Systèmes énergétiques (projets) (royal_15)	• Pré-étude 2010-11 (royal_05, royal_15) avec 11 partenaires cofinanceurs et 6 work packages : Active house, Smart grid lab, Grid development, Shore to ship (connection des bateaux au réseau élec EQ), Info managt syst, Market concept (dont business model) • Objectif du smart grid local (royal_01, _06, _09, _10): lisser la pointe et améliorer efficacité énerg. par demand response, maison active (visualiser et adapter consommation et profil de charge selon disponibilité / prix électricité), gestion de l'intermittence des ENR et intégration de la prod locale, gestion charge et stockage intelligent véhicule électrique, gestion stockage local, port électrifié intelligent • Projet d'un réseau de chaleur et de froid alimenté par centrales cogénération ENR (royal_10, royal_14), refroidissement passif (royal_14)
Nœuds socio-énergétiques et caractérisation de la gouvernance	• Acteurs majeurs : Ville de Stockholm ; groupe de pilotage conjoint projet smart grid (= ABB + Fortum) ; KTH • Expérimentation de l'efficacité d'un smart grid à l'échelle d'un grand quartier • Top down, pas de participation active sollicitée des habitants pour un comportement économe, accent très fort sur le rôle de l'innovation technologique et des tarifs dans l'atteinte des objectifs

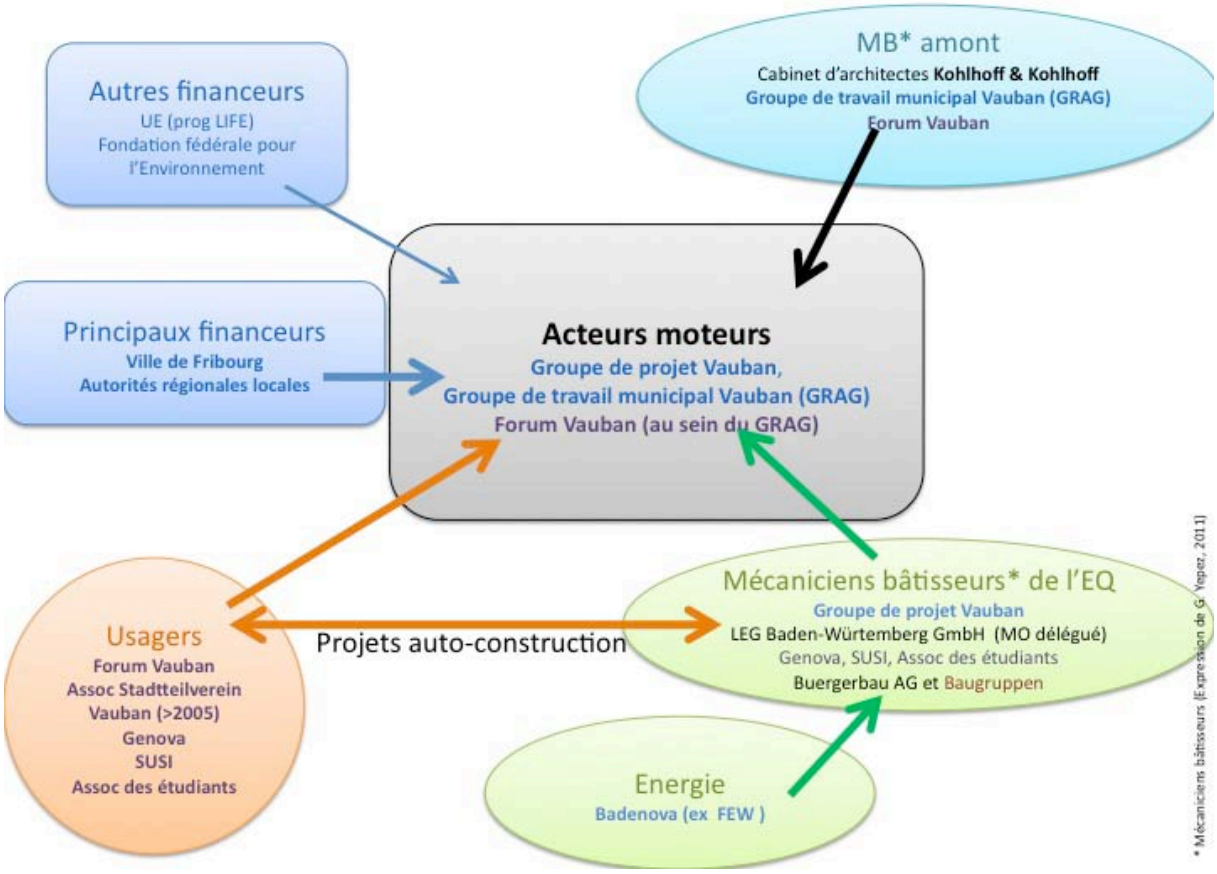
Figure 9 : Royal Seaport – Cartographie des réseaux d'acteurs



Vauban, Fribourg, Allemagne

Contexte de l'opération	• Pénurie de logements, initiative de la Ville et des mouvements militants locaux, projet d'une cité-jardin, ancienne caserne de l'armée française quittée en 1992
Dates repères (vauba_05, vauba_06)	• 1993: Décision du Conseil municipal de transformer le terrain de la caserne en nouveau quartier. 1994 : travaux de dépollution des sols, démolition d'une partie des baraquements militaires, construction. 1995 : l'association Forum Vauban est choisie comme représentant légal du processus de participation citoyenne ; 2000/1: début de la deuxième tranche de construction. 2004 : faillite du Forum Vauban suite à contentieux avec la Commission Européenne (financements), début troisième tranche de construction. 2008 – fin de construction
Brève présentation de l'opération	• A 3 km du centre-ville, 38 ha, 2000 logements, hauteur max de 4 étages, 5500 habitants, bâti collectif uniquement, constructions réalisées surtout par groupes communautaires / coopératifs (pas par promoteurs)
Objectifs sociaux, économiques, environnementaux (hors énergie)	• Démarche participative et coopérative • Mixité sociale et espaces de rencontres : équilibre des groupes sociaux, espaces favorisant les échanges, école primaire et jardins d'enfants, centres de quartier pour les interactions sociales, événements culturels, etc. (multi_03) • Matériaux de construction écologiques, tri sélectif des déchets, perméabilité des sols, récupération des eaux de pluie, réduction des consommations d'eau
Principaux acteurs (en les qualifiant) (multi_02), (multi_03)	• Cabinet d'architectes Kohlhoff & Kohlhoff - projet d'urbanisme • LEG Baden-Würtemberg GmbH - maîtrise d'ouvrage • Acteurs municipaux : Groupe de Projet Vauban - coordination administrative du projet et travail opérationnel de développement du site ; groupe de Travail Municipal Vauban (GRAG) - comité constitué des élus, de l'administration, et d'autres organismes ; Badenova (ex. FEW) - exploitation de la cogen • Société civile : Forum Vauban - association coordinatrice de la participation citoyenne, remplacée par Stadtteilverein Vauban après 2005 (influence moindre) • Acteurs société civile pour la construction : Société coopérative Genova - construction de 4 immeubles ; Baugruppen (communautés de construction) ; Bürgerbau AG (entreprise) - conseil et coordination des Baugruppen ; SUSI «Initiative indépendante d'auto-habitat » - réhabilitation de 4 baraquements ; Association des Etudiants - réhabilitation de 6 baraquements ; • Financement : 51 M € Bade-Wurtemb + Fribourg (puis vente aux habitants) ; 42 M € UE, prog. LIFE (1997-99) + fondation allemande pour l'env. (projet rech. Sur participation citoyenne)
Objectifs énergétiques (vauba_05, multi_02)	• Critère de performance énergétique minimale plus strict que norme allemande (max 65 kWh/m2/an) pour tous les bâtiments - Isolation performante (nouveaux procédés, toitures végétalisées …) • Conception bioclimatique (maisons passives) • Utilisation des énergies renouvelables : cogénération bois, solaire thermique et photovoltaïque • Critères d'écoconstruction • Maisons "basse énergie" (1800 lgts), maisons passives (150 lgts) et maisons à énergie positive (50 lgts)
Systèmes énergétiques	• Réseau de chaleur municipal alimenté par une centrale de cogen (80% bois, 20% gaz naturel) : produit ECS et chauffage pour les logements basse-énergie • Micro-cogénération pour maisons passives • Solaire passif (orientation sud) et actif (500 m² prod ECS, 2500 m² PV)
Retours d'expérience (multi_02, vauba_05, vauba_04)	• Concertation fréquente FEW - Forum Vauban sur options énergétiques • Seulement 10% des logements sont destinés au logement social • Couverture des besoins de l'EQ en élec à hauteur de 65 % (cogen + PV) • Conso chauffage de l'habitat « passif » : 12 kWh/m²/an (quatre fois moins que le maximum autorisé à Vauban) ; économies d'énergie et réduction émissions CO2 • Aucun système n'a été installé pour automatiser l'acquisition d'informations sur les performances énergétiques (vauba_05) • Au-delà de la conception participative, actions d'information-sensibilisation-Rex des habitants : ?
Caractérisation de la gouvernance	• Gouvernance bottom-up : participation des citoyens dans la conception du quartier, dans divers projets d'auto-construction, et dans la gestion de leur EQ (frmulti_01), schéma des acteurs sur site internet Forum Vauban • Principaux acteurs, moteurs de l'opération : Ville de Fribourg, « Forum Vauban »

Figure 10 : Vauban – Cartographie des réseaux d'acteurs



Ginko, Bordeaux, France

Contexte de l'opération (borde_06), (borde_10)	• Augmentation de la population, renforcement de la politique du logement, stratégie de développement urbain de la ville • Grenelle de l'environnement • Agenda 21, stratégie de recherche de « mix énergétique »
Dates repères (borde_01)	• 2004 : consultation ; 2006 : concertation réglementaire ; 2010-2012 phase 1 ; 2012 premiers habitants ; 2012-2014 : phase 2 ; 2014-2017 : phase 3 ; 2017 : fin du projet • 2011 lauréat du Palmarès Eco-Quartier 2011 pour la « sobriété énergétique»
Brève présentation de l'opération (borde_01, borde_02)	• Au Nord de Bordeaux, dans l'arc de DD de la ville, 32,3 ha, 2149 logements dont 30% logements locatifs sociaux et 20% en accession aidée • 32 000 m² de commerces, 25 180 m² de bureaux, 21 380 m² d'équipements publics
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (borde_01, borde_02)	• Développement de fonctions urbaines à dominante équipements publics et habitat • Mixité sociale et fonctionnelle • Aménagement du territoire du lac, avec limitation de l'imperméabilisation des sols et 3 canaux intégrant la gestion des eaux de pluie • Certification Habitat et Environnement/NF Environnement, démarche HQE, imposée pour la construction des logements
Principaux acteurs (en les qualifiant) (borde_01, borde_02)	• Maître d'ouvrage aménageur : Bouygues Immobilier, financeur principal • Co-porteurs du projet : CUB (communauté urbaine bordeaux) concédant la ZAC à Bouygues ; ville de Bordeaux • Maîtres d'oeuvre : Christian Devillers et associés et Agence Brochet/Lajus/Pueyo, aménagement urbain ; Signes Ouest, paysages; Sogreah consultants, hydraulique ; I3C Ingénierie, infrastructures, réseaux, OPC travaux • AMO environnement et développement durable : Terre-éco, conception ; Saulnier & associés, énergie ; Carbone 4, bilan carbone • Opérateurs de logements locatifs sociaux : Aquitanis, Mésolia habitat • AFUL Association Foncière Urbaine Libre - ensemble des copropriétaires de l'EQ, déléguant du réseau de chaleur • Energie : Cofely - réseau de chaleur, construction, exploitation
Objectifs énergétiques (borde_01, borde_07)	• 1ère phase : 2/3 BBC, 1/3 très haute performance énergétique (THPE) 2ème phase : 100 % BBC • 100 % des besoins énergétiques couverts par les énergies renouvelables • diviser par quatre les émissions de CO2 (par rapport aux émissions existantes)
Systèmes énergétiques (borde_01, borde_02,borde_07)	• Réseau de chaleur (+froid) (privé, Cofely, début d'exploitation fin 2012) 100 % ENR à l'échelle de la ZAC (biomasse 80 % bois déchets de coupe des forêts d'Aquitaine et 20 % huile végétale produite localement), permettant d'éviter • 3 500 tonnes de CO2 par an • Bioclimatisme (orientation des constructions, toitures végétalisées) • PV (sur les toitures), panneaux solaires thermiques (40-45% des besoins en ECS) • Smart grid – étude des solutions possibles
Retours d'expérience (frmu lti_07)	• Elaboration ex ante d'un bilan carbone à l'échelle de la ZAC avec projections sur 50 ans, avec scenarii, et un autre bilan carbone à l'échelle de l'îlot ; approche « standard » + approche « client final » prenant en compte les émissions du consommateur final
Caractérisation de la gouvernance (borde_01)	• Gouvernance : top down • Acteur majeur : Bouygues Immobilier • Participation citoyenne peu marquée : échanges avec les élus, information, partenariats économiques, éducatifs, environnementaux avec des associations ; ateliers d'urbanisme prévus après l'installation des premiers habitants.

ZAC Saint-Jean des Jardins, Chalon-sur-Saône, France

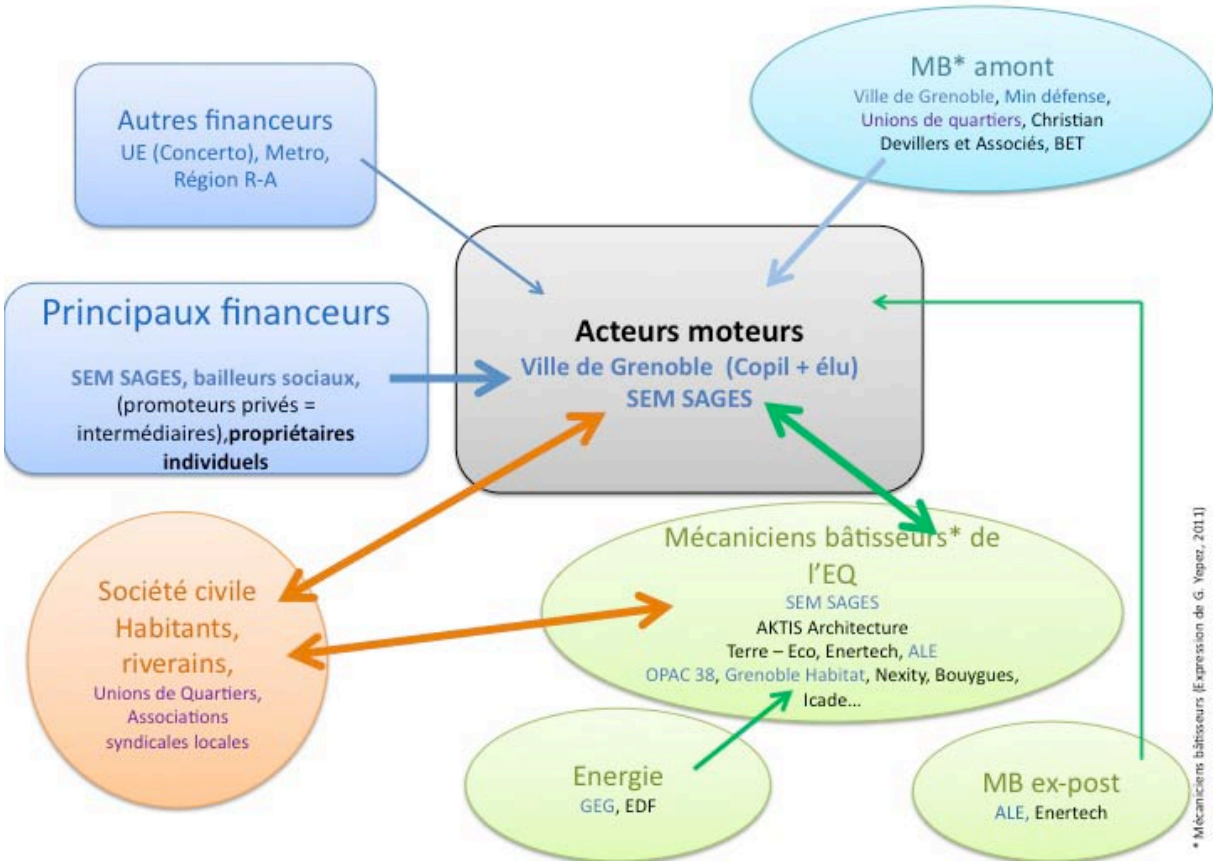
Source majeure : chalo_02

Contexte de l'opération	• Ville de 50 000 hab ; EQ au Nord du centre ville, sur un plateau anciennement maraîcher, réserve foncière de la ville ; projet ZAC ds années 1990 • Volonté de la ville de mettre fin à baisse de la pop et étalement vers la périphérie • Politique environnementale volontariste dès les années 1990 • 2002-2006, engagement dans le programme Privilèges (ville- Ademe-WWF- Maison pour l'environnement) pour réduire ses émissions de GES (chalo_07 et _08) • EQ : constructions neuves, terrains cédés par la ville à la SEM Val de B. pour 1 €
Dates repères (chalo_01)	• 2001 premières études urbaines et environnementales ; 2004 permis de construire, début des chantiers (aménagements + logements) ; 2009 fin prévue des livraisons (pas trouvé d'info sur date effective de fin)
Brève présentation de l'opération	• Superficie totale de 5 ha, dont 10 000 m2 bâtis ; 191 logts (chalo_04) • 46 logements sur 191 : intégrés dans le programme Villa urbaine durable (VUD) « Quartier Saint Jean » du Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA) • 40 maisons (dont 32 VUD), 151 appartements (dont 14 VUD) ; 1/3 locatif social et 2/3 accession propriété ; jardins familiaux, centre de santé • Coût global d'investissement 3,1 M € couvert par cessions charges foncières aux promoteurs 3,2 M € (chalo_10)
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie)	• Recréer un univers villageois (de proximité, de paysage,…), avec mixité sociale ; • Eco-constructions des logements VUD, chantier « vert » • Démarche HQE imposée aux promoteurs (cahier des charges) • Faciliter modes de déplacement doux + TC ; limiter place de la voiture • Récupération eaux pluviales pour arrosage jardins
Principaux acteurs (en les qualifiant)	• Ville de Chalon ; MO délégué du projet : SEM Val de Bourgogne • ME : architectes, BET, économiste • 5 MO construction dont 2 pour la VUD : BFCA Promotion, MO pour logements accession propriété ; SCIC habitat Bourgogne Champagne, MO pour logements locatifs, tous 2 moteurs pour la construction durable • Energie : CURCHAL (réseau de chaleur de la ville) • Ademe (financement études environnement), assoc régionale Bois-Bourgogne • Société civile, assoc de citoyens : pas visibles
Objectifs énergétiques	• Objectifs quantitatifs, labels : néant
Systèmes énergétiques	• Extension du chauffage urbain de la ville avec réhabilitation d'une chaufferie charbon-fioul pour une alimentation biomasse-bois, 4MW (équivalent à 1000 logeme,ts, donc >> à besoins de l'EQ); plaquettes de bois, écorces, sous-produits transformation bois. Droit de raccordement (400 k€) payé par la SEM (chalo_02 et chalo_10) • VUD : construction bioclimatique passive au standard RT 2000 (isolation par monomurs brique de 37 cm d'épaisseur pour supprimer ponts thermiques, double vitrage avec lame argon, orientation Sud) • Eclairage public à haut rendement (sodium haute pression et iodures métalliques) • Pas d'information-sensibilisation des usagers spécifique à l'EQ. Actions de la ville dans le cadre du programme Privilèges (chalo_07)
Retours d'expérience	• Difficulté à commercialiser les maisons « VUD » (trop grandes, trop chères pour accession de primo-accédants, dans marché en surcapacité) • Capteurs solaires initialement prévus pour ECS non réalisés (coût) • Riverains opposés au projet (rejet des toits végétalisés, réticence à mixité sociale) • Pas de suivi des consos, pas de mesures ex post des performances énerg
Caractérisation de la gouvernance	• Concertation active entre ville et ses acteurs internes, la SEM, et les architectes. Rôle majeur de la SEM, intermédiaire entre ville et promoteurs, avec compétences techniques et financières reconnues (chalo_10). Acteurs majeurs impliqués dans une démarche DD volontariste (chalo_02) • Energie : en amont, études environnementales et économiques comparatives des options énergétiques; volonté ferme de la ville de construire la chaudière bois ; appui marqué du syndicat national du bois, du département, de la Région via l'association régionale Bois-Bourgogne. Peu d'innovations dans réalisations cibles HQE. • Gouvernance : top-down ville + SEM – architectes - MO VUD. Pas d'implication des habitants

ZAC de Bonne, Grenoble, France

Contexte de l'opération (greno_05)	• Politique urbaine de la ville : densification, mixité sociale, extension du centre ville vers le Sud, charte HQE de l'AUG. Pilotage du programme européen Concerto-Sesac conjuguant efficacité E et urbanisme durable • Tradition de concertation et politiques innovantes côté énergie et climat depuis plusieurs décennies • Requalification d'une ancienne caserne + constructions neuves
Dates repères (greno_05)	• 2001 : lancement marché de définition (ville + ministère défense), mise en place processus concertation publique ; 2004 : création Zac de Bonne, aménagement confié par la Ville à la SEM SAGES ; 2005-6 : démolition puis démarrage constructions ; 2008 – premières livraisons ; 2009 : Grand Prix national EQ ; 2011-12 dernières livraisons, premiers REX
Brève présentation de l'opération (greno_02, greno_05)	• 8,5 ha, 900 logements (40% locatif social), 5000 m² bureaux, 5 ha parcs publics, école, galerie commerciale, cinéma, hôtels, résidences personnes âgées, étudiants, handicapés. Coût global 6,6M€
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (greno_02, greno_05)	• Accessibilité + HQE, matérialisées dans un cahier des charges pré-programmatique et une charte d'objectifs, à destination des promoteurs • Mixité sociale, générationnelle, fonctionnelle • Faire de la ZAC un labo de méthodes reproductibles
Principaux acteurs (en les qualifiant) (greno_05, greno_17)	• Maîtrise d'ouvrage : Ville de Grenoble, initiateur ; SEM SAGES (ville de Grenoble majoritaire), délégation MO, financement • Architectes : Christian de Villers, archi-urbaniste lauréat du marché de déf. ; Aktis Architecture, AMO archi en chef ; J. Osty, archi-paysagiste ; archis des promoteurs • AMOs : Terre-Eco AMO HQE ; Enertech, contrôle de la performance et formation ; Agence Locale de l'Energie, formation sur eff E et ENR, pr serv tech ville et entreprises • Bureaux d'études : Retail Consulting Group, étude commerciale ; M. Tassin, étude environnementale préliminaire ; SETIS, étude d'impact ; Composite, étude sociologique • Fournisseurs d'énergie : GEG (micro-générations + centrale solaire), EDF • Promoteurs : sociaux : OPAC 38, Actis etc. ; public: Grenoble Habitat (51 % ville de Grenoble) ; privés : Nexity, Bouygues, Icade, Teillaud, Blain etc. • Financements : UE (Concerto) ; Ville, Metro, Région Rhône Alpes (pas de précisions) • Unions de quartiers (habitants + riverains), associations syndicales locales
Objectifs énergétiques	• Contractualisation des objectifs à atteindre, pour tous les bâtiments • Consos : chauffage ≤50 kWh/m2/an, eau chaude sanitaire ≤35 kWh/m2/an, électricité parties communes ≤4,4 kWh/m2/an, logements ≤15 kWh/m2/an
Systèmes énergétiques (greno_05, frmulti_01)	• 8 micro-cogénérations (gaz, rendt de 85 %) couvrant conso élec de 8 bâtiments et moitié des besoins de chauffage • 1 500 m² PV, 1 000 m² panneaux solaires thermiques, 1 BEPOS • Bâtiments à haute performance énergétique : forte isolation par l'extérieur, lutte contre ponts thermiques, ventilation double flux, végétalisation de toitures,… • Remise d'un livret d'accueil aux résidents (infos sur système et gestion énergie), monitoring des performances tout au long du projet
Retours d'expérience (greno_07 à 15, greno_18, multi_06)	• Surinvestissement lié aux performances énergétiques : 7% • Enertech et ALE : consos plus élevées que les objectifs (greno_07 à 15) car estimations initiales des objectifs mal calibrées, malfaçons (isolation), problèmes techniques (ventilation), mauvais paramétrages des installations,… • Chiffres consos : voir (multi_06) et (greno_18) • Ventilation double flux et cogénération plus obligatoires dans 2è tranche, car « techniques trop complexes et insuffisamment maîtrisées » (greno_05) • Changement de comportement des acteurs de la chaîne professionnelle
Nœuds socio-énergétiques et caractérisation de la gouvernance (greno_05, greno_17)	• Top down : SEM SAGES + AMOs ; décideur présenté comme majeur : l'élu adjoint à l'urbanisme, président de la SEM SAGES (P. Kermen, 2001-2008) • Pas de développement technique très innovant, à part le BEPOS ; bâtiments performants sans réelle vision systémique à l'échelle de l'EQ • Rôle d'aiguillon du programme Concerto pour atteinte objectifs de la ZAC et impliquer conjointement partenaires publics et privés • Très forte contribution des AMO : expertise, dialogue, contractualisation engagements • Participation citoyenne tout au long du projet, associant habitants, riverains (unions de quartiers), élus et partenaires de la construction et de l'aménagement

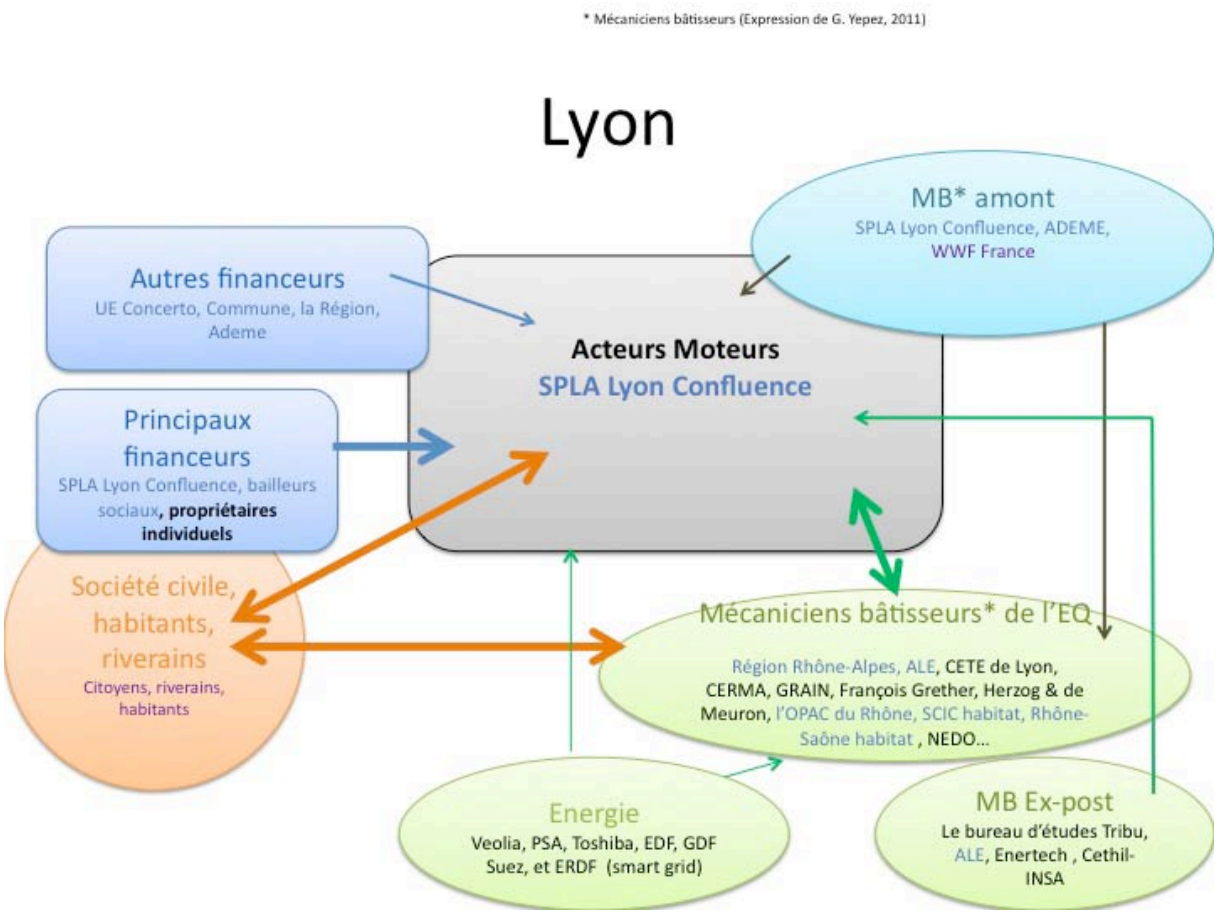
Figure 11 : Grenoble – Cartographie des réseaux d'acteurs



Confluence, Lyon, France

Contexte de l'opération (lyon_10)	• Extension du centre ville, reconversion d'un quartier essentiellement industriel + friche ferroviaire ; Agenda 21, Plan climat du Grand Lyon
Dates repères (lyon_10, lyon_11, lyon_12)	• 1995 – 2015 ; création SEM Lyon Confluence en 1999 • Phase 1 : 2001 création ZAC 1, 2007 premières livraisons ZAC 1, 2010 : livraison ilots ABC ; Phase 2 : 2009 plan directeur ZAC 2, 2010 création ZAC 2; 2012 diverses livraisons dont îlots E & F ; 2014 : prolongement tram ; Eco-rénovation quartier Ste Blandine : 2009-11 études
Brève présentation de l'opération (lyon_10, lyon_11) (NB : chiffres diffèrent d'un doc à l'autre sur nb de logts)	• Superficie totale : 150 ha • ZAC 1, côté Saône: 41 ha, 1000 à 1700 nouveaux logements sur ZAC 1 dont 660 sur îlots ABC (prog Concerto) et 15000 m2 de bureaux • ZAC 2, côté Rhône : 35 ha, environ 2000 nouveaux logts sur ZAC 2, 45 % résidentiel (25-30% des logements = sociaux), 45 % tertiaire, 10 % commerces, culturel et éducation. • 3ème phase : 1000 à 4500 logements existants éco-rénovation quartier Ste Blandine
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (lyon_11)	• Objectif fort de mixité sociale et d'amélioration de la qualité de vie • Diversité des fonctions, innovations architecturales, HQE (accent sur performance énergétique + ENR) • Conception bioclimatique, gestion écologique de l'eau et des déchets, déplacements doux, dépollution-réhabilitation des sols
Principaux acteurs (en les qualifiant) (lyon_10, lyon_11, lyon_03)	• Maîtrise d'ouvrage délégante : Grand Lyon • Aménageur : SEM transformée en SPLA Lyon Confluence (lyon_09) • AMO développement durable : TRIBU (coordonateur), CETE, CERMA, GRAIN, • Architectes urbanistes - paysagistes : ZAC 1 Grether - Desvigne, ZAC 2 Herzog & de Meuron - Desvigne • Promoteurs sociaux : OPAC du Rhône, SCIC habitat et Rhône-Saône habitat • Promoteurs privés : Nexity Apollonia, Bouwfonds Marignan immobilier, ING & ATEMI • BE : ENERTECH, fluides et simulations dynamiques ; CETHIL-INSA thermique du bâtiment • Ademe (financement études, investissements et actions ; évaluation perf) ; ALE (formation) • Smart grid : NEDO (« Ademe » japonaise), Veolia, PSA, Toshiba, EDF, GDF Suez, ERDF • Grand Lyon, Lyon, conseil général, conseil régional, union européenne : financements • WWF : convention sur cinq ans dans le cadre d'un Plan d'Action Durabilité (démarche « One Planet living »)
Objectifs énergétiques (lyon_03, lyon_10, lyon_13)	• Phase 1 : réflexion pour raccordement au futur RCU (2016/2017) • Programme Concerto ZAC 1 : chauffage logements moins de 60 kWh/m²/an, ECS moins de 25 kWh/m2/an, élec moins de 25 kWh/m2/an ; élec parties communes moins de 10 kWh/m2/an ; chauffage bureaux : moins de 40 kWh/m²/an, ECS moins de 5 kWh/m²/an, élec moins de 35 kWh/m2/an, clim moins de 10 kWh/m2/an • Phase 2 : quartier à énergie positive d'ici 2020, smart – grid, compteurs intelligents, flotte de véhicules électriques alimentés par PV • Quartier existant (Sainte-Blandine) : éco-rénovation à 50 kWh/m2/an pour 50% des logements d'ici 2012 et 100% des logements d'ici 2020, par isolation extérieure
Systèmes énergétiques (lyon_13, lyon_15)	• Réseau de chauffage urbain (bois en cogénération ds l'EQ, livraison envisagée 2016/17) • En attendant, production énergie au niveau des îlots avec possibilité technique de raccordement futur au RCU • Ilots ABC (Concerto) : une chaufferie (bois, cogen) par îlot, solaire thermique + PV • Bâtiment passif (îlot E4) • Ventilation mécanique à double flux, isolation par l'extérieur
Retours d'expérience (lyon_10)	• Mise en place d'un monitoring partiel sur un panel de logements pendant 1 an • Ilots ABC (Concerto) : > 85 % ENR pour chauffage et ECS ; 55% ENR pour élec parties communes ; consos inférieures à objectifs • Consos des bâtiments ZAC 1 entre 30 et 90 kWh/m2
Caractérisation de la gouvernance (lyon_10)	• Gouvernance top-down. Acteur majeur : communauté urbaine (Grand Lyon) avec Ville de Lyon et région. • Concertation citoyenne : expos, ateliers d'habitants, maison du projet, réunions publiques avec les élus, etc.

Figure 12 : Lyon – Cartographie des réseaux d'acteurs



ZAC Grand Cœur, Nancy, France

Contexte de l'opération (nancy_13) , (nancy_02)	• Groupe de travail national "Villes et Gares" : initiateur de la démarche • Réhabilitation et requalification urbaine : reconquête friche ferroviaire centre ville ; arrivée du TGV Est en 2007 ; terrain d'expérimentation d'un projet urbain durable • Charte d'environnement, Agenda 21+ nombreux documents cadres (SCOT, PDU,…)
Dates repères (nancy_02) , (nancy_04)	• Voir (nancy_02) pour frise chronologique • 2004 : montage juridique et financier ; 2006 : lancement chantier « République » • Constructions 1ère phase : 2010-14 ; 2ème phase : 2014-18 ; 2020 : fin du projet • Prix Palmarès « mobilité » 2009
Brève présentation de l'opération (nancy_13)	• 15 ha, 700 logements dont 20% logts sociaux, environ 2 000 habitants, 50 000 m² de bureaux, centre des congrès, espaces naturels, infrastructures • Le projet = 40 M€ (estimations)
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (nancy_13)	• Mixité sociale et fonctionnelle • Eco-construction : exigence annoncée de bioclimatisme des constructions • Limitation émissions de GES par accent sur mutualisation stationnement, développement TC et modes doux Mettre en place une gouvernance durable • Gestion intégrée de l'eau (eaux pluviales, eux usées) • Optimisation déchets ; accent sur la biodiversité
Principaux acteurs (en les qualifiant) (nancy_02)**,** (nancy_13)	• Propriétaires fonciers : Etat, ville de Nancy, RFF, SNCF, Gares et Connexions • Maîtrise d'ouvrage : Communauté Urbaine du Grand Nancy, SOLOREM (société lorraine d'économie mixte) MO déléguée • Maitrise d'œuvre urbaine : AREP ville (filiale de la SNCF, branche Gares et Connexions) • Architectes : Michel Desvignes et associés – conception architecturale et urbaine • AMO ou BET: SEFIBA BET, ARCADIS • ADUAN (Agence de développement et d'urbanisme) • Constructeurs : entreprises BTP • Conseil de développement durable du Grand Nancy • Concertation : Conseil de Gouvernance de Nancy Grand Cœur (60 acteurs porteurs du projet, prestataires et partenaires) ; organisation d'Ateliers par la plateforme interdisciplinaire de recherche de l'INPL : NIT – InoCité
Objectifs énergétiques (nancy_13)	• Projet de monitoring de la performance énergétique et part des ENR • Objectif BBC au moins ; quartier « zéro carbone »
Systèmes énergétiques (nancy_13)	• Chauffage : réseau de chaleur urbain (61% par énergies renouvelables : 50% biomasse, 11% par retraitement des graisses d'origine alimentaire) nancy_13 • Palais des congrès : pompe à chaleur sur eaux usées • Petites éoliennes • Projet de mise à disposition de mini-voitures électriques
Retours d'expérience (nancy_13)	• Un suivi est envisagé avec la définition d'indicateurs énergétiques
Nœuds socio-énergétiques et caractérisation de la gouvernance (multi_15), (nancy_01) (nancy_02), (nancy_13)	• Type de gouvernance – top down, appelant à la participation, la transparence, la communication, avec des « dispositifs innovants » • Conseil de gouvernance (réunions 2 fois par an) • La Fabrique, bâtiment au cœur de l'EQ : espace d'info, de réflexion, de concertation et d'études ; • Les Ateliers de la Fabrique (citoyens en associations, élus, techniciens de la ville, experts) : faire émerger idées innovantes sur diverses thématiques, ds le cadre du travail de conception • Participation active des citoyens : ateliers de vie de quartier, réunions publiques avec l'aménageur et les concepteurs

Plateau de Haye, Nancy, France

Contexte de l'opération	• Agenda 21, Bilan Carbone, Plan Climat Énergie Territorial du Grand Nancy • Rénovation urbaine (démolition-reconstruction, réhabilitation, reconversion de friches urbaines, « extension urbaine maîtrisée ») • Expérimentation de la Ville européenne durable, par la communauté urbaine et la ville de Nancy • Intégration du Plateau de Haye au sein de l'agglomération nancéienne • Plateau de Haye= zone franche urbaine depuis 2007 (dynamise activité éco)
Dates repères	• 2003 : conception ; 2006 : début des travaux, 2013 : fin du projet • 2011 : grand prix national EcoQuartiers
Brève présentation de l'opération	• 3 anciens quartiers : Haut-du-Lièvre, Solvay, Champ-le-Bœuf, 1 nouveau sur le site des anciennes carrières Solvay; 14 600 habitants, 440 hectares, 2500 logements neufs programmés dont 636 logements sociaux reconstruits sur le site, 115 nouvelles entreprises et 600 emplois, des centres commerciaux et des cliniques. Quartier à côté d'une forêt. Coût du projet: 250 millions d'euros
Objectifs sociaux , économiques, environnementaux (hors énergie) (plate_01), (plate_04)	• Mixité sociale et fonctionnelle • Mobilité durable • Gestion durable de l'eau, récupération des eaux de pluie. • Traitement des déchets, réduction de l'imperméabilisation des sols • Biodiversité urbaine, espaces verts
Principaux acteurs (en les qualifiant) (plate_06)	• Maîtres d'ouvrage : Communauté urbaine du Grand Nancy (porteuse du projet), Villes de Nancy, Laxou et Maxéville • Assistance à maîtrise d'ouvrage et concessionnaire : SOLOREM (société lorraine d'économie mixte d'aménagement urbain) • Maître d'œuvre : architecte-urbaniste-paysagiste Alexandre Chemetoff • Bailleurs sociaux: Office Public de l'Habitat de Nancy, Meurthe & Moselle Habitat • Constructeurs : Association Foncière Logement, Établissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) • Financement : ANRU, FEDER, EPARECA (Etablissement Public d'Aménagement et de Restructuration Espaces Commerciaux et Artisanaux) • Concertation : Conseil de développement du Plateau de Haye Energie : ErDF, Dalkia (rénovation de chaufferie, Nancy) • Autres partenaires : Caisse des Dépôts et Consignations, Conseil Général de Meurthe-et-Moselle, Région Lorraine, Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Objectifs énergétiques (plate_01), (plate_03)	• Objectifs énergétiques dans le cadre du Bilan carbone, de l'Agenda 21, et du Plan Climat Énergie Territorial du Grand Nancy (pas de précision sur ces objectifs) • Logements BBC ou très haute performance énergétique (THPE) ou RT 2005
Systèmes énergétiques (plate_01), (plate_07)	• Isolation vitres, ventilation double flux, utilisation des éclairages basse consommation • Chaufferie bois-gaz du Haut-du-Lièvre, 65 % bois (en fonctionnement depuis 2007), 65 % dessert 3 000 logements en chauffage et ECS (fr_multi_16) • Tour des énergies (PV) • Quartier du Haut-du-Lièvre : 30 logements en bois, 15 maisons individ. BC
Caractérisation de la gouvernance (plate_01)	• Gouvernance « innovante » : concertation dès phase amont ; Conseil de Développement du Plateau de Haye créé en 2010, 80 membres = espace de démocratie participative avec ateliers thématiques (emploi, sécurité, etc…) ; « Aventures partagées » = démarche d'appropriation et d'échanges entre les habitants, initiée par les bailleurs sociaux (2009) • Participation des citoyens : réunions publiques, des rencontres en pieds d'immeubles, des visites de chantier etc..

Annexe 2 - Fiches d'analyse détaillée des technologies énergétiques

Synthèse des fiches de technologies (CNRS-PACTE Gilles Debizet)

Le CEA-INES a produit dix fiches de technologies. En voici une synthèse

Accumulateur électrique (communément appelés "batterie électrique")

Cette technologie est rarement mentionnée dans la littérature sur les écoquartiers. On peut supposer qu'elle n'est pas discutée à l'échelle de l'écoquartier : soit elle n'est pas utilisée, soit elle est mise en oeuvre par un seul acteur, plus précisément, l'opérateur de réseau électrique. Le coût élevé d'une batterie (eu égard à sa durée de vie) expliquerait sa non-utilisation. Les contraintes d'utilisation pour maintenir la durée de vie d'une batterie requièrent une gestion intelligente du réseau électrique en fonction de l'offre et de la demande.

La variété des performances selon le support chimique utilisé, leur variation selon l'utilisation et les évolutions technologiques rendent peu imaginable à court terme leur intégration dans les réseaux électriques privatifs ou collectifs (les groupes électrogènes autonomes sont généralement préférés dans les cas d'impératif de fiabilité). Ceci pourrait cependant évoluer si l'usage de groupes électrogènes est restreint (ce qui est déjà le cas pour les stands provisoires sur la voie publique dans certaines villes) ou bien si les prix de rachat et de vente d'électricité varient selon le moment (saison, jour, heure).

Cogénération eau chaude et électricité

La cogénération a été mise en oeuvre dans plusieurs écoquartiers de l'échelle du logement à celle du quartier (Hanovre, Fribourg) en passant par le batiment (Copenhague) et l'ilot (Grenoble). Elle permet de maximiser le rendement énergétique de production électrique (rappelons que la majorité de l'énergie combustible utilisée dans les centrales thermiques est dissipée sous forme de chaleur dans le milieu naturel : rivière et air). L'énergie électrique produite par la cogénération est sutilisée directement ou réinjectée dans le réseau électrique. La chaleur dégagée est utilisée au plus près des besoins par l'intermédiaire d'échangeurs thermiques pour ajuster la température requise pour le réseau de chauffage des bâtiments ou le chauffage de l'eau sanitaire.

Tous les types de combustibles peuvent être utilisés : biomasse, gaz, fuel. En aval de la chaudière, des ballons tampons permettent d'absorber les variations journalières, voire hebdomadaires de la consommation. En amont, le combustible peut être stocké. En association avec différentes formes de stockage, la cogénération offre des possibilités variées de gestion des intermittences. Elle peut être mise en oeuvre par tous les types d'acteurs.

Chaufferie biomasse

La production de chaleur par combustion de biomasse est utilisée de façon courante à toutes les échelles : du logement (poêle domestique) au morceau de ville en passant par l'(éco)quartier : Stockholm, Fribourg, Bordeaux, Chalon-Saone, Lyon, Nancy. La combustion directe de matière (paille, copeaux, granulé, plaquette, bûches, huiles ...) est la plus courante. Bien qu'encouragée par les pouvoirs publics (Stockholm), la méthanisationreste encore peu développée. En France une centaine de réseaux de chaleur sont alimentés partiellement en biomasse, et pour moitié dans des communes moins de 5000 habitants.

Le coût de fonctionnement d'un chaufferie biomasse varie sensiblement selon la filière d'approvisionnement. Comparativement à l'Autriche, ces filières ne sont pas stabilisées en France. La possibilité de stocker et de déclencher la combustion en fonction des besoins apparaît l'un des principaux avantages de la biomasse. Cependant, un rendement énergétique élevé et un faible rejet de polluants dans l'atmosphère exigent un fonctionnement des chaudières à leur puissance nominale. Cela requiert donc des centrales composées de plusieurs foyers se mettant en marche en fonction de

la demande et/ou une forte inertie thermique à l'intérieur des bâtiments pour écrêter la demande. En l'absence de dispositifs (coûteux) de stockage de chaleur en aval, la chaufferie biomasse est peu adaptée aux immeubles de bureaux et aux commerces en milieu urbain.

Pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est utilisée de façon courante de la maison indivduelle à l'ilot. (éventuellement un quartier). Pour être performante, elle doit être couplée à la géothermie (utilisation du sous-sol et/ ou de l'eau de surface comme source chaude). Les prélèvements de chaleur dans le sol sont limités pour des raisons écologiques mais dans des proportions encore très incertaines compte tenu de l'ampleur et de la nouveauté de la demande.

La performance est plus élevée lorsque le bâtiment est chauffé par des émetteurs basse température (plancher chauffant, caisson de ventilation). Ces émetteurs et la PAC peuvent aussi être utilisés pour rafraichir le bâtiment. Dans le cas d'émetteur de chaleur basse température, le stockage aval est de fait assuré par l'inertie de la dalle ou du mur chauffant (cf rubrique fiche suivante). La fonction de stockage est assurée en amont par la source chaude (sous-sol ou bassin d'eau) dont la température est relativement stable toute l'année.

Le cout d'investissement élevé conduit généralement à dimensionner la PAC et le système de prélèvement géothermique pour des besoins moyens en terme de chauffage. Le complément de pointe est assuré par un autre mode de production de chaleur. Inversement à l'entresaison (en particulier dans le cas d'émetteurs basse température), la pompe à chaleur n'est pas utilisée si le bâtiment dispose de panneaux solaires thermiques suffisants.

Contrairement aux pompes à chaleur aérothermique (PAC achetable directement en magasin), la PAC géothermique ne peut être installée et gérée à l'échelle du logement dans l'habitat collectif. La PAC géothermique relève de l'opérateur du réseau de chaleur ou du gestionnaire de l'immeuble et donc du maitre d'ouvrage en phase conception.

Stockage de chaleur

L'inertie thermique du bâtiment permet d'écrêter le besoin de chauffage. Elle peut être assurée de façon passive par les murs et les planchers lourds situés à l'intérieur de l'enveloppe thermique (Bedzed-Sutton, de Bonne- Grenoble) ou, de façon active, par des réservoirs d'eau (Kronsberg-Hanovre).

Le stockage passif couvre les variations journalières. Son efficacité peut être amplifiée par des apports solaires directs (baies vitrées, serre ...) relevant d'un conception bioclimatique du baptiment ainsi que par des matériaux à changement de phase (en phase d'expérimentation). Il peut être développé dans tous les types de bâtiments mais s'avère surtout intéressant pour des bâtiments utilisés de façon permanente (habitat plutôt que bureaux ou commerces).

Le stockage actif permet de couvrir les variations saisonnières: couplé à des panneaux solaires thermiques, il fait l'objet de nombreuses expérimentations en Allemagne mais n'est pas (encore ?) compétitif.

Gestion des réseaux Smart Grid

Centré sur le réseau électrique, le smart grid est généralement associé au réseau public. Il s'agit essentiellement d'affiner le fonctionnement du réseau pour tenir compte des intermittences et de la dispersion de la production d'énergie renouvelable et du stockage de l'énergie. Au niveau du logement, apparaissent des "energy box"; elles sont susceptibles d'ajuster le fonctionnement des équipements domestiques en fonction d'informations données par le réseau public. Les "energy box" pourrait devenir l'un des principaux outils de Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE). Entre les deux, émergent la fonction d'agrégation : médiateurs entre la consommation et la production, les agragéateurs gèrent une partie des installations du réseau et exercent une relative maîtrise sur le stockage de l'énergie ou sur la demande.

Aujourd'hui, la fonction d'agrégateur est assurée principalement par l'opérateur du réseau électrique public. Pour aller plus loin dans la maitrise de la demande ou le stockage local de l'énergie, des experimentations novatrices sont menées à l'échelle de quartier à Seaport-Stockholm et à Lyon-

Confluence (utilisation locale maximisée de l'électricité solaire, interface informative pour le consommateur, intégration des batteries des automobiles ...) grâce à des partenariats élargis.

D'autres acteurs pourraient jouer un rôle d'agrégateur demain avec la croissance de la part de l'abonnement (la puissance garantie) dans la facture électrique et une modulation temporelle des tarifs.

Réseaux de chaleur

Un réseau de chaleur peut être créé par une collectivité sur le domaine public pour livrer de la chaleur sous forme d'eau surchaufée à des usagers. Ce réseau comprend généralement des chaufferies brulant des combustibles. Les bailleurs sociaux et les grandes copropriétés développent aussi des réseaux de chaleur non-publics- intégrant une chaufferie.

Le réseau traverse les différentes échelles spatiales de la ville jusqu'aux sous-stations : elles sont généralement situées en pied d'immeuble et apportent la chaleur transportée à haute température dans le réseau urbain à des fluides caloporteurs adaptés au chauffage du logement ou au réchauffement de l'eau sanitaire.

Quelques entreprises spécialisées exploitent l'essentiel des réseaux publics en tant que délégataire de service public et les réseaux non-publics en tant que prestataire de service.

Un nombre croissant d'écoquartiers urbains comprend un réseau de chaleur urbain. Il permet de dissocier le transport de l'énergie du mode de production de la chaleur et d'intégrer la cogénération. La mise en place et l'extension du réseau exigent une autorité publique relativement forte, capable d'imposer l'utilisation du réseau de chaleur et/ou d'assumer les coûts de réalisation sur le très long terme. Il lui revient de fixer les limites du réseau : le logement, la bâtiment ou l'ilot.

Récupération de chaleur des eaux usées

Issus des points d'eau et des appareils de lavage, les eaux usées ont une température plus élevée que l'eau froide. Cette chaleur peut être récupérée au sein même du logement (à la sortie des appareils de lavage ou de la douche), en pied d'immeuble ou sur les collecteurs horizontaux. Elle peut-etre utilisée pour préchauffer l'eau sanitaire ou comme source chaude de pompe à chaleur.

Quelques sociétés commercialisent des appareils pour les logements. Des expérimentations sont en cours pour récupérer la chaleur des égouts publics et l'intégrer dans le réseau de chaleur urbain (Nanterre, Allemagne, Autriche). Des dispositifs similaires sont mis en oeuvre pour récupérer la chaleur des eaux de laverie au profit d'immeubles résidentiels voisins.

La hausse du prix de l'énergie et le renforcement de la réglementation thermique pourrait rendre cette technique attractive. Reste à savoir quelles seront réellement les échelles de sa mise en oeuvre.

Système de production de chaleur et de froid en cascade

Les chaudières fonctionnent au maximum de leur rendement dans des conditions bien particulières. Ces conditions adviennent rarement lorsqu'une chaudière est affectée à un seul usager pour un seul type d'usage. Le principe du système en cascade consiste à placer les chaudières dans une chaine où elles fonctionnent chacune au rendement le plus élevée. Cela suppose un réseau de chaleur. Ce réseau peut aussi intégrer des énergies renouvelables intermittentes, il fonctionnerait comme un smart grid électrique à son échelle et en échangeant de la chaleur plutôt que de l'électricité.

Les acteurs parties prenantes sont les mêmes que ceux des réseaux de chaleur.

Centrales solaires photovoltaïques

A l'heure actuelle en France, l'énergie électrique issue de panneaux photovoltaïques est transformée en courant électrique par un onduleur afin d'être injectée dans le réseau électrique public. D'autres voies sont envisageables à moyen terme : l'auto-consommation, le stockage dans des batteries ou par d'autres moyens. Des réseaux locaux quasi-autonomes sont installés dans des zones reculées. La plupart des acteurs de la ville sont en mesure d'installer et de gérer des mini-centrales solaires.

Fiches d'analyse détaillée des technologies énergétiques

GLOSSAIRE ENERGETIQUE	
Sources	http://www.energie-info.fr/glossaire#Top http://www.centreinfo-energie.com/

Adsorption
Rétention des molécules d'un gaz, d'un liquide ou d'un soluté sur une surface, entraînant la formation d'une fine pellicule.

Aquifère
Nappe d'eau souterraine composée de sable, de roche ou de gravier perméables.

Biogaz
Gaz issu de la fermentation anaérobie (sans air) de déchets organiques (déchets ménagers, boues des stations d'épuration, effluents agricoles et des industries agroalimentaires etc.).

Biomasse
Fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers.

Bois énergie
Catégorie de bois destiné à la production d'énergie.

Capacité
Quantité d'électricité maximale pouvant être produite par une génératrice, une centrale électrique ou un autre appareil pouvant produire de l'électricité. La capacité est habituellement exprimée en mégawatts (MW).

Capacité de production
La capacité d'une centrale à produire une quantité spécifique d'électricité à un moment spécifique; mesurée en kilowatts ou mégawatts.

Capacité installée
Quantité d'électricité pouvant être produite à un moment précis si toutes les centrales produisent à pleine capacité au même moment.

Certificat de conformité
Certificat garantissant la conformité avec la réglementation en vigueur des travaux réalisés sur des installations intérieures d'électricité et/ou de gaz naturel dans un logement/local neuf ou existant. Il est délivré en fin de travaux et engage la responsabilité du prestataire ayant réalisé les travaux. Les certificats de conformités sont émis par des organismes agréés (par exemple, Qualigaz pour le gaz naturel, et le Consuel pour l'électricité).

Chaleur en cascade
Procédé qui consiste à utiliser un courant d'eau ou de vapeur souterraine à haute température afin d'exécuter, de façon successive, des tâches nécessitant des températures de plus en plus basses.

Charge
Quantité totale d'électricité requise pour satisfaire la demande de la clientèle à tout moment.

Cogénération
Production simultanée d'électricité et de chaleur à partir de gaz naturel, de produits pétroliers, de charbon, de déchets ou de biomasse. La chaleur dégagée lors de la production d'électricité peut être utilisée pour chauffer des locaux ou dans un procédé industriel, ce qui augmente l'efficacité énergétique.

Compteur
Appareil électrotechnique permettant de mesurer la quantité d'énergie consommée dans un lieu donné à un moment donné.

Consommation
L'utilisation d'énergie électrique, habituellement mesurée en kilowattheure.

Consommation d'énergie primaire
Satisfaction des besoins globaux d'énergie, y compris l'énergie utilisée par le consommateur final (voir Consommation d'énergie secondaire), l'utilisation non énergétique, l'utilisation intermédiaire d'énergie pour transformer une forme d'énergie en une autre (p. ex., de la houille en électricité) et l'énergie consommée par les fournisseurs pour approvisionner le marché en énergie (p. ex., combustible de pipeline).

Consommation d'énergie secondaire
Satisfaction des besoins en énergie des utilisateurs finaux dans les secteurs résidentiel, agricole, commercial et industriel ainsi que dans le secteur des transports.

Distributeur
Entreprise responsable de la conception, de la construction, de l'exploitation, de l'entretien et du développement d'un réseau public de distribution d'énergie, assurant l'accès des tiers dans des conditions non-discriminatoires.

Efficacité énergétique
Terme employé pour décrire l'efficacité d'utilisation de l'énergie à des fins données. Par exemple, le fait d'offrir un niveau de service semblable (ou supérieur) en consommant moins d'énergie par unité sera considéré comme une amélioration de l'efficacité énergétique.

Electricité verte
Electricité d'origine renouvelable, c'est-à-dire produite à partir de sources d'énergie renouvelables telles que les énergies éolienne, solaire, géothermique, aérothermique, hydrothermique, marine et hydraulique, ainsi que l'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharge, du gaz de stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz.

Energie éolienne
Energie produite à partir de la force du vent.

Energie fossile
Energie produite à partir d'un combustible fossile (matière formée dans la roche par décomposition et transformation de végétaux sur plusieurs millions d'années).

Energie hydraulique
Energie mécanique de l'eau transformée en énergie électrique grâce à un système de turbines et d'alternateur.

Énergie marémotrice
Energie produite à partir de la force des marées.

Energie photovoltaïque
Energie solaire transformée en électricité par des panneaux composés de petites tranches de silicium par exemple (les cellules photovoltaïques).

Énergie renouvelable
Source de combustible pouvant être utilisée à plusieurs reprises, par exemple, le vent, l'eau et le soleil.

Énergie solaire
Energie produite à partir du rayonnement solaire.

Energie solaire thermique
Energie produite à partir de capteurs qui transforment l'énergie du rayonnement solaire en chaleur transportée par l'eau.

Énergie utile
Energie dont dispose le consommateur après conversion par ses équipements. Plus le rendement des appareils est bon, plus l'énergie utile est proche de l'énergie finale, c'est-à-dire livrée par le fournisseur.

Entreprise locale de distribution (ELD)
Entreprise locale de distribution (distributeur non nationalisé) qui assure la distribution et/ou la fourniture d'électricité ou de gaz sur un territoire déterminé.

Fournisseur alternatif :
Sont considérés comme alternatifs les fournisseurs qui ne sont pas des fournisseurs historiques.

Fournisseur historique :
Sont désignés comme historique EDF, les Entreprises Locales de Distribution (ELD) ainsi que leurs filiales pour l'électricité ; Gaz de France, Tegaz, les Entreprises Locales de Distribution (ELD) ainsi que leurs filiales pour le gaz. Un fournisseur historique n'est pas considéré comme un fournisseur alternatif en dehors de sa zone de desserte historique.

Fournisseur
Entreprise titulaire d'une autorisation de fourniture de gaz naturel délivrée par le ministre chargée de l'énergie ou s'étant déclarée auprès du ministre pour la fourniture d'électricité, et desservant au moins un consommateur final avec qui il a signé un contrat de fourniture précisant les modalités de livraison de l'énergie.

Gaz naturel liquéfié (GNL)
Gaz naturel amené à l'état liquide par refroidissement à -160°C, dans le but principal de permettre son transport par des navires méthaniers.

Géothermie
Utilisation de la chaleur renfermée dans le sous-sol de la Terre.

Gestionnaire de réseau de distribution (GRD)
Responsable de la conception, de la construction, de l'exploitation, de l'entretien et du développement d'un réseau public de transport ou de distribution d'électricité ou de gaz naturel (voir aussi « Distributeur »).

Index
Niveau de consommation associé à une date.

Index réel
Nombre lu sur le compteur à une date donnée.

Index intermédiaire
Nombre estimé à une date donnée, calculé en fonction des consommations passées.

Installation intérieure
Partie de l'installation domestique située en aval du compteur.

Joule
Unité internationale de mesure de l'énergie correspondant à la quantité d'énergie produite par un watt durant une seconde; le joule est une très petite unité (il y a 3,6 millions de joules dans un kilowattheure).

Kilowattheure (kWh)
Unité de mesure d'énergie correspondant, par exemple, à la consommation d'un appareil électrique de mille Watts pendant une heure.

Mix-énergétique
Combinaison de différentes sources de production d'électricité.

Obligation d'achat
Dispositif législatif obligeant EDF et les entreprises locales de distribution (ELD) à acheter l'électricité produite par cogénération ou à partir de sources d'énergie renouvelables, à des conditions imposées.

Offre de marché
Offre dont les prix sont fixés librement par les fournisseurs dans le cadre d'un contrat.

Option tarifaire
Format d'enregistrement des consommations :
- Options Heures pleines/heures creuses : le compteur enregistre les consommations selon deux plages horaires, une en "Heures pleines" (HP) et une en "Heures creuses" (HC) ; le prix de l'énergie est différent en HP et en HC.
- Option base : le compteur enregistre les consommations sans différenciation horaire ; le prix de l'énergie est identique tout au long de la journée.

Point de comptage ou d'estimation du gaz naturel (PCE)
Point d'un réseau de transport ou de distribution du gaz naturel où le gestionnaire de réseau livre l'énergie. Le PCE est le point à partir duquel l'énergie consommée est mesurée par un compteur.

Point de livraison de l'électricité (PDL)
Point d'un réseau de transport ou de distribution de l'électricité où le gestionnaire de réseau livre l'énergie. Le PDL est le point à partir duquel l'énergie consommée est mesurée par un compteur.

Production
Le fait de convertir différente formes d'énergie - thermique, mécanique, chimique ou nucléaire - en électricité.

Production autorisée
Limite de production d'un puits ou d'un groupe de puits qui est établie par un organisme de réglementation (commission de protection).

Production combinée
Production simultanée d'électricité et de vapeur à partir d'une seule source d'énergie (gaz naturel, pétrole, biomasse, etc.).

Production nette
La production totale d'électricité (production brute), moins l'électricité utilisée pour alimenter les centrales de production.

Puissance
Courant transmis selon une tension électrique donnée, mesurée en watts ou en kilowatts.

Puissance électrique
Taux de livraison de l'énergie électrique; également une mesure de la capacité de production d'une centrale électrique; son unité de mesure primaire est le kilowatt (kW).

Puissance souscrite
Quantité d'électricité maximale par unité de temps pouvant être utilisée par les équipements électriques à un moment donné.

Raccordement
Action permettant de relier physiquement un utilisateur au réseau de transport ou de distribution d'électricité et/ou de gaz naturel.

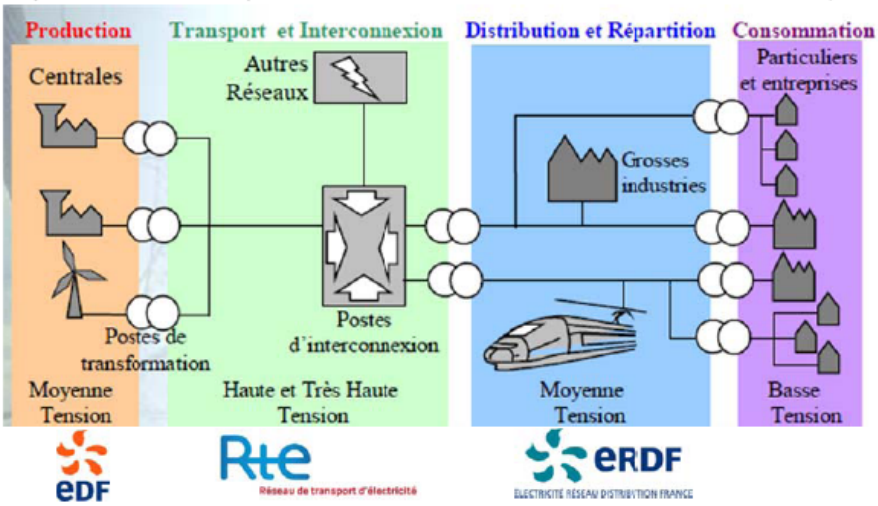
Réversibilité
Règles permettant de souscrire un contrat au tarif réglementé après avoir souscrit une offre de marché. Le principe de réversibilité s'applique uniquement aux clients particuliers.

Tarif réglementé
Tarif de vente fixé par les ministres en charge de l'économie et de l'énergie. Il est appliqué par les fournisseurs historiques, soit en électricité EDF, soit en gaz naturel GDF SUEZ (anciennement Gaz de France) aux clients qui peuvent en bénéficier.

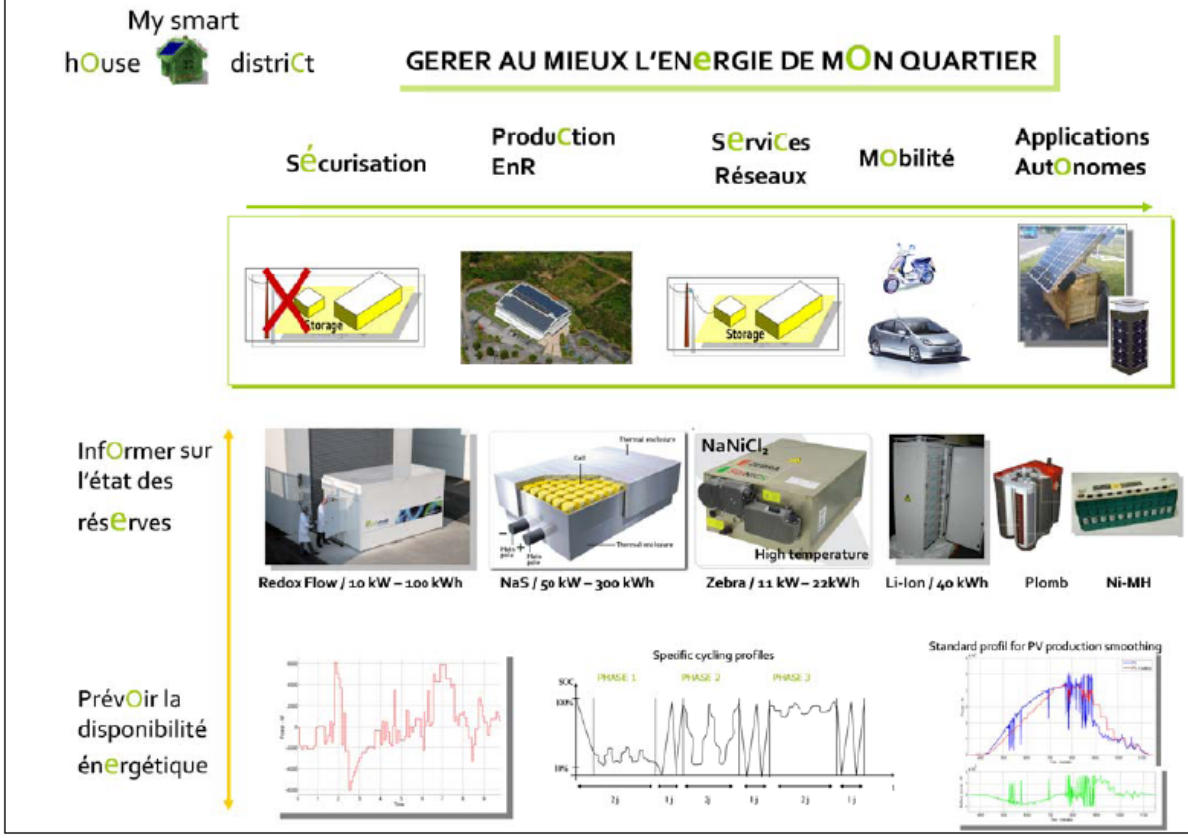
CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 20/04/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	ACCUMULATEURS POUR LE STOCKAGE DE L'ELECTRICITE DANS LES SYSTEMES ELECTRIQUES
Type d'usage	
Collectif	Dans les installations résidentielles/tertiaires collectives alimentées par des énergies renouvelables intermittentes de production d'électricité (connectées ou non au réseau publique électrique) Eclairage public autonome Mobilité électrique en auto partage.
Individuel	Dans les installations résidentielles individuelles autonomes alimentées par énergies renouvelables Mobilité électrique individuelle

Schéma de principe : Acteurs liés à la production et à la distribution de l'électricité en France (Source EDF)



Schémas applicatifs (innovations sous-jacentes) : Source CEA INES



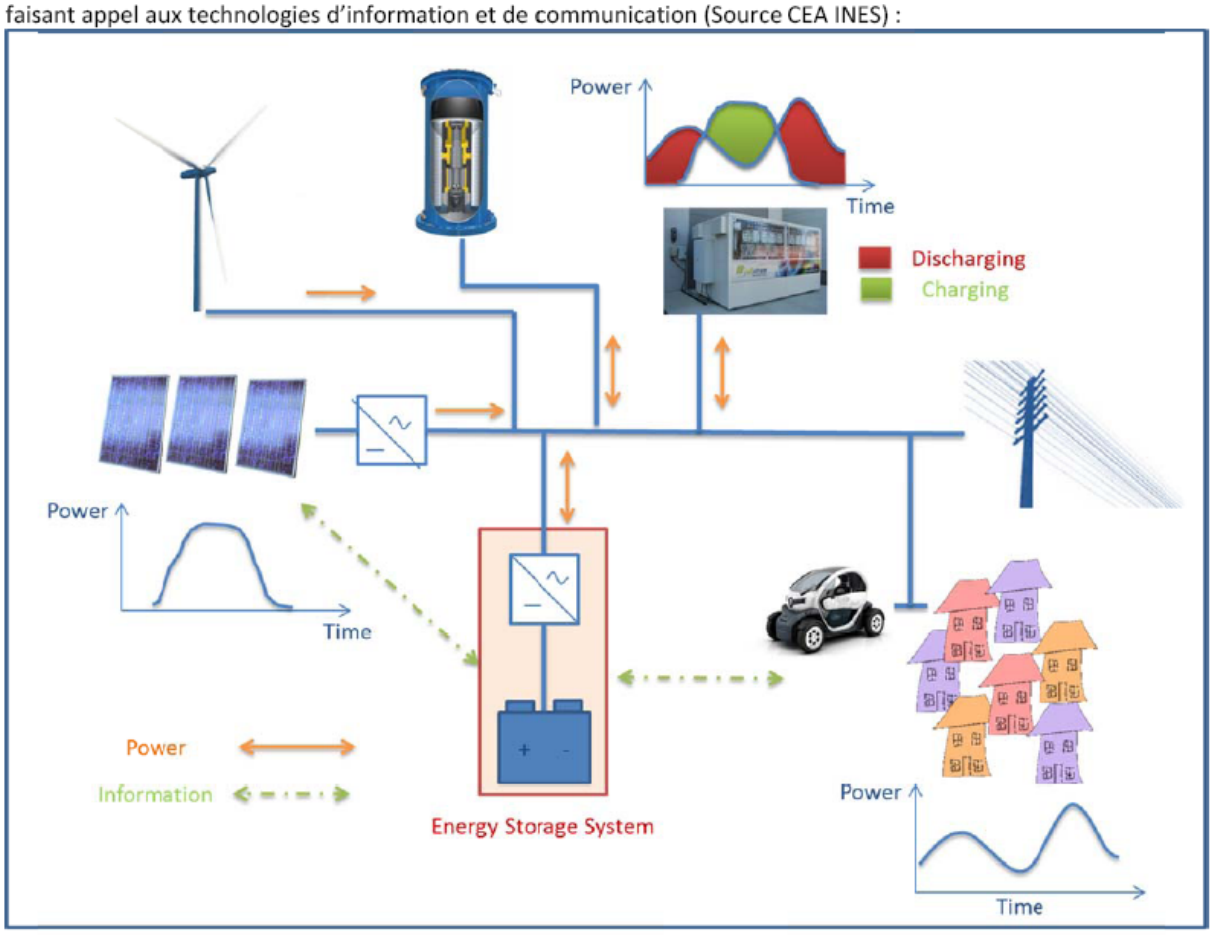
22/02/12 Patrice SCHNEUWLY 1/5

Description synthétique :

L'utilisation de dispositifs de stockage d'électricité dans un éco quartiers doit permettre a minima de :

- valoriser les ressources locales afin de préserver l'environnement,
- concevoir ses différentes composantes en vue d'une intégration locale,
- et enfin gérer intelligemment l'énergie pour suivre les besoins des consommateurs.

Schéma d'intégration d'accumulateurs dans un schéma de productions d'électricité intermittente avec une gestion faisant appel aux technologies d'information et de communication (Source CEA INES) :



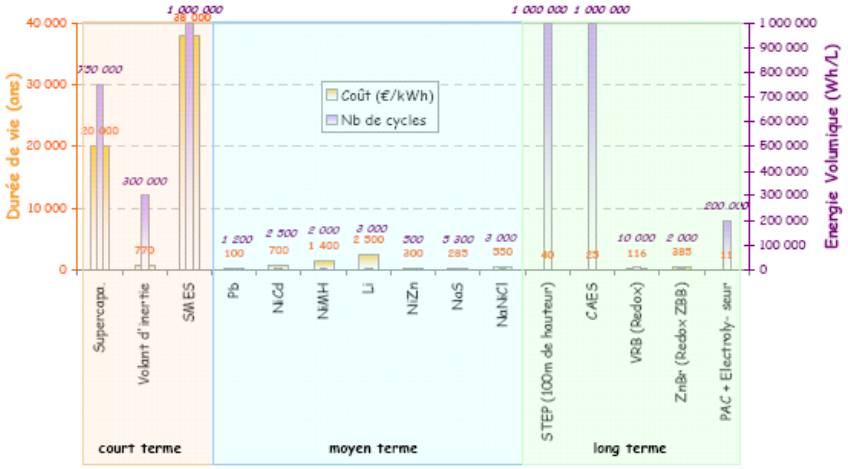
Liste des EQs utilisant cette technologie :

Aucun EcoQuartiers retenu dans l'étude détaillée de NEXUS ne dispose d'un stockage d'électricité par accumulateur. Mais pour montrer que le stockage existe, ci-après des exemples pour des batteries plomb.

Tableau 1. Exemples d'installation de stockage au plomb pour des applications de connexion au réseau [Source : Electricity Storage Association]

Nom de l'installation et localisation	Année d'installation	Energie Nominale [MWh]	Puissance Nominale [MW]	Application
BEAWAG, Berlin	1986	8,5	8,5	Réserve tournante / Régulation de Fréquence
Crescent, Caroline du Nord	1987	0,5	0,5	Ecrêtage du pic de consommation
Chino, Californie	1988	40	10	Réserve tournante / Echelonnement de Consommation
PREPA, Porto Rico	1994	14	20	Réserve tournante / Régulation de Fréquence
Vernon, Californie	1995	4,5	3	Sécuration de la ourniture d'électricité / Qualité de la fourniture de puissance du réseau
Metlakatla, Alaska	1997	1,4	1	Stabilisation du réseau de l'île
ESCAR, Madrid	Début des années 1990	4	1	Echelonnement de Consommation
Herne-Sodingen, Allemagne	Fin des années 1990	1,2	1,2	Ecrêtage du pic de consommation / Qualité de la fourniture de puissance du réseau

Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	Aucun acteur pour cette technologie identifié dans l'étude détaillée de NEXUS.
Variantes des solutions retenues dans les EQs : Pas de solution de stockage d'électricité par accumulateur dans l'étude détaillée de NEXUS.	
Domaines pertinents	Les dispositifs de stockage électrochimiques trouvent de nombreuses applications au sein des réseaux de distribution : équilibrage entre production et consommation, "services systèmes" pour la gestion des réseaux d'électricité et intégration des EnR intermittentes au sein de micro-réseaux connectés au réseau d'électricité. La formulation des contraintes des différents acteurs (producteur, gestionnaire, consommateur) opérant le dispositif de stockage électrochimique permet de déterminer une stratégie de gestion intégrant les critères d'optimisation de chaque acteur ainsi que les spécifications d'une technologie de stockage adéquate. La pertinence d'un dispositif de stockage électrochimique peut s'estimer en première instance par ses performances nominales. Cependant, les conditions réelles d'exploitation (régime de charge/décharge, températures ambiantes, fréquences de sollicitation) influent notablement ses niveaux de performances et sa durée de vie donc, en dernière instance, son coût. En définitive le choix et le dimensionnement d'un dispositif de stockage électrochimique sont issus d'un compromis entre la stratégie de gestion mise en œuvre et les performances du stockage aux différents points de fonctionnement vus durant sa durée de vie.
Limites d'utilisation	Les technologies de stockage d'énergie peuvent être classifiées selon la durée d'utilisation continue qui leur sera demandée en décharge dans l'application : - Applications instantanées (de 0 à quelques secondes) : principalement pour la gestion des réseaux d'électricité. - Applications court-terme (de quelques secondes à quelques minutes) : pour les réseaux d'électricité mais on retrouve également de telles contraintes pour les véhicules électrique et hybrides, les énergies renouvelables intermittentes. - Applications moyen terme (de quelques minutes à moins de 5h) : pour le report de production d'énergie (par ex : production d'énergie photovoltaïque de la journée vers la consommation du soir). Quelques applications sont aussi envisagées pour le rééquilibrage des marchés de l'énergie (stocker quand l'énergie est peu chère et la revendre lorsqu'elle est chère : logiques d'optimisations financières). - Applications long terme (plusieurs jours) : Report de production d'énergie. Principalement pour pallier aux saisonnalités tant sur la production (hydraulique, nucléaire,…) que sur les consommations (automne/hiver). Le Tableau 2 situé dans la partie « Détails qualitatif », présente les différentes technologies de stockage d'énergie par types d'applications. L'utilisation de véhicules électriques comme moyens d'accumulation permettant de restituer une partie de l'énergie accumulée, ne reste aujourd'hui qu'au stade de prototype, et leur conception se développe dans les laboratoires.
Contribution à la mutualisation des besoins	La complexité de gestion d'un réseau électrique faisant intervenir des énergies renouvelables intermittentes réside dans la recherche permanente d'un équilibre entre production et consommation. L'atteinte de cet objectif nécessite l'usage de dispositifs de stockage aux performances énergétiques adaptées à la nature de l'application. Les coûts d'un tel dispositif doivent être rentabilisés par la mutualisation des fonctions qu'il assure. Ainsi, l'enjeu d'une stratégie de gestion à l'échelle du quartier consiste à optimiser les critères technico-économiques liés à plusieurs fonctionnalités du stockage de l'électricité. Pour ce faire, une description temporelle fine des paramètres d'entrée (PV, Eolien, charges, stockage, tarifs réseau, etc.) est nécessaire afin de comparer les performances de différentes stratégies de gestion. Par exemple, un système de stockage peut permettre de :

	– Installer un système PV ou éolien de forte puissance tout en respectant des contraintes sur la variabilité de la production ; – Fournir une offre d'effacement qui peut réduire la facture énergétique pour le quartier ; – Assurer un service de secours à conditions d'identifier les charges vitales.
Stockage d'énergie	L'utilisation d'accumulateurs sur un réseau électrique doit permettre a minima de : – Valoriser les ressources locales afin de préserver l'environnement ; – Concevoir ses différentes composantes en vue d'une intégration locale ; – Gérer intelligemment l'énergie pour suivre les besoins des consommateurs.
Coût d'investissement (€/kW)	Voir tableau 2 dans la partie « Détails qualitatif », et en complément la figure 1 ci-après :  Figure 1. Coût (€/kWh) et Durée de vie (Nb. de cycles) des différents moyens de stockage d'électricité (Source CEA INES)
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Les REX diffusés sur les charges d'exploitation sont surtout sur des systèmes autonomes. Le poids économique de l'entretien des gros éléments de batteries ouvertes au plomb – issus des technologies utilisées dans les sous-marins et qui bénéficient d'une bonne cyclabilité (1 500 à 2 000 cycles) – s'avère lourd et on tente de se rapprocher du zéro maintenance en adaptant des batteries à recombinaison qui ont été étudiées et améliorées pour la traction électrique. Mais c'est une solution a priori plus onéreuse et obtenue pour l'instant au prix d'une cyclabilité environ deux fois moindre. L'accès au REX d'exploitation des démonstrateurs est limité car c'est un domaine encore en innovation pour le connecté réseau et le véhicule électrique.
Niveau de maturité	Les technologies de stockage par voie électrochimique doivent leur maturité historique aux batteries au plomb acide qui demeurent encore aujourd'hui la technologie de stockage électrochimique la plus économique et de ce fait la plus utilisée en tant que stockage électrochimique connecté au réseau, d'installations domestiques de l'ordre de 20kWh aux installations industrielles de plusieurs MWh, en passant par tous les systèmes de secours UPS (Uninterruptible Power Supply) de quelques centaines de Wh à plusieurs centaines de kWh. Des technologies émergentes, ZEBRA (Sodium Chlorure de Nickel à haute température) au lithium, au sodium, ou encore au vanadium à circulation d'électrolyte, challengent aujourd'hui très sérieusement les batteries au plomb en raison de leurs performances, à la fois en termes de ratio énergie/puissance qu'en termes d'endurance (durée de vie), points faibles des batteries au plomb. Cette concurrence est d'autant plus tangible que les coûts de ces nouvelles technologies, bien qu'actuellement de 5 à 10 fois plus chères que la technologie plomb-acide, sont promises à diminuer drastiquement dans les quelques années à venir. Ces diminutions de coût attendues reposent à la fois sur l'arrivée à maturité de ces technologies, ainsi qu'à l'effet de volume escompté, que ce soit grâce au déploiement de solutions de stockage connecté au réseau qu'à l'essor des véhicules électriques. De par leur conversion directe électrique/chimique et leur flexibilité à la conception/réalisation, les accumulateurs électrochimiques intéressent particulièrement les producteur et gestionnaires de sites.

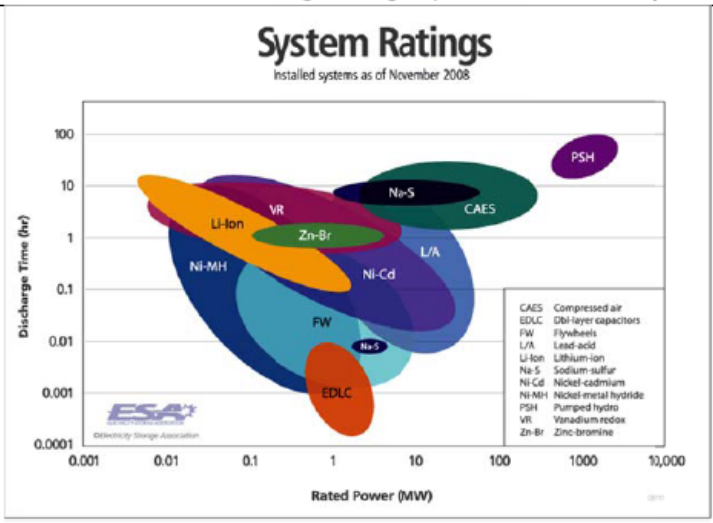


Figure 2. Caractéristiques technologies de stockage d'électricité installés en novembre 2008 (Source : étude © Electricity Storage Association), avec en abscisse les puissances et en ordonnée les durées de décharges (ex. Li-Ion : puis. 1MW pour 6 mn de décharge ou 10 kW pour 10 h de décharge, soit dans les 2 cas 100 kWh d'énergie disponible)

Détails qualitatif

Stocker l'énergie électrique, c'est la conserver en vue d'une utilisation ultérieure. Cette définition soulève que plusieurs critères doivent être analysés et qualifiés au travers d'indicateurs comparatifs (Source CEA INES) :

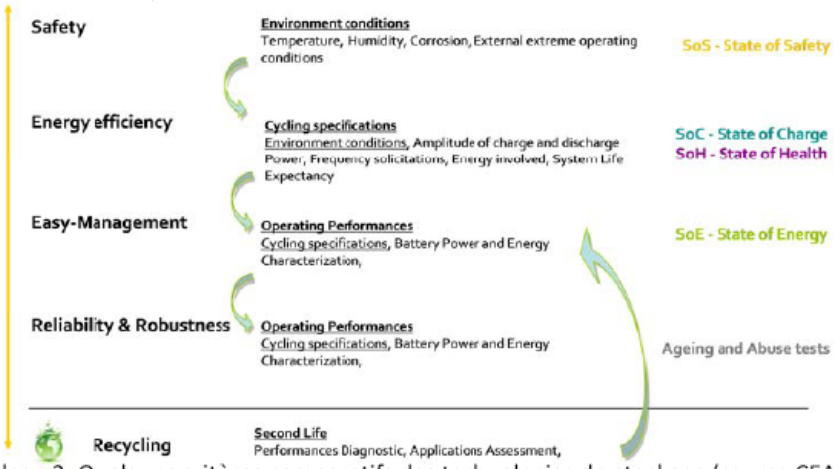
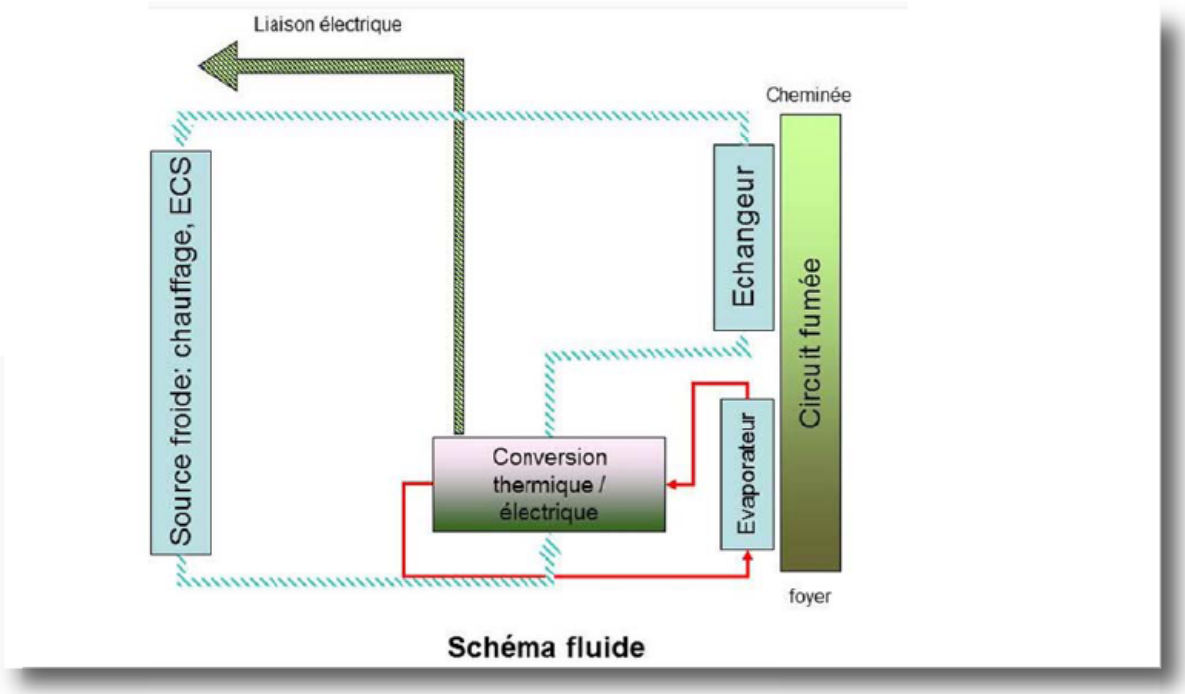


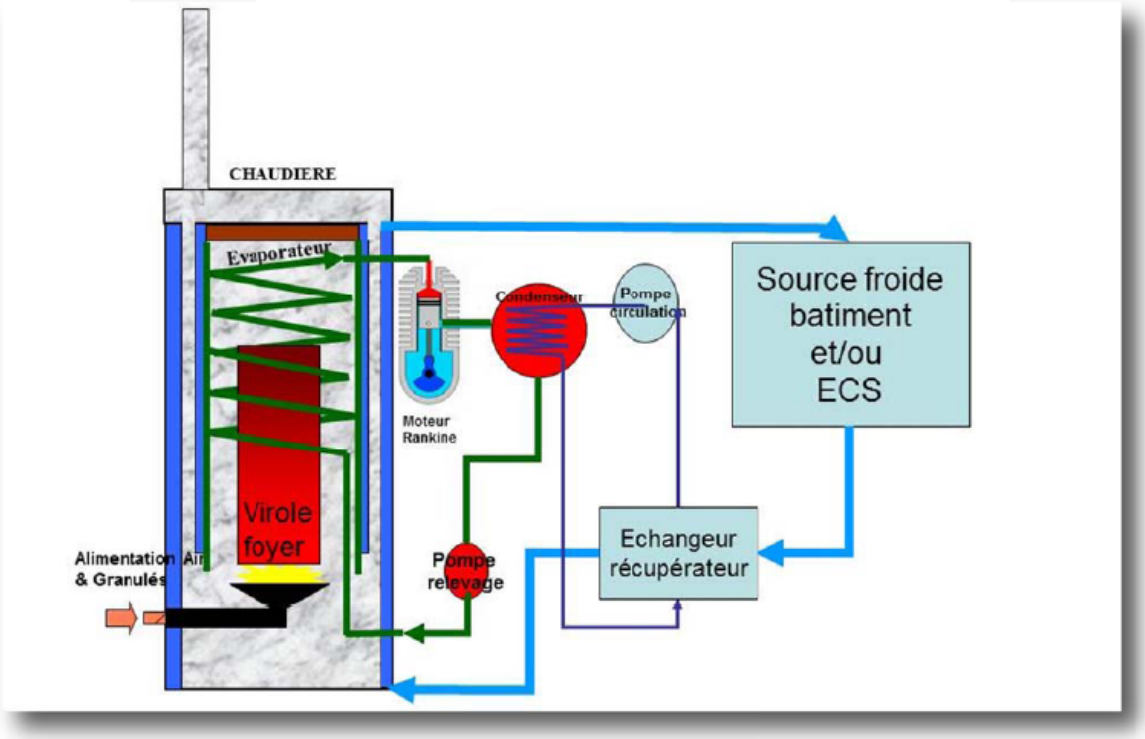
Tableau 2. Quelques critères comparatifs des technologies de stockage (source CEA INES) :

	Type	Techno.	Puiss. Vol. (W/L)	Energie Vol. (Wh/L)	Rendement (%)	Durée de vie (ans)	Nb de cycles	Autodéch. (%/mois)	T° min. de fonct. (°C)	T° max. de fonct. (°C)	Temps de réponse (s)	Coût (€/kWh)
Stockage court terme	Electrostat.	Supercapa.	10 000	3	99	10	750 000	26	-30	70	0	20 000
	Electroméca.	Volant d'inertie	200	1	98	20	300 000	2	-20	60	0,005	770
	Electromagnét.	SMES	20 000	20	97	30	1 000 000	0	-250	-250	0,001	38 000
Stockage moyen terme	Electrochim. à réserv. fixe	Pb	275	100	80	10	1 200	3	-20	60	0,001	100
		NiCd	240	60	85	20	2 500	10	-20	60	0,001	700
		NiMH	350	120	66	15	2 000	40	-20	40	0,001	1 400
		Li	2 000	200	96	15	3 000	5	-10	60	0,001	2 500
		NiZn	1 750	130	80	10	500	5	-20	60	0,001	300
		NaS	20	170	89	15	5 300	0,11	300	300	0,001	265
		NaNiCl	250	170	99	12	3 000	0	300	300	0,001	550
Stockage long terme	Electroméca.	STEP (100m de hauteur)	1 000	870	82	60	1 000 000	0	0	60	250	40
	Electrothermo-dynam.	CAES	1	6	75	30	1 000 000	0	-20	60	600	25
	Electrochim. à réserv. variable	VRB	1,95	13	96	15	10 000	0	0	40	0,005	116
		ZnBr	1	8		5	2 000				0,002	385
		PAC + Electroly-seur	44	440	40	10	200 000	70	20	20	20	11

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	COGENERATION D'EAU CHAUDE (CHAUFFAGE ET ECS) ET DE VAPEUR EN SIMULTANEE POUR PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE
Type d'usage	
Collectif	La cogénération est très appropriée pour un usage collectif : maisons groupées, immeubles de logements, industries, …. La cogénération permet de produire de l'électricité près du consommateur, et la chaleur servant à produire l'électricité peut être récupérée pour la production d'eau chaude. La production simultanée d'électricité et de chaleur, permet ainsi de maximiser l'efficacité énergétique des installations de production électrique.
Individuel	Des micro-cogénérateurs existent sur le marché, et sont installés en Europe mais rarement en France. En général ils sont constitués essentiellement d'un moteur à combustion traditionnel à gaz ou au (bio)diesel. Ce moteur actionne un générateur d'électricité et la chaleur produite par le moteur est récupérée et peut être stockée en ballon tampon. L'électricité est ainsi utilisée pour les besoins propres et le surplus éventuel est réinjecté sur le réseau d'électricité.

Schéma de principe : Figure 1. Schéma fluide de la Cogénération (Source CEA INES)





Schémas applicatifs (innovations sous-jacentes) : Figure 2. Schéma d'intégration dans une cogénération biomasse (Source CEA INES)

Description synthétique :

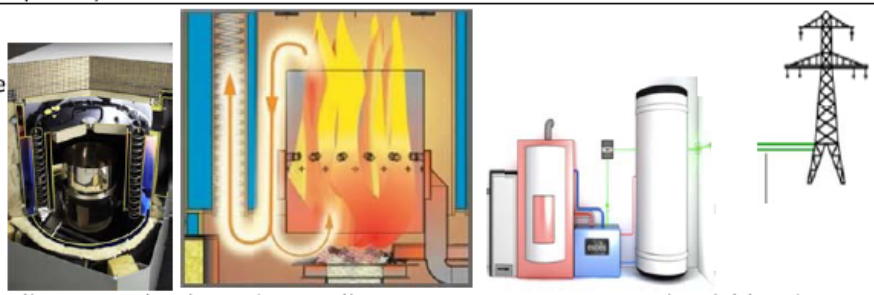
La cogénération (ou « co-génération ») est un principe de production simultanée de deux énergies différentes dans le même processus. Le cas le plus fréquent est la production d'électricité et de chaleur, la chaleur étant issue de la production électrique ou l'inverse.

L'énergie thermique sert le plus souvent au chauffage de bâtiments et/ou à la production d'eau chaude sanitaire ou à des procédés industriels.

Dans la production d'électricité traditionnelle centralisée, la plus grande partie de l'énergie est perdue en énergie thermique dans la transformation d'énergie primaire en électricité. D'autres grandes pertes sont les pertes de transport de cette électricité, depuis l'endroit de production jusqu'au lieu d'utilisation par le consommateur. Il est beaucoup plus efficace de localiser la production d'électricité près du consommateur. Les pertes de transport seront limitées et en même temps, la chaleur qui autrement est perdue dans le processus de transformation peut être récupérée pour la production d'eau chaude sanitaire et/ou le chauffage de bâtiments ou maisons. On obtient ainsi un rendement énergétique de près de 90 %.

Schéma d'intégration :

Figure 3. Exemple de cogénération sur chaudière de bois (pellets) (Source Okoffen (photo de gauche) et EXOES (illustration de droite))



Alors que dans une centrale électrique, c'est le rendement électrique maximum qui est recherché (rendement électrique de l'ordre de 40 % avec un cycle simple et atteignant 55 % avec un cycle combiné), dans la cogénération, on vise un rendement global accru par l'utilisation prioritaire de l'énergie thermique, soit dans un processus industriel soit dans une chaufferie ; la co-génération d'électricité (ou de force) n'est plus dans ce cas le but mais une conséquence, améliorant le bilan économique de l'équipement dont le rendement global peut alors atteindre 90 %.

Dans un équipement de cogénération, l'énergie électrique est soit autoconsommée, soit réinjectée sur le réseau électrique public de transport (haute tension) ou distribution (moyenne tension) (en France RTE, ERDF ou Entreprises locales de distribution d'électricité), suivant des conditions économiques fixées par les pouvoirs publics.

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

BedZed, mais le système de cogénération par combustion de copeaux de bois pour le chauffage et l'ECS est tombé en panne, et la société qui opérait ce système a fait faillite.
Hammarby Sjostad, cogénération utilisant du biogaz alimentant tout l'écoquartier (2 chaufferies).
Kronsberg, cogénération utilisant du gaz alimentant tout l'écoquartier (2 chaufferies).
Vauban, usine de cogénération construite par la ville utilisant 80% de bois et 20 % de gaz. Cette usine fournit les bâtiments en chaleur sauf les maisons passives et les bâtiments BEPOS. Elle couvre 65 % de la demande d'électricité.

Pour la France :

De Bonne, 9 petites cogénérations au gaz placées en sous-station sur le retour des installations de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire qui sont alimentées par une chaufferie gaz et par du solaire thermique pour l'ECS.
Lyon Confluence, une chaufferie de cogénération à base de Colza originaire de Rhône-Alpes est prévue pour l'îlot P.

Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

Variantes des solutions retenues dans les EQs :
Les variantes sont à remplir par le groupe qui focalise sur les modèles économiques

Domaines pertinents	La micro-cogénération : - Chaudière gaz ou au biocarburant avec moteur Stirling pour des petites puissances thermiques et électriques. On appelle communément «petite cogénération», les installations produisant de 20 kW à 1 MW électrique. Les unités produisant moins de 20 kW électriques sont qualifiées de «micro-cogénération». Le moteur à gaz (ou bio combustibles) : - Moteur à explosion couplé à un alternateur produisant l'électricité. - Ces moteurs conviennent bien pour des utilisations d'eau chaude à des températures inférieures à 100 °C. - Ces moteurs sont le plus souvent utilisés pour des petites gammes de puissance, de 5 kWe jusqu'à 7 000 kWe. Les turbines à gaz : - Il s'agit d'une technologie dérivée des réacteurs d'avion. Le combustible (généralement du gaz naturel) est brûlé dans une chambre de combustion alimentée en air sous pression en provenance d'un compresseur. Les gaz produits sont introduits dans une turbine où leur énergie est transformée en énergie mécanique pour l'entraînement du compresseur d'air et d'un générateur d'électricité. - L'énergie résiduelle, sous forme de gaz chauds (environ 500 °C), peut être utilisée pour rencontrer les besoins de chaleur (vapeur et/ou eau chaude). Une post-combustion éventuelle de ces gaz, fortement chargés en oxygène, permet d'obtenir plus de chaleur et d'augmenter le rendement global. - Contrairement aux moteurs, la turbine à gaz se prête très bien à la production de vapeur. - Les turbines à gaz sont utilisées pour des gammes de puissance plus importantes, de 1 à 100 MWe. Cependant, depuis peu, on peut trouver des micro-turbines d'une puissance comprise entre 30 kWe et 1000 kWe. Les turbines à vapeur : - Dans le cas des turbines à vapeur, l'énergie mécanique (puis électrique) est produite par la détente de vapeur haute pression générée dans une chaudière conventionnelle, utilisant n'importe quel combustible. - La chaleur est quant à elle récupérée à la sortie de la turbine, soit sous forme d'eau chaude, soit sous forme vapeur. - Les turbines à vapeur produisent beaucoup de chaleur et peu d'électricité, et sont

	généralement réservées à des applications spécifiques permettant de valoriser des combustibles résiduels.
Limites d'utilisation	La «micro-cogénération» et la «petite cogénération» sont installées directement dans le résidentiel individuel et/ou collectif. La cogénération est plus destinée à desservir des réseaux de chaleur alimentant des quartiers (domaine résidentiel et/ou tertiaire), et/ou des sites industriels. On parle également de trigénération lors d'une production additionnelle de froid. Les raisons qui imposent le choix d'une cogénération d'électricité et de chaleur dans un quartier ou/et un établissement (secteur tertiaire ou site industriel) peuvent être très diverses : - La sécurité de l'approvisionnement et la régularité de la qualité de l'électricité (pas de microcoupures ou de variations de tension) par rapport aux aléas de la distribution sur réseaux. - Le gain financier : réduction de la facture d'électricité ou vente d'électricité à l'opérateur du réseau. - La récupération de chaleur gratuite, par exemple dans les usines d'incinération d'ordures ménagères. - La protection de l'environnement : la cogénération permet des économies d'énergie allant jusqu'à 35 %, ce qui entraîne une réduction des émissions polluantes (SO2, NOx, poussières, etc.) et des gaz à effet de serre (CO2). Pour donner un ordre d'idée, une installation de cogénération produisant 100 kW électriques et 300 kW thermiques peut être connectée à un réseau de chaleur d'une centaine d'habitations ou à une scierie utilisant un séchoir de 100 m3.
Contribution à la mutualisation des besoins	La cogénération peut être utilisée pour générer de quelques kilowatts électriques à quelques dizaines de mégawatts. Les applications sont donc très variées, allant du secteur domestique à l'industrie en passant par les réseaux de chaleur et les activités tertiaires. On peut notamment citer parmi les utilisations les plus fréquentes : - Scieries, menuiseries - Laiteries - Brasseries - Blanchisseries - Serres agricoles - Élevages (porcs, volaille) - Immeubles de bureaux - Hôtels, maisons de retraites - Écoles, collèges, lycées - Piscines, centre de loisirs - Centres commerciaux - Hôpitaux, cliniques
Stockage d'énergie	Le stockage d'énergie est en général du stockage thermique (chaud ou/et froid), permettant de réguler les besoins.
Coût d'investissement (€/kW)	Voir tableau 2 dans la partie « Détails qualitatif »
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Voir tableau 2 et en complément la figure 4 dans la partie « Détails qualitatif »

Niveau de maturité

Puissance électrique kW	< 36	> 36 < 215	> 215 < 1000	> 1 000 <12 000	> 12 000
Appellation	Micro	Mini	Petite	Moyenne	Grosse
Moteur/µ turbine	1 kW – 50 kW				
Module avec moteur à gaz		P max. 1 MW			
Moteur à gaz			P max. unit 5,5 MW Au delà plusieurs MAG		
Turbine à gaz				5,5 MW – 125 MWe	
Capacités installées & Nb de sites	< 100 kW (<60 sites)	~ 4 MWe (31 sites)	~ 120 MWe (141 sites)	~ 2450 MWe (613 sites)	~ 2475 MWe (48 sites)
Tension de raccordement (V)	BTA (50-500 V)		BTB (0,5-1 kV) HTA (1 kV – 50 kV)		HTA-HTB (> 50 kV)

Tableau 1. Segmentation du parc Français par tranche de puissance (Source atee © Club Cogénération)

Détails qualitatif

Tableau 2. Avantages et inconvénients de chaque technologie de cogénération (Source Bruxelles Environnement)

CARACTÉRISTIQUES D'UN MOTEUR À GAZ OU DIESEL

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
• À partir de 5 kW_e • Bien adapté à la préparation d'eau chaude • Bien adapté pour des besoins électriques du même ordre de grandeur que les besoins de chaleur • Coût d'achat abordable • Bien adapté pour suivre une demande variable • Peut jouer le rôle de groupe de secours d'appoint en cas de panne	• Coût de maintenance assez élevé • Peu propice à la production de vapeur • Durée de vie limitée (10 à 15 ans) • Entretiens programmés indispensables en vue d'atteindre une durée de fonctionnement de 50 000 heures avant le remplacement complet du moteur

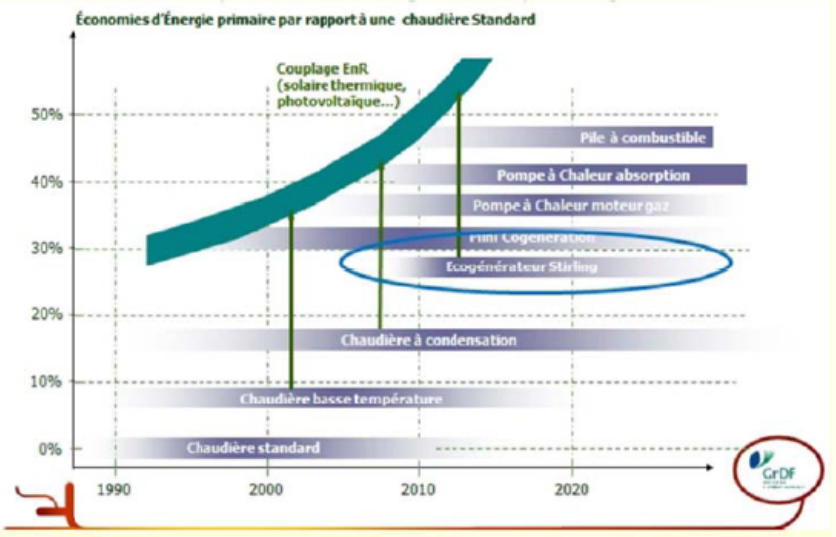
CARACTÉRISTIQUES D'UNE TURBINE À GAZ

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
• À partir de 30 kW_e • Production aisée de vapeur • Bon rendement global	• Faible rendement électrique pour les petites puissances • Nécessite en général du gaz naturel

CARACTÉRISTIQUES D'UNE TURBINE À VAPEUR

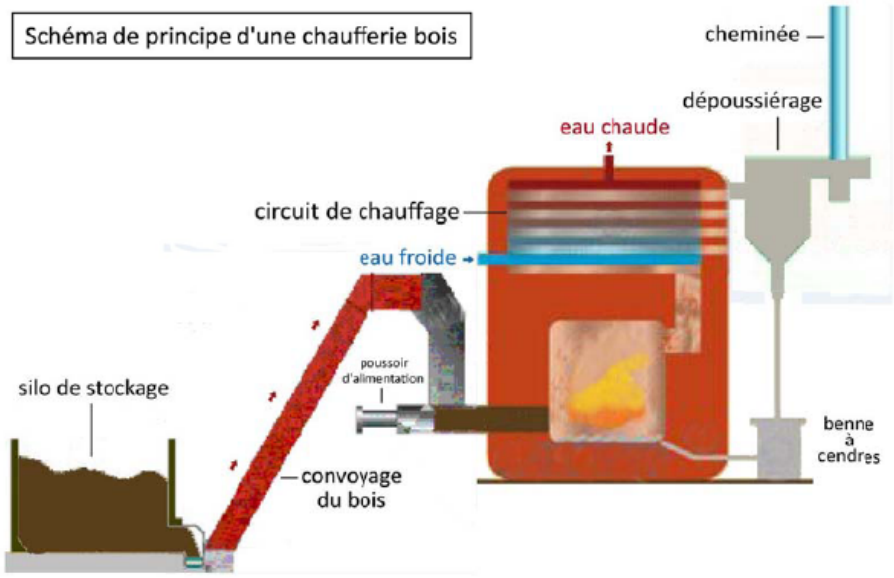
AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
• Convient à tous types de combustibles • Très bon rendement global • Coût d'entretien modique • Durée de vie élevée • Convient bien lorsque les besoins de vapeur sont nettement plus importants que les besoins électriques	• Peu intéressant pour les faibles besoins de chaleur • Investissement élevé • Fonctionnement quasi-continu

Figure 4. Gains escomptés sur l'énergie primaire et le CO^2 (Source GDF – SUEZ)



TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	CHAUFFERIE BIOMASSE
Type d'usage	
Collectif	La biomasse est classiquement utilisée en chaudière pour produire de la chaleur sous forme d'eau chaude, d'eau surchauffée ou de vapeur, et peut alimenter des générateurs à air chaud dans le secteur industriel. Les chaudières biomasses et générateurs d'air chaud sont constitués d'un foyer de combustion alimenté en biomasse par des dispositifs classiques : silos de stockage, systèmes d'extraction et de transfert du bois.
Individuel	Les appareils de production de chaleur individuel utilisant de la biomasse essentiellement sous forme de bois et/ou déchets de l'industrie du bois ou résidus forestiers sous forme de plaquettes, granulés ou bûchettes, sont des foyers de type chaudières individuelles, poêles, inserts, cuisinières, et foyers ouverts.

Schéma de principe : Figure 1. Schéma de principe simple d'une chaufferie bois (Source Wikimedia Commons)



Classification des chaufferies collectives : Tableau 1. Descriptif des types de foyer à combustion biomasse (Source ADEME « Etat de l'art de la technologie générateur d'air chaud à partir de Biomasse - Rapport final juin 2010 »)

Type	Chargement	Gamme de puissance	Combustible	Humidité du combustible (sur brut)
Chaudière à petit brûleur	Automatique	20 kW – 140 kW	Plaquettes petites et sèches ou granulés	8% - 25%
Chaudière à foyer volcan	Automatique	20 kW – 1 MW	Plaquettes forestières assez fines, plaquettes de sous-produits de transformation du bois	5% - 40%
Chaudière à foyer à insufflation	Automatique	200 kW – 10 MW	Sciures et copeaux secs	5% - 20%
Chaudière à foyer à grille fixe	Automatique	15 kW – 5 MW	Plaquettes, chutes et copeaux	5% - 40%
Chaudière à foyer à grilles mobiles	Automatique	400 kW – 25 MW	Tous combustibles bois	10% - 50% voire 60%
Chaudière à sole avec grille rotative	Automatique	2 MW – 25 MW	Plaquettes (produits très humides)	40% - 60%
Chaudière à foyer à lit fluidisé dense	Automatique	5 MW – 100 MW	Différents types de biomasse (diamètre < 10 mm)	5% - 60%
Chaudière à foyer à lit fluidisé circulant	Automatique	15 MW – 500 MW	Différents types de biomasse (diamètre < 10 mm)	5% - 60%

Description synthétique :

Pour comprendre ce qu'est une chaufferie biomasse ou un générateur à air chaud, il faut d'abord s'intéresser à la question suivante : Qu'est-ce que la biomasse ?

D'après un guide de 2007 de l'ADEME sur « La Valorisation de la Biomasse », la définition est la suivante :

« En toute rigueur, c'est **l'ensemble de la matière d'origine vivante**.

Les textes français et européens donnent différentes définitions qui peuvent varier sur des points de détails.

L'article 29 de la loi 2005-781 de programmation fixant les orientations de la politique énergétique dite " POPE", du 13 juillet 2005, la définit ainsi : "La fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers" ».

Ce même guide spécifie l'utilisation de **la biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité :**

- **Le bois,** sous la forme traditionnelle de **bûches** mais aussi de **plaquettes forestières** (sous-produits d'exploitation forestière broyés), d'**écorces,** de **bois de récupération**. Densifié, notamment pour les particuliers, le bois peut être présenté parfois sous forme de **granulés** ou de **briquettes**.
- **La paille, mais aussi des résidus de culture et des productions dédiées,** peuvent être utilisés comme combustibles.
- On peut également brûler à l'échelle industrielle du marc de raisin, des noyaux de fruits, des déchets d'usines papetières (liqueurs noires, boues papetières), des déchets de collectivités, etc. et aussi du **biogaz** issu de la fermentation de déchets divers mis en décharge ou traités dans des méthaniseurs (déchets verts, effluents d'usines agroalimentaires, déjections animales…).

La différence entre chaudière biomasse classique et générateur à air chaud porte sur le fluide caloporteur de la chaleur : l'eau dans les chaudières classiques, l'air pour les GAC.

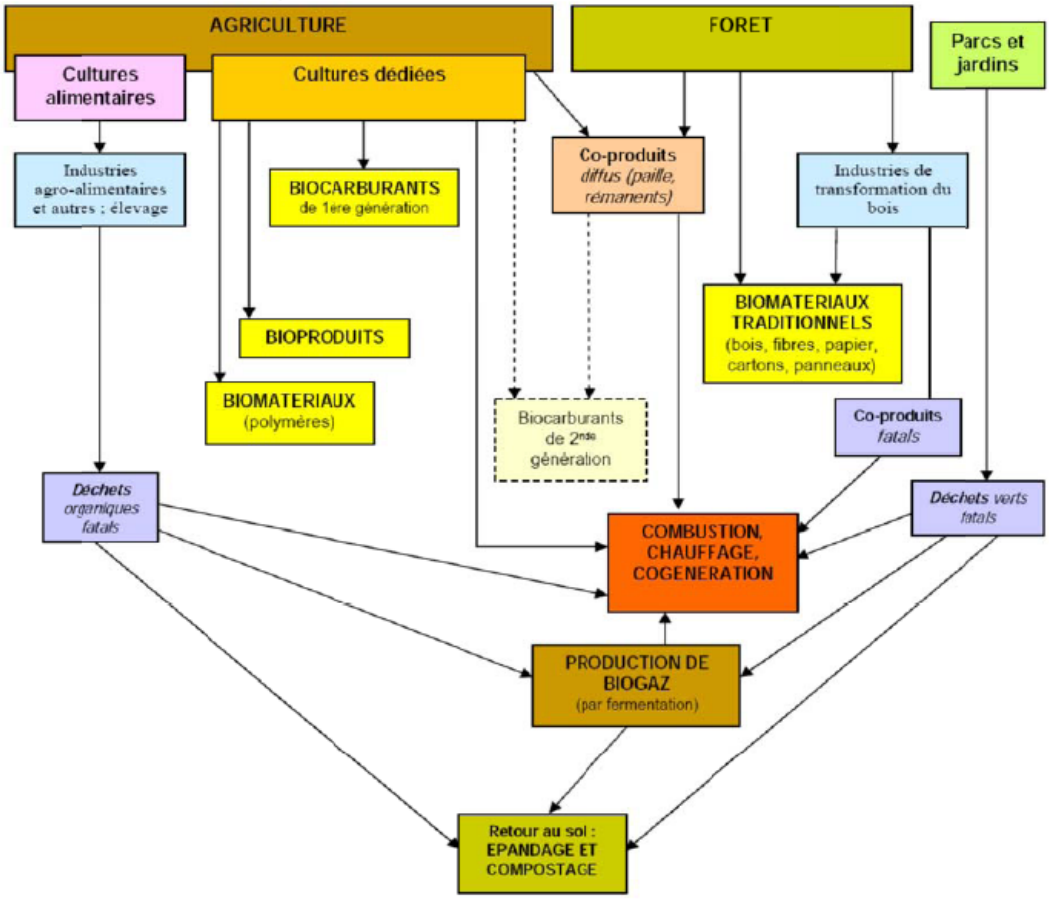
Exemple d'intégration : Chaufferie biomasse de Saint-Ouen-L'aumône (Val-d'Oise) (Source ©J.-C. Guézel – Le Moniteur BTP).

Alimentée quotidiennement par 10 camions de 27 **t** chargés sur la plateforme logistique de Montesson (Yvelines), l'usine de Saint-Ouen-L'aumône (Val-d'Oise) stocke environ 4 000 m3 de combustible dans son silo à biomasse de 25 m de haut (à droite). Ce volume, qui représente une masse de 1 200 t, assure environ 4 jours d'autonomie à la centrale en période de chauffage.

Cet exemple montre la nécessité de bien réfléchir à la localisation de la biomasse et à son stockage (surface nécessaire plus ou moins importante).

Le schéma suivant synthétise les différentes origines de la biomasse provenant de l'agriculture, y compris des substances végétales, et leurs usages possibles.

Figure 2. Principaux usages et provenances de la biomasse non alimentaire (Source Guide de 2007 de l'ADEME sur « La Valorisation de la Biomasse »)



Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

BedZed, mais le système de cogénération par combustion de copeaux de bois pour le chauffage et l'ECS est tombé en panne, et la société qui opérait ce système a fait faillite.

Hammarby Sjostad, cogénération utilisant du biogaz alimentant tout l'écoquartier (2 chaufferies).

Vauban, usine de cogénération construite par la ville utilisant 80% de bois et 20 % de gaz. Cette usine fournit les bâtiments en chaleur sauf les maisons passives et les bâtiments BEPOS. Elle couvre 65 % de la demande d'électricité.

Pour la France :

Ginko l'éco quartier du Lac à Bordeaux, réseau de chaleur collectif alimenté à 100% par des énergies renouvelables (80% de biomasse bois et 20% de biomasse végétale (huile de récupération)).

ZAC de St Jean des Jardins à Chalon sur Saône, chauffage urbain alimenté par une chaufferie bois d'une puissance de 4 MW (capacité de 1000 logements, supérieur à la ZAC).

Lyon Confluence, une chaufferie de cogénération à base de Colza originaire de Rhône-Alpes est prévue pour l'îlot P. La production est prévue à l'échelle de l'îlot en attendant le réseau de chaleur. Les îlots doivent prévoir une chaudière à granulés de bois pour le chauffage et pour 50 % d'ECS.

Grand Cœur à Nancy, 3 gros réseaux de chaleur avec production par chaudières bois.

Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

Variantes des solutions retenues dans les EQs :

Les variantes sont à remplir par le groupe qui focalise sur les modèles économiques

Domaines pertinents	La solution biomasse est tout particulièrement adaptée au chauffage collectif de bâtiments à forte consommation et besoins constants : - Les réseaux de chaleur urbains. - Les hôpitaux. - Les logements collectifs. - Les piscines. - Les maisons de retraites. - Les établissements scolaires, et tout particulièrement ceux disposant d'un internat. Dans le cadre du chauffage industriel, les biocombustibles peuvent remplacer une grande part de l'énergie utilisée : à l'horizon 2015, plus de 4 millions de tep (tonnes équivalent pétrole) sont potentiellement substituables, tout particulièrement dans le secteur du papier/carton et dans les industries agro-alimentaires (source : étude ADEM – BLEZAT). La biomasse classiquement valorisée dans les industries de la filière bois trouve de nouveaux débouchés dans des secteurs variés de l'industrie : agro-alimentaires, manufacturières, …. La hausse des énergies fossiles et le développement du marché du carbone incitent ces industries à étudier des solutions alternatives valorisant les énergies renouvelables.
Limites d'utilisation	Pour les chaudières ou générateurs à air chaud, voir le Tableau 1. Descriptif des types de foyer à combustion biomasse, donnant les gammes de puissances. Par rapport aux combustibles biomasses type bois (plaquettes de différentes provenances), les granulés de bois présentent les atouts suivants : - Une densité et un pouvoir calorifique élevés, qui permettent de réduire fortement l'emprise des installations à puissance thermique installée et autonomie de fonctionnement équivalentes ; - Une grande fluidité, qui autorise la mise en œuvre de systèmes d'alimentation automatique plus simples et une plus grande flexibilité d'usage (régulation, taux de charge) ; - Une plus grande homogénéité de la qualité du combustible ; - Un intérêt marqué lié aux éléments suivants : moins de cendres, émissions de poussières à priori mieux maîtrisées, meilleur rendement, taux de couverture des besoins par le bois plus important… ; - Des coûts d'investissement et d'exploitation réduits, grâce à la compacité des équipements, à la densité énergétique des granulés et à la simplicité du matériel. Malgré ces atouts, le chauffage aux granulés reste insuffisamment connu des financeurs, décideurs et bureaux d'études et il est donc encore rarement préconisé pour les usages collectifs. En France, l'usage principal des granulés est actuellement domestique. Ce n'est pas systématiquement le cas ailleurs en Europe, où les acteurs de la filière ont notamment pu développer un produit adapté aux besoins du chauffage collectif et industriel.
Contribution à la mutualisation des besoins	Suivant le Guide de 2007 de l'ADEME sur « La Valorisation de la Biomasse », les enjeux sont essentiels pour notre pays : - Environnementaux : contribuer à limiter le réchauffement climatique, tout en préservant l'air, l'eau, le sol et la biodiversité. - Economiques : une ressource fiable et de valeur. - Géopolitique : une contribution à l'autonomie énergétique. - Aménagement du territoire, emploi, développement local et rural.
Stockage d'énergie	Le stockage d'énergie est en général du stockage thermique permettant de réguler les besoins. Mais actuellement, il n'y a pas de stockage thermique massif implémenté. Les exploitants stockent la biomasse en tampon.
Coût d'investissement (€/kW)	Voir figure 3 dans la partie « Détails qualitatif » et les tableaux 3 et 4 de l'exemple d'investissement pour une chaufferie équipée d'une chaudière biomasse de 1.2MW complétée par une chaudière fioul de 0.73MW (chaufferie biomasse de Tramayes, source : http://www.cibe.fr/IMG/pdf/12_03_22_SALON_BOIS_ENERGIE_-_Conference_Mairie_Tramayes.pdf?PHPSESSID=140b1f78af68303667461968e5fc1b50)

Charges de fonctionnement (€/kWh)

Voir la figure 4 dans la partie « Détails qualitatif »

Niveau de maturité

En France, près d'une centaine de réseaux de chaleur sont alimentés par au moins une chaufferie-bois desservant des logements collectifs, des établissements scolaires, des hôpitaux, des cliniques etc. 45% des villes où sont installés ces réseaux de chaleur ont moins de 5000 habitants, faisant du bois énergie avant tout **une énergie de proximité** (source : http://www.enr.fr/gene/main.php?base=312)

Le fond chaleur de l'ADEME a l'objectif de susciter le développement de projets de production de chaleur à partir de biomasse. Cette biomasse peut être utilisée en chaudière pour la production d'eau chaude, eau surchauffée ou vapeur (températures jusqu'à 120°C), mais aussi pour produire de l'air chaud (température jusqu'à 1100°C).

Le tableau ci-dessous dessine un panorama possible de l'évolution de la production de biomasse en France, suivant ses applications (source : mission de coordination interministérielle de valorisation de la biomasse).

	Base 2005	Prévisions 2010-2015	Prospective 2040 – 2050	Remarques
BIOPRODUITS et BIOMATERIAUX hors bois	**1 à 2 %** (cultures : 0,6 M ha)	**5 à 10 % ?** (cultures ≈ 2 M ha)	**30 % ?** (cultures et forêts ≈ 4 M ha)	polymères, composites, tensioactifs, solvants, lubrifiants, bases chimiques...
BIOCARBURANTS	**1 %** (cultures : 0,35 M ha ≈ 0,4 Mtep/an)	**7 à 10 %** (cultures ≈ 2 M ha ≈ 4 Mtep/an)	**30 % à 40 % ?** 1ère et 2nde génération ; cultures, forêts : 4 M ha ≈ 14 Mtep/an	EMHV, ETBE, éthanol, puis BTL/diesel et éthanol cellulosique.
CHALEUR (énergie primaire)	**5 %** (déchets, sous produits et petits bois ; ≈ 40 Mt/an ; ≈ 10 Mtep/an)	**7 %** (id° + cultures et forêts sur 0,2 M ha ; ≈ 60 Mt/an ; ≈ 15 Mtep/an)	**15 % ?** (id° + cultures et forêts sur 2 M ha ; ≈ 100 Mt/an ≈ 30 Mtep/an	Bois/paille énergie ; méthanisation ; Bio-incinération, cogénération
ELECTRICITE	**0,6 %** (3,5 Twh)	**1,2 %** (10 Twh)	**< 1 % ?** (10 Twh ?)	cogénération, incinération (part organique) et biogaz (méthanisation)
TOTAUX équiv. tep primaires	~ 11 Mtep/an	~ 22 Mtep/an	≥ 50 Mtep/an ?	. Maintien des conditions d'approvisionnement des filières bois/papier et agro alimentaires . Cultures et plantations "durables" et diversifiées . Contractualisation des filières
équivalent surfaces	~ 1 M ha	~ 4 M ha (surtout agricoles)	~ 10 M ha ? (agricoles 6 ; forêt 4 ?)	
équiv. CO_2 évité net	~ - 30 Mt CO_2/an	~ - 60 Mt CO_2/an	~ - 150 Mt CO_2/an ?	
emplois directs	~ 30 000 emplois	~ 60 000 emplois	~ 150 000 emplois ?	

Tableau 2. Nouvelles valorisations de la biomasse - Prévisions et prospectives de parts de marché (Source Guide de 2007 de l'ADEME sur « La Valorisation de la Biomasse »)

Concernant l'objectif actuel pour le chauffage domestique au bois, celui-ci est triple :

- Favoriser le renouvellement du parc d'équipements.
- Continuer à améliorer le rendement énergétique et la performance environnementale des appareils.
- Structurer les filières d'approvisionnement pour garantir une offre de qualité en combustible bois.

Des contraintes sont à gérer, par exemple :

- La concurrence à venir entre "alimentaire" et "énergétique".
- Les concurrences immédiates entre les multiples utilisations du bois.
- Des filières à développer ou consolider : mobilisation et logistique.

Détails qualitatif

Il est difficile d'obtenir des retours d'expérience des installations en fonctionnement. Ce qui est sûr, comme le spécifie une étude menée pour l'ADEME entre 2000 et 2006 sur l'évolution des coûts d'investissements relatifs aux installations collectives bois énergie (Rapport de 2009), chaque projet fait l'objet, en fonction de son contexte propre, d'un dimensionnement en principe optimisé de façon à atteindre une économie globale qui autorise son lancement. Cette optimisation concerne non seulement les coûts d'investissement, mais aussi et surtout les besoins de chaleur et les postes de coûts récurrents (combustibles, exploitation, maintenance).

La maîtrise nécessaire des coûts d'investissement ne doit donc pas se faire au détriment de l'économie ou de la performance globale des projets, mais au contraire s'effectuer dans ce cadre consolidé.

Cette dernière étude a établi une comparaison du coût d'investissement total par rapport à l'énergie distribuée entre 3 pays, France, Allemagne et Autriche : cf. Figure 3 ci-après.

La comparaison de ce ratio entre les 3 pays indique que :

- Les coûts spécifiques d'investissement ramenés à la chaleur annuelle produite convergent sur les échantillons allemands et autrichiens vers une valeur commune proche de 400 EUR/MWh/an, permettant de situer les conditions économiques moyennes de lancement des projets dans ces pays, cohérente avec les projets français de la classe C3 ;
- Les ratios calculés pour les projets français conduisent au contraire à des valeurs plus élevées sur les 2 premières classes de puissance, avec une dispersion plus importante. Cela peut indiquer d'une part, une plus grande difficulté à trouver des besoins de chaleur élevés et réguliers, à installation équivalente, que chez nos voisins européens, d'autre part, une plus grande tolérance en France vis-à-vis de conditions économiques moins favorables pour décider du lancement des projets.

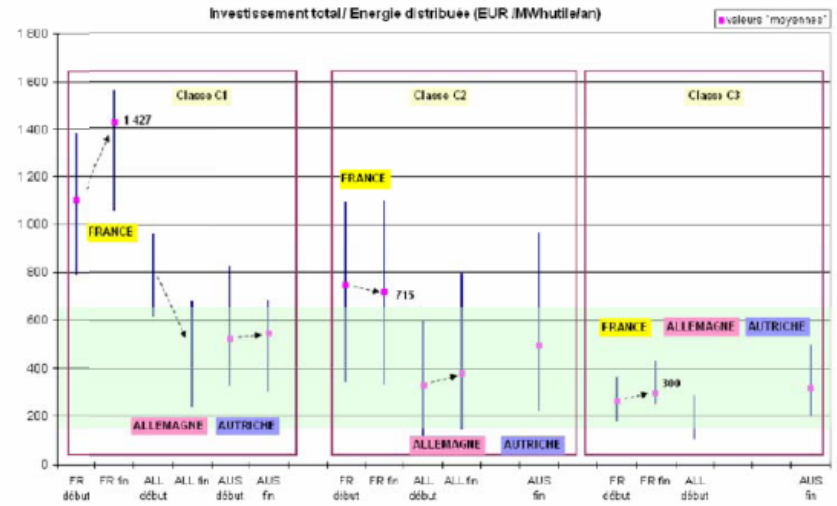


Figure 3. Comparaison du ratio de l'investissement total par rapport à l'énergie distribuée. Les classes correspondent à des gammes de puissance bois des installations (C1 : entre 100 kW et 299 kW, C2 : entre 300 kW et 1 200 kW, C3 : plus de 1,2 MW) (Source ADEME – Evolution des coûts d'investissements relatifs aux installations collectives bois énergie (2000-2006))

Une autre étude a été menée par l'ADEME en 2010 et 2011 sur le prix des combustibles bois. Il est intéressant de voir comment se situe le prix du combustible bois pour les collectivités locales vis-à-vis des autres sources d'énergies : cf. figure 4 ci-après.

D'autre part pour se rendre compte du coût d'investissement et de financement d'une chaufferie biomasse, l'exemple de la commune de Tramayes est donné dans les tableaux 3 et 4 ci-après. La chaufferie équipée d'une chaudière biomasse de 1,2 MW, complétée par une chaudière fioul de 0,73 MW, est destinée à alimenter en chauffage et ECS l'équivalent de 63 logements.

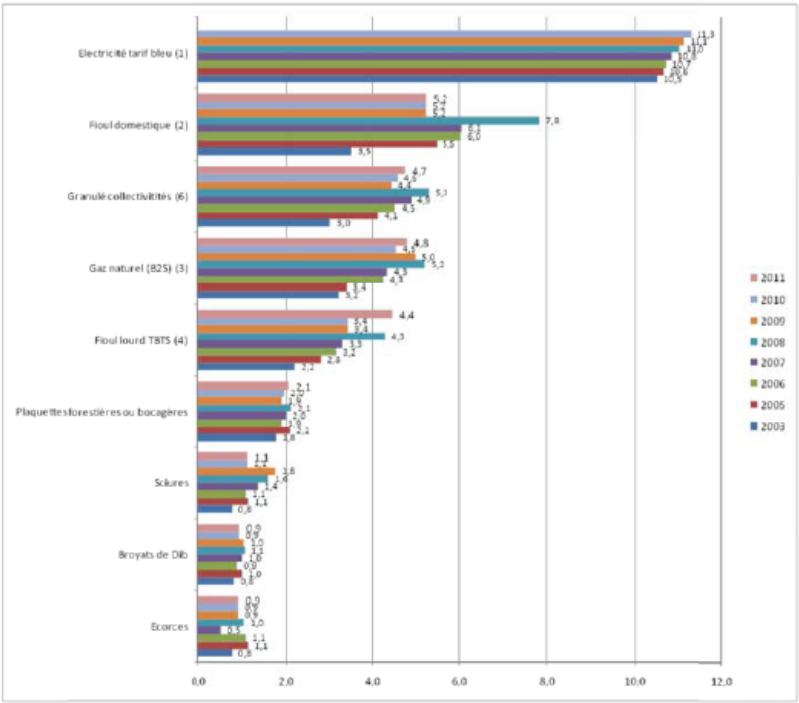


Figure 4. Comparaison du prix du combustible bois pour les collectivités locales (cEUR.TTC / kWh PCI (Pouvoir Calorifique) livré) (Source ADEME Enquête sur le prix des combustibles bois en 2010 et 2011)

(1) : Prix moyen pour une consommation de 43 200 kWh/an dont 19 200 en heures creuses, 24 kVA, source EDF, citée par base de données PEGASE ; (2): Fioul domestique, livraison 27 000 litres et plus, source DIREM ; (3): Prix moyen pour une consommation de 1 163 MWh/an dont 60% en hiver, source GDF ; (4) :TBTS (Très Basse Teneur en Soufre, <1%), source DIREM ; (6) Pour les granulés, et les plaquettes, le prix 2009 a été calculé sur la base du déclaratif des collectivités, afin de tenir compte des conditions réelles de vente (notamment de l'impact des éventuelles remises sur le prix affiché)

La chaufferie biomasse de Tramayes

Chaufferie équipée d'une chaudière biomasse de 1,2 MW complétée par une chaudière fioul de 0,73 MW

Etudes et MO :	102 600 € ht	10 %
Réseau :	123 280 € ht	12 %
Chaudière :	264 300 € ht	26 %
Chauffage régulation :	182 900 € ht	18 %
Génie civil :	246 600 € ht	24 %
VRD :	97 000 € ht	10 %

Tableau 3. Exemple de répartition du coût d'investissement d'une chaufferie biomasse

La chaufferie biomasse de Tramayes

Chaufferie équipée d'une chaudière biomasse de 1,2 MW complétée par une chaudière fioul de 0,73 MW

Coût d'investissement :	1 059 567 €ht	
Subvention Etat DGE :	69 000 €	6,5 %
Subvention CR:	336 120 €	31,7 %
Subvention CG :	84 030 €	7,9 %
Subvention ADEME :	84 030 €	7,9 %
Financement commune ht :	486 387 €	45,9 %
Financement commune ttc :	694 062 €	

Tableau 4. Exemple de financement du coût d'investissement d'une chaufferie biomasse

CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 23/04/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**POMPE A CHALEUR EN GENERAL ET PLUS PARTICULIEREMENT AQUIFERE**
Type d'usage Collectif Individuel	Les pompes à chaleur (PAC) utilisant comme source froide les nappes d'eau souterraine, sont utilisées pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Ce type de géothermie utilise la très basse énergie. On distingue trois autres types de géothermie : la haute, la moyenne, et la basse énergie. Les sites géothermiques à haute et moyenne énergie permettent la production d'électricité. Tandis que la production de chaleur est obtenue à partir des sites géothermiques de basse énergie (utilisation des nappes d'eau chaude du sous-sol profond), comme la très basse énergie (utilisation de pompe à chaleur). En général le coût du captage limite l'utilisation de PAC aquifère à des groupes de maisons, bâtiments publics ou immeubles de logements pour les solutions individuelles. Dans certaines régions, la configuration de la nappe (présence d'eau très peu profonde par rapport au niveau du sol), peut rendre rentable le système PAC aquifère pour le particulier. Dans tous les cas que ce soit en usage individuel ou collectif, il faut que la géologie du site présente une nappe d'eau souterraine pour permettre l'utilisation de PAC aquifère.

Schéma de principe : Figure 1. Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur à compression (Source Viessmann). Ce type de pompes à chaleur est considéré comme étant une solution moderne et reste le plus répandu. Il existe différentes pompes à chaleur pouvant être classées selon leur type ou leur principe de fonctionnement en :

- Pompes à chaleur à compression.
- Pompes à chaleur à sorption (subdivisées en pompes à chaleur à absorption et pompes à chaleur à adsorption).
- Pompes à chaleur Vuilleumier (pas encore de produit dans le commerce).

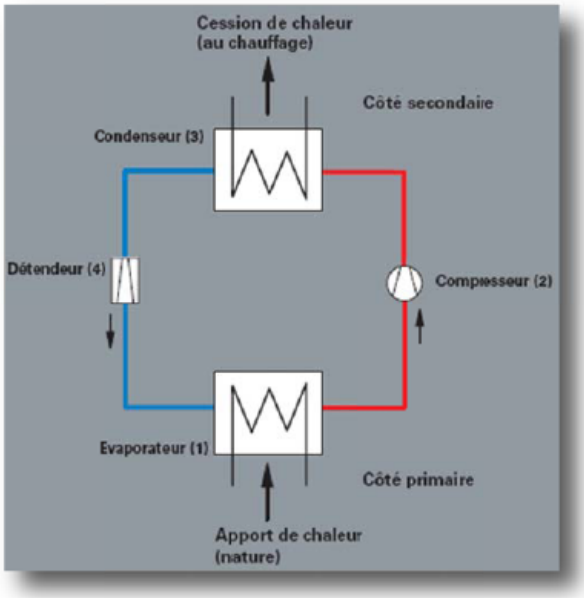


Figure 1. Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur à compression

Schémas applicatifs (innovations sous-jacentes) :
Le schéma de la figure 2 ci-après donne un montage assez courant d'une PAC sur aquifère permettant en particulier la réversibilité du système (rafraîchissement ou climatisation, chaud et froid, free-cooling (refroidissement direct de l'eau du circuit par l'eau de nappe par la seule utilisation des échangeurs, sans mise en service de la pompe à chaleur, rafraîchissement gratuit)).

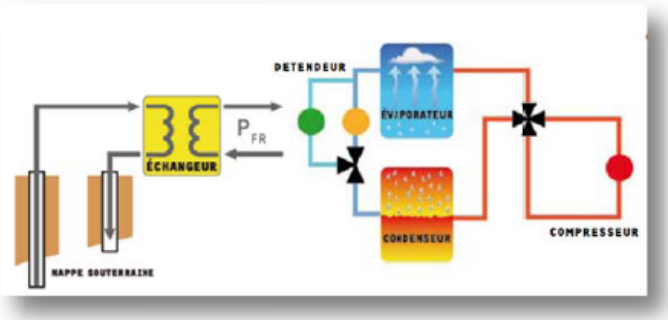


Figure 2. Schéma de principe général d'une PAC sur nappe (Source ADEME – Guide technique PAC sur aquifère)

Description synthétique :

Une pompe à chaleur est un système thermodynamique qui fonctionne entre deux sources : une source froide et une source chaude. Le principe consiste à transférer des calories de la source froide vers la source chaude, donc à un niveau de température supérieur. Ce transfert se fait via un fluide caloporteur (fluide frigorigène) et ne peut se réaliser que s'il y a apport d'énergie sous forme de travail (dans le cas de PAC à compression), (Source ADEME – Guide technique PAC sur aquifère).

Il existe différents types de pompes à chaleur selon la nature de la source froide de laquelle elle puise l'énergie avant de la restituer au fluide de chauffage :

- les pompes aérothermiques qui captent l'énergie de l'air extérieur ou extrait ;
- les pompes à chaleur sur l'eau (ou « aquifère ») qui utilisent l'eau des rivières, nappes phréatiques… ;
- les pompes géothermiques (ou « géothermales ») qui captent l'énergie du sol.

Il existe plusieurs procédés de pompes à chaleur, la principale différence tient à la nature des fluides circulant dans les capteurs et les émetteurs de chauffage (source ADEME) :

- PAC à détente directe, un seul circuit : le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs de chaleur. Ce type de PAC contient beaucoup de fluide frigorigène ;
- PAC mixtes (ou fluide frigorigène/eau), deux circuits : celui du fluide frigorigène des capteurs et de la pompe à chaleur et celui de l'eau chaude des émetteurs ;
- PAC à fluides intermédiaires (eau glycolée/eau ou eau/eau), trois circuits : le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau additionnée d'antigel dans le cas de capteurs géothermique ou de l'eau en cas de puisage dans la nappe, le circuit qui alimente en eau chaude les émetteurs ;

Les PAC géothermiques peuvent être à détente directe, à fluides intermédiaires ou mixtes. Pour les PAC sur aquifère, elles sont essentiellement à fluides intermédiaires. Les caractéristiques de ces pompes à chaleur sont résumées dans le tableau suivant :

PAC géothermiques		
Capteurs enterrés horizontaux	Capteurs enterrés verticaux	PAC sur eau de nappe
PAC à détente directe		
PAC mixte		
PAC à fluides intermédiaires		
		PAC à fluides intermédiaires

Tableau 1 : Caractéristiques des pompes à chaleur (source ADEME)

Schéma d'intégration :

Les systèmes de pompes à chaleur d'aquifère qui utilisent un apport constant d'eau souterraine comme fluide caloporteur sont des systèmes à boucle ouverte. (Figure 3). Son échangeur est constitué de puits où l'eau souterraine de l'aquifère est directement pompée vers l'échangeur de la PAC ou un échangeur intermédiaire pour une boucle d'eau froide alimentant une ou plusieurs PAC.

Cet échangeur intermédiaire transfère la chaleur ou le froid, de la boucle d'eau ouverte vers la boucle fermée dans le bâtiment et permet ainsi, d'isoler la pompe à chaleur de l'eau du puits pour protéger les échangeurs de chaleur de la corrosion, de l'encrassement et de l'abrasion. En sortie de l'échangeur intermédiaire, l'eau est injectée dans le même aquifère grâce à un second puits appelé puits d'injection.

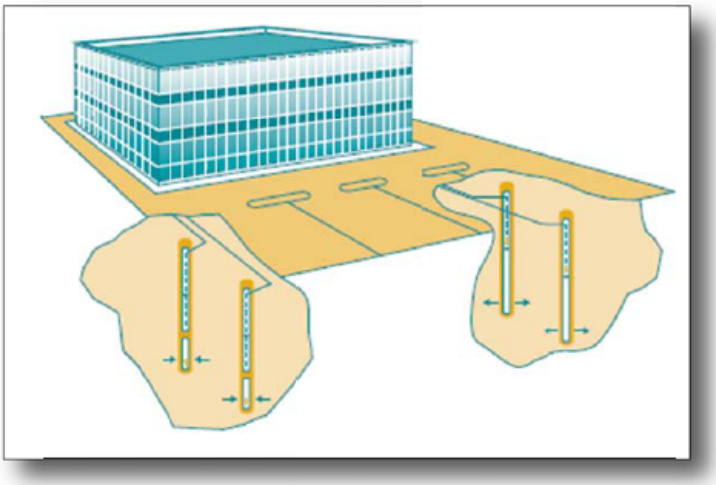


Figure 3 : Système de pompes à chaleur d'aquifère (Source CSTB).

Il existe deux configurations de ce système en fonction de l'écoulement de la nappe :

- Si l'écoulement de la nappe est rapide, la configuration sera plutôt même puits de production été et hiver, seul le puits producteur est équipé d'une pompe d'exhaure.
- Si l'écoulement de la nappe est faible ou inexistant, la configuration possible sera que les deux puits du doublet sont équipés d'une pompe d'exhaure. C'est le principe du puits chaud – puits froid. L'hiver, l'eau refroidie est réinjectée dans le puits froid. L'été, l'eau de rafraîchissement est prélevée au puits froid et réinjectée dans le puits chaud, après prélèvement de chaleur dans le bâtiment à rafraîchir.

Si le faible écoulement de la nappe superficielle le permet, la constitution d'une bulle chaude au puits chaud et d'une bulle froide au puits froid augmente la performance du système qui s'améliore avec le nombre de cycles.

Il existe une variante de PAC sur aquifère, les pompes à chaleur d'eau de surface :

Elles constituent une option techniquement et économiquement viable. Dans cette variante, une série de tuyaux installés en boucle (ou spirale) sont immergés au fond d'un lac ou d'un étang et font office d'échangeur de chaleur. Ce type d'installation requiert un minimum de tuyaux et d'excavation, mais l'étang ou le lac doit être assez vaste et profond. Le fluide caloporteur est pompé dans les tuyaux en boucle fermée ce qui évite la majeure partie des impacts sur le milieu aquatique. De nombreux systèmes de ce type sont en opération actuellement.

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Lyon Confluence (France) (http://www.muuuz.com/2011/02/14/le-cube-orange-par-jacob-macfarlane/)

Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	Aucun acteur pour cette technologie identifié dans l'étude détaillée de NEXUS. Acteur historique en France : Le BRGM, établissement public de référence pour les sciences de la Terre et L'ADEME ; Les leaders industriels en région parisienne, Dalkia et la CPCU (filiale de COFELY qui exploite une installation de 14 MW à Paris qui n'utilise pas de PAC mais directement la température du sol).

Variantes des solutions retenues dans les EQs :

Pas de solution de stockage d'électricité par accumulateur dans l'étude détaillée de NEXUS.

Domaines pertinents

La mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) utilisant comme source froide les nappes d'eau souterraine, sur un bâtiment sera d'autant plus performante que la conception de ce dernier sera faite avec des systèmes basse température en particulier pour le chauffage.

Un certain nombre d'applications sont considérées comme plus favorables à l'utilisation de pompes à chaleur, on peut les classer en trois catégories :

- Dans l'utilisation générique des PACs, les applications pour lesquelles les besoins de chaud et de froid sont concomitants pendant une bonne période de l'année: hypermarchés, hôpitaux, cliniques, certains immeubles du secteur tertiaire, les groupes sportifs piscines + patinoires, etc.
- D'autres applications privilégient la réversibilité des PACs, à savoir la fourniture de chaud en hiver et le rafraîchissement en été. C'est le cas d'immeubles du tertiaire (hôtels, maisons de retraite, etc.), de bureaux, mais aussi de certains logements qui par leurs configurations exigent un rafraîchissement en été.
- Enfin, la PAC n'assure qu'une seule fonction : soit la fourniture de chaud, soit la fourniture de froid ; dans ce dernier cas on parlera de groupe frigorifique.

Les points clés de la réussite d'une opération PAC géothermique sur aquifère sont :

- la détermination des besoins en chaud ;
- la détermination des besoins en rafraîchissement ;
- la réalisation d'une étude hydrogéologique ;
- le choix d'émetteurs basse température (planchers chauffants, ventilo-convecteurs, …).

Limites d'utilisation

La géothermie fait partie des énergies dites « renouvelables ».

Le but d'une exploitation de l'énergie géothermique est de capter la chaleur des profondeurs, pour l'amener à la surface de la terre en recourant à des technologies ad hoc. A certains endroits, la nature fournit elle-même le système de circulation requis, par exemple les sources thermales. En d'autres lieux, on doit faire appel à des forages avec pompes de production ou à des sondes géothermiques doublées de pompes de circulation.

Pour les PAC sur aquifère, il faut apporter une grande attention à la gestion de l'aquifère : prélèvement contrôlé, rejet maitrisé, …. Il peut y avoir des risques de pollution, de réchauffement irréversible de la nappe, ….

Segment	Principaux équipements /systèmes utilisés	Température de la ressource	Profondeur des forages	Usages
Très basse énergie	Pompes à chaleur géothermiques (PACg)*	o <30°C	o Faible o < 100 – 300m	o Usage domestique (chauffage & refroidissement) o Habitat collectif o Tertiaire
Basse énergie Moyenne énergie	Réseaux de chaleur géothermiques**	o <90 °C o 90 – 150 °C	o Intermédiaire o < 2000m	o Usage directe pour le chauffage d'un ensemble de bâtiments o Chaleur industrielle o Production d'électricité
Haute énergie	Centrales de production électrique***	o >150°C	o Elevée o > 2000m	o Production d'électricité o Chaleur industrielle

Tableau 2 : Segmentation de la géothermie
(source Direction Générale de l'Energie et du Climat)

* D'autres systèmes font également partie de ce segment : les puits canadiens ou provençaux (alimentation du bâtiment en air tempéré passant par un conduit enterré) et les fondations thermoactives ou pieux géothermiques (capteurs de chaleurs installés au coeur des fondations du bâtiment).

** D'autres systèmes utilisés concernent les usages agricoles (serres agricoles, pisciculture, etc.) et industriels.

*** La géothermie de haute énergie peut également servir à de la cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) ou à la production de vapeur haute pression pour un industriel.

Contribution à la mutualisation des besoins	Les PACs sur aquifère peuvent être installées pour satisfaire les besoins de plusieurs bâtiments via un micro réseau de chaleur ou une boucle d'eau froide alimentant les PACs situées dans différents bâtiments. C'est de la qualité de la mise en adéquation de la ressource et des besoins, dont va dépendre l'efficacité énergétique et économique de l'opération. En fonction de l'écart entre le potentiel de la ressource (« débit maximum probable ») et le débit maximum utile (débit permettant de satisfaire la totalité des besoins théoriques), une analyse détaillée doit être menée pour définir le taux de couverture optimal résultant du meilleur compromis entre le taux de couverture, les coûts d'investissement et les économies générées. Il n'est en effet pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe.
Stockage d'énergie	Les deux exemples ci-dessous sont donnés **lorsque l'écoulement de la nappe est faible ou inexistant.** **Héliogéothermie** : Le « dopage » thermique de l'aquifère peut être réalisé par l'énergie solaire. L'héliogéothermie consiste donc à fournir avec des capteurs solaires de l'eau chaude qui est injectée dans la nappe. Les capteurs solaires peuvent être placés sur les bâtiments à chauffer. En région Ile-de-France, le rayonnement solaire apporte 1 200 kWh/an/m2 (de capteur) à comparer aux 50 kWh/m2 (de surface habitable) nécessaire pour le chauffage d'une habitation récente. Avec un rendement de captation solaire de 50 % et de stockage déstockage de 50 % également, il serait possible théoriquement (attention au niveau des températures) de chauffer un immeuble de 6 étages équipé de capteurs sur toute la surface du toit. **Stockage à partir de serres horticoles** : **Deux forages** sont creusés de chaque côté de la serre que l'on appelle **un doublet**. Les deux puits du doublet sont équipés d'une pompe d'exhaure. C'est le principe du puits chaud – puits froid. L'hiver Le premier fait office de puits froid et le second de puits chaud. En été, l'eau circule dans les tubes qui parcourent la serre et captent la chaleur. L'eau réchauffée est alors stockée dans le puits chaud. En hiver, l'eau suit le trajet inverse et réchauffe la serre. Ce type de réalisation qui s'est développé par exemple aux Pays-Bas, est en cours d'expérimentation en France.
Coût d'investissement (€/kW)	Les valeurs indiquées ci-après relèvent des moyennes calculées à partir d'opération récentes de l'ordre de 10 000m2 (voir bilan énergétique dans la partie « Détails qualitatif »), en général en milieu urbain avec contraintes (Source ADEME – Guide technique PAC sur aquifère de février 2008) : **Pour les forages :** - **Etude et maitrise d'œuvre** (étude de faisabilité, dossier de déclaration, maitrise d'œuvre, test hydrogéologiques) : 12 000 à 20 000 €HT - **Forages seuls** (hors équipements, réseaux, électricité…) : 800€ à 2 000 €HT/ml - **Equipements** (pompes, capteurs…) : 25 000 à 70 000 €HT pour un débit compris entre 60 et 100 m3/h (soit une puissance calorifique entre 625 et 1045kW) **Pour la PAC :** - **Coût** entre 250 et 350€HT/kW (pose et mise en service avec les raccordements)
Charges de fonctionnement (€/kWh)	**Tous les équipements liés au forage** (Source ADEME) : - Cout annuel d'un **contrat de maintenance** des puits et équipements : 1 500 à 3 000 €HT Et de manière exceptionnelle, à une fréquence entre 10 et 15 ans : - **Examen endoscopique** par vidéo : 2 500 €HT - **Dépose des pompes et colonnes pour examen** et éventuel détartrage : 8000 €HT **Maintenance de la PAC** :

Gamme de puissance frigorifique (kW)	Coût du contrat de maintenance du type P2
100 - 200	4 500 € HT /an
200 - 400	5 500 € HT /an
400 - 600	7 000 € HT /an
600 – 800	10 000 € HT /an
800 - 1000	15 000 € HT /an

Tableau 3 : Coûts estimatifs de la maintenance du poste pompe à chaleur (Source ADEME – Guide technique PAC sur aquifère)

*Maintenance type P2 : comprend en général les prestations de conduite, de surveillance et de réglage des installations, le petit entretien courant et les consommables

Redevance (Source ADEME – Guide technique PAC sur aquifère) :
L'assiette de la redevance correspond à la quantité d'eau réellement puisée dans le milieu naturel (prélèvement) à laquelle s'ajoute la quantité d'eau non restituée (consommation). Cette redevance est fonction du type d'activité du consommateur et du débit d'eau prélevé. L'article 84 de la loi sur l'eau du 30 décembre 2006 concernant les redevances exonère la géothermie des taxes.

Niveau de maturité

Pour aborder le niveau de maturité des PACs sur aquifère, il faut se rapporter à l'énergie gratuite et renouvelable amenée par la géothermie.
Ainsi la géothermie est certainement la filière qui présente le plus large spectre d'activités : production de chaleur, production d'électricité, production de chaleur sur réseau, production de chaleur individuelle.

En Europe, la géothermie est la troisième source d'énergie renouvelable derrière l'hydraulique et la biomasse. Elle est davantage utilisée pour produire de la chaleur que de l'électricité.

Détails qualitatif

L'utilisation de systèmes thermodynamiques pour assurer soit le chauffage seul, soit le chauffage et le rafraîchissement de locaux, est un procédé plus complexe que les procédés traditionnels de chauffage mais plus performant. Ses principaux avantages portent sur la « gratuité » de la ressource géothermale et la possibilité de produire de la chaleur et/ou du froid.
Pour avoir un ordre de grandeur sur la puissance d'un système PAC sur aquifère, 1 MW de besoin en chaud pour les bâtiments de grande taille (type hôpital par exemple) représente un débit de puit(s) d'environ 100 m3/h.

Les principes et analyses développés dans ce document s'appliquent également pour l'essentiel aux pompes à chaleur utilisant des capteurs enterrés (sondes géothermiques, champs de sondes, fondations géothermiques, etc.) pour prélever par simple échange l'énergie contenue dans les terrains.

Bilan Energétique

Le tableau ci-dessous présente un exemple de bilan énergétique comparatif d'un immeuble de bureau de 10 000 m2 ayant des besoins de rafraîchissement en été.

Surface m²	Besoins chauffage	Besoins rafraichis-sement
1	80 kWh/m²	20 kWh/m²
10 000	800 000 kWh	200 000 kWh

Tableau 4 : Besoins en chaud et en froid d'un immeuble de bureau de 10 000 m²

Le comparatif porte sur les trois configurations suivantes :
- PAC sur aquifère (température 12 °C)
- PAC air eau
- Groupe froid + chaudière gaz

	Consommations	PAC eau-eau	Pac eau-eau rafraichissement direct	PAC air-eau	Groupe froid + chaud gaz
performances	COP moyen net	3,5		2,5	
	C_{FR} moyen net	2,8		2,3	2,3
	Rend. Prod chaud				0,855
	Rend ditrib.	0,855		0,855	0,81
Rend global	Chauff	2,99		2,14	0,69
	Clim	2,39		1,97	1,97
Consommations kWh	Chauffage hiver	267 335	267 335	374 269	1 161 946
	Rafraichissement été	83 542	0	101 704	101 704
	Électricité pompage	18 750	25 000		
	Total énergie finale	369 627	292 335	475 973	101 704 (elec) 1 161 946 (gaz)

Tableau 5 : Bilan en énergie finale des 3 configurations comparées

Ce bilan est largement favorable à la solution PAC eau – eau par rapport à une solution de référence (gaz + groupe froid). Les résultats sont indicatifs, les consommations annexes et l'électricité de pompage dépendent fortement des conditions d'exploitation de l'installation.

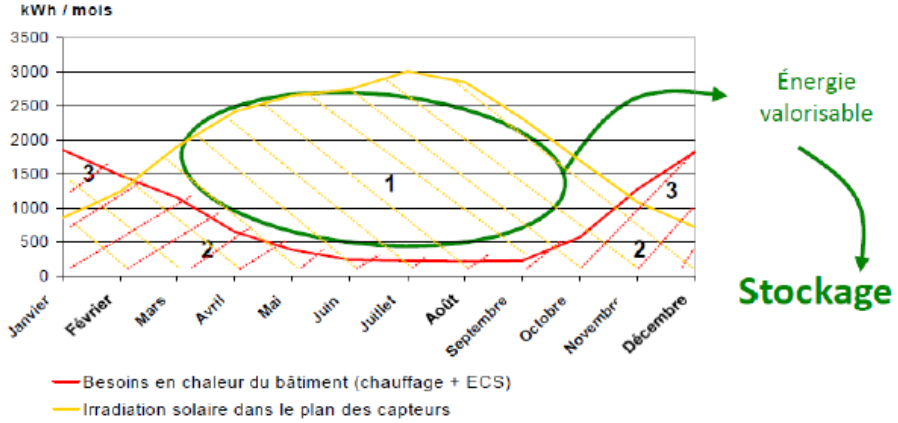
Un rapport de 2010 du BRGM et d'ES-GEOTHERMIE pour le compte de la DREAL-ALSACE, sur l'état des lieux de la filière « Géothermie » en ALSACE, donne les avantages et inconvénients de la géothermie PAC sur aquifère suivants :

Avantages	Inconvénients
• Chauffage et rafraîchissement possibles avec une même installation, • Bon coefficient de performance par rapport à une PAC air/eau, • Technologie éprouvée, • De nombreuses références, • Filière structurée, • Aide du Fonds Chaleur pour les projets supérieur à 50 kW / Crédit d'impôt pour le particulier,	• Nécessité d'un aquifère peu profond avec un débit d'exhaure suffisant, • Demande une étude hydrogéologique détaillée, • Procédure d'autorisation selon code de l'environnement si exploitation supérieure à 200 000 m³/an ou 80 m³/h, • Procédure d'autorisation minière si les forages dépassent 100 m, • Problèmes possibles d'entartrage, de floculation ou de corrosion du circuit hydraulique lié à la qualité de l'eau souterraine, • Risque de durcissement de la législation sur l'eau, • Risque de conflit d'usage (agriculture, captage AEP…),

CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 08/06/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**STOCKAGE DE CHALEUR PAR LE BATIMENT OU LE SOL**
Type d'usage	
Collectif	**Système actif**, de stockage court-terme (journalier) type ballon tampon, ou de stockage moyen/long terme (inter-saisonnier) de type cuve enterrée de grande capacité (plusieurs milliers de m3), avec ou pas une redistribution dans un réseau de chaleur.
Individuel	**Système passif**, par la conception du bâtiment permettant grâce à l'inertie de stocker gratuitement de la chaleur, pour la restituer ensuite.

Schéma de principe : Figure 1. Potentiel de stockage d'énergie solaire thermique en présence de capteurs solaires destinés au chauffage et l'Eau Chaude Sanitaire (Source Frédéric Kuznik, 2009)



"Converting energy is wasteful [...] ICAX (an inter-seasonal heat transfer device) captures heat as **heat**, stores heat as **heat** and releases heat as **heat**." www.icax.co.uk

Description synthétique :
Le stockage de chaleur par le bâtiment permet un déphasage entre l'accumulation d'énergie et sa restitution.
Cela peut être effectué de manière passive en utilisant les matériaux de construction (inertie thermique du béton, emplacement adapté) ou avec des systèmes plus avancés (cuve souterraine, matériaux à changement de phase...)
Le stockage de chaleur qu'il soit à court-terme (nuit/jour) ou à plus long terme (inter-saisonnier) permet une diminution importante du besoin de chauffage ou climatisation d'une habitation ou d'un local.

Schéma d'intégration : Exemple de **Systèmes passifs** permettant de récupérer la chaleur du soleil grâce à l'inertie et à la surface d'échange.

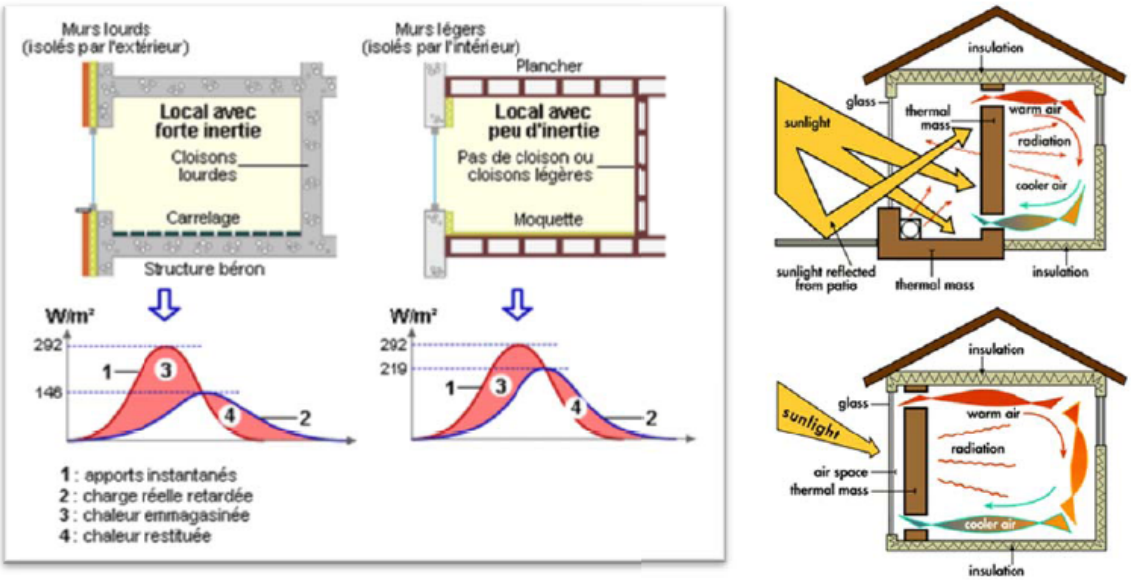


Figure 2. Utilisation des matériaux de construction pour accumuler/restituer la chaleur (murs et pavé en béton à Londres BedZED http://www.bioregional.com/files/publications/bedzed_seven_years_on.pdf)

Exemple de **système actif** solaire décentralisé avec stockage saisonnier, et mise en place d'un second réseau de chaleur « solaire » pour centraliser l'énergie en surplus :

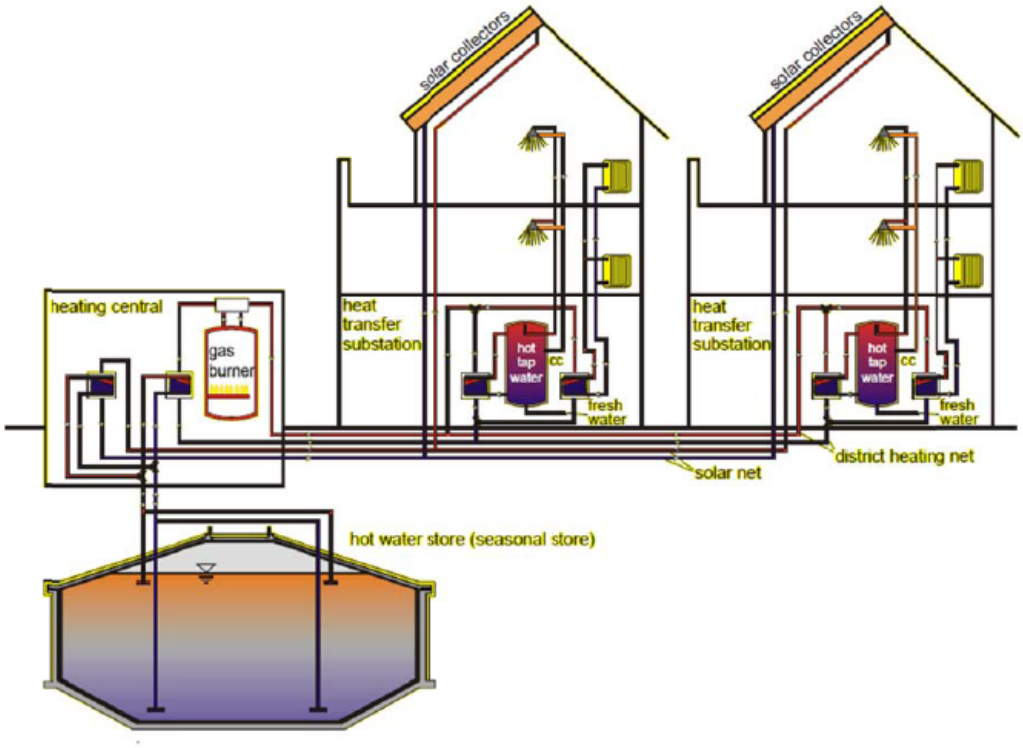


Figure 3. Stockage thermique souterrain, Hannover-Kronsberg

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

Passif :

BedZED, Londres (GB) : utilisation de l'inertie thermique du béton
« Thermal mass provided by dense concrete blockwork and concrete floor slabs and exposed »
http://www.bioregional.com/files/publications/bedzed_seven_years_on.pdf

Pas d'information spécifique trouvée pour les autres éco-quartiers, mais ils sont en général construit pour répondre à des normes BBC, HQE, Maison passive … et devrait en général faire bon usage de la masse thermique des matériaux de structure.

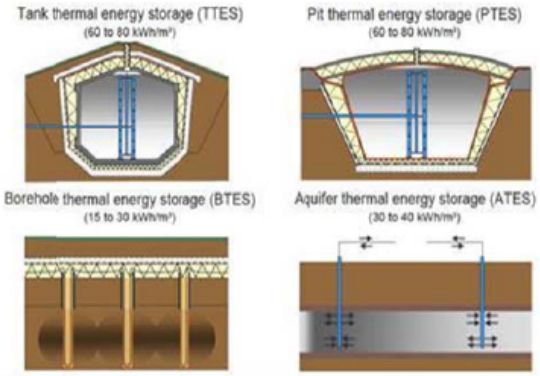
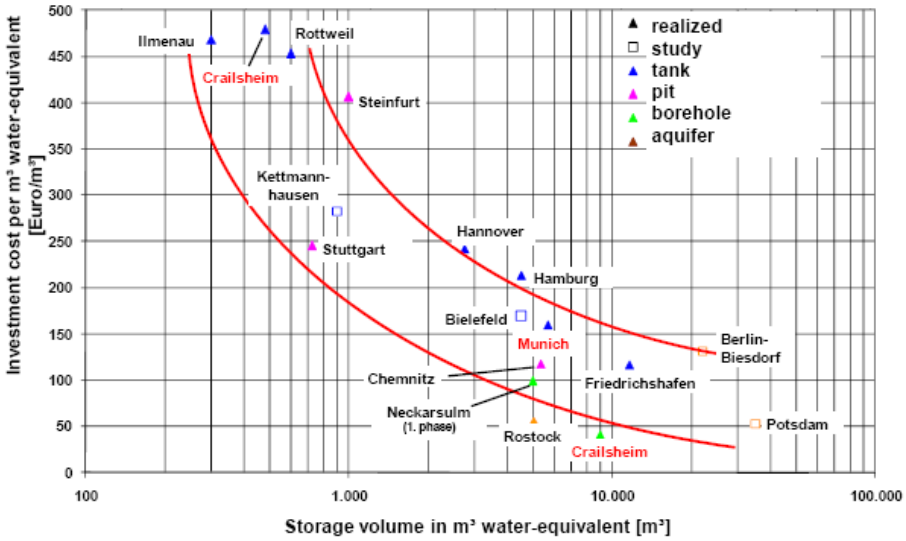
Actif :

Kronsberg, Hannover (DE) : Stockage thermique souterrain inter-saisonnier
"Another initiative is Solarcity. It is a social housing complex of 104 dwellings, heated by solar power. In the summer, surplus solar energy is piped to a well-insulated cistern which returns the heat to the dwellings during cold periods." Eco-towns: Learning from International Experience, 2008
http://www.urbed.com/cgi-bin/get_binary_doc_object.cgi?doc_id=281&fname=extra_pdf_4.pdf

Solar Drake Landing Community (CA) : stockage thermique dans des sondes géothermiques
http://www.dlsc.ca/

Opérateurs (nom et nature)	
Conception	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs
Réalisation	
Exploitation	

Variantes des solutions retenues dans les EQs : Actif vs. Passif : à remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs	
Domaines pertinents	**Système passif** : Pertinent dans toute construction (maison individuelle, immeuble, bâtiment public, commerce…) à la conception, difficile en rénovation. **Système actif** : Le système actif de stockage est très pertinent pour les sources de chaleur intermittentes de type solaire, et compte tenu de son coût, est plutôt adapté pour des groupes de bâtiments à l'échelle d'un quartier en liaison avec un réseau de chaleur, alimentant de l'habitat collectif, des bâtiments publics, des usines, etc. Le stockage actif peut également servir de stockage multifonctionnel permettant d'une part de stocker l'énergie intermittente (solaire par exemple), mais également de satisfaire une énergie de pointe et limiter par la même occasion l'investissement sur les générateurs.
Limites d'utilisation	**Système passif** (Source ENERTECH) : L'inertie apparaît comme un gros réservoir (d'énergie) dont il faut maximiser : - le volume par des matériaux à capacité thermique élevée : pierre, béton, brique pleine, etc., et un volume important de matériaux (dalles, refends, murs, etc) ; - et le diamètre de l'orifice de remplissage par de grandes surfaces d'échange donc multiplier les surfaces de parois de couleurs plutôt sombres pour absorber. Lorsque le bâtiment projeté n'a pas de masse et ne peut pas en avoir (comme les constructions à ossature bois), les matériaux à changement de phase peuvent être utilisés. Ils permettent : - d'emmagasiner beaucoup d'énergie lors du changement d'état (qui s'opère à température constante). Ils stabilisent donc momentanément la température intérieure. - de se substituer donc aux masses lorsqu'il y en a peu ou pas. Mais attention ! La température de changement d'état doit être choisie pour qu'en été, le refroidissement nocturne soit capable de ramener le matériau à l'état solide. Sinon, il restera liquide tout l'été et perdra l'essentiel de sa fonction de stockage ! **Système actif** (Source Amorce) : Le stockage inter-saisonnier est généralement non compétitif au regard des prix actuels de l'énergie. Il nécessite une mise en place de nouveaux modes de financement du fait de la part importante des coûts d'installation par rapport aux coûts d'exploitation. Cependant, en considérant le stockage comme un composant multifonctionnel, il peut apporter des fonctionnalités supplémentaires : fourniture énergie de pointe, connexion entre le réseau de chaleur et le Smart Grid électrique. Dans ce cas, le coût du stockage doit être évalué dans sa globalité (diminution de l'investissement des générateurs, …).
Contribution à la mutualisation des besoins	Concernant la mutualisation des besoins pour les **systèmes actifs**, deux types de stockages peuvent être distingués : - Stockage court-terme (journalier) adapté à l'intermittence de la ressource solaire et au déphasage jour/nuit. - Stockage moyen/long terme (inter-saisonnier) adapté au déphasage été/hiver.

Stockage d'énergie	Ce stockage d'énergie est calorifique. Rappel des différents types de **systèmes actifs** de stockage d'énergie thermique de la fiche détaillée « Réseau de chaleur » :  Figure 4. Réservoir, fosse, forage de puits et dans aquifère pour le stockage d'énergie thermique (Source SOLITES – Allemagne) Pour les **stockages passifs**, ceux-ci sont liés à l'inertie des bâtiments.
Coût d'investissement (€/kW)	Ci-après les coûts d'investissement par m³ stocké pour les différents **systèmes actifs**, en fonction des volumes stockés :  Tableau 1. Coût des stockages moyen/long terme (Source Solarthermie2000) 0 pour les **systèmes passifs**, sauf si apport de matériaux à changement de phase pour faire des corrections.
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Voir la partie « Détails qualitatif ».
Niveau de maturité	Pour les **systèmes actifs** : Stockage avec cuve d'eau souterraine ou par forage : technologie mature. Sorption : en développement. Adsorption, absorption et réaction chimique : recherche. Pour les **systèmes passifs** : Matériaux à changements de phase : commercialisation Materials for Compact Seasonal Heat Storage, 2010 http://www.iea-shc.org/events/exco/68/workshop/VanHelden-Compact_Seasonal_Heat_Storage.pdf

Détails qualitatif

Ci-après quelques caractéristiques des systèmes actifs de stockage de chaleur (pour les types se référer à la partie « Stockage d'énergie » de la présente fiche) :

Type	Densité	Coût	Température	Reproductibilité
TTES	++	++	++	++
PTES	++	+	++	++
BTS	-	-	+	+
ATES	+	-	+	-

Tableau 2. Récapitulatif des caractéristiques des stockages moyen/long terme (Source CEA INES)

Et sur le tableau suivant, une comparaison est faite sur les différentes solutions de stockage d'énergie, que ce soit de la chaleur ou de l'électricité. Pour cette dernière source d'énergie, ce tableau complète la fiche détaillée « Stockage d'électricité par batteries ».

Comparatif des différentes solutions de stockage d'énergie

Solution de stockage d'énergie	Capacité	Durée de stockage	Nombre de cycles ou durée de vie	Rendement	Particularités
Chaleur	Plusieurs dizaines de kWh/m³	En jours ou en mois	Plusieurs dizaines d'années	50% à 90%	Deux possibilités : chaleur sensible ou chaleur latente
Air comprimé	Du kWh (bouteilles) au GWh (cavernes)	En jours	1 000 à 10 000 cycles	40% à 60%	Technique connue mais en progrès
Accumulateur lithium-ion	100 Wh/kg	En mois	Autour de 2 000 cycles	Autour de 95%	Coût en baisse constante
Pile à hydrogène réversible	Potentiellement très élevée	En semaines	Variable	Autour de 50%	Technique toujours au stade de la R & D
Volant cinétique	Du kWh à la centaine de kWh	En heures	Autour de vingt ans	Autour de 95%	Puissance instantanée très élevée
Supercondensateur	Autour de 10 kWh/kg	En jours	Plusieurs centaines de milliers de cycles	Autour de 90%	Produit proche de l'accumulateur Li-ion, en plus « réactif »

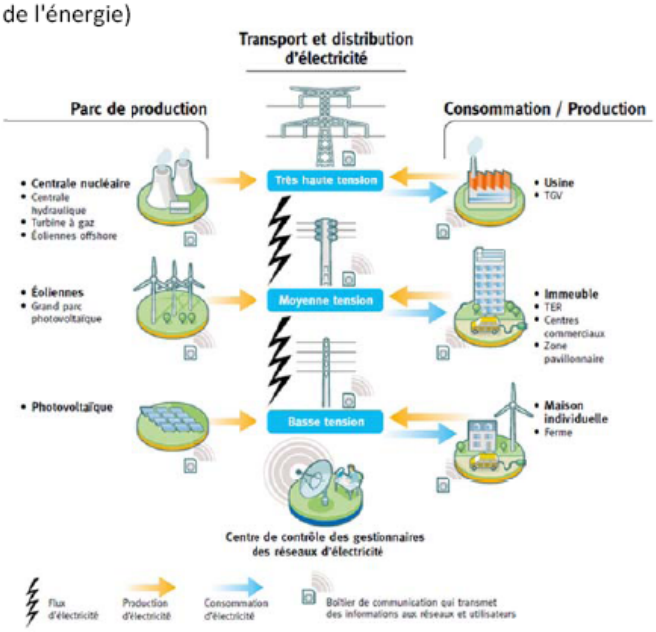
Si la chaleur peut être stockée sans changement de nature physique, ce n'est en principe pas le cas du courant électrique (hors boucle supraconductrice), qui doit, pour cela, être transformé transitoirement en énergie mécanique (air comprimé, volant cinétique), chimique (accumulateur, supercondensateur, hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau).

Tableau 3. Chaleur et électricité, les atouts du stockage d'énergie décentralisé (Source Le Moniteur)

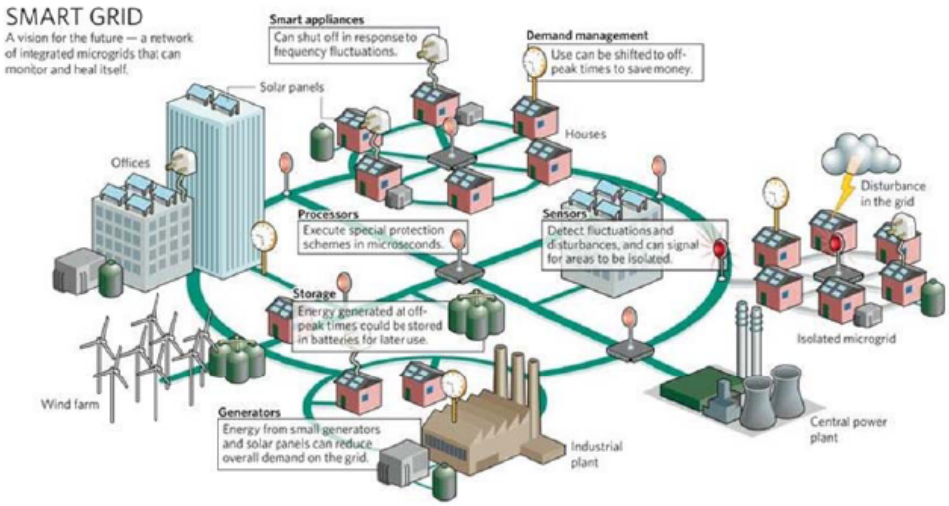
CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 20/04/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**GESTION DES RESEAUX ELECTRIQUES ET/OU DE CHALEUR OU SMART GRID**
Type d'usage	
Collectif	Le Smart Grid est par essence collectif. Il doit permettre de communiquer avec les réseaux de distribution d'électricité et/ou de chaleur, qui sont l'élément clé de la transition vers un réseau et un système électrique et/ou de chaleur intelligents facilitant l'insertion des énergies renouvelables de type micro-réseaux, intégrant une forte proportion d'énergies renouvelables et /ou décentralisées (ex : micro-cogénération, piles à combustibles en usage stationnaire, …)
Individuel	Le Smart Grid que l'on pourrait nommer « individuel », est celui qui se place à l'intérieur des logements ou bureaux en dehors des compteurs intelligents. Il s'apparente le plus souvent à une « Energy Box » servant d'interface pour le pilotage et/ou le délestage de charge. Cette « Energy Box » permet une gestion intelligente des systèmes consommateurs d'électricité, sans altérer au confort mais bien au contraire en l'améliorant avec une meilleure efficacité énergétique.

Schéma de principe : Figure 1. Schéma des flux d'énergie et positionnement des « Energy Manager » apportant des fonctionnalités issues des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) (Source © Commission de régulation de l'énergie)



Schémas applicatifs : Figure 2. Schéma simplifié du fonctionnement d'un Smart Grid (Source L'Energeek)



Description synthétique :

Le principe des **Smart Grids** pour l'**électricité**, consiste à permettre au **réseau de distribution d'électricité de communiquer** en doublant le réseau déjà existant d'une infrastructure de télécommunication reliant le producteur au consommateur. Le but est d'assurer **l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité à tout instant** et de fournir un approvisionnement sûr, durable et compétitif aux consommateurs, **en intégrant les EnR**.

Le réseau de distribution intelligent se compose :

- d'un compteur « intelligent » (smart meter) chez l'utilisateur,
- d'un logiciel de suivi et de gestion de la consommation client,
- d'une infrastructure de communication reliant le consommateur au producteur,
- de serveurs informatiques et de logiciels de back-office permettant au producteur de stocker et d'analyser les informations.

La communication en temps réel entre l'électricien et l'utilisateur final permet un pilotage plus fin du réseau. Grâce au Smart Grid :

- le producteur d'énergie peut connaître la consommation en temps réel et ainsi optimiser l'allocation des sources de production,
- le consommateur reçoit un maximum d'informations afin d'analyser et d'éventuellement réduire sa consommation.

(Source http://lenergeek.com/2011/09/29/les-smarts-grids-peuvent-ils-revolutionner-lelectricite/)

Pour bien comprendre le rôle des acteurs liés à la gestion intelligente des réseaux d'électricité, il est nécessaire d'apporter quelques définitions (Source ADEME) :

Production décentralisée d'électricité (PDE) : La production décentralisée d'électricité regroupe l'ensemble des moyens de production d'électricité de petite et moyenne taille (typiquement inférieur 10 à MW), le plus souvent raccordés au réseau de distribution et utilisés pour produire à proximité des usages. La production décentralisée peut ainsi contribuer au soulagement de certaines contraintes du réseau.

Maîtrise de la demande d'électricité (MDE) : La Maîtrise de la Demande d'Electricité est un ensemble de technologies et de méthodes visant à optimiser les dépenses énergétiques des consommateurs, tout en limitant les coûts d'infrastructures publiques ainsi que les impacts sur l'Environnement. La Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE) peut être classée en deux grandes familles :

- les actions de MDE « statique » ayant une influence de long terme sur les consommations et le dimensionnement de l'infrastructure (y compris l'efficacité du réseau lui-même, par réduction des pertes) ;
- les actions de MDE « dynamique » c'est-à-dire de pilotage en temps réel des charges transitées (effacements volontaires coordonnés = « centrales virtuelles »).

Agrégateur : Un agrégateur est vu en tant que médiateur entre les consommateurs et le marché, recueillant les flexibilités et les contributions des consommateurs, rassemblant les demandes et les signaux des marchés et des participants, avec différents niveaux d'optimisation afin de répondre à l'exigence de services topologiquement dépendants. Un agrégateur est donc un gestionnaire d'installations, capable de concevoir et d'offrir des services énergétiques à des clients en aval (au niveau microéconomique: gestion d'un grand nombre de contrats) et en amont avec plusieurs acteurs clés (au niveau macro-économique: les gestionnaires de réseau électriques, etc.).

PQR : Power Quality and Reliability (Puissance Qualité et Fiabilité).

Schéma d'intégration : Exemple de communication possible sur un réseau de chaleur.

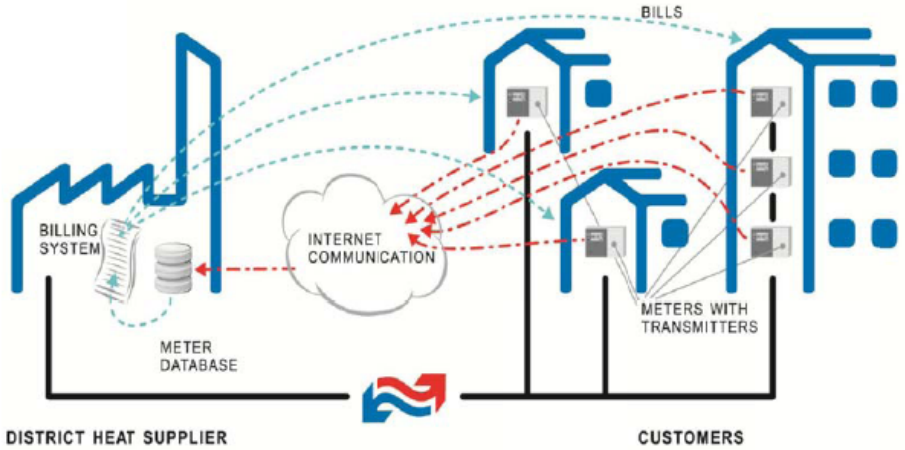


Figure 3. Réseaux de chaleur et comptage individuel, c'est compatible (Source Via Sèva)

Comme proposé dans le projet EcoCité sur la Presqu'île de Grenoble, la mise en place d'un Smart Grid sur le réseau d'électricité doit permettre de :

- **Faciliter l'intégration des énergies renouvelables électriques**. Ainsi les sources d'électricité intermittentes ou décentralisées sont appelées à se développer. Les réseaux existants ont une capacité d'accueil limitée pour ces sources d'énergie. Les sources intermittentes apportent des difficultés d'intégration dans les réseaux de transport, et les sources décentralisées apportent des difficultés d'intégration dans les réseaux de distribution. Il est donc nécessaire d'aller vers de nouvelles techniques et de nouvelles pratiques « intelligentes » pour intégrer ces sources d'électricité.
- **Améliorer l'efficacité énergétique**. Cette amélioration doit partir de la maîtrise de la demande énergétique pour aller à la gestion dynamique de la demande. De ce fait des mécanismes doivent rendre la demande « active » : tarifications dynamiques liées au pilotage à distance. Ce qui doit amener à une connaissance plus fine des usagers et des comportements, et à un pilotage de la production décentralisée pour produire pendant les pointes de demande. Cette amélioration passera également par la réduction des pertes sur les réseaux de distribution.
- **Réduire les émissions de CO_2**. Ainsi mieux informé, le consommateur consomme moins et mieux. Et piloter les ressources d'électricité décentralisée peuvent améliorer le bilan carbone de l'équilibre offre-demande.
- **Garantir la qualité de service et la sécurité des réseaux**.

De même à terme, la gestion intelligente du réseau électrique doit pouvoir être déployée sur les réseaux de chaleur. Ainsi, toujours sur le projet EcoCité sur la Presqu'île de Grenoble, il est prévu la création d'une boucle d'eau tiède urbaine, permettant d'expérimenter la transition annoncée des réseaux à haute température vers de la plus basse, indissociable des nouveaux besoins des bâtiments et de l'efficacité énergétique. Il apparait donc aujourd'hui la nécessité de mutualiser les énergies à l'échelle du territoire. Sur ce projet l'objectif est de récupérer les effluents des process industriels, qui peuvent être structurants en volume, comme l'ensemble des petits effluents thermiques. Cette boucle de distribution urbaine d'eau tiède dont la température pourrait rester comprise entre 12 et 30° C, s'appuiera aussi sur de la production d'énergie renouvelable (à priori sondes géothermiques sèches profondes). La problématique des pointes de consommation devrait être gérée grâce à une gestion inter-saisonnière de l'offre et de la demande avec du stockage et une gestion optimisée producteurs / consommateurs de type Smart Grid.

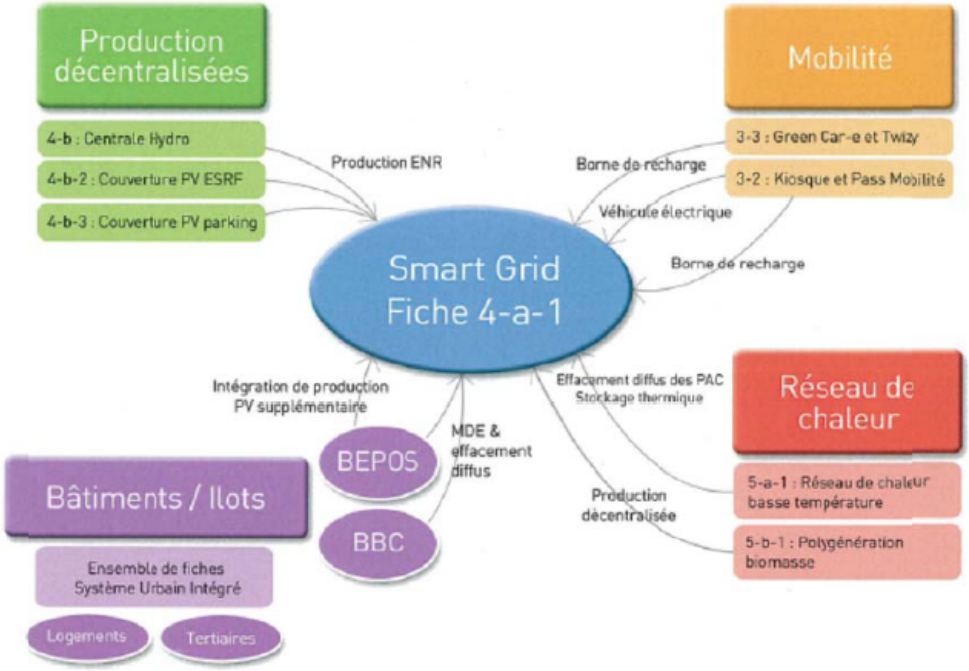


Figure 4. Exemple de Smart Grid prévu sur le projet EcoCité sur la Presqu'île de Grenoble (Source Ville de Grenoble)

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

Stockholm, Seaport

Barcelone, Poblenou (consommation gaz et électricité en temps réel relié à un système central)

Pour la France :

Lyon, Confluence

Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	Stockholm, Seaport => ABB Lyon, Confluence=> TOSHIBA A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

Variantes des solutions retenues dans les EQs :

Pour l'Europe :

Stockholm, Seaport :

Le cahier des charges du projet Stockholm Royal Seaport impose une amélioration de la qualité de la fourniture électrique et une diminution des interruptions d'alimentation. Pour ce faire, les exigences suivantes ont été définies : 1) Délestage pour éviter les pannes générales lorsque le système électrique est dans un état critique ; 2) Mesures visant à éviter les coupures dues aux surcharges ; 3) Impact minimal des coupures dues aux courts-circuits ; 4) Faible coût global de possession (dont achat des équipements, exploitation, maintenance et indemnisation pour incidents) ; 5) Retour sur investissement rapide.

ABB et Fortum (producteur public finlandais d'énergie) vont mettre en place une série de solutions pour que l'électricité produite en excès par les énergies renouvelables dans le quartier, venant par exemple des toits solaires, soit reversée dans le réseau électrique, pour que les véhicules électriques puissent tirer de l'énergie du réseau et l'y reverser, pour pouvoir stocker de l'énergie. Ils veulent aussi lisser les pics de demande et fournir toutes sortes de données via des compteurs intelligents pour aider les résidents à réduire leur consommation d'énergie et leurs émissions.

L'objectif est d'éliminer complètement l'utilisation d'énergies fossiles dans le quartier du Royal Seaport d'ici 2030, grâce à la fois à une production d'énergie locale et au réseau intelligent.

http://innhotep.blogspot.fr/2009/11/stockholm-un-smartgrid-lechelle-de-tout.html

Pour la France :

Lyon, Confluence :

Le projet utilise des équipements à faible consommation d'énergie fournis par TOSHIBA et NEDO : pompes à chaleur, éclairage à LED, contrôle des charges des logements (HEMS), gestion de la demande en énergie du bâtiment (BEMS) et système de lissage des pointes de consommation grâce à du stockage. Le projet intègre des innovations déjà éprouvées, sans risque technologique au regard de la maintenance et durabilité.

...système de stockage par batteries prévu en secours d'alimentation et en période de pointe de consommation.

http://www.lyon-confluence.fr/data/presse/ilot_P.pdf

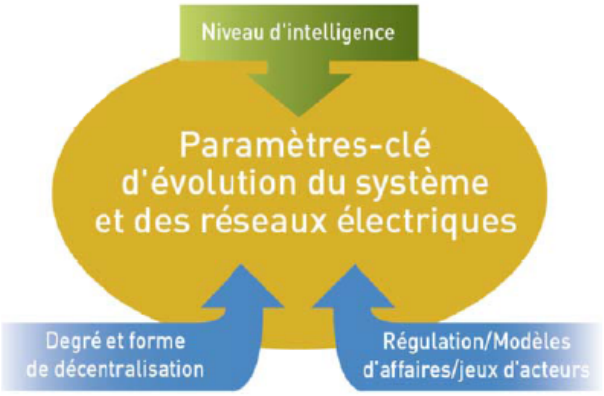
Dans la presqu'île de Lyon Confluence, le groupe japonais, qui depuis 2 ou 3 ans s'est lancé dans les cleantech en commençant par les LED, sera chargé d'une opération triple :

- construction d'un grand bâtiment à énergie positive, de 12.000 m2, abritant des logements résidentiels, des bureaux et des commerces ;
- mise en place d'un système d'auto-partage des véhicules électriques, avec un réseau de bornes de recharge;
- opération de rénovation ("retrofit") d'appartements existants pour les doter d'un système de gestion de l'énergie dans le foyer.

http://www.greenunivers.com/2011/05/le-japon-finance-un-projet-de-smart-grid-a-lyon-confie-a-toshiba-premium-57285/

Avec la participation de Toshiba et de Motorola, les habitants seront dotés à domicile d' « énergie-boxes » conçues pour fonctionner avec les nouveaux compteurs intelligents Linky qui leur permettront de réguler, grâce à la multitude d'informations émises, et de mieux gérer leur consommation d'énergie. Cette expérimentation se déroulera dans 275 bâtiments à éco-rénover de la Cité Perrache, en partenariat avec l'Office HLM Grand-Lyon Habitat. http://www.lyon-entreprises.com/News/L-article-du-jour/Un-investissement-de-50-millions-d-euros-Lyon-Confluence-lieu-d-experimentation-des-toutes-dernieres-technologies-vertes-japonaises,i21588.html

Domaines pertinents	Aujourd'hui les Smart Grids sont sous forme de démonstrateurs. Les pays précurseurs sont le Japon leader mondial, les Etats-Unis, l'Union Européenne et l'Allemagne. Les projets de recherche et de démonstration menés dans ces pays ont permis d'identifier les options technologiques, économiques et institutionnelles permettant une transition vers les réseaux intelligents. L'enjeu est maintenant de réussir à changer l'échelle des réalisations. Ce sont les différents projets en cours, type le projet EcoCité sur la Presqu'île de Grenoble, qui pourront permettre l'émergence des réseaux intelligents. Ainsi depuis quelques années, le réseau électrique Français évolue avec l'émergence rapide de moyens de productions répartis.

	Dès lors, les flux d'énergie deviennent multidirectionnels et irréguliers, et il est nécessaire de mettre en place des systèmes intelligents et communicants à tous les niveaux de la chaîne de valeur de l'énergie électrique, de la production à l'ensemble des usagers pour prendre en compte notamment : - la croissance des moyens de production décentralisés ; - les contraintes croissantes sur les moyens de production (production de pointe) et sur les réseaux (congestions) ; - l'interface en temps réel entre producteurs et consommateurs, les consommateurs devenant des « consommateurs – producteurs ». De plus des systèmes permettront une meilleure participation des consommateurs en visant l'efficacité énergétique, une meilleure qualité et sécurité des réseaux (réseau « auto-cicatrisant ») et une meilleure interopérabilité entre gestionnaire des réseaux de distribution et ceux de transport (optimisation des infrastructures).  Figure 5. Les 3 paramètres clés qui, sur le long terme, joueront un rôle déterminant sur la forme et la nature des réseaux et des systèmes électriques intelligents (Source ADEME)
Limites d'utilisation	A ce jour, les démonstrations en cours semblent laisser de côté : - L'étude des possibilités offertes par la gestion de la charge à travers notamment l'envoi de signaux tarifaires chez le consommateur. - L'impact sur le fonctionnement et le pilotage des réseaux et / micro-réseaux de l'insertion d'une part significative de production d'électricité à partir de ressources renouvelables (notamment le photovoltaïque). L'analyse des coûts et bénéfices économiques et environnementaux liés au déploiement de ces options (ex : micro-réseaux, forte pénétration des EnR) semblent également rester rudimentaire (ex : peu de travaux sur l'expérimentation de nouveaux modèles d'affaire).
Contribution à la mutualisation des besoins	Le Smart Grid est au cœur de la mutualisation des besoins, que ce soit dans un 1er temps sur les réseaux de distribution électrique, et dans un 2nd temps sur les réseaux de distribution de chaleur.
Stockage d'énergie	Le Smart Grid ne peut pas exister sans stockage de l'énergie, électrique bien sûr et dans un second temps de chaleur : voir à ce propos, les fiches détaillées de technologie suivantes : - Stockage d'électricité par batteries. - Stockage de chaleur par le bâtiment ou le sol.
Coût d'investissement (€/kW)	Voir la partie « Limites d'utilisation ». Budget de 45 Millions d'euros financé par Toshiba http://universite-ete-environnement.fr/tl_files/uee2011/telechargements/Actes_Ateliers_UEE/UEE_2011_Atelier_Smart_Grids.pdf
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Il n'existe pas ou très peu de retour d'expérience sur les Smart Grid, qui sont à ce jour sous forme de démonstrateurs.
Niveau de maturité	Néanmoins, au regard des contraintes qui pèsent sur les systèmes îliens (ex : peu d'interconnexions, objectifs ambitieux en matière d'EnR), chaque vision développée sera qualifiée au regard de sa pertinence dans un contexte îlien, qui constitue des terrains privilégiés pour tester des options transférables aux systèmes interconnectés.

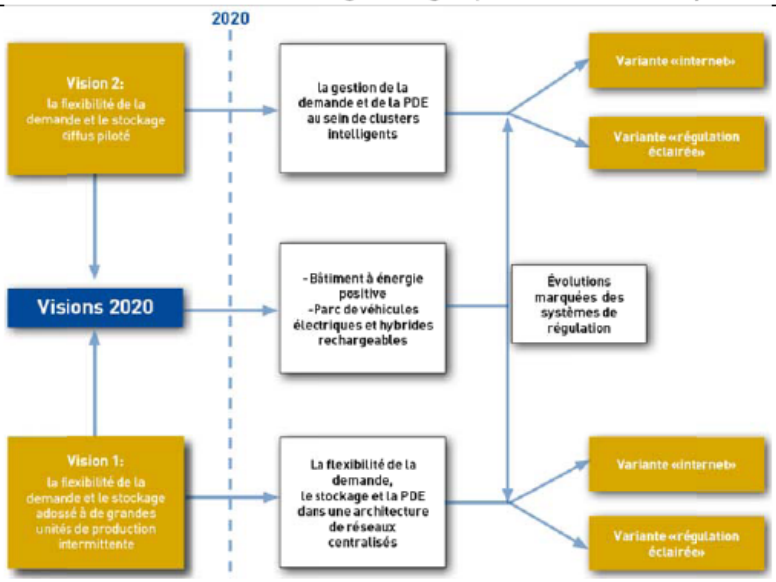


Figure 6. Schéma d'articulation des visions des réseaux et du système électriques intelligents intégrant les EnR à l'horizon 2020 (Source ADEME)

Détails qualitatif

A l'horizon 2020, les verrous technologiques, économiques et organisationnels conditionnant le déploiement massif des Smart Grids, semblent s'articuler autour :

- Des **technologies de réseau** (ingénierie électrique) ;
- Des **systèmes d'information** permettant une évolution de la gestion des réseaux et un accroissement de leur intelligence (notamment à des fins de développement de services visant à réduire les émissions de GES et à accroître l'efficacité énergétique) ;
- Des **technologies de stockage** décentralisé adossées aux installations de production ;
- De la sécurité des réseaux et systèmes électriques intelligents ;
- Des **questions de régulation** et plus spécifiquement :
  - De la conception, de l'expérimentation et de la mise en œuvre des **dispositifs tarifaires** (ex : tarification instantanée, tarification favorisant l'effacement, tarification favorisant l'émergence du stockage décentralisée et des éventuels opérateurs de stockage associé, tarification du réseau de distribution) ;
  - Des questions de conception d'expérimentation et de déploiement des modèles d'affaire à la base de la mise en œuvre de la transition vers des réseaux intelligents.

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**RESEAUX DE CHALEUR**
Type d'usage	
Collectif	Par essence même, le réseau de chaleur est collectif. Pour les grosses installations, il alimente en chaud et/ou en froid des quartiers de ville : bâtiments publics, immeubles résidentiels, immeubles de bureaux, usines, ….
Individuel	Le réseau de chaleur individuel peut s'apparenter à un réseau desservant un groupe de bâtiment ciblé : par exemple, la chaleur d'un incinérateur d'ordures ménagères alimentant de par sa capacité uniquement les bâtiments d'une usine.

Schéma de principe : Figure 1. Constitution d'un réseau de chaleur (Source CETE de l'Ouest)

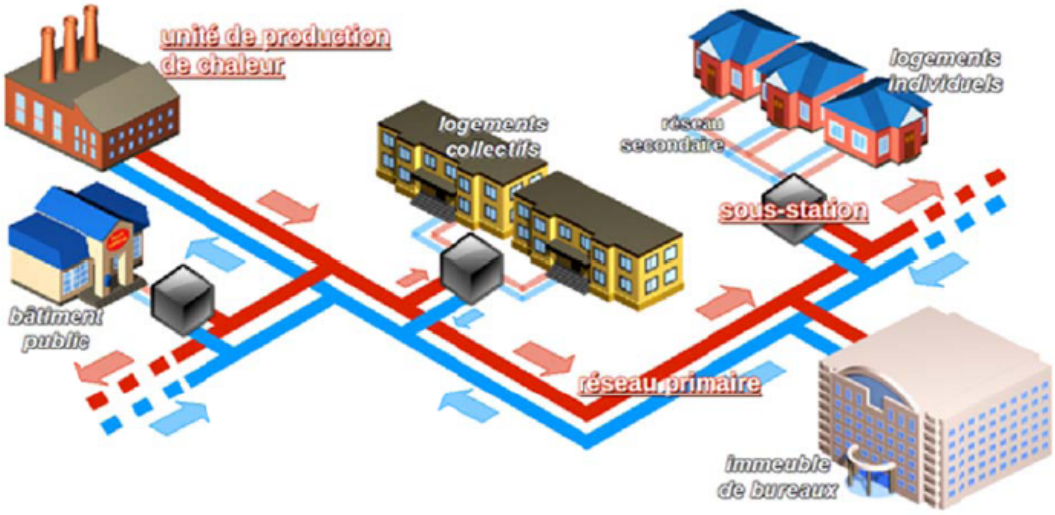
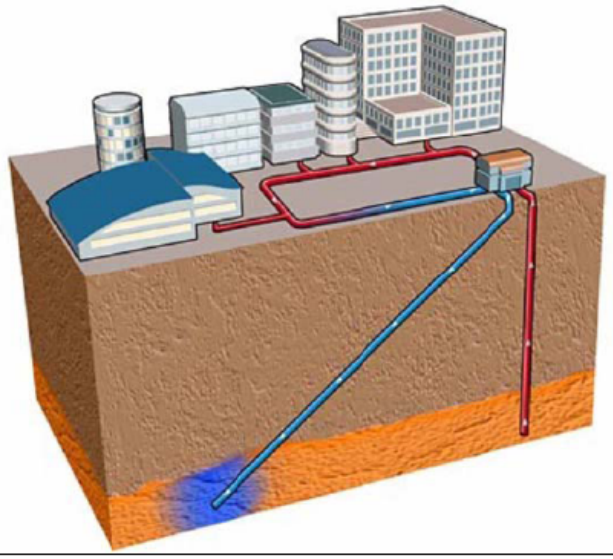


Figure 2. Réseaux de chaleur géothermique. Le principe sur doublet géothermique profond est explicité sur la figure ci-dessous (Source © BRGM – ADEME). Le second puits est incliné afin que le point de réinjection de l'eau refroidie soit éloigné du point de captage de l'eau chaude.



Description synthétique (Source CETE de l'Ouest) :
Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers. Il comprend une ou plusieurs unités de production de chaleur, un réseau de distribution primaire dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur, et un ensemble de sous-stations d'échange, à partir desquelles les bâtiments sont desservis par un réseau de distribution secondaire.

Glossaire (source ADEME) : Installation comprenant une chaufferie fournissant de la chaleur par l'intermédiaire de canalisations de transport de chaleur à plusieurs clients, dont l'un au moins n'est pas le propriétaire de la chaufferie.

Exemple d'intégration : Chaufferie biomasse de Rixheim (Alsace).

Photo 1. Préparation de canalisations pré-calorifugées pour le réseau de chaleur branché sur un doublet géothermique couplé à une chaufferie bois (Source Médiathèque RTE)

Tout **réseau de chaleur** comporte les principaux éléments suivants (Source CETE de l'Ouest) :

- **L'unité de production de chaleur** qui peut être, par exemple, une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM), une chaufferie alimentée par un combustible (fioul, gaz, bois...), une centrale de géothermie profonde, une centrale solaire thermique (voir Photos 2 et 3), etc. Généralement un réseau comporte une unité principale qui fonctionne en continu et une unité d'appoint utilisée en renfort pendant les heures de pointe, ou en remplacement lorsque cela est nécessaire.
  Certaines unités de production de chaleur fonctionnent par ailleurs en **cogénération**, permettant de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur nécessaire au réseau de chaleur.

Photo 2. Centrale solaire thermique connectée au réseau de chaleur de Braedstrup (Danemark)

Photo 3 – Champ de capteurs solaires intégrés au bâti et connecté au réseau de chaleur de Crailsheim (Allemagne)

  En France, l'écoquartier du Vidailhan à Balma (31) est alimenté en chaleur par un réseau où l'unité de production est un mixte solaire / biomasse. 80 % des besoins énergétiques sont couverts par les énergies renouvelables grâce notamment à une centrale solaire thermique composée de 800m² de capteurs à tubes sous-vides. Le réseau de chaleur urbain desservira 1200 logements.
- **Le réseau de distribution primaire** composé de canalisations jusqu'à 800 mm de diamètre (en général constituées d'un système double enveloppe, intégrant une isolation) dans lesquelles la chaleur est transportée par un fluide caloporteur (eau chaude (entre 60 et 110 °C), eau surchauffée (entre 110 et 180°C) ou vapeur (entre 200 et 300 °C)). Un circuit aller (rouge sur Figure 1.) transporte le fluide chaud issu de l'unité de production. Un circuit retour (bleu sur Figure 1.) ramène le fluide, qui s'est délesté de ses calories au niveau de la sous-station d'échange. Le fluide est alors à nouveau chauffé par la chaufferie centrale, puis renvoyé dans le circuit. La conception du réseau vise à assurer une densité thermique (nombre de bâtiments raccordés par kilomètre de conduite posée) aussi élevée que possible, afin de permettre la viabilité économique du réseau (coût d'investissement fortement liée au linéaire de conduite ; recettes liées au nombre d'usagers).
- **Les sous-stations d'échange**, situées en pied d'immeuble, permettent le transfert de chaleur par le biais d'un échangeur entre le réseau de distribution primaire et le réseau de distribution secondaire qui dessert un immeuble ou un petit groupe d'immeubles. La sous-station comporte aussi un compteur de chaleur transférée qui permet de connaître la consommation d'énergie du bâtiment, donnée nécessaire à la facturation.
  Le **réseau secondaire ne fait pas partie du réseau de chaleur** au sens juridique, car il n'est pas géré par le responsable du réseau de chaleur mais par le responsable de l'immeuble.

Liste des EQs utilisant cette technologie : **Pour l'Europe :** Poblenou, BARCELONE **Pour la France :** Ginko l'éco quartier du Lac à Bordeaux, ZAC de St Jean des Jardins à Chalon sur Saône, Lyon Confluence, Grand Cœur à Nancy.	
Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	COFELY filiale de GDF SUEZ, et DALKIA, filiale de VINCI, sont des sociétés privées qui sont des acteurs majeurs en termes d'exploitation de réseaux de chaleur en France et dans le monde. A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs
Variantes des solutions retenues dans les EQs : **Pour l'Europe :** Poblenou, BARCELONE : Un réseau d'eau secondaire a été réalisé, non potable ; il servira à l'alimentation de la climatisation du bâtiment. Sous les pieds des habitants se trouve aussi un système de climatisation centralisée se servant du froid de la mer toute proche et de la chaleur de l'incinérateur… **Pour la France :** Ginko l'éco quartier du Lac à Bordeaux : Cofely s'est engagée à produire l'intégralité de sa chaleur à partir d'énergies renouvelables. Pour ce faire, Cofely a recours à du bois-énergie mais également à de l'huile végétale. Les besoins annuels en combustibles pour les 2 200 logements et les locaux publics (école, collège, gymnase) sont estimés à 4500 tonnes de bois et 500 m3 d'huile végétale, produits localement. La distribution sera assurée par un réseau urbain de 5,2 km. Le recours à des énergies renouvelables pour la totalité des besoins de chaleur permettra d'éviter le rejet dans l'atmosphère de 3 500 tonnes de CO2 par an soit l'équivalent de la consommation annuelle de 2 300 véhicules par rapport à une énergie fossile. Par ailleurs, Cofely met également à disposition du pôle commercial Ginko et des bureaux une boucle d'eau tempérée (entre 20°C et 35°C) pour assurer leur rafraîchissement. Ce procédé repose sur l'échange et la récupération d'énergie produite à partir de pompes à chaleur. Cette technique permettra de favoriser le bilan environnemental et économique de l'éco-quartier. ZAC de St Jean des Jardins à Chalon sur Saône : Chauffage urbain alimenté par une chaufferie bois d'une puissance de 4 MW (capacité de 1000 logements, supérieur à la ZAC). Lyon Confluence : Une chaufferie de cogénération à base de Colza originaire de Rhône-Alpes est prévue pour l'îlot P. La production est prévue à l'échelle de l'îlot en attendant le réseau de chaleur. Les îlots doivent prévoir une chaudière à granulés de bois pour le chauffage et pour 50 % d'ECS. Grand Cœur à Nancy : 3 gros réseaux de chaleur avec production par chaudières bois.	
Domaines pertinents	Association pour la promotion des réseaux de chaleur (source Via Sèva) : ***Chauffer les villes sans réchauffer la planète*** Un réseau de chaleur est un chauffage central à l'échelle d'une ville : une chaufferie centralisée qui, par un réseau de canalisations, alimente les immeubles raccordés. Mais derrière cette apparente simplicité se cache une somme considérable d'avantages. Les principaux atouts du réseau : - maîtrise des coûts énergétiques, - développement multiénergétique avec utilisation d'énergie renouvelable, - suppression des rejets atmosphériques anarchiques, - préservation de l'environnement sur le plan esthétique. ***Rafraîchir les villes sans réchauffer la planète*** La fraîcheur est l'autre versant du confort, d'où la prolifération des systèmes de climatisation individuels. On retrouve ici la même fragmentation que pour le chauffage avec les mêmes conséquences d'une production éclatée, de coûts multipliés et au final d'impacts négatifs sur l'environnement. La création de réseaux de froid urbains rationalise cette production de bien-être et permet une gestion environnementale optimisée. Le principe est semblable à celui des réseaux de chaleur. Une centrale produit de l'eau glacée amenée par un réseau de canalisations jusqu'aux bâtiments raccordés,

qui bénéficient ainsi d'une série d'avantages économiques, fonctionnels et écologiques.
Les principaux atouts du réseau :

- préservation de l'esthétique des bâtiments,
- économies de surfaces,
- gestion simplifiée,
- économie d'énergie et d'eau potable,
- prise en compte préventive des risques sanitaires.

Si Paris fait figure de vitrine pour cette technologie avec près de 350 000 m² climatisés, de nombreux autres sites sont équipés, dont Bordeaux, Grenoble, Lyon, Monaco, Montpellier, le Terminal transmanche, le parc des Expositions de Villepinte ou le Stade de France.
Sur le plan national, les réseaux de froid qui ne cessent de se développer, représentent aujourd'hui plus de 100 km installés.
Mariant les énergies et les technologies, les réseaux de froid s'adaptent en taille aux besoins.
Dans le monde, plus de 1500 sites petits ou grands sont équipés de ce système appelé à se multiplier puisque l'on estime que d'ici 2020, près de 60 % de la population mondiale résidera dans un centre urbain.

Limites d'utilisation

Un **réseau de chauffage urbain**, ensemble d'installations par lesquelles de la chaleur est produite et vendue à des usagers, **peut être créé** par une collectivité territoriale afin d'assurer un service public local de distribution de chaleur. Ce service est souvent délégué à un tiers, chargé d'exploiter un réseau établi par la collectivité ou bien de construire lui-même le réseau à exploiter. Pour faciliter le développement local des réseaux de chaleur, les collectivités peuvent également s'appuyer sur d'autres compétences : aménagement, climat, air et énergie, ou encore gestion des déchets.

Selon le montage choisi, l'opérateur d'un réseau de chauffage urbain peut être un **concessionnaire** (54% des cas), un **fermier** (27%), un **exploitant** intervenant dans le cadre d'une régie (19%), ou encore les services de la collectivité. Ce dernier cas est rare car il suppose que la collectivité dispose, au sein de ses services, des moyens techniques et humains lui permettant d'assurer le fonctionnement et l'entretien des installations. Dans tous les autres cas, l'opérateur est une société spécialisée, choisie par la collectivité après mise en concurrence.
L'opérateur est responsable du bon fonctionnement du service vis-à-vis des usagers. Il rend compte de ses activités à la collectivité.

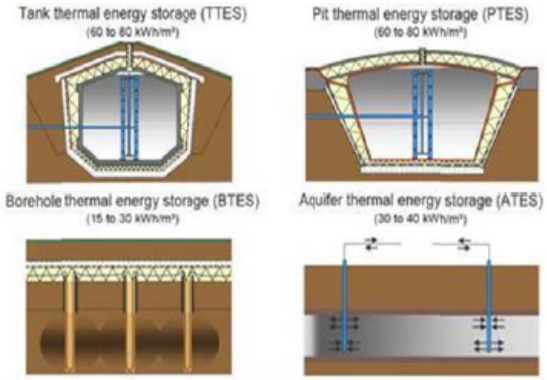
	Construction du réseau	Exploitation du réseau
Régie	Collectivité	Collectivité
Affermage	Collectivité	Délégataire
Concession	Délégataire	Délégataire

Tableau 1. Cadre d'intervention des collectivités territoriales (Source CETE de l'Ouest)

Avec la consommation réduite des nouveaux bâtiments, d'autres sources de chaleur deviennent exploitables par les réseaux, comme la géothermie peu profonde ou encore la chaleur prélevée dans les eaux usées ; ces systèmes font appel à des pompes à chaleur qui permettent d'extraire l'énergie de la source pour la transférer au réseau. De même de nombreux réseaux de chaleur utilisant l'énergie solaire thermique se développent.

Contribution à la mutualisation des besoins

Les collectivités peuvent réaliser selon diverses modalités définies par le code général des collectivités territoriales, des installations en vue d'alimenter des réseaux de chaleur, notamment en application de l'article 3 de la loi du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur.
Il s'agit toutefois d'une compétence optionnelle : aucune collectivité n'a l'obligation d'établir sur son territoire un service public de distribution de chaleur. C'est également une compétence non exclusive : des réseaux peuvent être créés par d'autres acteurs, y compris des acteurs privés. Par ailleurs, cette compétence peut être transférée à un groupement de collectivités.

	Dès lors qu'une **collectivité** (ou un groupement) **exerce cette compétence**, le chauffage urbain mis en place est qualifié de **service public**. Compte tenu de ses modalités de fonctionnement, ce service public revêt un caractère industriel et commercial. La France a pour objectif de produire annuellement 20 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) supplémentaires d'énergie renouvelable d'ici 2020. La chaleur renouvelable distribuée par réseau de chaleur représente un huitième de cet objectif. Le développement des réseaux de chaleur est en effet le seul moyen de mobiliser massivement d'importants gisements d'énergies renouvelables tels que la biomasse, la géothermie profonde, le solaire, ainsi que les énergies de récupération issues du traitement des déchets (UIOM) ou de l'industrie.
Stockage d'énergie	Les pistes de développement étudiées, en liaison avec des réseaux de chaleur, sont les suivantes :  Figure 3. Réservoir, fosse, forage de puits et dans aquifère pour le stockage d'énergie thermique (Source SOLITES – Allemagne)
Coût d'investissement (€/kW)	A la différence des systèmes de chauffage individuels, un réseau de chaleur représente un **investissement initial très important**, mais des **dépenses de fonctionnement plus faibles dans la durée**. Afin d'en renforcer la viabilité économique, les acteurs locaux doivent ainsi intégrer les projets de réseaux dans une vision à long terme de l'évolution du territoire, et définir la solution qui permettra de desservir le maximum d'usagers pour une même somme investie. Une étude actualisée chaque année par l'association AMORCE (voir Tableau 3 dans la partie « Détails qualitatif »), montre que les réseaux de chaleur constituent en moyenne une solution de chauffage compétitive, au bénéfice des usagers. Afin de maintenir cette compétitivité tout en permettant aux maîtres d'ouvrage d'investir dans des réseaux modernisés faisant appel aux énergies renouvelables et de récupération, plusieurs dispositifs de soutien financier ont été mis en place, notamment le fonds chaleur. Le coût de pose d'un mètre de réseau est de l'ordre de 1000 à 2000€. Ce coût dépend bien sûr en réalité de très nombreux facteurs liés à chaque projet.
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Voir la partie « Détails qualitatif ».
Niveau de maturité	En France, les premiers réseaux ont été créés dans les années trente. Mais c'est après le choc pétrolier de 1974 que l'État a encouragé le développement de ces systèmes. 380 grands réseaux urbains, sans compter les réseaux de sites publics ou privés, chauffent 2 500 000 habitants dans leur vie quotidienne, au travail ou dans leurs loisirs, et ceci dans plus de 250 villes. Cela représente plus de 10 000 kilomètres de canalisations alimentées par plus de 20 GW, soit 6 % de l'énergie consommée en France par le chauffage. Dans certains pays du nord de l'Europe, la part dépasse 50%. Les différentes technologies employées permettent également d'exploiter les déchets ménagers, de récupérer la chaleur industrielle ou de produire simultanément de l'électricité (cogénération).

Depuis plusieurs années, les compétences des collectivités sur les réseaux de chaleur ont augmenté ; ainsi (Source CETE de l'Ouest) :

- En tant qu'aménageur de son territoire, la collectivité peut peser sur les choix d'approvisionnement énergétique des nouveaux aménagements. Le chauffage des bâtiments est un poste de consommation important et les différentes solutions (dont le chauffage par un réseau) doivent être étudiées en amont de tout projet d'aménagement, tel qu'une ZAC ou un renouvellement urbain. Depuis 2009, l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme rend obligatoire l'étude d'opportunité de raccordement à un réseau pour toute opération d'aménagement soumise à étude d'impact.
- En matière d'énergie et de qualité de l'air, les collectivités voient leurs compétences se renforcer progressivement depuis plusieurs années. Les schémas régionaux climat-air-énergie (définis par la loi Grenelle 2), ou encore les plans climats territoriaux des collectivités de plus de 50000 habitants (définis par la loi Grenelle 1), permettent de définir la stratégie locale de mobilisation des énergies renouvelables. Parmi les différents outils disponibles, ces documents doivent donc intégrer la solution des réseaux de chaleur renouvelable.
- L'incinération des ordures ménagères est une importante source d'énergie du chauffage urbain : en 2009, elle apporte 23% de la chaleur distribuée par les réseaux. D'ici 2020, la quantité d'énergie fournie par les déchets devra avoir doublée. Il peut donc exister des liens forts entre la compétence de traitement des déchets et le développement du chauffage urbain, dès lors qu'une usine d'incinération existe sur un territoire. A Brest par exemple, le réseau de chaleur a été créé en 1988 en même temps que l'usine d'incinération ; il dessert aujourd'hui 20000 équivalents logements et est alimenté à 90% par la chaleur de l'usine.

Part de marché des réseaux de chaleur dans différents pays d'Europe	
Allemagne	13%
Autriche	18%
Croatie	9,5%
République Tchèque	41%
Danemark	50%
Finlande	49%
France	5%
Grèce	0,3%
Islande	95%
Lettonie	29%
Lituanie	50%
Pays-Bas	3,6%
Norvège	4,8%
Pologne	47%
Roumanie	29,6%
Serbie	25%
Slovénie	9%
Suède	55%
Suisse	2,8%

Source : Euroheat & Power - 2007

Tableau 2. Les réseaux de chaleur en Europe, une grande disparité (source CETE de l'Ouest)

Détails qualitatif

La **pose des canalisations** du réseau primaire peut se faire en caniveau enterré, ce qui permet une protection mécanique et minimise les effets dus à l'humidité par ventilation de ces caniveaux. Elle peut également se faire en tranchée, solution moins coûteuse, mais nécessitant que les gaines soient entourées d'un film protecteur contre l'humidité et qu'elles soient installées à une profondeur suffisante afin d'absorber les efforts de la surface (Source CETE de l'Ouest).

Les **unités de production de chaleur** produisant des fumées, sont équipées de systèmes de traitement perfectionnés et contrôlés, ce qui permet de **réduire fortement leur impact sur la qualité de l'air** par rapport à des systèmes individuels (Source CETE de l'Ouest).

Le **coût pour les usagers** est décrit suivant les chiffres moyens ci-après (source CETE de l'Ouest) :

- En base, la facturation aux usagers se décompose en une part fixe liée à la puissance souscrite (part R2, correspondant au coût des infrastructures) et une part proportionnelle à la consommation (part R1, correspondant au coût des énergies utilisées).
- L'association AMORCE réalise chaque année, avec le SNCU, une étude sur les prix de la chaleur, dans les réseaux et en comparaison avec d'autres modes de chauffage. Selon cette étude :

- En moyenne nationale, le prix du chauffage par réseau de chaleur est de 60,2€/MWh HT, et 50€/MWh si le réseau utilise majoritairement des énergies renouvelables et de récupération.
- L'écart entre les réseaux les moins chers et les réseaux les plus chers est très marqué : les prix varient de 25€/MWh à environ 120€/MWh.
- En moyenne et en coût global sur un logement type, le chauffage par réseau de chaleur est au niveau des solutions de chauffage au gaz (de l'ordre de 1100€/an TTC pour un appartement moyen), mais il présente en outre des atouts environnementaux : cf. Tableau 3 ci-après.

Facture totale moyenne de la chaleur	Unité	Valeur	%	Année
PAC géothermie COP 5	€TTC/an	1 081	-	2008
Collectif gaz condensation	€TTC/an	1 120	-	2008
Réseau de chaleur + 50% EnR&R	**€TTC/an**	**1 135**	**-**	2008
Réseau de chaleur - 50% EnR&R	**€TTC/an**	**1 194**	**-**	2008
PAC géothermie COP 3,5	€TTC/an	1 202	-	2008
Individuel gaz condensation	€TTC/an	1 251	-	2008
Individuel PAC	€TTC/an	1 280	-	2008
Individuel électrique	€TTC/an	1 284	-	2008
Collectif gaz	€TTC/an	1 288	-	2008
Individuel gaz	€TTC/an	1 414	-	2008
Collectif fioul	€TTC/an	1 595	-	2008

(coût global pour un logement type de 70 m2 dans un ensemble de 25 logements - source AMORCE - Enquête prix de vente de la chaleur 2008)

Tableau 3. Prix de vente de la chaleur en France (Source AMORCE)

Quelques chiffres donnés par le CETE de l'Ouest sur les **coûts, en termes d'investissements et d'usage** :

Modernisation d'un ancien réseau – Saint-Etienne-du-Rouvray (76) – 2009

Remplacement d'une chaufferie et d'un réseau à eau surchauffée datant des années 60 par une chaufferie bois et un réseau basse pression – 4000 équivalents-logements

Matériels installés :
- 2 chaudières bois de 5 MW
- 1 chaudière d'appoint gaz de 8 MW
- 1 chaudière de secours gaz/fioul de 10 MW
- Réseau : 5,3km dont 4 km renouvelés

Investissement total : 10 939 702 €HT dont :
- Ingénierie : 1 261 155 €
- Déconstruction : 445 150 €
- Génie civil / VRD : 2 735 300 €
- Équipement bois : 3 137 210 €
- Réseau & sous-stations : 3 160 887 €

Bilan :
- baisse de 6% sur les factures de chauffage
- 3640 tep/an d'énergie fossile économisée
- 8720 tonnes/an de CO2 évité

Source: ADEME Haute-Normandie

Canalisations : quelques ordres de grandeur

- Zone dense : ≈1000€/m à 1500€/m
- Zone peu dense ou en cours d'aménagement : ≈300€/ml
- Un réseau moyen dessert 500-1000 logements/kilomètre
- Coût d'usage : ≈6€/MWh

Source: Conseil Général des Mines, 2006

CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 04/05/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	POMPE A CHALEUR SUR EAUX USEES
Type d'usage	
Collectif	Les pompes à chaleur (PAC) utilisant comme source de calories les eaux usées, sont utilisées avec accumulation pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Ce système est encore appelé hydrothermie et est installé sur des réseaux d'assainissement de ville ou dans des bâtiments collectifs.
Individuel	En usage individuel (maison ou logement seul) ou collectif (bâtiment collectif résidentiel), il peut y avoir différentes solutions améliorant par systèmes statiques (passif) la température d'eau froide, ou par systèmes mécaniques (actif) la production d'eau chaude (chauffage ou/et ECS).

Schéma de principe : Figure 1. Schéma de fonctionnement (Source SuisseEnergie) de récupération des calories des eaux usées sur la voie publique, dans la bouche du tout-à-l'égout.

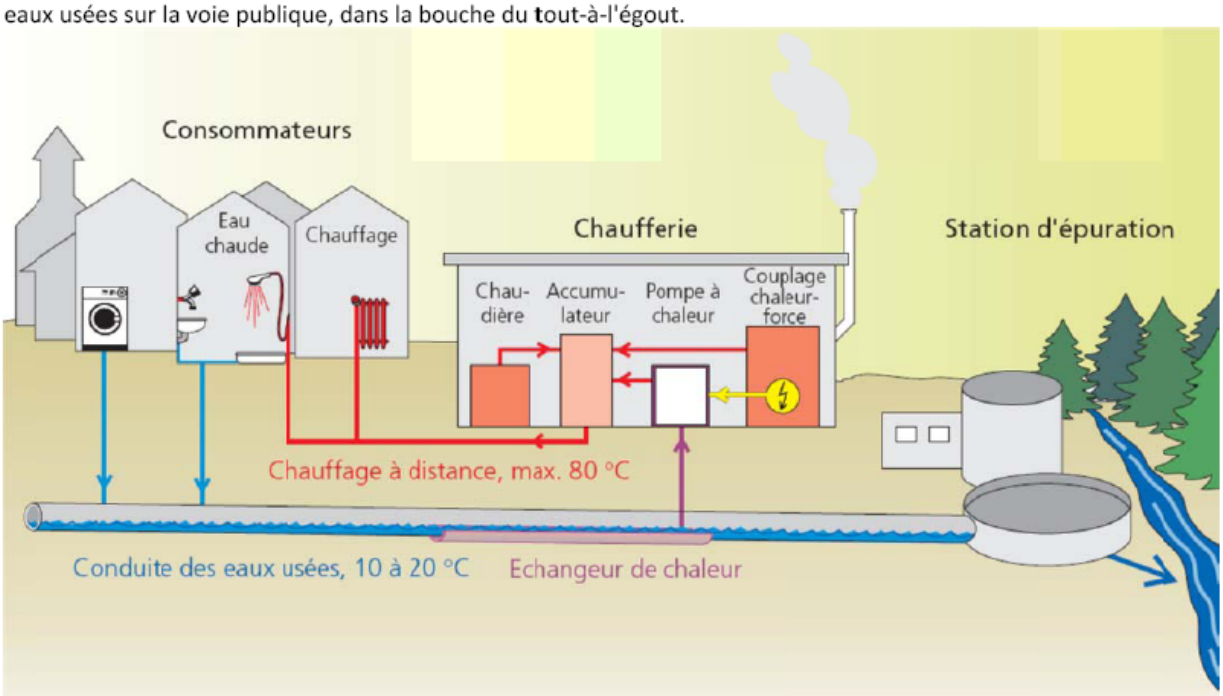
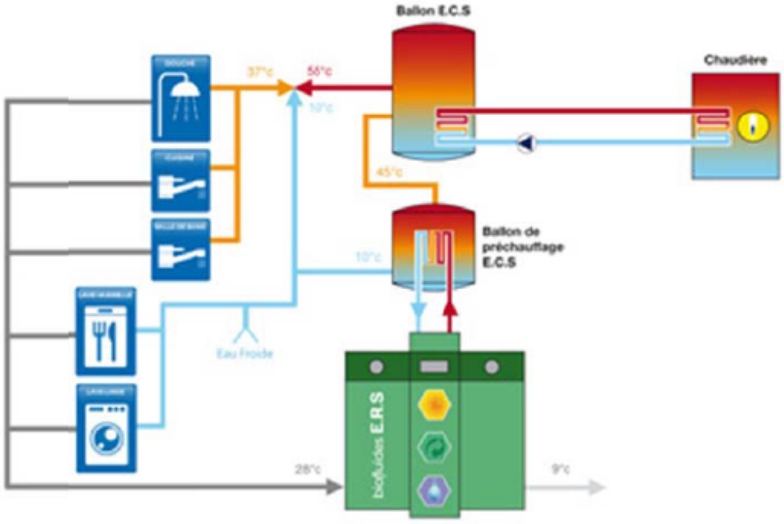


Figure 2. Schéma de fonctionnement du système baptisé « energy recycling system » (ERS) de la société Biofluides de récupération des calories des eaux usées directement dans le bâtiment.



Description synthétique :

Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique :

Le système de récupération des calories des eaux usées sur la voie publique, basé sur un brevet Suisse, est commercialisé en France sous l'offre « Degrés Bleus » de Lyonnaise des Eaux, filiale de Suez Environnement.
Ce dispositif s'appuie sur un échangeur thermique au fond des canalisations d'eaux usées. Il va permettre de récupérer les calories des eaux usées et les transférer à un fluide caloporteur. Composé d'eau glycolée (dont la température passe de 4°C à 8°C au contact de l'échangeur), ce fluide alimente une pompe à chaleur qui assure le chauffage du bâtiment. Il circule en boucle fermée de l'intérieur des échangeurs à la chaufferie du bâtiment.
Constitué de plaques en inox, l'échangeur garantit la séparation du réseau de chauffage de celui des eaux usées.
Quant à la pompe à chaleur, elle va démultiplier les calories prélevées et élever la température jusqu'à ce qu'elle soit suffisante (entre 50°C et 63°C) pour le chauffage du bâtiment et l'eau chaude sanitaire.
La PAC étant réversible, l'été elle peut servir pour rafraîchir les bâtiments.

Photo 1 : Exemple de canalisations équipées d'échangeurs thermiques (source Saunier associés)

Pour les PAC sur les eaux usées d'un bâtiment :

Dans un bâtiment, les canalisations d'évacuation séparent les eaux grises (cuisine, salle de bain, buanderie), de celles des eaux vannes (toilettes). C'est aux eaux grises que l'« energy recycling system » (ERS) s'intéresse. Ne sont donc concernées que les eaux usées d'usage domestique : douche, baignoire, lave-linge, lave-vaisselle et cuisine.
Lors de leur évacuation, les eaux grises domestiques ont une température moyenne comprise entre 10° et 25°, selon le lieu et la saison. C'est cette chaleur que le dispositif ERS récupère. La chaleur prélevée et recyclée sert ensuite à l'alimentation du chauffage et/ou de l'eau chaude sanitaire.
La récupération de ces calories énergétiques se fait sans perturber l'évacuation des eaux usées.

En Autriche, il est fabriqué le ThermoCycle®WRG qui est un système d'échangeur servant à préchauffer l'ECS en amont d'un ballon d'eau chaude. Cet échangeur est couplé à un ballon accumulateur à stratification de la gamme FORSTNER. Pour les bâtiments plus importants, un couplage avec une pompe à chaleur ou autre moyen de production est possible : cf. Figure 3 ci-après.

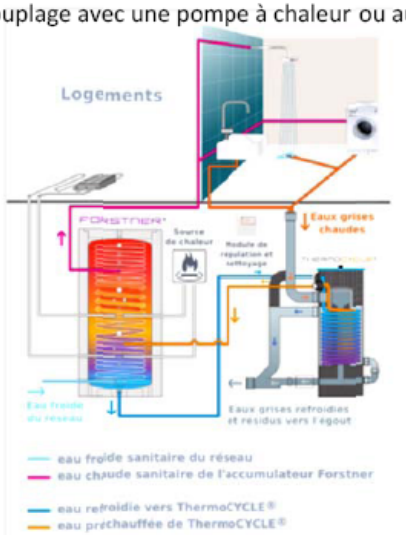


Figure 3. Association du ThermoCycle®WRG avec un ballon accumulateur à stratification de la gamme FORSTNER (source énergie efficiente)

Cette fiche détaillée d'une technologie énergétique, s'appuie sur la description faite sur les Pompes à Chaleur (PAC) de la fiche « Pompe à chaleur aquifère ».

Il reste des technologies utilisant les calories des eaux usées, mais n'utilisant pas de système mécanique (de type PAC ou chauffe-eau). Ces technologies sont les suivantes :

- Les systèmes de récupération d'énergie RECO distribués en France par GAIA GREEN, mais développés et produits aux Pays-Bas par la société HEI TECH.

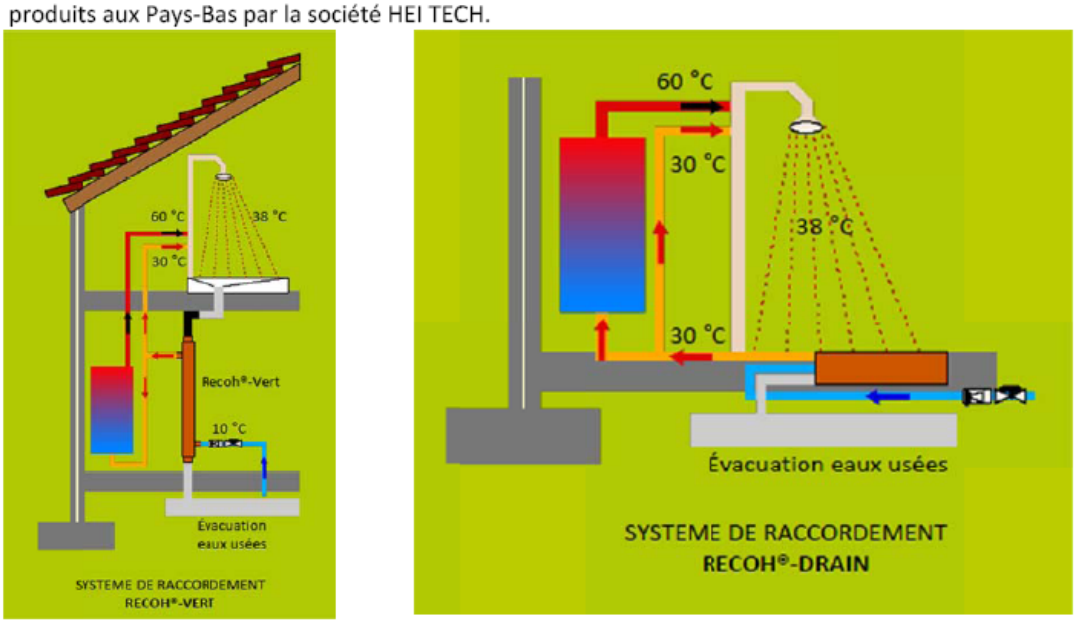


Figure 4 : Schéma de récupération de l'eau de douche par les systèmes RECO®VERT et RECO®DRAIN

- Le système Power-Pipe™ développé et fabriqué au Canada, est distribué en France par Solenove Énergie. L'eau froide circule dans un serpentin de tubes en cuivre installé à la verticale, entourant une conduite également en cuivre d'évacuation des eaux usées.

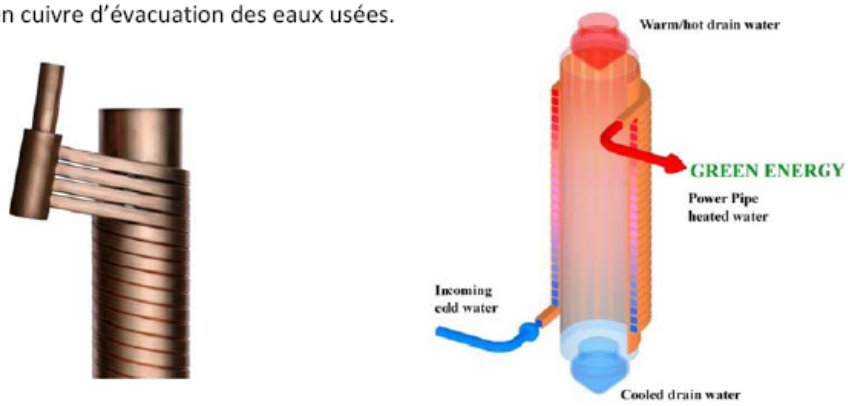


Figure 5 : Photo de l'échangeur en cuivre et figure du principe (source RenewABILITY Energy inc.)

Schéma d'intégration : Le Guide de SuissseEnergie à destination des maîtres d'ouvrage et des communes, pose la question du type d'installation à prévoir pour la récupération des calories sur les eaux usées des réseaux d'égout : **Centralisé ou décentralisé** ?

Pour pouvoir concurrencer efficacement les systèmes conventionnels (chaudières, machines frigorifiques), les installations de récupération de l'énergie des eaux usées doivent être d'une certaine taille. Souvent, les besoins d'un seul bâtiment ne sont pas suffisants pour exploiter une pompe à chaleur de manière rentable. Dans ce cas, il faut envisager un chauffage collectif couvrant plusieurs bâtiments. Il reste alors à en déterminer la conception : centrale unique ou solution décentralisée avec plusieurs unités (voir Figure 4).

Les critères suivants jouent un rôle décisif dans le choix:

- la distance entre les consommateurs
- la place disponible pour l'installation
- l'intégration des installations existantes (chaudière, égouts, conduites)
- le mode de chauffage de l'eau
- les températures nécessaires pour les différentes utilisations de la chaleur
- les relations entre propriétaires
- le financement et l'exploitation (contracting)

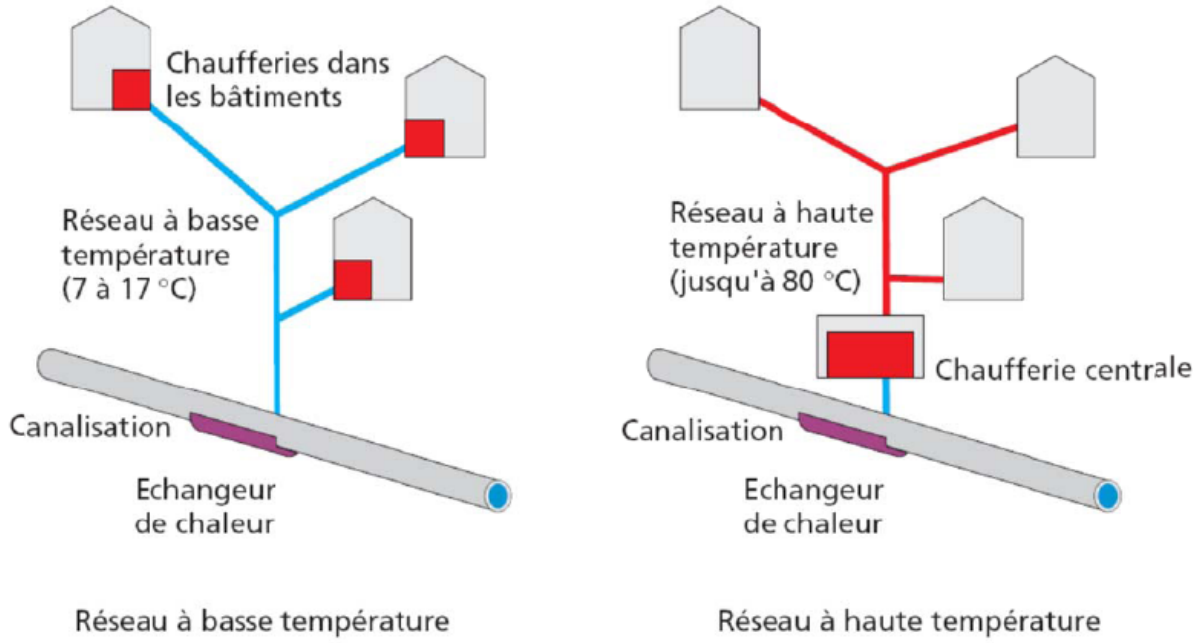


Figure 6 : Réseaux à basse et à haute température sur eaux usées sur voie publique (Source SuisseEnergie).

Concernant le système Energy Recycling System (ERS), celui-ci fonctionne sur le même principe qu'une pompe à chaleur hydrothermique, avec une différence notable : il n'est plus nécessaire d'avoir accès à une nappe phréatique et de faire un forage, la chaleur étant captée sur le réseau d'évacuation des eaux.
Pour le système ThermoCycle®WRG, celui-ci peut-être couplé à une PAC en fonction de l'étude du système hydraulique complet.

Liste des EQs utilisant cette technologie :
Chalon-sur-Saône (France)

Opérateurs (nom et nature)	En France concernant la récupération des eaux usées sur la voie publique, trois sociétés, "La Lyonnaise des Eaux", "Saunier & associés", "BSR-Technologies" ont plusieurs projets en cours, sous l'offre « Degrés Bleus », notamment le projet installé pour la ville de Nanterre. A l'instar de GDF SUEZ, la PME française Biofluides Environnement a développé une technologie de récupération de la chaleur contenue dans les eaux usées. Différence de taille : son système s'intègre directement dans les bâtiments résidentiels et industriels.
Conception Réalisation Exploitation	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

Variantes des solutions retenues dans les EQs :
Chalon-sur-Saône : Mise en place du procédé STEP Stream® (SUEZ Environnement & Lyonnaise des Eaux) : récupération d'une partie de la chaleur des effluents dépollués de la station d'épuration grâce à une PAC.
Résultats :

- Satisfaction de 100 % des besoins en chauffage et rafraîchissement des bureaux de la station d'épuration.
- Amélioration du Bilan Carbone®.
- Baisse de la facture d'énergie.
- Temps de retour sur investissement de 3 ans.

Domaines pertinents	**Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique** : Le procédé repose sur un brevet déposé en 2000 par la société Suisse Rabtherm. Les pompes à chaleur récupérant la chaleur des eaux usées conviennent aux grands ensembles et aux chauffages collectifs. Elles sont donc particulièrement appropriées pour chauffer des immeubles locatifs, des lotissements, des bâtiments commerciaux, des écoles, des établissements médico-sociaux, des complexes sportifs ou des piscines. En revanche, elles ne sont pas indiquées pour les villas individuelles et les

	consommateurs de chaleur industrielle. Pour qu'une installation de récupération de la chaleur soit rentable, il est indispensable d'avoir une puissance minimale de 150 kW et d'être à proximité d'une station d'épuration ou d'une conduite exploitable. Cette puissance correspond à celle d'une cinquantaine d'appartements neufs BBC. **Pour les PAC sur les eaux usées d'un bâtiment** : La pertinence économique est une installation pour un bâtiment d'environ 35 logements. Il n'y a pas de seuil maximum puisque le système est modulaire.
Limites d'utilisation	**Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur voie publique (Source SuisseEnergie) :** **Proximité d'une canalisation** : plus un bâtiment est proche d'une canalisation des eaux usées exploitable, plus la récupération de chaleur est avantageuse (en milieu construit distance maximale de 100 à 300 m). **Densité de construction** : plus la densité de construction est élevée, plus l'exploitation d'un chauffage collectif par récupération de la chaleur des eaux usées est rentable (les bâtiments situés dans un rayon de 100 m peuvent être raccordés à une seule chaufferie). **Température de fonctionnement** : plus la température d'exploitation de l'installation est basse, meilleure est l'efficacité des pompes à chaleur (exemple: chauffages au sol). A contrario, l'exploitation de ce genre de système n'est pas favorable à la production de chaleur avec une température supérieure à 70°C. **Consommation régulière** : une consommation régulière (chauffage de l'eau sanitaire toute l'année, pas de baisse de consommation le week-end) garantit un temps d'exploitation élevé des pompes à chaleur et favorise leur rentabilité. Le chauffage d'une piscine est particulièrement avantageux. **Option climatisation** : en été, les eaux usées peuvent également servir à la climatisation. La pompe à chaleur est alors employée en sens inverse comme une machine frigorifique. Ce mode de fonctionnement augmente la rentabilité de l'investissement. **Critères liés à la canalisation des eaux usées** : débit d'au moins 15 litres par seconde équivalent à au moins 5000 habitants raccordés; Température des eaux usées pour la plupart du temps supérieure à 10°C, et cela même en hiver ; Diamètre d'au moins 80 cm pour que l'installation d'un échangeur de chaleur soit réalisable ; Tronçon rectiligne d'au moins 20 m, voire 100 m pour les grandes installations. Le système d'échangeur peut-être installé dans une station d'épuration desservant au moins 2000 logements. Une autorisation de l'exploitant des eaux usées est indispensable pour vérifier que leur température d'exploitation ne subit qu'une faible variation. **Pour les PAC sur les eaux usées d'un bâtiment** : La présence d'un sous-sol est nécessaire dans les bâtiments existants. Les eaux usées et les eaux vannes doivent être séparées.
Contribution à la mutualisation des besoins	La technologie de PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique, participe à l'installation de réseaux de chaleur. Ces derniers permettent de subvenir à une grande partie du chauffage des bâtiments, utilisant une source d'énergie souvent gaspillée, parfaitement adaptée au milieu urbain où la concentration des bâtiments alimente la chaleur des canalisations en continu.
Stockage d'énergie	Le stockage d'énergie est en général du stockage thermique permettant de réguler les besoins.
Coût d'investissement (€/kW)	**Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique** : Voir tableau 1 dans la partie « Charges de fonctionnement » **Pour les PAC sur les eaux usées d'un bâtiment** : - Pour 10 logements (soit plus de 3000 euros d'investissement par logement), Alain Mouré, Directeur de Biofluides, considère que, sans subventions, le retour sur investissement du système se fait en 17 ans. Et si on l'applique à 50 logements (2000 euros/logement), il passe en dessous des 10 ans.

Charges de fonctionnement (€/kWh)

Exemple de bilans économiques pour des projets Degrés Bleus implémentés sur une piscine et un bâtiment (Source GDF Suez) :

Le détail de la facture annuelle, auquel s'ajoutent tous les coûts initiaux d'implémentation et d'achat de la pompe à chaleur, est détaillé dans le tableau 1 ci-dessous et comparé à la facture initiale du chauffage au gaz. Les hypothèses sont prises d'un amortissement sur 10 ans, avec ou sans aides éventuelles de l'ADEME dans le cadre du Fond Chaleur qui vise à développer les réseaux de chaleur renouvelable.

Piscine	Besoins annuels	Fourniture Degrés Bleus	Investisse-ments	Aides ADEME
	940 MWh	500 MWh	570 000 €	295 000 €

		Facture originale	Facture Degrés Bleus	
Gaz (51€/MWh)		58 000 €	4 000 €	
Exploitation chaudière		17 000 €	8 000 €	
Exploitation PAC			19 000 €	
Exploitation Degrés Bleus			5 000 €	
Amortissement sur 10 ans	Sans aides		57 000 €	
	Avec aides		27 500 €	
				Gain/perte
Facture les 10ères années	Sans aides	75 000 €	93 000 €	- 18 000 €
	Avec aides		63 500 €	11 500 €
Facture dès la 11ème année			36 000 €	39 000 €

Bâtiment	Besoins annuels	Fourniture Degrés Bleus	Investisse-ments	Aides ADEME
	4870 MWh	3550 MWh	1 200 000 €	120 000 €

		Facture originale	Facture Degrés Bleus	
Gaz (51€/MWh)		265 000 €	69 000 €	
Exploitation chaudière		57 000 €	20 000 €	
Exploitation PAC			70 000 €	
Exploitation Degrés Bleus			15 000 €	
Amortissement sur 10 ans	Sans aides		120 000 €	
	Avec aides		108 000 €	
				Gain/perte
Facture les 10ères années	Sans aides	322 000 €	294 000 €	28 000 €
	Avec aides		282 000 €	40 000 €
Facture dès la 11ème année			174 000 €	148 000 €

Tableau 1 : bilans économiques pour des projets Degrés Bleus implémentés sur une piscine et un bâtiment (Source GDF Suez).

Niveau de maturité

Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique :

Cette technologie est en plein développement en Allemagne, Autriche, Etats-Unis et en Suisse, où il existe déjà une vingtaine d'installations, notamment pour les villes de Bâle, Winterthur, Schaffhouse, Zurich….

En France (Source Energies & Environnement - http://energie.sia-conseil.com), d'une facilité déconcertante, ce système possède un véritable potentiel d'implémentation dans les villes françaises et bénéficie de subventions de l'ADEME, notamment dans le cadre du fonds Chaleur. Chauffage écologique, il permettrait aux collectivités de répondre aux exigences de l'Union Européenne d'ici à 2020, concernant la réduction de 20% des gaz à effet de serre et la consommation d'énergie, et d'augmenter de 20% l'utilisation des énergies renouvelables, tout en réduisant la dépendance au gaz. De plus, quel meilleur avenir pour nos eaux usées que de revenir sous forme de chauffage ?

Détails qualitatif

Pour les PAC sur les eaux usées des égouts sur la voie publique (Source Ékopédia):

- La pompe à chaleur coûte plus cher à l'investissement que le chauffage au gaz, mais occasionne des coûts d'exploitation plus faibles.
- Les coûts d'investissements sont amortis par des subventions. L'ADEME subventionne l'étude de faisabilité à 50% des coûts hors taxes. Il existe aussi des aides régionales. De plus, la TVA, pour les abonnements et la consommation, n'est qu'à 5.5% pour les réseaux de chaleur produisant au moins 60% à partir d'énergies renouvelables comme les eaux usées.
- La durée de vie d'une telle installation est estimée autour de 30 ans. Le temps de retour sur investissement est compris entre 2 et 10 ans selon l'installation, son fonctionnement et les aides reçues.
- Un accès facile aux canalisations (regards, cape de vanne…) réduit les coûts d'installation et de maintenance.

Pour les PAC sur les eaux usées d'un bâtiment (Source Biofluides) :

- La ressource est disponible en continu et en toutes saisons, au sein même de l'habitation.
- Les économies d'énergies et de frais peuvent aller jusqu'à 50 % et une faible émission de GES (700 kg de CO2 évité par an et par logement) : voir partie « Domaines pertinents ».

Pour le Power Pipe (Source Solenove Énergie) :

- Une diminution sur les coûts de production d'ECS possible jusqu'à 60 %.
- Le coût d'investissement est bas.
- La durée de vie sans entretien peut aller jusqu'à 50 ans.

CEA INES – DTS/LEB Fiche détaillée d'une technologie énergétique Mise à jour le : 09/08/12

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**SYSTEME DE CASCADE ET D'OPTIMISATION ENERGETIQUE**
Type d'usage	
Collectif	La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) passe par la mutualisation des équipements thermiques et les synergies entre les habitants au niveau de l'usage collectif. L'implantation des équipements des systèmes de production, à l'échelle de l'îlot ou/et du quartier doit permettre des économies du fait du foisonnement des besoins et doit permettre d'augmenter l'efficience énergétique des systèmes (cf. partie « Description synthétique » pour la définition de l'efficience).
Individuel	Les systèmes de cascade au niveau individuel consistent à développer l'usage de cycles en cascade, ou combinés, comme pour des chaufferies ou centrales électriques à cycles combinés, permettant des gains de rendement de production.

Schéma de principe : Figure 1. Schéma de principe de l'écoquartier utilisant les **synergies** (Source BET GARNIER à REIMS)

Explications sur les synergies dans le cadre de systèmes de production d'énergie en cascade (vision d'un écoquartier qui serait exemplaire) :

- Capteurs solaires photovoltaïques (en vert) installés sur l'ensemble des maisons et bâtiments.
- Capteurs solaires thermiques basse température (en rouge) installés sur les maisons et les bâtiments ayant des besoins continus.
- Chaleur perdue provenant des bâtiments tertiaires (groupes froid) récupérée et dirigée sur une centrale thermo-frigo-électrique : principe de trigénération (production combinée de chaud, de froid et d'électricité). Cette centrale pourra comporter un système thermodynamique pour dynamiser la chaleur basse température récupérée des eaux usées. La production de froid de cette centrale sera utilisée dans les bâtiments collectifs tels que bureaux, hôpitaux, data center, piscine (déshumidification avec gain possible de 40%).
- Eaux pluviales stockées à la centrale, pouvant servir au nettoyage de la voirie et à l'arrosage des espaces verts. Elles pourront aussi servir de tampon thermique pour la chaleur perdue avec l'aide d'échangeurs.
- La chaleur de réjection provenant des condenseurs des groupes de froid ou des machines à absorption sera utilisée pour la production de l'eau chaude sanitaire et le réchauffage des bassins de la piscine en été. En hiver, elle permettra également le préchauffage ou le chauffage des bâtiments si ceux-ci comportent des émetteurs à basse température.

30/07/12 Patrice SCHNEUWLY 1/4

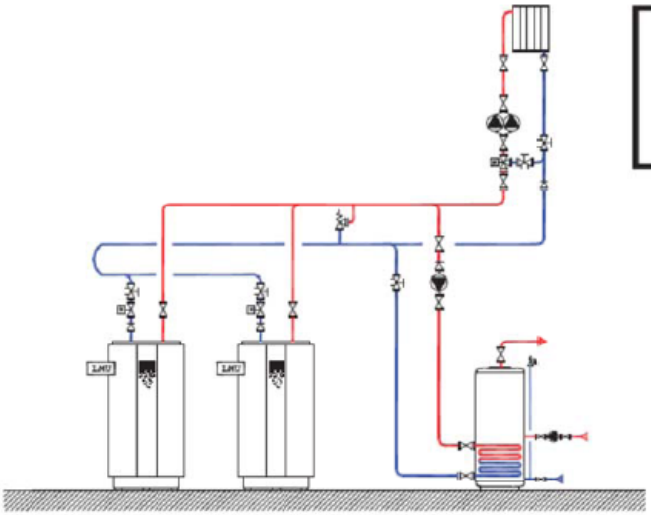
- La centrale pourra être équipée de capteurs solaires thermiques haute température (sous vide ou à concentrateur) de façon à pouvoir produire le froid et le chaud en été, le froid étant réalisé au moyen de machines à absorption. Si c'est nécessaire, l'appoint peut être réalisé à partir d'une chaufferie biomasse.

Description synthétique (Source BET GARNIER à REIMS) :
La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) utilise tour à tour et intelligemment les EnR ou énergies perdues et en fin de cycle les énergies fossiles en vue de tirer un maximum d'efficience énergétique. Cette efficience maximale est obtenue par la dégradation séquentielle ou l'appauvrissement de la quantité et qualité de l'énergie au cours de chaque besoin thermique. Les systèmes en cascade, coté des besoins, ont recours à des montages en dérivation ou en injection de façon à consommer un maximum des EnR, à revenir à basse température et offrir la possibilité d'un débit variable ce qui diminue les pertes de distribution et favorise la condensation et donc l'efficience énergétique.

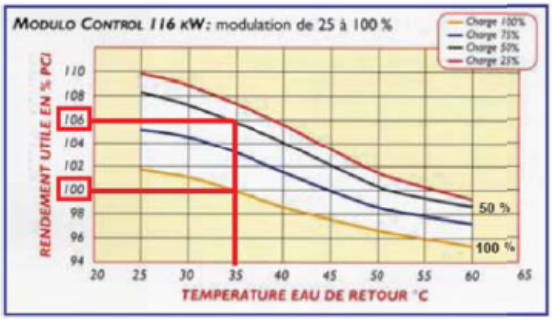
Définition de l'efficience (Source Wikipédia Fr) : L'efficience est la qualité d'un rendement permettant de réaliser un objectif avec le minimum de moyens engagés. Il ne doit pas se confondre avec l'efficacité, qui ne mesure que l'atteinte d'un objectif sans précision des moyens utilisés.

Exemple d'intégration : Comment par exemple gagner des points de rendement avec des chaudières à plus faible taux de charge (Source Association ICO) :

Privilégier une régulation des chaudières en cascade parallèle



Hypothèses :
50 % de besoins en puissance
T°retour = 35°C



Soit 50% sur chaque chaudière = cascade parallèle ? → **2 chaudières à 50% = 106% PCI**

Soit 1 chaudière à 100% = cascade hiérarchique ? → **1 chaudière à 100% = 100% PCI**

Figure 2. Schéma de principe d'une chaufferie alimentant un réseau de chauffage et une distribution d'eau chaude sanitaire (Source Association ICO avec la participation d'Atlantic-Guillot)

L'exemple ci-dessus montre que la gestion intelligente d'une production de chaleur à l'aide de 2 chaudières à la place d'une seule, aura un meilleur rendement.

Remarque (Source Wikipédia) : **Le pouvoir calorifique inférieur** (PCI, en anglais, lower heating value : LHV) est une propriété des combustibles. Il s'agit de la « quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur non récupérée ». Par hypothèse, l'énergie de vaporisation de l'eau dans le combustible et les produits de réaction ne sont pas récupérés.
Cette mesure est pratique lorsqu'il s'agit de comparer des combustibles où la condensation des produits de combustion est difficile ou qu'une température plus basse que 150 °C ne peut servir.
Le PCI est surtout utilisé en Europe. Aux États-Unis, c'est **le pouvoir calorifique supérieur** qui est surtout utilisé (PCS, en anglais ; higher heating value : HHV). Il s'agit de la « quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée ».
Ainsi, le rapport PCS/PCI de chaque combustible est recherché de façon optimale, avec pour chacun une température de rosée spécifique. L'objectif est d'utiliser la condensation pour exploiter complètement la chaleur sensible et la chaleur latente : cf. Figure 3. ci-après.

Nom	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	PCS/PCI	PCI/PCS
Charbon [1]	34,1	33,3	1,024	0,977
CO	10,9	10,9	1,000	1,000
Méthane	55,5	50,1	1,108	0,903
Gaz naturel [2]	42,5	38,1	1,115	0,896
Propane	48,9	45,8	1,068	0,937
Essence [3]	46,7	42,5	1,099	0,910
Diesel [3]	45,9	43,0	1,067	0,937
Hydrogène	141,9	120,1	1,182	0,846

1. Anthracite, moyenne
2. En provenance de Groningen, Pays-Bas
3. Une moyenne des produits vendus au grand public

Tableau 1. Pouvoir calorifique de quelques combustibles

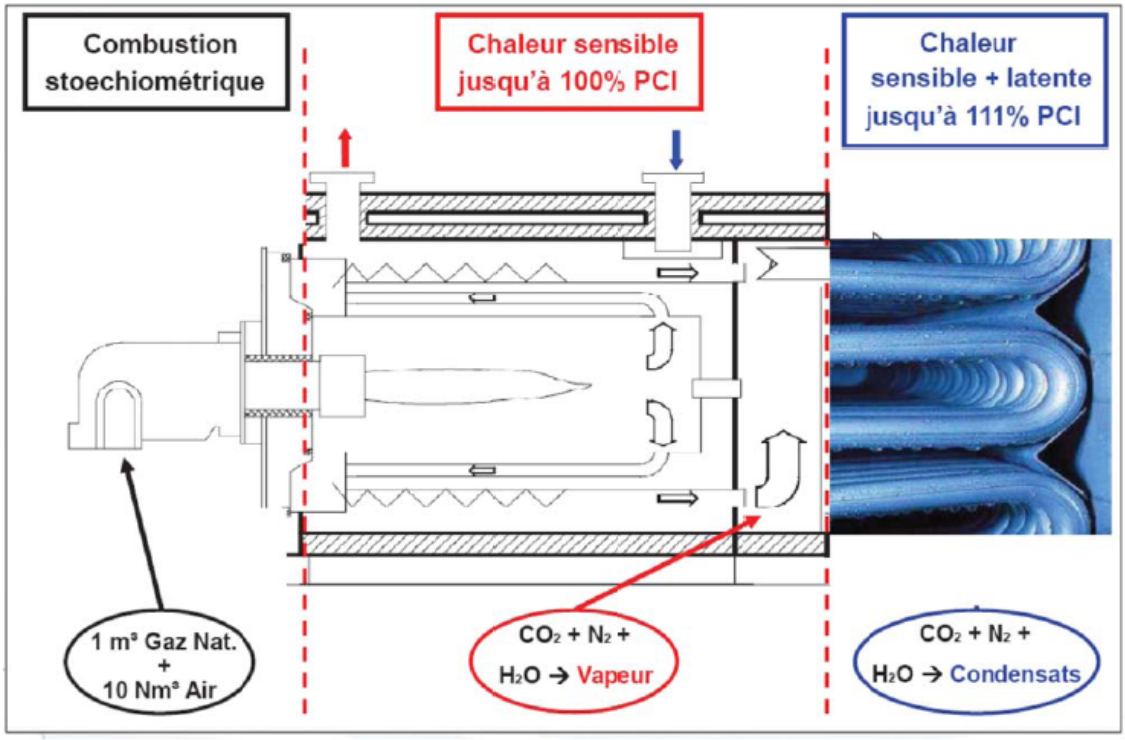


Figure 3. Principe de la condensation (Source Association ICO avec la participation d'Atlantic-Guillot)

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

Poblenou, BARCELONE
Vauban, FRIBOURG
Hammarby, Stockholm

Pour la France :

A priori pas de système de cascade et d'optimisation énergétique identifié

Opérateurs (nom et nature)	
Conception Réalisation Exploitation	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

Variantes des solutions retenues dans les EQs :

Pour l'Europe :

Poblenou, BARCELONE : Chaleur produite à partir de la vapeur de l'usine de traitement des déchets.

Vauban, FRIBOURG : Projet pilote de système de bio-épuration : les eaux noires sont aspirées par un système sous vide vers un puits de biogaz où les matières solides fermentent en milieu anaérobie avec les déchets organiques ménagers, générant du biogaz qui est utilisé pour les cuisinières. Les eaux grises restantes sont nettoyées par des plantes filtrantes et réinjectées dans le cycle de l'eau. Hammarby, Stockholm : Deux chaufferies de quartier centralisées : énergie récupérée de l'incinération des déchets et énergie récupérée de l'épuration des eaux. **Pour la France :** A priori pas de système de cascade et d'optimisation énergétique identifié	
Domaines pertinents	L'utilisation de systèmes intelligents de cascade et d'optimisation énergétique s'apparente beaucoup au Smart Grid ou/et Smart Building, permettant de gérer les sources et besoins en termes d'électricité et de chaleur. A ce titre, la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid » est à consulter.
Limites d'utilisation	Les systèmes intelligents existants ou en cours de développement doivent permettre d'augmenter la durée de vie des matériels, et d'effectuer un état permanent de la maintenance préventive. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Contribution à la mutualisation des besoins	La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) est par essence même la mise en commun de chaleur ou de froid perdu, et de la production d'une partie d'électricité (revente ou secours) par la récupération d'énergie thermique. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Stockage d'énergie	De par la mutualisation de divers systèmes techniques, le stockage thermique ou électrique est essentiel surtout pour utiliser au bon moment la part d'énergie renouvelable. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Coût d'investissement (€/kW)	Voir la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Voir la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Niveau de maturité	Les systèmes de cascade et d'optimisation énergétique en cours de développement, utilise forcément la **gestion dynamique du bâtiment** (GDB), qui doit être capable de préparer et de protéger les bâtiments des conditions atmosphériques nuisibles au confort, de réaliser le bilan thermique des besoins et des stockages et de les gérer, d'être informé en permanence de la prévision météorologique sur plusieurs jours et de réaliser la cascade énergétique (optimisation énergétique). Dans un futur proche, ces systèmes de cascade et d'optimisation énergétique devront permettre la réalisation d'un DPE (Diagnostic de Performance Energétique) permanent et bien sûr annuel. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».
Détails qualitatifs	Les systèmes de cascade et d'optimisation énergétique étant mutualisés sont mieux suivis et sont donc plus pérennes. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ».

TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE	**GRANDES CENTRALES SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES**
Type d'usage	
Collectif	Les centrales de type usage collectif, sont des **centrales au sol**, dont l'objectif est la revente totale de la production d'électricité aux distributeurs d'électricité. Cette production est faite de façon centralisée à l'aide de systèmes PV dont l'emprise au sol est de l'ordre de 2 hectares par **mégawatt (MW)**. Cette solution se développe depuis des années mais avec des puissances modestes auparavant. Une des plus grandes centrales solaires photovoltaïques d'Europe est à Revigo en Italie avec 70 MW, et la plus grande au monde est en Allemagne avec 166 MW. En raison de leur forte puissance, elles sont souvent raccordées au réseau Haute tension.
Individuel	Les centrales de type usage individuel, s'apparentent à des **toitures industrielles ou logistiques** (de 5 000 m2 à plusieurs centaines de milliers de m2) qui sont à la croisée du monde de l'énergie solaire photovoltaïque et du monde du BTP (Bâtiment et travaux publics). La production d'électricité est de cette façon décentralisée, et peut-être utilisée localement ou injectée dans le réseau et vendue aux distributeurs d'électricité (environ 1,5 **kilowatt (kW)** pour 10 m² de toiture).

Schéma de principe (Source « Cartographie de la filière Solaire » réalisé pour le programme « Objectif Solaire » qui a été développé conjointement par le CRITT de Savoie, l'Agence Economique de Savoie et l'INES) : On distingue plusieurs types d'installations constituant les **grandes centrales solaires PV**, celles à châssis **fixes** ou celles **suiveuses de soleil** (montées sur **trackers**) qui sont **au sol**, ou bien **celles en toiture**. Toutes ces centrales solaires photovoltaïques « au fil du soleil » couplées au réseau sont toujours constituées des mêmes éléments :

- Les **modules photovoltaïques** : simples (**PV**) regroupés en strings ou à **concentration** (**CPV**).
- Les **châssis** (centrales fixes) ou les **suiveurs** (centrales suiveuses de soleil) lorsque la centrale est au sol ou autre **système d'intégration** pour une centrale en toiture.
- Les **câbles et connecteurs**.
- Le ou les **convertisseurs DC-AC** (onduleurs) et les **organes de sécurité électrique** (fusibles, coupe-circuits, sectionneurs, ….).
- Les **systèmes de monitoring** pour la surveillance des performances de l'installation.

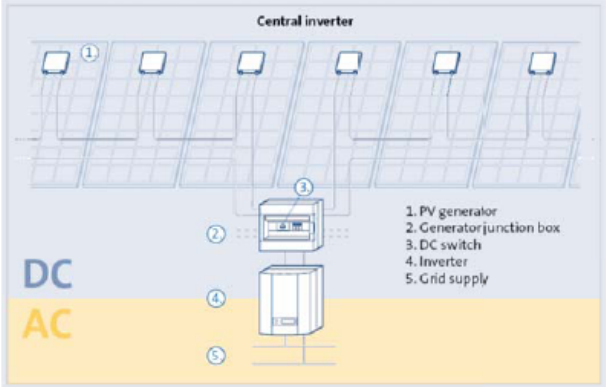


Figure 1. Schéma de principe de raccordements de panneaux photovoltaïques avec un onduleur regroupant plusieurs strings (Source RENI – Renewables Insight is a brand by Solarpraxis AG and Sunbeam GmbH)

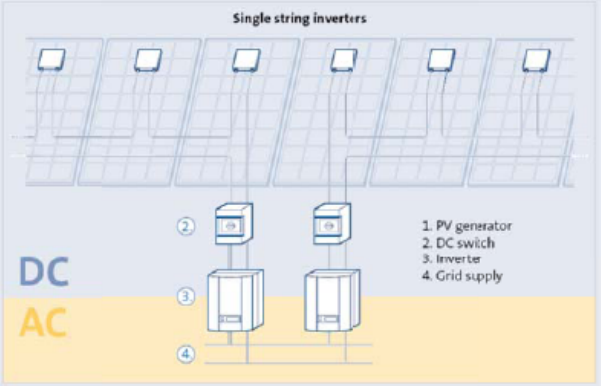


Figure 2. Schéma de principe de raccordements de panneaux photovoltaïques avec un onduleur par string (Source

RENI – Renewables Insight is a brand by Solarpraxis AG and Sunbeam GmbH)

Schémas applicatifs : Photos 1 et 2. Le plus important complexe photovoltaïque du monde en fonctionnement, situé dans le sud Brandebourg, en Allemagne (Source photos Enerzine.com)

La centrale Senftenberg II/III (148 MW) a été construite en trois mois sur les 200 hectares de l'ancien site minier de Meuro. La centrale complète comporte 330 000 modules photovoltaïques cristallins sur des supports fixes. Cette centrale a une puissance crête de 166 MW.

Photo 3. Centrale solaire CPV installée en Afrique du Sud (Source SOITEC)

Cette centrale solaire de 500 kWc a été installée dans une région du globe avec un fort taux d'ensoleillement direct (DNI). En effet, le CPV nécessite un DNI supérieur à 1800 kWh/m²/an typiquement, dont ne bénéficient pas toutes les régions du globe : cf. Figure 3 ci-après.

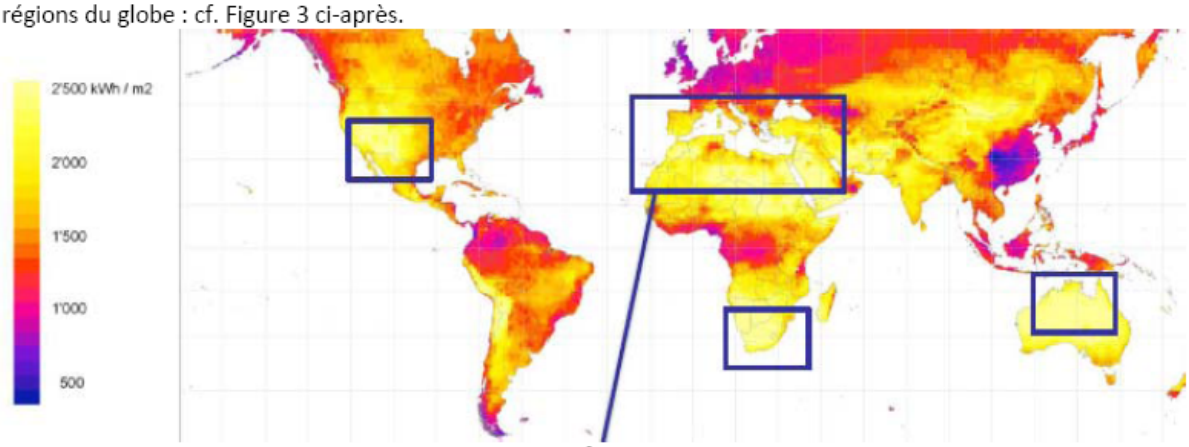


Figure 3. Carte des zones à fort taux de DNI (>1800kWh/m²/an) (Source « Cartographie de la filière Solaire » réalisé pour le programme « Objectif Solaire » qui a été développé conjointement par le CRITT de Savoie, l'Agence Economique de Savoie et l'INES)

Photo 4. Centrale solaire photovoltaïque du marché international Saint-Charles de Perpignan (Source ADEME)

Description synthétique (Source Wikipédia):
L'effet photovoltaïque consiste en la **transformation directe de l'énergie solaire en électricité**. C'est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés **semi-conducteurs** qui, exposés à la lumière, produisent de l'électricité. Le matériau le plus communément utilisé dans les cellules photovoltaïques est le **silicium** (84 % du marché actuel). Une filière à base de **couches minces** s'est développée au côté de celle à base de Si cristalline à partir des années 1980.
Une **centrale solaire photovoltaïque** est un ensemble destiné à la production d'électricité. Elle est constituée de modules solaires photovoltaïques reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau. Les centrales solaires sont de plus en plus puissantes (jusqu'à 166 MWc en 2011).
À l'opposé, les systèmes solaires photovoltaïques autonomes sont destinés à l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées, ils ont des puissances généralement inférieures à 100 kWc.

Schéma d'intégration (Source « Cartographie de la filière Solaire » réalisé pour le programme « Objectif Solaire » qui a été développé conjointement par le CRITT de Savoie, l'Agence Economique de Savoie et l'INES) :
Le **système photovoltaïque** comporte, d'une part, un ou plusieurs **champs de modules photovoltaïques** (assemblage constituant une intégration mécanique et une interconnexion électrique de modules sur un support) et, d'autre part, plusieurs composants que les spécialistes regroupent sous le terme BOS pour **Balance of System** : les organes de coupure, les appareils de contrôle et surveillance, les compteurs, les convertisseurs, les systèmes de stockage de l'énergie, la connectique, etc....

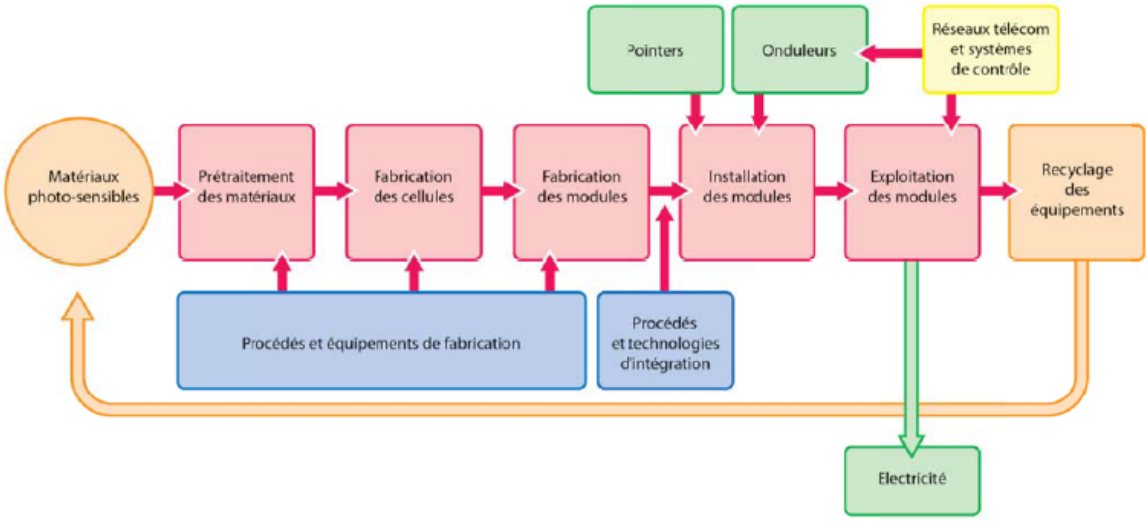


Figure 4. Décomposition des principaux composants de la filière photovoltaïque (Source ADEME – Feuille de route sur l'électricité photovoltaïque)

Liste des EQs utilisant cette technologie : **Pour l'Europe** : Fribourg, Vauban **Pour la France** : Grenoble, De Bonne	
Opérateurs (nom et nature) Conception Réalisation Exploitation	A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs
Variantes des solutions retenues dans les EQs : **Pour l'Europe** : Fribourg, Vauban : Environ 50 logements produisent plus d'énergie qu'ils n'en ont besoin. La totalité des toits sont couverts en cellules photovoltaïques produisant plus d'énergie électrique que les habitants n'en consomment. L'excédent est injecté dans le réseau public. Dans la tranche la plus récente de construction du quartier Vauban, les toitures des petits immeubles accueillent 2500 m² de panneaux PV, parfaitement intégrés dans l'architecture des bâtiments. Toutes ces installations sont raccordées au réseau de distribution électrique qui, dans le cadre du programme national « 100 000 toits solaires », rend contractuel le rachat du kWh excédentaire à environ 0,57 €. Toutes ces installations sont propriété de groupes de résidents. **Pour la France** : Grenoble, De Bonne : La centrale photovoltaïque installée sur l'immeuble tertiaire Bonne Energie® de la ZAC De Bonne a pour objectif de produire plus d'énergie que la consommation totale de l'immeuble. Toute l'énergie de la centrale de 48 kWc est revendue à l'opérateur de distribution d'électricité de la ville de Grenoble. Une centrale photovoltaïque d'une surface de 1000 m2 placée sur le toit du centre commercial permet de produire 100 MWh/an destinés en priorité à l'éclairage de jour, à la ventilation et à la sécurisation des espaces publics.	
Domaines pertinents	Toute installation PV nécessite un **dimensionnement** d'autant plus **précis** que l'investissement initial est important. Ce dimensionnement concerne d'une part l'**installation PV** elle-même (types de modules, d'onduleurs, de câblage, ombrages proches et lointains, orientation/inclinaison…) et d'autre part les **données météorologiques** (gisement solaire, climat, etc…). Ce sont ces dernières informations qui représentent la **source d'incertitude** la plus importante, compte tenu du **manque de données locales très précises sur le long terme** et compte tenu de la **variabilité du climat d'une année sur l'autre**. La plupart des **logiciels de simulation** proposent **désormais plusieurs bases de données météo** pour permettre des **études de variabilité et borner les incertitudes sur le productible estimé**. Voir également la partie « Limites d'utilisation ».
Limites d'utilisation	Les **régions du globe** avec un **taux moyen d'ensoleillement direct**, se prêtent mieux à la mise en place de **centrales photovoltaïques à « un soleil »**, sans concentration. Alors que les **régions avec un fort taux d'ensoleillement direct**, sont plus adaptées aux **centrales à concentration jusqu'à « mille soleils »**. D'autre part les **régions comportant un nombre important d'anciens sites miniers ou terres arides** et de **réseaux électriques existants**, sont le **lieu idéal** pour héberger des systèmes photovoltaïques de grande taille. Dans tous les cas, les **modules CPV** doivent être **montés sur trackers** afin de suivre la course du soleil et capter le flux direct. **Cette technologie ne fonctionne que dans les régions peu ou pas nuageuses**. Pour les **centrales PV intégrées à des toitures industrielles ou logistiques**, comme pour toutes les centrales PV, le productible doit être estimé finement et rentre dans une **opération urbanistique et de bâtiment avec toutes les contraintes liées**.
Contribution à la mutualisation des besoins	La contribution à la mutualisation des besoins est liée à la stratégie globale nationale et internationale. Ainsi une démarche globale doit permettre, en particulier en France, de proposer d'autres modes d'utilisation du photovoltaïque que la revente à EDF : autoconsommation, centrales hybrides avec stockage (smart plant), voire mini-réseaux quasi-autonomes localement.
Stockage d'énergie	Voir la partie « Contribution à la mutualisation des besoins ».

Coût d'investissement (€/kW)	Les grandes centrales solaires au sol nécessitent des investissements importants compte tenu des puissances mises en jeu (plusieurs MWc à plusieurs dizaines de MWc) et du coût de revient de telles installations (3€/Wc typiquement pour du PV fixe de technologie classique, 3,5 à 4€/Wc pour du CPV ou du PV sur trackers). L'investissement représente donc plusieurs millions d'euros au moins. A compter du 1er juillet 2012, le tarif d'achat au-delà de 100 kW ou d'absence d'intégration (simplifiée ou complète) n'est plus que de 10,51 c€/kWh. Par contre, il y a des appels d'offre à prix ouverts avec des allocations de puissance par catégorie pour les grandes centrales. Voir également la partie « Détails qualitatifs ».
Charges de fonctionnement (€/kWh)	Suivant RENI (Renewables Insight is a brand by Solarpraxis AG and Sunbeam GmbH), en plus des coûts de la technologie elle-même, le **coût d'opération de maintenance est un autre facteur important à considérer**. Ces coûts ne figurent pas dans la construction de l'installation, mais peuvent s'additionner et devenir considérables sur la durée d'utilisation d'une centrale solaire. Pour **chaque kilowattheure d'énergie solaire produite, entre un et cinq centimes d'euros (voir dix dans des cas particuliers) sont à prévoir** pour la maintenance liée à l'**exploitation** d'une centrale **sur 20 à 25 ans**. On doit cette grande variation à la vaste gamme de coûts potentiels : par exemple, ceux-ci peuvent inclure une **usure** causée par des conditions météos extrêmes ou par du vandalisme potentiel. La dépense couvre également le **contrôle de la sécurité** de la centrale et la **protection contre le vol**. Dans le cas de systèmes de **mini-réseau**, les coûts d'entretien et de renouvellement des **batteries** peuvent **surenchérir** énormément le coût de la maintenance. Actuellement, les investisseurs peuvent s'attendre à payer entre 10 000 et 14 000 euros pour les opérations de maintenance en plus des coûts du système technique. Photo 5. Des inspections sont réalisées à partir d'hélicoptères ou de drones (Source RENI – Renewables Insight is a brand by Solarpraxis AG and Sunbeam GmbH)
Niveau de maturité	En termes de R&D système, l'activité est orientée vers l'**augmentation des performances, de la fiabilité et de la durée de vie**, l'**intégration de nouvelles fonctions** mais aussi des activités moins technologiques comme l'**étude de l'usage des sols**. La **réduction des coûts** est un **enjeu traité en filigrane au niveau système**. Cette réduction des coûts est d'abord obtenue par l'**effet d'échelle**. Les acteurs principaux de ce domaine sont en fait les **industriels**. Les laboratoires des centres de R&D sont quant à eux davantage spécialisés chacun dans un domaine technologique spécifique (modules surtout, onduleurs, câbles…) et donc moins dans l'aspect système.
Détails qualitatifs	La capacité cumulée de 8 MWc permet d'alimenter en énergie propre jusqu'à 3 200 foyers sur des territoires comme la Martinique et la Guadeloupe. La plus grande centrale solaire au monde est installée près de Senftenberg en Allemagne et dispose de 166 MWc de puissance. Ce parc devrait produire suffisamment d'énergie verte pour répondre aux besoins énergétiques de près de 50 000 foyers. Sa mise en fonctionnement a été faite fin septembre 2011, et a nécessité un budget de près de 150 millions d'euros (pour 148 MWc installés).

Bibliographie

EUROPE

BedZed

- Auteur ? (date ?). BEDZED La star des éco-quartiers. Consulté de www.mairieconseilspaysage.net/documents/Bedzed-details.pdf
- Bierens de Haan, C. (2006). Entre écovillages et projets d'architectes, les écoquartiers.
- Bioregional. (2007). BedZED Monitoring Summary 2003 - 2007.
- BioRegional. (2003, 2009 reprinted). BedZed seven years on; the impact of the UK's best known eco-village and its residents.
- Lafrance, H. (2009). Le projet BedZED : une source d'inspiration. *La Maîtrise de l'énergie*.
- Lazarus, N. (2002a). Toolkit for Carbon Neutral Developments – Part I.
- Lazarus, N. (2002b). Toolkit for Carbon Neutral Developments – Part II.
- Lazarus, N. (2003, reprinted 2009). BedZed: Toolkit Part II A practical guide to producing affordable carbon neutral developments. Bioregional Development Group.
- European Commission, (date ?). Benchmark study, Bedzed. Sustainable Energy Communities in Urban Areas in Europe (SECURE), Intelligent Energy Europe.
- Thanh, N. (2007). Urbanisme durable Projets pilotes les enfants de Bedzed .
- Théau, B. (date ?). BedZED, un éco-quartier est né.
- traits urbains. (2006). Retour à... Bedzed, cinq ans après. *traits urbains*.
- Twinn, C. (2003). Bedzed. Arup journal.
- Vasseur, C., Poulet, G., Cédric, C., & Louçano, F. (2007). BedZED Un quartier écologique au sud de Londres. Université de technologies, Compiègne.
- Ville de Lausanne. (date ?). BedZED Beddington Zero Energy (fossil) Development.

Hammarby

- Brogen, M., & Green, A. (2003). Hammarby Sjostad–an interdisciplinary case study of the integration of photovoltaics in a new ecologically sustainable residential area in Stockholm. *Solar Energy Materials & Solar Cells*.
- Catry, C., MARTIN, L., SAINT-M'LEUX, C., & WARTELLE, A. (2009). Naissance et fonctionnement du quartier de Hammarby-Sjöstad à Stockholm, un exemple de création et de gestion d'un éco-quartier.
- Gaffney, Huang, Maravilla, & Soubotin. (2007). Hammarby Sjostad: A Case Study.
- Grontmij, A., & Brick, K. (2008). Report summary - Follow up of environmental impact in Hammarby Sjöstad: Uppföljning av miljöbelastning i Hammarby Sjöstad.
- Johansson, R., & O¨ rjan. (2002). ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN LARGE-SCALE BUILDING PROJECTS – LEARNING FROM HAMMARBY SJO¨ STAD. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 9.
- Khan, H. (2007). Analysis and comparison of two sustainable urban development projects.
- Loftus, A.-C. (2011). A vision of Integrated Urban planning comes to life in Stockholm's Hammarby Sjöstad district.
- LORENE, PANDIS, BALDIRI SALCEDO RAHOLA, MULDER, & Brandt, N. (2011). SYSTEMS INTEGRATION: CONDITION FOR SUCCESS THE CASE OF HAMMARBY SJÖSTAD AND EVA-LANXMEER. *Management and Innovation for a Sustainable Built Environment*.
- Maleitzke, A. S. (2005). Sustainable Development in the Case of Hammarby Sjöstad, Stockholm.
- Pandis Iverot, S., & Brandt, N. (2011). The development of a sustainable urban district in Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden? *Environment, Development and Sustainability*, *13*(6), 1043-1064. doi:10.1007/s10668-011-9304-x
- Svane, Ö. (2007). Hammarby Sjöstad, Stockholm City's Project Team and the Process of Environmental Management. *KTH Industrial Ecology*.
- Svane, Ö. (2008). Situations of opportunity – Hammarby Sjöstad and Stockholm City's process of environmental management. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *15*(2), 76-88. doi:10.1002/csr.138

- Ville de Lausanne. (date ?). Hammarby Sjostad Cité lacustre.

Kronsberg

- ADEME/Energie-Cités. (2003). Outil de planification énergétique.
- Feist, W., Peper, S., Kah, O., & Oesen, M. (2005). Climate Neutral Passive House Estate in Hannover- Kronsberg: Construction and Measurement Results.
- Gamberini, J. (2009). Taoufik Souami, Écoquartiers, secrets de fabrication. Analyse critique d'exemples européens.
- Krause, A., & Sayani, A. (2006). Planning sustainable communities: case studies.
- Rumming, K. (date ?). Sustanaible urban development - the ecologically exemplary new settlement of Hannover - Kronsberg.
- Rumming, K. (2003). Guide du quartier de Hanovre - Kronsberg.
- Schaeffer, V. (2010). Le projet de quartier durable Kronsberg à Hanovre: du montage à la mise en œuvre".
- Souami, T. (2007). Le développement durable change-t-il le monde des urbanistes?

Multicas Europe

- Ademe, & Energy cities. (2008). Urbanisme - énergie: les éco-quartiers en Europe.
- ARENE. (2005). Quartiers durables, Guide d'expérienceseuropéennes.
- Chirac, N. (2012). Eco-quartiers et observatoires de la performance: quelle méthode, quels moyens et quelle gouvernance? Lille: Ecole centrale de Lille.
- Codorniu Torguet, L. (2011a). *Integrating Urban Infrastructure Solutions*. Tanaka Business School, Imperial College, Londres.
- Codorniu Torguet, L. (2011b). Integrating Urban Infrastructure Solutions.
- Concerto project. (2006). CONCERTO, TOWARDS AN INTEGRATED COMMUNITY ENERGY POLICY TO IMPROVE THE QUALITY OF CITIZENS' LIVES.
- Décider ensemble. (2011). Ecoquartiers: la concertation au service de l'action. Pratiques françaises et européennes pour l'élaboration de projets partagés. Paris: Décider ensemble.
- Faure, A. (2009). ECO QUARTIERS ET DEPLACEMENTS.
- GRAVOILLE, P. (2011a). Gestion de l'énergie et écoquartiers.
- GRAVOILLE, P. (2011b). Gestion de l'énergie et écoquartiers.
- *L'ÉLABORATION DE NOUVEAUX QUARTIERS URBAINS DURABLES: LES CRITÈRES NÉCESSAIRES À LA RÉUSSITE*. (2010). Centre universitaire de formation en environnement de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- NABU (date ?). Urban Ecology Projects in Europe – visions for Oslo?
- PRP, URBED and Design for Homes. (2008). Eco-towns: Learning from International Experience.
- Sesac. (2011). Innovative sustainable construction.
- Urbia. (2007). Les Cahiers du développement urbain durable, Éco-quartiers et urbanisme durable.
- Vega, D. (2010). Renewable Energy Systems at the local level Transferability of Swedish experiences to Poland.

Poblenou

- Auteur ? (2004). Sustainable energy strategies in Barcelona.
- 22@. (s. d.).*Eco-quartiers*. Consulté de http://www.eco-quartiers.fr/#!/fr/focus/etudes-de-cas/22-8/
- Ajuntament de Barcelona. (2010a). Barcelona smart city tour.
- Ajuntament de Barcelona. (2010b). The transformation of Barcelona.
- Ajuntament de Barcelona. (2011). Districlima.
- Ayuntamiento de Barcelona. (?). Ordenenza solar de Barcelona.
- Calavito, N., & Ferrer, A. (2000). Behind Barcelona's success story.
- Charlot, A., & Gautier, E. (2009). Barcelone: de la qualité de vie au développement durable.
- Cruz i Gallach, H., & Marti Costa, M. (2010). Conflictos urbanisticos y movilizaciones ciudadanas: reflexiones desde Barcelona.
- Dot jugla E., Casellas, A., & Pallares-barbera, M. (2010). Gentrificacion productiva en Barcelona□: efectos del nuevo espacio economico.
- Ecocity. (?). Ecocity Barcelona - Trinitat Nova.
- Euro Heat & Power; Districlima. (2009). Renewable energy cooling & heating in a Barcelona green district.

- Gomez, G., & Deisy, P. (2010). La regeneracion del suelo en Barcelona.
- Institut d'Aménagement Régional. (2007). Quartier Poblenou, Barcelone.
- Kamran, T. (2011). Barcelona's Sustainibility Plan and Solar Programs. Consulté de www.davidjhess.org.
- Peters, C., Serrano, D., & Andreu, A. (2011). District heating and cooling from renewable and waste energy in barcelona.
- Pujol, T. (2004). Renewable energy strategies in Barcelona.
- Valegeas, F. (2011). Sustainable neighbourhoods, a way to renew the approach of social mixt.

Royal Seaport

- ABB, & Fortum. (2010). Stockholm Royal Seaport A project learning how to implement Smart Grid in a sustainable urban city.
- ABB group. (2011). Smart grids Stockholm Royal Seaport – a world-class, sustainable city district.
- City of Stockholm. (2010a). Starting Point for Stockholm's Vision 2030.
- City of Stockholm. (2010b). Stockholm Royal Seaport.
- Einarsson, M. (2011). Power quality in low voltage grids with integrated microproduction.
- Guryev, P., & Ragaini, E. (2011). Intelligent application. Applying intelligent equipment to bring increased benefits to power distributors and residential customers.
- Joint projects with the city of Stockholm. (s. d.). KTH.
- Jonsson, F., & Bylund, L. (2011). Design of a Household Concept Motivating Sustainable Consumption Behavior. Umea university.
- Jonsson, L. (2011). The Innovation Arena An analysis of innovation networks in sustainable city development. Uppsala University.
- José González del Pozo. (2011). Electric Energy Storage in the Stockholm Royal Seaport.
- KTH, ABB, & Fortum. (2011). Stockholm Royal Seaport – Urban Smart Grid.
- Olsson, H., & Huang, Y. (2011). Market concepts and regulatory bottlenecks for smart distribution grids in EU countries.
- Per Rømer Kofod. (2011). Stockholm Royal Seaport A project learning how to implement smart grid in a sustainable urban city Per Rømer Kofod – ABB Danmark.
- Reardon, M. (2010). An Opportunity for Renewal: The Participatory Process and Social and Income Diversity in Brownfield Developments.
- Stockholm Business Region. (2010). Green Stockholm.
- Sustainable urban development seminar. (2010). STOCKHOLM, EUROPEAN GREEN CAPITAL: 2010 ROLE MODEL FOR EUROPE. Bruxelles.
- Wall, T. (2011). Energy Solutions for a Sustainable City Case: Stockholm Royal Seaport.
- Wall, T., & Fortum. (2011). Stockholm Royal Seaport - a smart grid for a sustainable city project.

Vauban

- Beck, K. (2011). The Vauban Quarter.
- Cias, K., Van Staden, M., & Klaus, H. (2008). City of Freiburg, Germany, European Union.
- Clear village. (date ?). TYPOLOGY: new neighbourhood in the German city of Freiburg.
- Deschaux-Beaume, D. (2009). Le quartier Vauban de Fribourg en Brisgau□: un éco quartier modèle?
- Koetse, E. (2005). *The implementation of DESAR concepts in two projects in Germany*. Wageningen University, Wageningen, Pays-Bas.
- Liman, U. (2006). Eco quartier Vauban Freiburg - Allemagne.
- Preiser, C. (?). Successful planning and realisation of district heating systems.
- Rabie, J. (2009). L'Ecoquartier Vauban à Fribourg. Une démarche globale pour une réalisation exemplaire.
- Scheurer, J., & Barthel, P. (2009). Vauban: A European model bridging the green and brown agendas.
- Spath, P. (2006). District heating and passive houses - Interfering strategies towards sustainable enrgy systems.
- Sperling, C. (date ?). HIC - Sustainable Urban District Freiburg-VaubanSustainable Urban District Freiburg-Vauban.
- University of Pennsylvania. (2005). Vauban, Freibourg.
- Ville de Lausanne. (2010). Retour d'expérience quartier Vauban.

- WIP-Renewable Energies. (date ?). Passive House Settlement.

FRANCE

Bordeaux

- Auteur ? (2011). Découverte des clauses d'insertion de l'éco-quartier Ginko.
- Bordeaux Ecocitoyenne. (2010). AGENDA 21 / PLAN CLIMAT ENERGIE TERRITORIAL DE BORDEAUX Bilan des actions pour l'année 2010.
- Bordeaux-Gironde investissement. (2011). A to Z of Bordeaux's projects, Ginko Eco-city.
- Bouygues Immobillier. (s. d.). Ginko A3-3, Bâtiment A.
- CETE sud ouest. (2009). Palmarès EQ 2009 Sobriété E et ER, Ginko ville de Bordeaux.
- Communauté urbaine de Bordeaux. (2011). charte d'urbanisme commercial.
- Eco quartier Ginko. (?). Ginko, l'éco quartier du lac de Bordeaux.
- Étude de cas, éco-quartier Ginko. (s. d.). Consulté de http://www.eco-quartiers.fr/#!/fr/focus/etudes-de-cas/eco-quartier-ginko-3/
- Ginko, 1er EQ de Bordeaux, dans la ZAC des berges du lac. (2011). Consulté de http://projets-architecte-urbanisme.fr/ecoquartier-bordeaux-ginko-berges-lac/
- Ginko, l'EQ du lac de Bordeaux. (2011).http://www.ecoquartier-ginko.fr/vivre-bordeaux-autrement.html http://envi2bio.com/2011/04/18/ginko-le-premier-ne-des-eco-quartiers-bordelais/. Consulté de http://envi2bio.com/2011/04/18/ginko-le-premier-ne-des-eco-quartiers-bordelais/
- L'équipe municipale, ville de Bordeaux. (2011). Ville de Bordeaux Dossier de presse.
- Le Figaro. (2011). Éco-quartier Ginko: Bordeaux passe aux énergies renouvelables. *Le Figaro, Cahier 4, N° 20 934*.
- Toustou, E. (2010). Les ambitions d'une future métropole européenne.

Chalon ZAC St Jean des Jardins

- AREHN. (2005). Chalon-sur-Saône, Ville pilote d'Europe pour la lutte contre l'effet de serre.
- CAUE & SEAB. (2009). CHALON-SUR-SAÔNE ÉCO-QUARTIER SAINT-JEAN-DES-JARDINS.
- Chalon sur saône. (date ?). Aménagement St-Jean des Jardins.
- Energy Cities. (2008). Saint-Jean des Jardins (Chalon-sur-Saône – France).
- Fédération des SEM. (2007). «Saint Jean des Jardins»: Un quartier durable sur des jardins maraîchers.
- Ifore. (?). La ZAC de Saint-Jean-des-Jardins.
- L'Observatoire régional de l'environnement de Bourgogne. (2005). MÉTHODOLOGIE POUR LA MISE EN PLACE D'INDICATEURS DE SUIVI DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE À L'ÉCHELON LOCAL.
- Projet PRIVILÈGES. (date ?). *LE PROGRAMME PRIVILEGES*.
- Projet PRIVILÈGES. (2005). Entreprises et administrations L'environnement, une pratique quotidienne.
- PUCA. (2007). Villa urbaine durable; opération Quartier St Jean des Jardins, Chalon sur Saône (Cahier expérimental n°1).

Grenoble

- ALE. (2012). ZAC de Bonne: évaluation des performances énergétiques 2010/11.
- ALEC. (2011). Retours d'expérience sur la Zac de Bonne.
- Bobroff, J. (2011). LA CASERNE DE BONNE A GRENOBLE: PROJET EMBLEMATIQUE D'UN DEVELOPPEMENT DURABLE A LA FRANCAISE.
- De Bonne. (2010). Grenoble: innovation and urban development.
- Debizet G., Leullier M., (sous la dir), Le co-pilotage de la QEB sur le quartier de Bonne à Grenoble : la fin impose-t-elle les moyens, Feidt M., Moshkanbarians E., Parmentier G., Mémoire de master MOBat Université de Grenoble Avril 2009, 153 p
- Debizet G., Leullier M., (sous la dir), Conception QEB des immeubles de l'écoquartier de Bonne hors concerto, ANSOT N., BENGUERRAH L., BENZEGHIBA C., DELAUNAY J., DIALLO S., Mémoire de master MOBat Université de Grenoble Avril 2010, 77p
- Décider ensemble. (2011). ETUDE DE CAS DE PROJET FRANÇAIS: Grenoble / Zac de bonne.
- Energy Cities. (2008). ZAC de Bonne, Grenoble, France.

- Enertech. (2011a). ZAC de Bonne - Evaluation par mesure des performances énergétiques des 8 bâtiments construits dans le cadre du programme européen Concerto - Rapport de synthèse.
- Enertech. (2011b). ZAC de Bonne - Immeuble G1 Le Vendôme.
- Enertech. (2011c). ZAC de Bonne - Immeuble B1 Patio Lumière.
- Enertech. (2011d). ZAC de Bonne - Immeuble B2 Les Jardins de Bonne et Le Pallium - Dauphilogis - OPAC 38.
- Enertech. (2011e). ZAC de Bonne - Immeuble G3 Le Henri IV.
- Enertech. (2011f). ZAC de Bonne - Immeuble B3 Le Carré d'or.
- Enertech. (2011g). ZAC de Bonne - Immeuble A1 Le Connestable.
- Enertech. (2011h). ZAC de Bonne - Immeuble G2 Le Concerto.
- Enertech. (2011i). ZAC de Bonne - Immeuble A2 Le Compagnon.
- Marcellin, B. (2008). Ville et développement durable: le cas de Grenoble.
- PRD. (2011). Vers des bâtiments à énergie positive, 31 mars et 01 Avril 2010.
- PUCA. (2011). La ZAC de Bonne à Grenoble - Collection images.
- QUERE, O. (2008). Analyse d'écoquartiers français face à un quartier européen de référence: le quartier Vauban à Fribourg-en-Brisgau.
- Sages. (2004). Le quartier de Bonne, un quartier accessible à tous conçu en haute qualité environnementale.
- Sages. (2009). Le co-pilotage de la QEB sur le quartier de Bonne à Grenoble.
- Sages. (2011a). De Bonne, un écoquartier dans la ville.
- Sages, V. de G. (2011b). De Bonne livret d'accueil".
- Terre Eco. (2009). VILLE DE GRENOBLE QUARTIER DE BONNE ILOT X.

Issy

- Hétault, J.-B. (2011). Visite du Chantier du Fort d'Issy.
- Issy-les-Moulineaux. (2010). Plaquette de l'écoquartier.
- Issy-les-Moulineaux. (2011). De nouvelles avancées pour la mise en oeuvre d'«IssyGrid®», 1er réseau intelligent de quartier en France.
- Schneider Electric. (2012). Coup d'envoi opérationnel d'IssyGrid®, premier site pilote en France d'optimisation énergétique à l'échelle d'un quartier.
- Zonebourse. (2011). GROUPE STERIA: De nouvelles avancées pour la mise en oeuvre d'«IssyGrid®», 1er réseau intelligent de quartier en France. *Zonebourse*. Consulté de http://www.zonebourse.com/GROUPE-STERIA-4737/actualite/GROUPE-STERIA-De-nouvelles-avancees-pour-la-mise-en-oeuvre-d-%ABIssyGrid%AE%BB-1er-reseau-intelligen-13931310/

Lyon Confluence

- DEMEUSE, Y., MAREK, A., & VEITHEN, A.-M. (2011). Étude de cas concrets: Le redéploiement de la vallée sérésienne et Lyon Confluence.
- Energy cities. (2008). Confluence (Lyon – France).
- Grand Lyon. (2009). Lyon Confluence projet urbain durable.
- GrandLyon Habitat. (2010). GrandLyon Habitat au cœur de la Confluence à Lyon.
- Jacques Leone. (2011). PROGRAMME CONCERTO - RENAISSANCE□: L'HABITAT DURABLE AU COEUR DE LYON CONFLUENCE.
- Lyon Confluence. (date ?). PROJET LYON CONFLUENCE LISTE DES CONCEPTEURS.
- Lyon Confluence. (2010). Un nouveau coeur de ville se dessine à Lyon: La Confluence.
- Lyon Confluence. (2011). Confluence, vivre Lyon en cœur.
- Lyon Confluence. (2012). 2e phase - îlot A3 Cession de charges foncières 1ère étape□: sélection des promoteurs.
- MEDDTL, & Centre Etudes Tech de l'Equipement CETE Lyon. (2010). Palmarès EQ 2009 Lyon Confluence.
- Projet Lyon Confluence. (date ?). Un défi architectural et urbain au coeur de la métropole lyonnaise.
- Projet Lyon Confluence. (2007). Le projet de ville Lyon Confluence.
- SPLA Lyon Confluence. (2011). Dossier de presse, Naissance d'un quartier durable.
- SPLA Lyon Confluence. (2012). DOSSIER DE PRESSE Présentation de la 2ème phase du projet urbain Lyon Confluence.

Multicas France

- ARPE Midi-Pyrénées. (2007). Pour construire durable en Midi-Pyrénées, Guide à l'attention des maîtres d'ouvrage.
- Cerdd- Aire Métropolitaine de Lille. (2011). Ingénierie financière des projets d'éco-quartiers.
- Certu. (2011). Les déplacements dans les Ecoquartiers de l'expérimentation aux bonnes pratiques. Retour d'expériences, synthèse.
- CETE de Lyon. (2011). Réseaux de chaleur et nouveaux quartiers.
- CETE de Lyon. (2012). Sobriété énergétique et énergies renouvelables.
- Communauté urbaine du Grand Nancy. (2009). Chaufferie urbaine biomasse.
- Décider ensemble. (2011). Ecoquartiers: la concertation au service de l'action; pratiques françaises et européennes pour l'élaboration de projets partagés (p. 104).
- Fédération des Epl. (2007). Éco-quartiers□: les Epl innovent.
- Fédération des Epl. (2011). 12 engagements pour un aménagement durable.
- IEA. (2011). International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme.
- Izembart, H., & Sevin, G. (2011). La conception des espaces publics dans un Ecoquartier.
- MARZLOFF, L. (2010). La pertinence de l'éco-quartier dans la construction d'une politique de développement urbain durable études de cas: Vauban (Fribourg-en-Brisgau) et la Zac de Bonne (Grenoble). Université Paris III Sorbonne-Nouvelle.
- MEDDTL. (2009). Répertoire de «quartiers durables» en Alsace.
- MEDDTL. (2010). Plan Ville Durable Appel à Projets EcoQuartier Club EcoQuartier 2010.
- MEDDTL. (2011). Annonce par Benoist Apparu des résultats de l'appel à projets EcoQuartier 2011.
- Prelude. (2005). Quartiers durables, Premiers retours d'expériences en Midi-Pyrénées.
- PUCA. (2007). Villa Urbaine Durable seconde session.
- PUCA. (2009). EcoQuartiers/EcoCités Une démarche, des réussites.

Nancy Grand Cœur

- Auteur ? (2009). Le quartier gare, au rendez-vous du développement durable. *Avenir magazine*.
- Centre d'Études Techniques de Lyon. (2011). EcoQuartier Grand Cœur, Ville de Nancy Palmarès EcoQuartier 2009.
- Communauté urbaine du Grand Nancy agenda 21. (2010). Les rubans du développement durable.
- Conseil DD Gd Nancy. (2009). Grand Nancy Durable, EQ et gouvernance: nouvelle donne pour projet d'agglo revisité.
- Décider ensemble. (2011). Etude de cas Nancy Grand Coeur.
- Grand Nancy communauté urbaine. (2005). Le bâtiment République au sein du quartier de la gare de Nancy.
- Nancy MAg. (2010). Nancy Grand Coeur, un écoquartier en concertation. *Nancy Mag*.
- Nancy Mag. (2010). Nancy Grand Coeur et Charles III, information et concertation. *Nancy Mag*.
- Page verte. (2009). Nancy grand mirage. *Page verte*, *#10*.
- Perez, J., Foraison, F., Dieusaert, J., & Morel, Q. (2010). Etude des risques liés à la création d'un éco quartier au coeur de la ville de Nancy.
- Solorem. (date ?). Nancy grand cœur un quartier d'innovation, un lieu de référence.
- Solorem. (s. d.). ENSEMBLE, FAISONS BATTRE Nancy Grand CŒUR.
- Ville de Nancy. (2010a). Emergence d'un écoquartier.
- Ville de Nancy. (2010b). Nancy Grand-Coeur un EcoQuartier se dessine.

Nancy Plateau de Haye

- Centre d'Études Techniques de Lyon, & MEDDTL. (2011). Le Grand Prix National EcoQuartier 2011.
- Domini, S., & Gras, P. (2011). Grand Nancy, l'ambition urbaine.
- Epareca. (2010). Pose de la première pierre du nouveau pôle commerçant site des anciennes carrières Solvay - plateau de Haye - Nancy.
- Grand Nancy. (2011). L'écoquartier Plateau de Haye.
- Lemoine, E., & Collin, F. (2009). Le projet de rénovation urbaine du Haut du lièvre□: le 1er éco-quartier nancéien?
- Office public de l'habitat de Nancy. (2009). Bilan des activités 2009.
- Projet de rénovation urbaine, Communauté urbaine du Grand Nancy, Ville de Laxou,. (2009). La rénovation urbaine.

Généralités

- Alphéeis, & ECOMAIRES. (2008, mai). Eco-quartiers et efficacité énergétique: état de l'art, analyse et perspectives.
- *Appel à Projets EcoQuartier Club EcoQuartier 2010*. (2010).Conférence du 18 Octobre 2010 GINKO, Ecoquartier du lac - Bordeaux (33). Bordeaux.
- Attali, S., Metréau, E., Prône, M., Tillerson, K., & European Council for an Energy-Efficient Economy. (2003). *Time to turn down energy demand : proceedings of the 2003 ECEEE Summer Study*. Oslo: European Council for an Energy-Efficient Economy.
- Boissonade J. (2007). Charlot-Valdieu Catherine et Outrequin Philippe, 2007, Développement durable et renouvellement urbain. Des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartiers, L'Harmattan, 296 p. *Développement durable et territoires*.
- BOUTAUD, Benoît. (2009). Quartier durable ou éco-quartier? *Cybergeo: European Journal of Geography*. Consulté de http://cybergeo.revues.org/22583
- Carcelle, S., & Chesnel, J. (2008). Eco-quartiers. Consulté de http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=PRO_302_0079
- CASTELLA, L., PEREIRA, E., & FAVRE-BULLE, J. (2008). Etude des éco-quartiers de Vauban et Rieselfed à Fribourg-en-Brisgau. Consulté de http://infoscience.epfl.ch/record/152954
- Centre d'analyse stratégique. (2011). Des « effets de quartier » à la politique de la ville. *Centre d'analyse stratégique*, (249).
- Charlot-Valdieu, C., & Outrequin, P. (2009). *Ecoquartier mode d'emploi*. Eyrolles.
- Da Cunha, A. (2007). Eco-quartiers et urbanisme durable: entre performance écologique et renforcement du lien social. *Urbia*, (4), 133-136.
- Da Cunha, A. (2011). Les écoquartiers, un laboratoire pour la ville durable : entre modernisations écologiques et justice urbaine. *Espaces et sociétés*, *144-145*, 193.
- GRAVOILLE, P. (2011, septembre). *Gestion de l'énergie et écoquartiers*. Institut d'Etudes Politiques de Grenoble, Grenoble.
- HARGUINDÉGUY, & ARGUL ARIAS. (s. d.). ALL THAT GLITTERS IS NOT GOLD THE MISUSE OF THE ECODISTRICT'S LABEL IN SPAIN.
- HAUTBOIS, O., MENETRIEUX, C., DEMIAUTTE, J.-P., & TRINCAT, A.-M. (2011). Etude sur la gestion de l'eau dans les projets présentés à l'appel à projets EcoQuartiers 2009.
- Helfter, C. (2009). Contrepoint - Éco-quartiers : un monde plus urbain ? Consulté de http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=INSO_155_0099
- Joss Simon, Daniel Tomozeiu, & Robert Cowley. (2011). *Eco-Cities — A Global Survey 2011*. University of Westminster. Consulté de http://www.westminster.ac.uk/__data/assets/pdf_file/0011/119909/pdf_research_ecocities_Global-Survey-updated.pdf
- Jund, A., & Blanc, M. (2011). Les quatre défis des écoquartiers : entretien avec Alain Jund. *Espaces et sociétés*, *144-145*, 201. doi:10.3917/esp.144.0201
- Kyvelou, S., & Papadopoulos, T. (2011). Exploring a South-European eco-neighbourhood model: planning forms, constraints of implementation and emerging resilience practices. *Int. J. Sustainable Development,*, *14*(1/2), 77-94.
- Lebreuil, T. (2009, janvier). Les écoquartiers de l'utopie à la pratique en Europe et en France. HEC, Paris.
- Lefèvre, B., & Renard, V. (2011, octobre). Développement durable et fabrique urbaine. IDDRI Science Politiques.
- Marbek Resource Consultants. (2008). SUSTAINABLE COMMUNITY PLANNING IN CANADA: STATUS & BEST PRACTICES.
- MEDDTL. (2011). La démarche nationale EcoQuartier septembre 2011.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. (2011). Appel à projets ÉcoQuartier 2011 Notice explicative de la grille ÉcoQuartier.
- MORCK, O., ROBBINS, C., & Catherine, C.-V. (2003). Setting priorities for sustainable development in 14 European neighbourhoods. CSTB, CENERGIA, UWE.
- Musec. (2008, décembre). Multiplying Sustainable Energy Communities Seven SEC Strategies from Communities in Bulgaria, Denmark, Germany, Italy and The Netherlands. Stuttgart.
- NDIAYE, A. (2012). Territoires, Clusters et ÉcoQuartiers: un modèle de développement urbain innovant. *L'innovation verte. De la théorie aux bonnes pratiques*, (347-371).

- Oliver-Solà, J., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2009). Environmental impacts of the infrastructure for district heating in urban neighbourhoods. *Energy Policy*, *37*(11), 4711-4719. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.025
- Pal, O. (2011). Energy performance indicators for neighbourhoods applied on CONCERTO projects. *World renewable congress*, *8*(13).
- Petitprez, J-A Di Jorio, & Cuffini-Valero. (2010). Les spécificités des éco-quartiers français. *Territoires*.
- Plan Urbanisme Construction Architecture, (PUCA). (2008). Concevoir un éco-quartier. *Premier plan*, (16).
- Primaël NOUAILLES. (2008). *Eco-quartier, concept et réalisation, Mémoire de travail de fin d'études*. Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, LE MANS.
- Rey, E. (2010). *Quartiers durables, défis et opportunités pour le développement urbain* (p. 34). Office fédéral du développement territorial ARE Office fédéral de l'énergie OFEN. Consulté de http://quartiers-durables.ch/data/downloads/ARE_QD_Interieur_FR_2011-05-10.pdf
- Rutherford, J. (2008). Unbundling Stockholm: the networks, planning and social welfare nexus beyond the unitary city. *Geoforum*, *39*(6), 1871-1883. doi:10.1016/j.geoforum.2008.05.002
- Saint-André, B. (2009). L'énergie intelligente dans la ville durable : Perspectives d'évolution du métier d'énergéticien. Consulté de http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=FLUX_074_0068
- Signoret, S. (2011). Ecoquartiers: repenser la ville autrement. *Energie Plus*, (474), 18-19.
- Sophie Landrin, S. (2011, décembre 1). Dans le nord de la France,des friches industrielles renaissent en écoquartier. *Planète*.
- Souami, T. (2011). *ECOQUARTIERS SECRETS DE FABRICATION. Analyse critique d'exemples européens.* Collection «Modes de ville» (Les Carnets de l'Info.).
- Stenlund, J. (2006). Plan and reality: municipal energy plans and development of local energy systems. Linköping University, Linköping.
- Sustainable communities. (2010).*Sustain*.
- The Delegation for Sustainable Cities/ Environmental Advisory Council. (2009). *Sustainable urban development projects*.
- YEPEZ-SALMON, G. (2011a). CONSTRUCTION D'UN OUTIL D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES ECOQUARTIERS□: vers une méthode systémique de mise en oeuvre de la ville durable. UNIVERSITÉ BORDEAUX 1, doctorat en Sciences et techniques architecturales, Bordeaux.
- YEPEZ-SALMON, G. (2011b). CONSTRUCTION D'UN OUTIL D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES ECOQUARTIERS□: vers une méthode systémique de mise en oeuvre de la ville durable. L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1, doctorat en sciences et techniques architecturales, Bordeaux.

Liste des tableaux

Tableau 1 Les NSE comme groupe d'objets physiques constituant un sous-ensemble cohérent d'une chaîne énergétique 15
Tableau 2 Les NSE délimités selon le processus de conception sous maîtrise d'ouvrage unique 16
Tableau 3 : description du contenu des bases de données 18
Tableau 4 : liste des écoquartiers moissonnés 19
Tableau 5 : critères de sélection des écoquartiers européens hors France 22
Tableau 6: critères de sélection des écoquartiers français (hormis ZAC de Bonne, retenu ex ante) ... 23
Tableau 7 : fiche descriptive générique standardisée 24
Tableau 8 : Synthèse énergétique des EQs sélectionnés 50
Tableau 9: liste des écoquartiers étudiés 55
Tableau 10: les familles de critères 56
Tableau 11: les caractéristiques générales 57
Tableau 12: L'offre d'énergie 58
Tableau 13: les critères de gouvernance 59
Tableau 14: les critères relatifs aux objectifs poursuivis 60
Tableau 15: éléments d'information pour l'appréciation du critère "objectifs CO2" 60
Tableau 16: éléments d'information pour l'appréciation du critère "objectifs énergie" 61
Tableau 17: les critères sur la technologie 62
Tableau 18: éléments d'appréciation du critère "innovation" 62
Tableau 19: les éléments quantitatifs pour qualifier les systèmes énergétiques 64
Tableau 20: résultats pour l'ensemble des critères 65

Liste des figures

Figure 1 : schéma générique des relations entre acteurs au sein d'un EQ 25
Figure 2 : Cadre générique d'analyse des dynamiques d'innovation de rupture 81
Figure 3 : Dimensions et paramètres du modèle d'affaires 83
Figure 4 : Modèle d'open innovation de Chesbrough 84
Figure 5 : Barrière et moteurs des conditions de création et de capture de valeur 84
Figure 6 : BedZed – Cartographie des réseaux d'acteurs 93
Figure 7 : Hammarby – Cartographie des réseaux d'acteurs 95
Figure 8 : Kronsberg – Cartographie des réseaux d'acteurs 97
Figure 9 : Royal Seaport – Cartographie des réseaux d'acteurs 100
Figure 10 : Vauban – Cartographie des réseaux d'acteurs 102
Figure 11 : Grenoble – Cartographie des réseaux d'acteurs 106
Figure 12 : Lyon – Cartographie des réseaux d'acteurs 108

Pièces complémentaires numériques (base de données)

Le lien vers les documents moissonnés et les bases de données relatives aux écoquartiers européens et français est le suivant :

https://drive.google.com/#folders/0B7qBl72ky3xIaGxYUmpaeWRoWVk

Un compte d'accès (nom d'utilisateur et mot de passe) a été créé pour l'ADEME et communiqué au coordinateur technique de l'ADEME lors de la remise du présent rapport. Par ailleurs, ces bases de données ont été remises à l'ADEME également sur un support DVD.