



HAL
open science

Assemblage socio-énergétique et transitions bas-carbone urbaines HDR-vol2

Gilles Debizet

► **To cite this version:**

Gilles Debizet. Assemblage socio-énergétique et transitions bas-carbone urbaines HDR-vol2. Architecture, aménagement de l'espace. COMUE Université Grenoble Alpes; ED Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire, 2018. tel-03615878

HAL Id: tel-03615878

<https://hal.science/tel-03615878>

Submitted on 22 Mar 2022

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 - ShareAlike 4.0 International License

CANDIDATURE
HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES (HDR)

VOLUME 2 – TEXTE ORIGINAL

**ASSEMBLAGE SOCIO-ÉNERGÉTIQUE
ET TRANSITIONS BAS-CARBONE URBAINES**

Présentée par

GILLES DEBIZET

Université Grenoble Alpes – UMR PACTE

LE 26 NOVEMBRE 2018

À l'Université Grenoble-Alpes, Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine

COMPOSITION DU JURY :

Olivier COUTARD, directeur de recherche au CNRS-LATTS (rapporteur)

Corinne LARRUE, professeure à l'Université Paris-est Créteil (rapporteur)

Géraldine PFLIEGER, professeure à l'Université de Genève (rapporteur)

Gabriel DUPUY, professeur émérite à l'Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Bernard PECQUEUR, professeur à l'Université Grenoble Alpes (garant)

Remerciements

Je remercie chaleureusement Bernard Pecqueur pour son soutien et ses encouragements tout au long de la réalisation de cette HDR. Ses conseils furent extrêmement précieux.

Je tiens à remercier également les membres du jury : Olivier Coutard, Corinne Larrue et Géraldine Pflieger qui ont accepté de rapporter cette candidature ; Bernard Pecqueur et Gabriel Dupuy, examinateurs, qui me font également l'honneur d'être membres de ce jury.

Mes pensées vont aussi vers mes collègues de l'UMR PACTE, de l'UFR PhITEM, de l'IUGA et du Cross-Disciplinary Project Eco-SESA et d'ailleurs, administratifs, enseignants, enseignants-chercheurs et chercheurs, avec lesquels j'ai eu un grand plaisir à travailler et avec lesquels j'aurais un tout aussi grand plaisir à poursuivre les projets scientifiques et pédagogiques déjà engagés.

Merci à Nicolas Buclet, Patrick Criqui, Bernard Pecqueur, Thomas Reverdy et Frédéric Wurtz pour avoir jalonné mon apprentissage de l'encadrement doctoral et aux doctorants de m'avoir fait confiance. Merci aux étudiants pour leurs questionnements et à leurs maîtres de stage en entreprises ou collectivités grâce à qui j'ai découvert les métiers de l'immobilier, de l'aménagement et de l'urbanisme.

Un grand merci aussi à Anne Lanfranchi, Christian Neyrat et Françoise Papa pour leurs relectures attentives.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis qui ont mis en œuvre tout ce qu'il fallait pour que je me consacre intensément à l'écriture depuis quelques mois.

Sommaire

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	5
1 L'APPROCHE MULTI-NIVEAUX ET LES TRANSITIONS DURABLES	9
1.1 DEFINITION DE LA MLP	9
1.2 GENESE DE LA MLP.....	11
1.3 MISE AU POINT DE LA MLP	14
1.4 <i>SUSTAINABILITY TRANSITIONS STUDIES</i> : UN COURANT SCIENTIFIQUE EN ESSOR	18
ENSEIGNEMENTS DU CHAPITRE 1	23
2 APPROCHES SPATIALISEES DES TRANSITIONS DURABLES ET ENERGETIQUES	25
1.1 UNE GEOGRAPHIE DES TRANSITIONS ?	25
1.2 TRANSITIONS BAS-CARBONE OU DURABLES URBAINES	33
SYNTHESE.....	46
3 LES NOTIONS DE NŒUD SOCIO-ENERGETIQUE ET D'ASSEMBLAGE : PROPOSITIONS ET CONTEXTE D'EMERGENCE	51
3.1 ASSEMBLAGE DE NŒUDS SOCIO-ENERGETIQUES : DEFINITIONS ET EPISTEMOLOGIE	51
3.2 LE SYSTEME ENERGETIQUE AU-DELA DU RESEAU PUBLIC	55
3.3 CONTEXTE D'EMERGENCE DE LA NOTION DE NSE	67
4 NSE ET ASSEMBLAGE : APPLICATIONS AU NOUVEAU PARADIGME DE MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES	81
4.1 QUALIFIER DES PROCESSUS SCALAIRES ENTRE NICHES ET REGIMES	81
4.2 QUALIFIER LES ASSEMBLAGES EMERGENTS AU PRISME DES PROXIMITES	88
4.3 SCENARISATION PROSPECTIVE DES COORDINATIONS DE L'ENERGIE EN VILLE	97
5 RELECTURE DE MES TRAVAUX SUR LA PLANIFICATION URBAINE AU PRISME DES ASSEMBLAGES SOCIO-METABOLIQUES	109
5.1 BOITE A OUTILS CLIMAT POUR LA PLANIFICATION URBAINE ET L'ACCOMPAGNEMENT DES PROJETS IMMOBILIERS (METROPOLE GRENOBLOISE - FRANCE)	111
5.2 METHODE DE « PLANIFICATION ENERGETIQUE COMMUNALE » (SUISSE)	121
5.3 TRANSACTIONS ENERGETIQUES VILLE-CAMPAGNE VUES DES TEPOS-CV (REGION RHONE-ALPES)	126
5.4 LE BATIMENT ET SON TOIT COMME NŒUD SOCIO-HYDRIQUE (USA-CANADA).....	131
5.5 SYNTHESE : PLANIFICATION URBAINE/ TERRITORIALE ET ASSEMBLAGE SOCIO-METABOLIQUE ?.....	139
6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES	143
6.1 SYNTHESE	143
6.2 TROIS QUESTIONS SOCIETALES CLES SOULEVEES PAR LES TRANSITIONS BAS CARBONE URBAINES	152
6.3 TRAVAUX EN COURS	154
TABLE DES FIGURES	160
TABLE DES TABLEAUX.....	161
BIBLIOGRAPHIE	162
PLAN DETAILLE	179

Introduction

Définir une méthodologie adaptée à une problématique, construire le corpus, produire et démontrer des résultats constituent les compétences du cœur de métier de chercheur. Quelles compétences supplémentaires sont nécessaires pour diriger des recherches ?

La direction de projet consiste à planifier et coordonner des actions de collaborateurs visant un résultat défini, connu et mesurable. Cependant, la direction d'une recherche diffère de celle d'un projet industriel ou de construction : les résultats ne sont pas connus et sont pluriels. Chaque chercheur impliqué doit être en mesure de produire ses propres résultats en sus de résultats communs. La direction d'une recherche oscille de facto entre la cohésion du collectif de chercheurs, l'apprentissage de la recherche par les éventuels doctorants ou jeunes chercheurs et l'avancement de ses propres objectifs scientifiques.

Outre un aperçu chronologique des sujets de recherches menées depuis le début de mon doctorat en géographie et aménagement, le premier volume de ce dossier en vue de l'habilitation à diriger des recherches présente les projets de recherche que j'ai dirigés, mes activités d'encadrement doctoral et d'animation scientifique, mes principaux enseignements, la direction de formations et ma contribution à des conseils de laboratoire, d'UFR, de pôles de recherche, de COMUE et de réseau scientifique. Les publications rassemblées dans le troisième volume illustrent mes contributions à l'aménagement de l'espace et à l'urbanisme, mes approches théoriques critiques et les thématiques investiguées depuis mon entrée en doctorat.

Ce second volume complète ces éléments de preuve. Méthodes bibliométrique et généalogique d'exploration de littérature scientifique, capacité de synthèse, méthodes de recherche interdisciplinaire, conduite d'enquête collective, mobilisation de concepts relatifs à la dimension spatiale, capacité à décliner problématique et méthodologie sur des terrains variés (en Europe et en Amérique du nord) sont les compétences de direction de recherches que j'ai tenté de porter à la connaissance du lecteur dans ce second volume.

Très occupé par la co-direction d'un gros projet de recherche transdisciplinaire et de multiples responsabilités, j'ai saisi l'opportunité de l'écriture pour peaufiner une notion heuristique élaborée dans une précédente recherche : *l'assemblage de nœuds socio-énergétiques* et pour la positionner dans les champs de recherche s'intéressant aux transitions bas-carbone urbaines.

La notion de *nœud socio-énergétique* (NSE) a émergé au cours du montage d'un projet de recherche sur les systèmes énergétiques novateurs réalisés dans des écoquartiers français (Debizet (dir), La Branche et Forest 2013; Debizet et Blanchard 2015; Debizet 2016). Elle a permis aux chercheurs de plusieurs disciplines des sciences sociales d'analyser les évolutions en cours des relations entre (lieux de) production et (lieux de) consommation : discuter d'un objet commun, construire un corpus partagé, croiser les points de vue et produire des résultats scientifiques ensemble bien sûr mais aussi séparément, chacun au sein de sa discipline de prédilection.

Plusieurs champs de recherche analysent les transitions énergétiques visant à réduire les émissions de carbone des villes, là où se concentre la consommation d'énergie. J'ai retenu le

champ des *Études urbaines* qui correspond assez bien au champ de l'urbanisme pour lequel je sollicite cette habilitation et le courant des *Sustainability Transitions Studies* qui a attiré à lui des chercheurs de disciplines variées depuis une dizaine d'années et a connu un essor rapide.

Ce mémoire ne défend pas une thèse : il ne commence pas par une hypothèse qu'une méthodologie ad hoc confronterait à la littérature scientifique et à l'épreuve de terrains. Il ne peut donc pas faire la preuve d'une aptitude à démontrer avec efficacité des résultats ; démonstration que les revues exigent déjà. Ainsi, une même affirmation peut être démontrée à plusieurs reprises dans ce mémoire, tandis que d'autres ont déjà été étayées dans des publications.

La notion heuristique d'*assemblage socio-énergétique* a déjà été et est utilisée par des chercheurs de mon entourage pour répondre à des problématiques différentes. En tant que chercheur, mon objectif est d'élargir le cercle des utilisateurs de la notion. Il importe bien sûr d'établir des rapprochements, des comparaisons avec d'autres notions proches qui émergent dans des fronts de recherche internationaux pointus sur l'analyse fine des mutations des systèmes sociotechniques urbains mais les connaissances sur ce sujet progressent tellement vite que je préfère mener de telles revues de littérature avec une perspective d'écriture d'un article précis. Cet exercice était de toute façon peu compatible avec l'attendu d'un mémoire de HDR en termes de couverture d'un spectre large de connaissances et de notions.

Compte tenu du temps limité consacré à la rédaction de ce mémoire, j'ai privilégié¹ deux orientations. D'une part, améliorer ma connaissance des productions des deux champs de recherche en relation avec le sujet des « transitions bas-carbone » et l'objet des « systèmes énergétiques urbains ». D'autre part, mettre à l'épreuve la notion à partir d'autres terrains que ceux sur lesquels elle avait déjà été utilisée : le faire à partir de mes travaux permet en outre de donner à voir la diversité de mes questionnements, des terrains investigués et des modalités partenariales de recherche. Il en résulte un mémoire composé de cinq chapitres.

Le premier chapitre concerne le courant de recherche international des *Sustainability Transition Studies* et expose sa principale approche : l'approche multi-niveaux (*'Multi-level Perspective'* en anglais, *MLP*). Il vise à qualifier le courant sur le plan épistémologique : ce qui en fait l'essence (la théorie économique évolutionniste) et ces rapprochements potentiels avec la proposition d'assemblage socio-énergétique (la théorie de l'acteur-réseau). Il s'achève par le constat d'une forte prépondérance des échelles nationale et mondiale.

Le second chapitre se penche sur les dimensions spatiales des transitions bas-carbone en mobilisant la littérature scientifique internationale. Ancré dans le courant des *Sustainability*

¹ Ayant choisi de ne pas détailler dans ce mémoire ma trajectoire de recherche personnelle, j'en livre ici quelques éléments. J'ai débuté mon activité de chercheur pour épancher le besoin personnel de comprendre comment la modélisation des transports fermait les débats politiques autour de projets d'infrastructures de mobilité. Comprendre le rôle des expertises techniques dans la fabrique urbaine motive nombre de mes travaux mais cet objectif n'en constitue pas l'unique fil-directeur. Mes objets de recherche ont été divers, des transports aux bâtiments puis à l'adaptation au changement climatique, au gré des opportunités, des collaborations et de mes intuitions de recherche. J'ai ainsi mis des connaissances, que ma formation pluridisciplinaire m'aidait à produire, à disposition des chercheurs de ma discipline sans m'engager durablement dans les sous-communautés thématiques si ce n'est celle des activités et des métiers de l'aménagement et de l'urbanisme.

transitions studies (STS), le sous-courant de la *geography of transitions* est exploré afin de repérer les principaux questionnements qu'il soulève. Consacrée aux transitions énergétiques ou bas-carbone urbaines, la seconde section s'éloigne du courant des *STS* et explore les travaux des *Urban studies* consacrés aux systèmes sociotechniques urbains. Reprenant l'entrée paradigmatique de ce mémoire (la mobilisation in situ des énergies renouvelables en ville), la section pointe les réseaux urbains et la remise en cause de leurs fondamentaux.

Le troisième chapitre 3 présente la notion de *nœud socio-énergétique* et celle d'*assemblage* et décrit leur origine. La généalogie de la seconde est exposée : pistant les versions anglophones et francophones du terme « assemblage » au sein du courant de l'acteur-réseau, elle remonte jusqu'à « l'agencement » de Deleuze et Guattari (1980). Après avoir souligné la distinction entre *réseau* et *système* énergétiques, le chapitre décrit ensuite le contexte et la méthodologie recherche interdisciplinaire pour laquelle la notion de *NSE* a été « inventée », précisément la recherche *Ecoquartier Nexus Energie* que j'ai coordonnée.

Le quatrième chapitre expose trois résultats de la recherche *Ecoquartier Nexus Energie*. L'analyse des assemblages caractéristiques des principaux vecteurs énergétiques présents dans les villes éclaire des processus spatiaux entre niches et régimes. La notion de *proximité* est ensuite mobilisée pour qualifier les modalités de mobilisation des ressources énergétiques in situ et d'approvisionnement exogène. Enfin, la dernière section consacrée aux scénarios prospectifs de transition énergétique en ville illustre l'apport de la notion d'*assemblage* aux questions clés de la gouvernance du réseau électrique et des trajectoires de la transition. L'ensemble nourrit le débat scientifique sur le rôle des villes dans les transitions bas-carbone (Geels 2011 ; Castan Broto et Maassen 2011).

Le cinquième et dernier chapitre retrace des travaux personnels et collectifs au prisme de la notion d'*assemblage socio-énergétique*. Les quatre expériences et monographies choisies portent sur des activités de la planification urbaine mais chacune selon un angle spécifique. De la métropole grenobloise et ses territoires périphériques aux villes nord-américaines en passant par le canton de Fribourg en Suisse, ce chapitre révèle la position des bâtiments dans le métabolisme énergétique et hydrique urbain et l'étroite marge de manœuvre des villes sur les dimensions énergétiques du secteur de la construction et sur la gouvernance de l'électricité.

La conclusion synthétise les apports de la notion d'*assemblage socio-énergétique*, souligne des questions clés pour le futur et expose les recherches que j'entends mener dans les prochaines années.

1 L'approche multi-niveaux et les transitions durables

Dans un article de la revue *Research Policy* (F. W. Geels 2002), Frank Geels pose les bases de l'approche multi-niveaux (*Multi Level Perspective - MLP*) pour l'analyse de ce qu'il qualifie alors de « transitions technologiques ». Ces dernières n'impliquent pas seulement des changements technologiques mais aussi des « changements de pratiques des utilisateurs, de régulation, de réseaux industriels, d'infrastructures ainsi que de culture et sens symboliques »². Ce n'est pas la première fois, loin de là, que technologie et société sont présentées comme imbriquées : Hugues (1983) décrivait précisément l'imbrication entre le déploiement du réseau électrique et les évolutions socio-économiques en Amérique du nord. Un peu plus tard, Akrich (1989) soulignait la « redéfinition » réciproque entre une nouvelle technologie et le monde qui à la fois l'accueille et la construit. En revanche, cet article pose pour la première fois trois niveaux (niche, paysage et régime) dans l'étude des transitions, chacun imbriquant différemment les dimensions sociales et techniques.

Dans cet article de 2002, le rapprochement avec le changement climatique et la durabilité n'est pas effectué même si Geels avait connaissance des travaux précurseurs de Kemp et d'autres (Kemp, Schot et Hoogma 1998) avec qui il avait coopéré pour le ministère de l'environnement des Pays-Bas (F. Geels et Kemp 2000). L'approche *McfLP* a donné naissance à un courant scientifique international appelé *Sustainability Transitions Studies*. Nous ne traduirons pas cette expression dans la suite de ce mémoire : elle sera selon la nécessité utilisée in extenso en italique *Sustainability Transitions Studies* ou *STS*, les deux expressions désignant le courant de recherche.

Après avoir défini la *MLP* sur la plan conceptuel, ce chapitre se penche sur son épistémologie avec un accent sur les dernières transformations qui peuvent expliquer son rapide succès et l'émergence d'un véritable courant de recherche internationale dont l'ambition est d'éclairer les politiques, notamment d'innovation technologique, face au défi climatique.

Ce chapitre est suivi d'un focus sur les questions spatiales et urbaines au sein du courant des *STS* (chapitre 2) afin de mieux positionner la proposition d'assemblage socio-énergétique (chapitre 3).

1.1 Définition de la MLP

Dans un article de référence des *Sustainable Transitions*, Geels and Schot (2007) définissent ainsi l'approche multi-niveaux :

« The multi-level perspective argues that transitions come about through interactions between processes at these three levels: (a) niche-innovations build up internal momentum, through learning processes, price/performance improvements, and support from powerful groups, (b) changes at the landscape level create pressure on the regime and (c)

² Traduction par mes soins de « changes in user practices, regulation, industrial networks, infrastructure, and symbolic meaning or culture »

destabilisation of the regime creates windows of opportunity for niche-innovations. The alignment of these processes enables the breakthrough of novelties in mainstream markets where they compete with the existing regime. “

Ils distinguent trois niveaux de temporalité croissante (figure 1-1) :

- les niches où émergent les nouveautés technologiques radicales à l’abri des acteurs dominants du marché ;
- le régime sociotechnique dont les groupes d’intérêts, les utilisateurs et les décideurs politiques partagent un modèle de développement technologique dynamiquement stable combinant leurs préoccupations, des régulations et des normes ainsi que des styles de vie s’adaptant aux systèmes techniques ;
- le paysage sociotechnique qui constitue l’environnement exogène au régime, dans le sens où il n’est pas directement influencé par les niveaux niches et régime : il est empreint de modèles culturels, macro-économiques et macro-politiques.

Increasing structuration
of activities in local practices

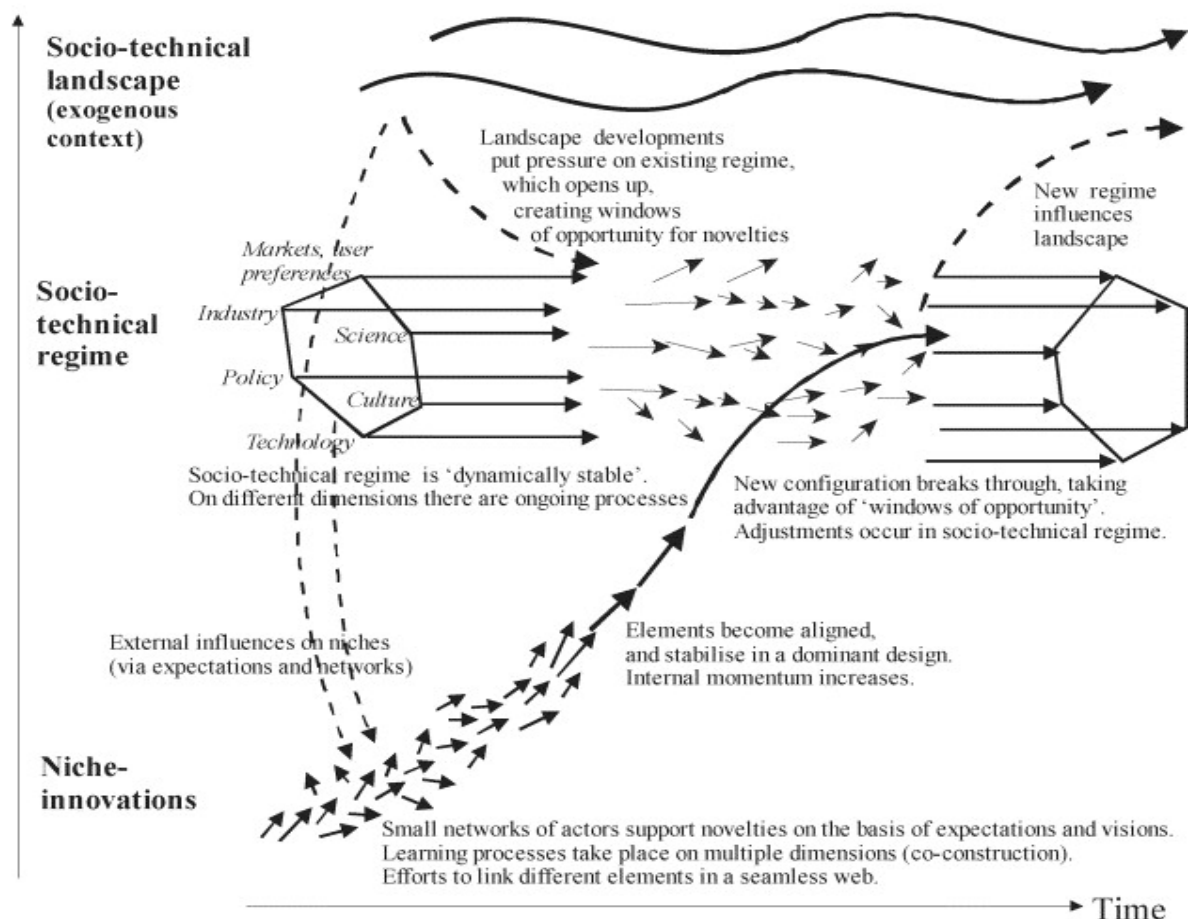


Figure 1-1 Multi Level Perspective, source Geels and Schot 2007

L’approche multi-niveaux constitue le principal concept heuristique du courant de recherche des *Sustainability Transitions Studies*. Dans un article largement cité scrutant pas moins d’une

centaine d'articles scientifiques, Markard, Raven et Truffer (Markard, Raven et Truffer 2012) pointent une multitude de problèmes environnementaux plus ou moins liés au changement climatique et aux conséquences sociales et économiques lourdes, et relèvent le besoin de transformations de grande ampleur en matière d'infrastructures, de financement, d'institutions ainsi que de style de vie et de pratiques des utilisateurs. Ils considèrent que les innovations incrémentales portées par les systèmes sociotechniques établis ne suffiront pas pour relever les défis de la durabilité : ils identifient un florilège de courants et de notions plus ou moins récents tout en plaçant les transitions sociotechniques au centre. Liant la plupart des notions mobilisées, l'approche multi-niveaux est au cœur des *Sustainability Transitions Studies* qui, pour autant, ne se limite pas à un courant appliquant cette approche. Cette nuance est très importante car ce champ émergent accueille d'autres notions.

Nous verrons en effet plus loin que l'approche multi-niveaux est amplement discutée. Cela a conduit leurs auteurs à ajuster sa définition : les débats scientifiques se poursuivent, y compris par la présente contribution.

1.2 Génèse de la MLP

Tracer la généalogie d'un concept est une mission intrinsèquement délicate et ambitieuse. La circonscrire à un champ de recherche réduit le périmètre d'investigation et introduit de nouveaux questionnements sur les frontières de ce champ. Nous allons néanmoins esquisser cette généalogie tout en reconnaissant les limites scientifiques de cet exercice.

Selon Markard, Raven et Truffer (2012), la MLP découle de travaux relatifs aux *Technological Transition* et *Strategic Niche Management*.

Les niches sont définies comme des espaces protégés au sein desquels une innovation pourrait émerger et amorcer son déploiement (Kemp, Schot et Hoogma 1998). Dans ces niches, même si des tâtonnements et des processus d'apprentissage sont nécessaires aux premiers déploiements de l'innovation, cette dernière peut être compétitive par rapport à des technologies établies (F. Geels et Raven 2006). L'approche *Strategic Niche Management* conceptualise la trajectoire de l'innovation dans cet espace protégé dynamique.

Son acception originelle est basée sur l'observation des politiques de R&D des États ou de grandes entreprises qui cherchent à créer un espace protégé dans lequel des innovations considérées comme bénéfiques au développement du pays ou de l'entreprise vont pouvoir se déployer. Kemp, Schot et Hoogma (1998) la définissent ainsi :

« *the creation, development and controlled phase-out of protected spaces for the development and use of promising technologies by means of experimentation, with the aim of (1) learning about the desirability of the new technology and (2) enhancing the further development and the rate of application of the new technology* »

Cette définition suppose comme le nom l'indique une stratégie portée par un acteur. Kemp et al. (1998) identifient 5 phases : le choix de la technologie, la sélection des expériences, leur mise au point, le changement d'échelle - qui suppose une extension de l'espace protégé – et la

fin de l'espace protégé, soit parce que l'innovation a trouvé sa place sur le marché soit parce qu'elle a déçu.

Nous le voyons, l'approche *Strategic niche management* alimente un point de vue descendant du déploiement de l'innovation. Plusieurs auteurs ont tenté de relativiser ce point de vue. C'est le cas de Geels et Raven (2006). En amont, l'innovation relève de projets individuels concrets et nécessairement situés, les divergences et convergences entre les acteurs impliqués dans ces projets et les facteurs de succès ou d'échecs du projet. Ensuite, l'innovation entame son déploiement dans une niche qui marque le passage du local au global au sens de Law et Callon (Law et Callon 1992) : le local engage des acteurs directement impliqués dans le projet ; le global caractérise des acteurs distants du projet mais qui lui apportent des ressources qui vont engendrer un espace favorable au sein duquel les acteurs du projet vont pouvoir travailler. Cependant cet ordonnancement peut être inversé : par exemple dans le cas de connaissances partagées par une communauté préexistante et dont les membres se coordonneraient pour mener des expérimentations, Geels et Raven évoquent même des projets portés par des communautés jointives mais sensiblement différentes s'épaulant les unes et les autres. Les niches – correspondant à ces communautés – sont instables et dispersées avant de devenir articulées et stables. Une trajectoire technologique émergente se construit par la série de projets locaux novateurs et l'élaboration et le partage de règles à un niveau global. Les objectifs peuvent changer au cours de la trajectoire du fait des apprentissages et de l'implication de nouveaux acteurs dans la construction de la niche. Le déploiement de l'innovation est clairement non linéaire. Mais, c'est aussi du fait des obstacles du - ou des - régimes.

Venons-en donc aux transformations de régime ainsi qu'au paysage.

La notion de *Technological Transition* découle de l'évolutionnisme, théorie économique issue des travaux de Schumpeter. Selon Geels (2002), Nelson et Winter (1982) posent la notion de *Régime technologique* pour expliquer l'inertie des technologies établies ; le cycle de destruction créatrice (Schumpeter 1939) ferait émerger une nouvelle combinaison caractéristique du nouveau régime technologique. En fait des travaux plus récents ont mis en évidence l'imbrication entre technologies et société : le courant de l'approche Acteurs-Réseaux dont John Law, Madeleine Akrich, Michel Callon et Bruno Latour sont les figures de proue. Le changement sociotechnique est un processus d'association ('Assemblage' dans la version originelle en anglais de Latour (2007)) mobilisant les réseaux des acteurs – humains et non humains- qui y contribuent : un changement d'un élément peut déclencher le changement d'un autre. Le régime est alors qualifié par l'adjectif *sociotechnique* et non plus *technologique*.

Le débat scientifique s'est ensuite focalisé sur l'opposition entre niche et régime. La première privilégiant un ensemble de changements incrémentaux comme nous l'avons vu, le second un état stable – mais néanmoins dynamique - qui ne peut changer que massivement. La notion de *Transition management* reprend la classique courbe en S de la diffusion des innovations (Rogers, éditions de 1965 à 2003) et associe (figure 1-2) les deux niveaux, niche et régime ainsi que le niveau paysage ('landscape') (Rotmans, Kemp et van Asselt 2001).

Figure 4 A transition is the result of long-term developments in stocks and short-term developments in flows

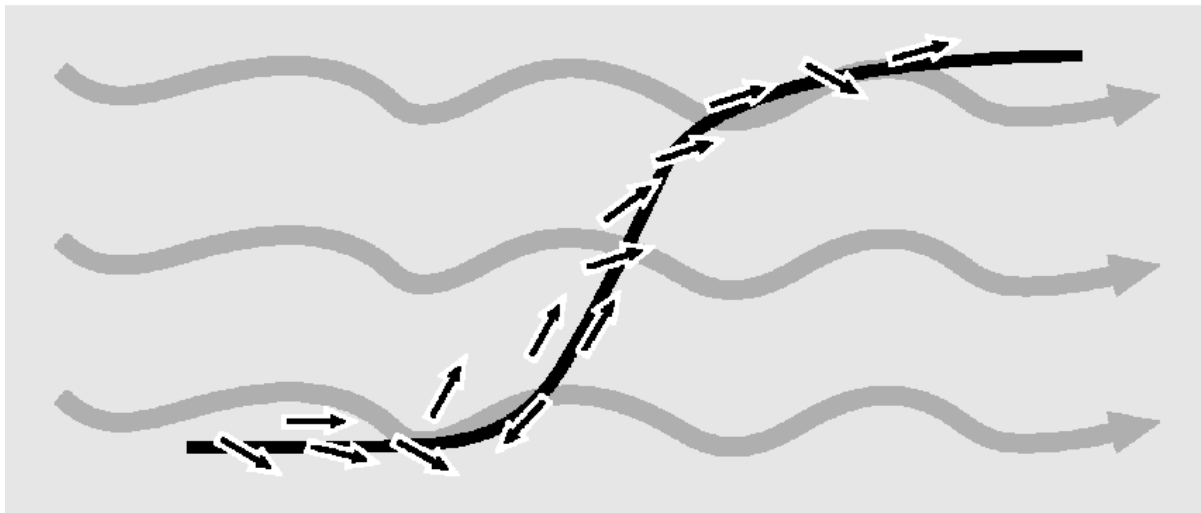


Figure 1-2 Première superposition des niveaux niches régimes et paysage sur un même schéma. Source : Rotmans, Kemp and van Asselt 2001)

La notion de *paysage sociotechnique* était déjà portée par Kemp dans un article écrit avec Rip (Rip et Kemp 1997) : le *paysage* est constitué de parties d'une transformation globale ('overall') d'une société : il relève de la dimension anthropologique ou socioculturelle ce qui le distingue du *régime* qui lui inclut les infrastructures matérielles. Cette notion de paysage considère la technologie comme une part des transformations sociétales et non comme un stimulant extérieur comme le montraient les travaux de Soerensen (1991) sur les attributs symboliques de l'automobile dans la société norvégienne (liberté, démocratie, masculinité) au cours de la seconde partie du 20ème siècle : ces attributs symboliques alimentent ensemble une idéologie. Reprenant les notions déjà travaillées de *regime* (Rip 1995) et *technological regime* (Kemp et al. 1994), Rip et Kemp (1997) affirment :

Regimes are intermediaries between specific innovations as these are conceived, developed, and introduced, and overall sociotechnical landscapes.

Ce faisant les deux auteurs reprochent à l'approche *strategic management niche* de promouvoir un changement technique légitimé par ses bénéfices à court-terme et long-terme. Cela ne suffit pas selon eux à relever le défi du changement climatique – perspective dans laquelle s'inscrit leur chapitre. Ils suggèrent, en revanche, de s'appuyer sur la compréhension de la nature et des dynamiques de développement technologique qui relèvent de la notion - socio-culturelle - de paysage sociotechnique.

Par la suite, Rotmans, Kemp et van Asselt (2001)³ élargissent les éléments constitutifs du paysage :

³ On notera que l'énergie est une préoccupation déjà importante, l'étude de cas de l'article est consacrée à la transition énergétique majeure du XXème siècle.

“relates to material and immaterial elements at the macro level: material infrastructure, political culture and coalitions, social values, worldviews and paradigms, the macro economy, demography and the natural environment.”

Pour eux, le régime relève du fonctionnement et non de la transformation :

“relates to dominant practices, rules and shared assumptions ... the interests, rules and beliefs guide private action and public policy - for the most part geared towards optimising rather than transforming systems.

Enfin, la niche est le domaine des variations et des déviations par rapport au statu quo (du régime) :

relates to individual actors and technologies, and local practices. At this level, variations to and deviations from the status quo can occur, such as new techniques, alternative technologies and social practices.

Les auteurs en appellent non pas au *strategic niche management* mais au *transition management*. Il ne s’agit pas de réaliser une transition spécifique qui améliorerait un système existant mais de travailler à une transition plus générale qui offre des bénéfices collectifs à explorer de façon ouverte et dont les objectifs doivent être ré-évalués régulièrement.

1.3 Mise au point de la MLP

S’appuyant sur le cas approfondi du passage, de la voile à la motorisation, de la marine marchande (F. W. Geels 2005), Geels discute dans un article publié dans *Research Policy* accepté en décembre 2001 (2002) le concept évolutionniste des *Technological transitions* (Nelson et Winter 1982) en exposant ce qu’il appelle « *multi-level perspective* » comme cadre analytique et heuristique pour comprendre les *Technological transitions*. Il remet en cause la vision évolutionniste qui considère le régime comme un ensemble de relations stables que les innovations développées dans les niches menaceraient. Constatant l’essor du transport maritime de passagers au 19^{ème} siècle, il souligne que ce sont des lacunes du régime de la marine à voile (notamment en termes de fiabilité des délais) face aux transformations du paysage (les migrations massives de l’Europe à l’Amérique du nord alors que la marine marchande ne concernait auparavant que le fret) qui ont ouvert une fenêtre d’opportunité pour les bateaux à vapeur. Autrement dit, ce sont des acteurs établis du régime qui ont été les moteurs de cette transition technologique. Le paysage (macro) et le régime (meso) jouent donc un rôle essentiel dans la formation de nouvelles configurations au niveau niche (micro) comme l’illustrent les flèches fines noires (figure 1-3).

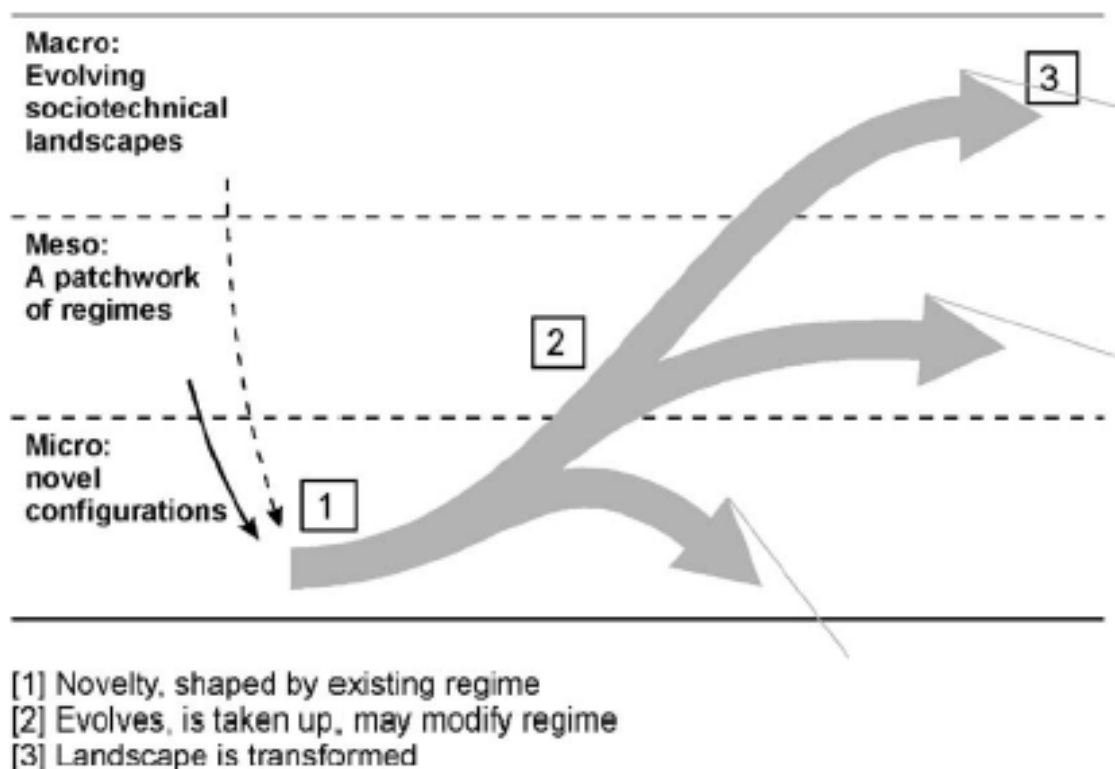


Fig. 4. The dynamics of sociotechnical change (Rip and Kemp, 1996; Kemp et al., 2001).

Figure 1-3 MLP Niveaux paysage et régime agissant au niveau niche Source : Geels 2002

Ce faisant, Geels reconnaît l'importance du paysage comme le firent Kemp et ses coauteurs susnommés mais il souligne le caractère incontournable du régime entre paysage et niche. Plus précisément, les fenêtres d'opportunité du régime - permettant aux nouveautés de sortir de leur niche - résultent de décalages entre le paysage et le régime (cf. flèches pointillées figure 1-3). Il est intéressant de remarquer que les transitions technologiques ne résultent pas du passage ('shift') d'un régime à un autre mais de la congruence de plusieurs passages. Ainsi, Geels affecte le pluriel, non seulement aux niches – que l'on retrouve sur le schéma de 2007 (Geels and Schot, figure 1-1) mais aussi aux régimes. Les transitions technologiques au sens de la théorie économique évolutionniste englobent plus de phénomènes et ont plus d'ampleur que le simple changement d'un régime.

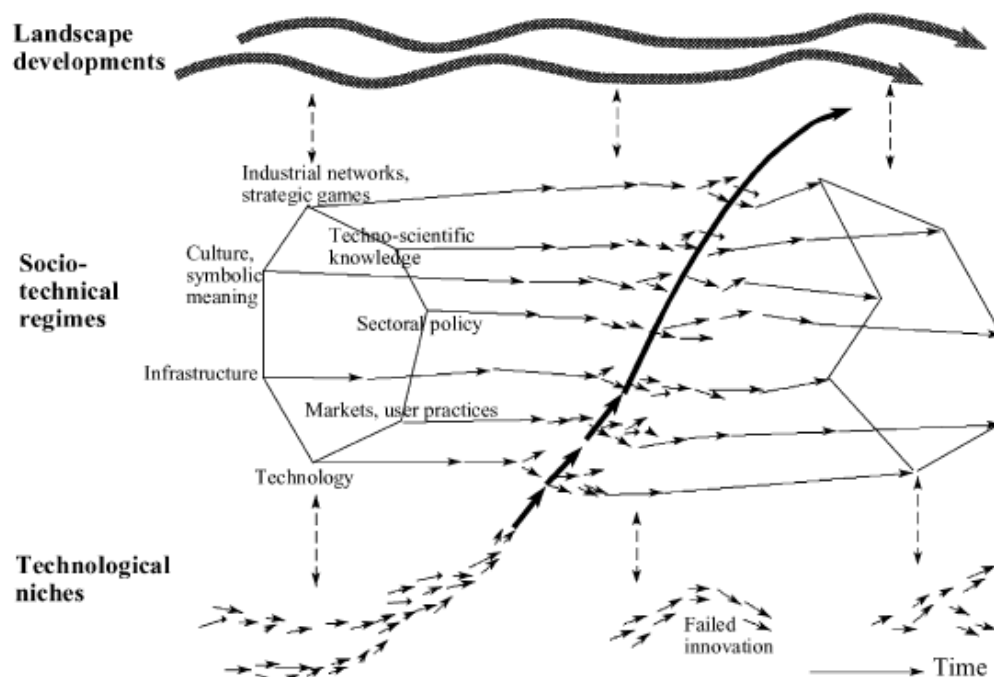


Fig. 5. A dynamic multi-level perspective on TT.

Figure 1-4 MLP relations entre les 3 niveaux (Geels, 2002)

Geels (2002) identifie sept dimensions des régimes, en particulier la dimension ‘Culture, symbolic meaning’ qui relevait seulement du paysage auparavant ; conjointement, il qualifie le régime de « sociotechnique » tandis que les niches restent « technologiques ».

La relation entre régimes est discutée dans un document publié par Berkhout, Smith et Stirling (2004) en tant que ‘working paper’ en juin 2003 et chapitre d’ouvrage en 2004 (Elzen, Geels et Green 2004). Constatant qu’une niche alternative à un régime dominant peut présenter les mêmes caractéristiques que celles définissant un régime⁴, ils soulignent qu’un régime constaté empiriquement peut être une niche d’un régime plus général. Ces auteurs considèrent que les tensions à l’origine des fenêtres d’opportunités ne se limitent pas à celles entre paysage et régime, les tensions entre régimes pouvant être motrices tant pour créer des fenêtres d’opportunité que pour orienter des niches. Ce faisant et utilisant une argumentation que nous ne développerons pas ici, ils dénoncent la trop grande attention accordée à une vision ascendante basée sur le niveau niche : ‘niche-based model’. Ils proposent d’accorder plus d’importance aux effets du paysage sur les régimes et sur les niches, estimant à l’inverse de Geels que le niveau régime impacte peu le paysage (les flèches entre paysages et régimes (figure 1-4) ne sont pas à double sens) et de reconnaître plusieurs niveaux d’agrégation de régimes. Pour l’illustrer, je peux citer le régime « électricité renouvelable » qui est inclus dans le régime « électrique » qui est lui-même inclus dans le régime « énergie ». Les régimes de niveaux inférieurs se trouvant en compétition entre eux : ils citent comme exemple le régime de la photo numérique qui a fini par dominer celui du film chimique ... et la faillite des entreprises Kodak et Polaroid. Ils préconisent trois nouvelles orientations de recherche :

⁴ Par exemple, l’agriculture biologique vis-à-vis du régime agro-industriel basé sur des pesticides.

investiguer la sélection des technologies au niveau des niches et des micro-régimes plutôt que celui du macro-régime (régulation publique...), évaluer les capacités d'adaptation des régimes de façon analytique (et moins descriptive) en portant particulièrement attention aux ressources des acteurs, développer des élaborations pour analyser de façon plus fine les coordinations des changements et les lieux des ressources qui rendent possibles ces changements.

Geels qui a co-dirigé l'ouvrage (Elzen, Geels et Green 2004) contenant le chapitre de Berkhout, Smith et Stirling (2004) tient compte de leurs critiques pour élaborer avec Schot la version quasi-définitive du schéma que nous avons présentée au début de ce chapitre (figure 1-1). Des talents de graphiste ont permis d'aboutir à une représentation graphique du *MLP* qui a probablement facilité son appropriation et sa diffusion. Cette version arbitre et synthétise les débats scientifiques autour de la *MLP*, débats dont nous n'avons présenté qu'une partie dans cette section consacrée à la genèse du concept. Cet article de Geels et Schot (2007) offre une catalyse stabilisée des approches multi-niveaux ; il est le ciment conceptuel des *Sustainability transitions studies*, véritable courant de recherche que nous décrivons dans la section suivante.

L'enjeu principal de cet article n'était plus de débattre du processus d'avènement des *technological transitions* c'est-à-dire de contribuer au front de recherche du *transition management* mais de clarifier la *MLP* et, en particulier, la relation entre le régime et les deux autres niveaux ainsi que les dynamiques internes au sein du niveau régime :

- La relation niche-régime change peu par rapport aux publications précédentes ;
- Les dynamiques d'interactions au sein du régime sont qualifiées : elles s'opèrent entre trois pôles (système sociotechnique, organisations, règles fixées par des institutions) d'une façon analytique et diachronique ;
- L'asymétrie de la relation régime-paysage est reconnue : le paysage exerce des pressions sur le régime qui ouvrent plusieurs des dimensions du régime⁵ ainsi que des fenêtres d'opportunité pour les nouveautés ayant émergé dans des niches ; le nouveau régime peut influencer le paysage mais seulement lorsqu'il est en voie d'être établi.

Ces changements se retrouvent dans la version du *MLP* présentée au début de ce chapitre (figure 1-1).

L'abandon du positionnement dans le champ de recherche *transition management* permet à Geels de s'affranchir des critiques de Berkhout, Smith et Stirling et de leur proposition d'agrégation hiérarchique des régimes. En effet, telle qu'elle est maintenant définie, la *MLP* peut s'appliquer à un quelconque niveau ou nature de régime. C'est à notre avis ce qui permet à la *MLP* sa polyvalence heuristique, c'est à dire applicable à une grande variété de cas de transition comme l'affirme Geels dans une réponse à une critique du *MLP* (F. W. Geels 2011).

Ce dé-couplage de la *MLP* de l'échelle globale des *technological transitions* prive le courant scientifique du *Transition management* d'une relation de réciprocité exclusive avec le concept.

⁵ Geels identifie 5 dimensions du régime sociotechnique : technological, users and market, sociocultural, policy, science. Notons qu'il utilise le terme 'régime' pour désigner ces dimensions, terme qui ne sera pas repris dans le schéma de Geels et Schot (2007).

Il va pouvoir se définir par l'enjeu qui l'avait motivé et non plus se limiter aux grandes transitions technologiques du type de celles traitées par le courant évolutionniste. Ainsi s'esquisse le contour et la finalité d'un courant de recherche désormais appelé *Sustainability Transitions Studies* qui, comme le terme 'studies' l'indique, se définit désormais explicitement par son objet « *Sustainability Transitions* » plutôt que par un concept et des méthodes.

1.4 *Sustainability Transitions studies* : un courant scientifique en essor

Une décennie plus tard, Markard, Raven et Truffer (2012) ont identifié pas moins de 540 publications portant sur des questions en relation avec l'environnement : la raréfaction des ressources naturelles, la pollution de l'air, le risque nucléaire, les événements climatiques extrêmes, les émissions de gaz à effet de serre, etc. Ces phénomènes environnementaux sont eux-mêmes reliés à des questions sociales telles que l'accès à l'eau et à l'énergie, la précarité énergétique, la congestion des systèmes de transports ... Cette longue liste repose sur une définition large de la durabilité. Les auteurs caractérisent les *sustainability transitions* comme des transformations à long terme et multidimensionnelles qui modifient les systèmes sociotechniques établis vers des modes de production et de consommation plus soutenables.

Sustainability transitions are long-term, multi-dimensional, and fundamental transformation processes through which established socio-technical systems shift to more sustainable modes of production and consumption. (Markard, Raven et Truffer 2012)

Le terme "sustainability" prête à interprétation. La définition du développement durable donnée dans le rapport Brundtland laisse de vastes possibilités d'arbitrage entre les trois piliers : économie, social, environnement. Comme la liste d'enjeux énoncés ci-dessus l'illustre, "sustainability" ne se limite pas à la lutte contre le changement climatique même si cet enjeu occupe une place majeure parmi les publications : essentiellement son volet atténuation. De même, les termes production et consommation apparaissent peu discriminants puisque la production couvre dans la plupart des sociétés l'essentiel des activités économiques (si l'on intègre les fonctions supports au sein et auprès des organisations) et que la consommation de biens est essentielle à toutes les activités humaines y compris hors de la sphère professionnelle.

En revanche, la mention des "sociotechnical system" réduit le périmètre. Encore que cela dépende du registre correspondant à cette expression. Les auteurs publiant dans ce champ comme Markard, Raven et Truffer positionnent cette expression dans un héritage conceptuel autour de plusieurs notions, elles-mêmes en mouvement : *régime sociotechnique* et *niche* ainsi que les notions qui les ont précédées : *technological transition*, *transition management*, *strategic niche management* que nous avons exposées dans les sections précédentes. Ils y ajoutent *Technological innovation system*, ce courant de l'économie portant sur l'analyse des systèmes nationaux d'innovation qui, comme *technological transition* (Dosi et al. 1988; Freeman 1988) est issu de la théorie économique évolutionniste (Schumpeter 1939; Nelson et Winter 1982).

Une délimitation plus précise du champ de recherche s'impose pour en mesurer non son périmètre – ce qui serait non seulement vain mais surtout incompatible avec la nécessaire perméabilité de la production scientifique – mais sa dynamique et son impact.

Le réseau de recherche *Sustainability Transitions Research Network* (STRN) fédère le courant de recherche des *STS*. La définition de son objet est sensiblement plus large que celle décrite par Markard, Raven et Truffer.

*Sustainability transitions are long-term transformation processes of established **industries**, socio-technical systems and **societies** to more sustainable modes of production and consumption.*⁶

Remarquons aussi que les termes ‘fundamental’ et ‘shift’ sont retirés. ‘Shift’ a plusieurs traductions en français : mouvement, passage, décalage. Le retrait de ces deux termes peut être interprété comme un élargissement du périmètre à des transitions moins marquées par une rupture ou un basculement paradigmatique. Enfin, le focus sur les systèmes sociotechniques est étendu aux industries et aux sociétés ; cela élargit considérablement le périmètre du courant des *STS* bien au-delà des objets technologiques. Nous pouvons notamment faire l’hypothèse que le courant s’ouvre aux transitions socio-écologiques.

Le réseau dispose d’une revue : *Environmental Innovation and Societal Transitions* (EIST) dont le premier numéro a été créé en 2011. Elle⁷ s’intéresse aux innovations et aux transitions socio-économiques qui visent à développer une économie durable sur le plan environnemental et à résoudre des problèmes de raréfaction des ressources et des impacts environnementaux, notamment ceux liés à l’usage des énergies fossiles et au changement climatique. La *MLP* n’est pas citée et ‘niche’ et ‘regime’ le sont parmi une longue liste d’autres notions. La revue ne privilégie pas de notion de l’innovation ni de la transition. Il n’y a pas matière à faire une épistémologie.

L’influence de la revue *EIST* s’est accrue très rapidement. 5 ans après sa création, les articles publiés en 2015 et 2016 ont été cités en 2017 en moyenne 5,3 fois : ce qui correspond à un facteur d’impact élevé voire très élevé. Nous pouvons raisonnablement faire l’hypothèse que le courant de recherche des *Sustainability transitions* est en expansion rapide et ne se limite pas à la revue de son réseau scientifique.

Une recherche bibliométrique récente⁸ faisait apparaître 358 références scientifiques dont le titre contient à la fois l’expression “sustainability transition” dont 242 entre 2006 et 2017. Au cours de la décennie, l’occurrence annuelle a été multipliée par 8 contre 5 pour les deux mots placés séparément dans le même titre (figure 1-5) ce qui laisse supposer que l’expression complète est porteuse d’un sens supplémentaire à celui d’une simple association des deux mots.

Occurrence	Année	2006	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	2017
Expression													
« Sustainability Transition »		5	8	11	11	18	12	12	29	29	24	40	43
« Sustainability » et « Transition »		21	26	46	50	60	53	58	77	79	68	78	97

⁶ Site internet du réseau STRN <https://transitionsnetwork.org/about-strn/> consulté le 27 juillet 2018

⁷ Page du réseau STRN consacrée à la revue EIST : <https://transitionsnetwork.org/journal-environmental-innovation-and-societal-transitions/> consultée le 23 juillet 2018.

⁸ Recherche menée le 27 juillet 2018 via google scholar

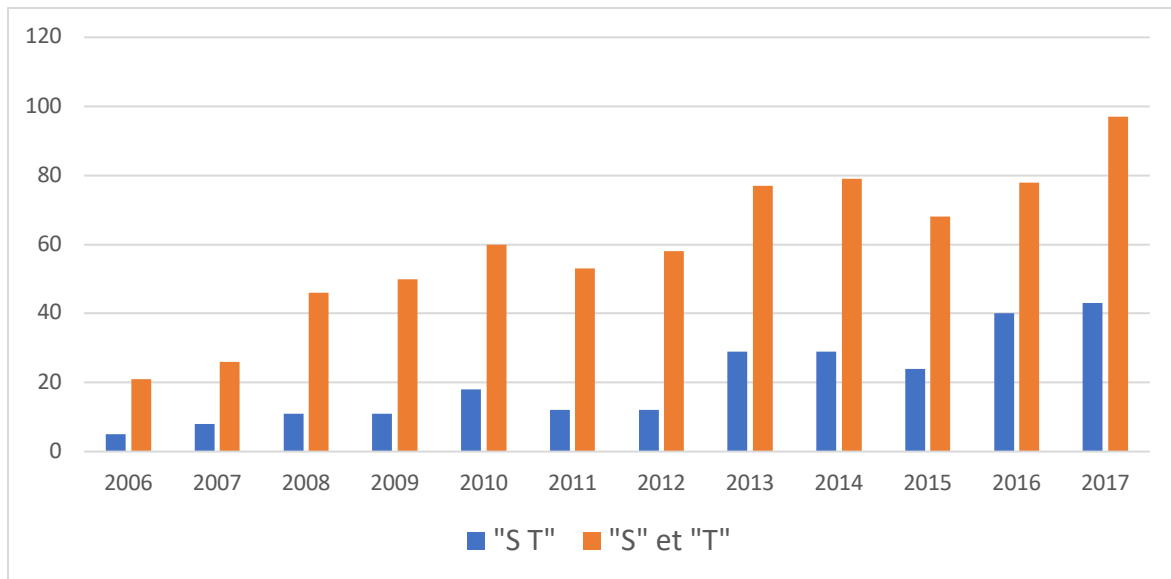


Figure 1-5 Nombre de références google scholar contenant "Sustainability transition" ou "sustainability" et "transition" dans le titre Source : Debizet et google scholar le 27 juillet 2018)

Ce sens supplémentaire relève-t-il du registre scientifique ?

La réponse se trouve dans l'article de Markard, Raven et Truffer (2012). Ces trois auteurs ont recensé dans la base de données Scopus des revues à comité de lecture couvrant largement le domaine des sciences sociales – 1950 articles contenant dans le titre, en mots clés ou dans le résumé les expressions “MLP” (en acronyme ou pas) ou l’une des quatre notions dont ce concept résulte : “strategic niche management”, “technological innovation system”, “technological system”, “transition management”. Ils ont ensuite repéré les 20 contributions les plus citées et dénombré les citations cumulées annuelles de ces 20 publications après filtrage par mots-clés caractéristiques de la soutenabilité ou de la nature fondamentale du changement conformément à la définition de l’expression « sustainability transition » énoncée en début de cette section.

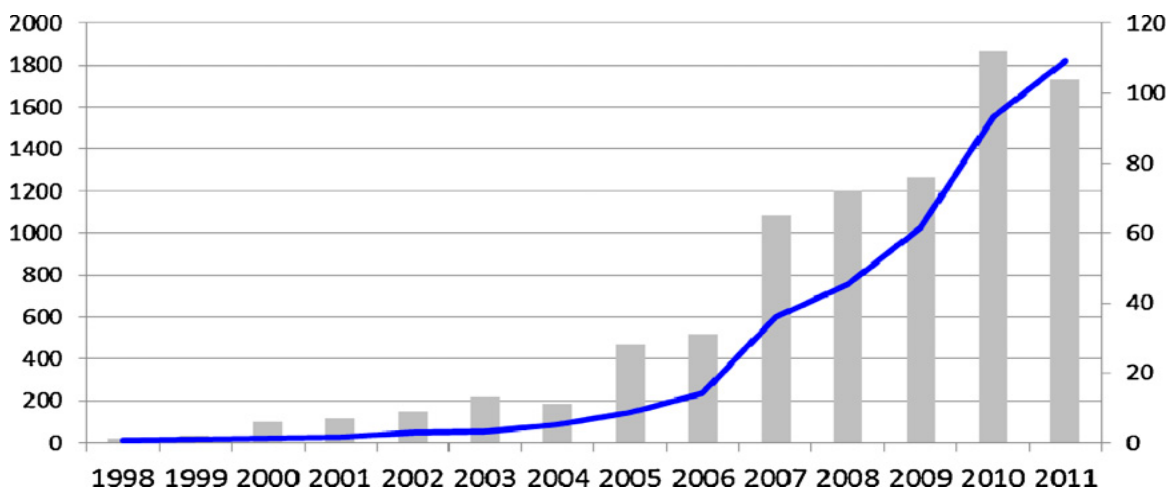


Figure 1-6 Nombre annuel de citations (ligne et échelle de gauche) et d'articles (colonne et échelle de droite) source Markard et al. 2012

Cette sélection basée sur les concepts épistémologiques du *MLP* menée par Markard, Raven et Truffer révèle une multiplication par 4 du nombre d'articles et par 9 des citations entre 2006 et 2011, alors que ma sélection basée sur les expressions « sustainability » et « transition » ne progresse que d'un facteur 2 à 3 (figure 1-6). Même si la base est différente (Scholar / Scopus), je peux en conclure que les notions scientifiques liées au MLP se sont diffusées plus rapidement que les termes « sustainability » et « transition » qui sont des sujets normatifs.

Les revues dans lesquelles ces papiers ont été publiés apportent une indication sur les thématiques traitées (figure 1-7).

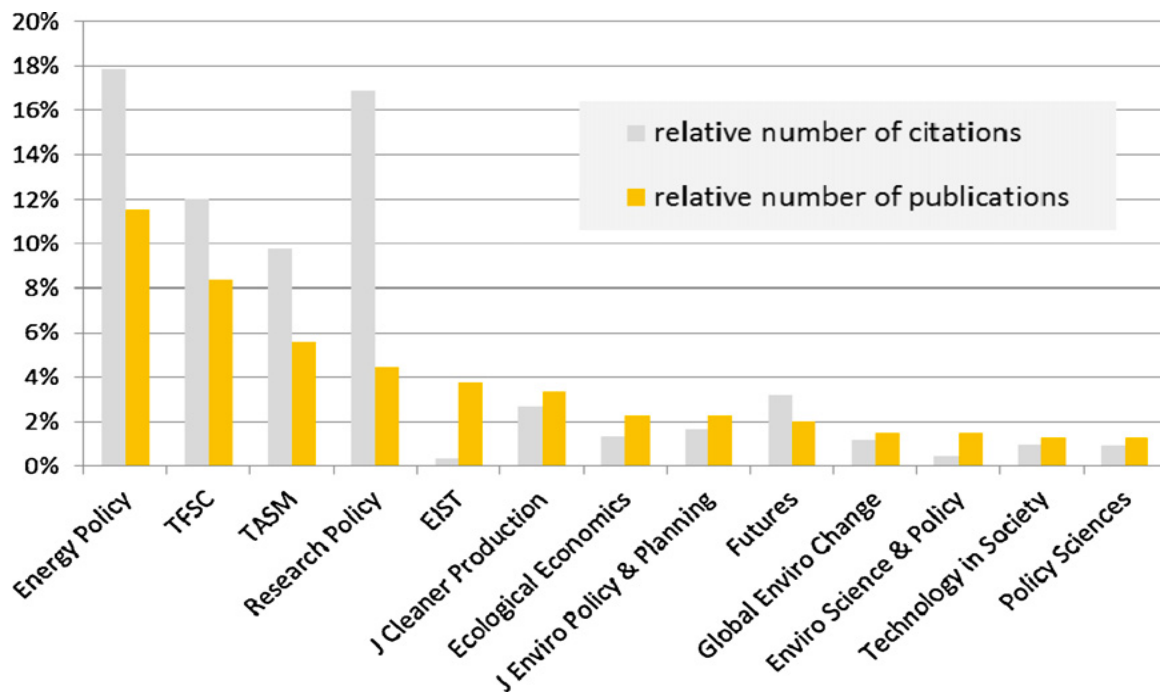


Figure 1-7 Principales revues mobilisant les concepts originels des Sustainability transitions studies, Source Markard et al. 2012

L'énergie prend une part importante des articles et des citations. L'abondance de revues d'économie et de gestion⁹ laisse supposer une part importante de ces disciplines dans le courant scientifique. En outre, les auteurs observent que plusieurs articles du courant des *STS* figurent dans le top 10 des revues Research Policy, TFSC, TASM et Energy Policy, c'est dire la place des *STS* dans les recherches en sciences sociales et plus spécifiquement celles consacrées aux technologies et à l'énergie.

L'analyse textuelle des 1950 articles a porté aussi sur les échelles géographiques (figure 1-8). 56% des articles sont rattachables à une échelle géographique : l'échelle nationale est largement prépondérante (2/3 des articles mentionnant une échelle géographique), celle planétaire suit nettement derrière (près de 1/6). Les échelles régionale et urbaine sont très minoritaires (1/10^{ème}).

⁹ Technological Forecasting and Social Change (TFSC), Technology Analysis and Strategic Management (TASM)

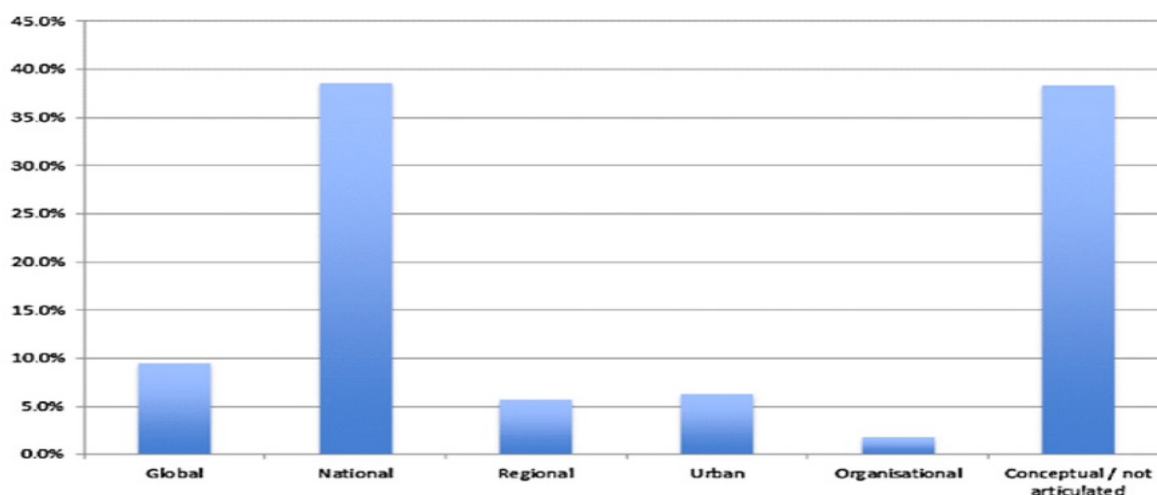


Figure 1-8 Echelles géographiques des articles du champ des STS, source Markard, Raven, Truffer 2012

La faiblesse des échelles régionales et urbaines nous interroge sur le traitement de la dimension spatiale dans les travaux du champ des *STS*. La présente description de la genèse de la *MLP* ne mentionnait pas de vocabulaire usuellement associé aux questions spatiales. J’ai même souligné le dés-ancrage du *MLP* par rapport à l’échelle globale chère au courant des *Technology transitions*. Le *MLP* est un concept apparemment a-spatial.

Cependant, les mentions ‘Regional’ et ‘Urban’ laissent supposer de possibles contributions à ce courant, certes très minoritaires, de géographes et urbanistes. Qu’en est-il ? Quelles critiques et quelles propositions formulent-ils ? Les chercheurs en urbanisme mobilisent-ils le *MLP* dans leurs analyses des transitions durables ou bas-carbone ? Nous consacrons le chapitre 2 qui suit à ces questions.

Avant de clore ce chapitre, récapitulons page suivante ce qu’il nous enseigne dans la perspective d’alimenter ou de discuter la proposition d’assemblage socio-énergétique/métabolique qui est au cœur de ce manuscrit ... et pas seulement parce qu’elle est exposée dans le troisième des cinq chapitres.

Enseignements du chapitre 1

Le concept de *MLP* est principalement issu du courant des *Technological transitions* qui découle de la théorie évolutionniste (Schumpeter, 1939) : il en est, notamment, de la notion de régime (Nelson et Winter, 1982) et de celle de niche ; le sous-courant des *Strategic niche management* visant à analyser la façon dont les États et des firmes intègrent dans leurs politiques de R&D des espaces de marchés protégés au sein desquels les innovations peuvent commencer leur déploiement.

J'ai cependant mis en évidence les apports d'un autre courant dans l'élaboration finale de la *MLP* : celui de la théorie des acteurs-réseaux. Ainsi, au début des années 2000, l'adjectif '*sociotechnical*' se substitue à l'adjectif '*technological*'. Cette évolution ne se limite pas au vocabulaire. Primo, les composants du régime sont diversifiés : au-delà des infrastructures, technologies, marchés et firmes, la culture et le réseau d'acteurs (au sens de l'ANT) sont ajoutés sur les figures représentant la *MLP*. Secundo, sans être précisément définie, l'expression « système sociotechnique » est introduite : elle englobe les ex-composants infrastructures et technologies et une partie le plus souvent non-définie des composants susnommés. Enfin, signe de cette imbrication entre social et technologie chère à l'ANT, les niches sont présentées comme des configurations.

Une rupture majeure pourrait expliquer – à mon avis - le succès du *MLP* et du courant des *STS*. Geels et Schot (2007) sortent par le haut du débat scientifique sur la distinction entre niches et régimes en affirmant qu'un régime sociotechnique peut être la niche d'un régime sociotechnique englobant le premier. Ce faisant, ils coupent le lien organique entre le régime sociotechnique du *MLP* et le courant des *Technological transitions* qui était focalisé sur les transitions technologiques globales (celles observées par l'économie évolutionniste). Ainsi, la *MLP* va pouvoir être utilisée pour étudier des transitions d'ampleur très modeste. Qui plus est, cette coupure prive le sous-courant scientifique (évolutionniste) du *transition management* (Rip, Kemp, Stirling...) d'une relation de réciprocité exclusive avec la *MLP*. Les chercheurs de ce sous-courant adoptent, comme affichage commun, l'enjeu de 'sustainability' qui englobe le problème - planétaire - du changement climatique, celui qui motivait leur investissement scientifique. Ainsi, fut fondé le courant des *STS* qui a connu un essor fulgurant depuis 2006.

Au-delà des aspects logistiques et institutionnels indispensables à un courant scientifique (création d'une revue et d'un réseau de chercheurs), la dernière évolution sémantique expliquant ce succès du courant des *STS* a été l'élargissement du champ des objets étudiés : les industries et les sociétés ont été ajoutées aux systèmes sociotechniques.

Ceci étant dit, le lien épistémologique avec la théorie évolutionniste pèse encore sensiblement si l'on en juge par la focale mise sur les objets techniques – et en particulier liés à l'énergie – et sur la forte prépondérance des échelles nationales et planétaires ('global') dans les publications recensées par les animateurs du réseau *STS*... à moins que cela ne s'explique par la méthode utilisée – centrée sur des concepts évolutionnistes - pour repérer les articles. De toute façon, même cette dernière hypothèse confirme le poids du lien épistémologique du courant évolutionniste dans celui des *Sustainability transitions studies*.

2 Approches spatialisées des transitions durables et énergétiques

Comme nous l'avons vu (figure 2-8), les échelles urbaine et régionale apparaissent très peu dans les publications du courant des *STS*. L'échelle nationale prédomine largement quand une échelle institutionnelle ou géographique est mentionnée (Markard et al., 2012). Cela n'est pas surprenant compte tenu de l'origine du courant : il s'intéresse aux politiques – généralement nationales – d'accompagnement de l'innovation jusqu'à leur insertion dans le « marché », politique théorisée sous l'appellation *strategic niche management* et *transition management*. Ce n'est donc vraisemblablement pas la nation au sens géographique dont ses publications traitent mais de l'État national régulateur et acteur. La *MLP* - que j'ai présentée au chapitre précédent - ignore l'espace. Elle offre une conception a-spatiale du déploiement des innovations.

Ayant observé des innovations dans leur terrain d'émergence ou d'adoption, des voix se sont levées pour préconiser des méthodes participatives : les arènes de développement (Jørgensen 2012), les laboratoires de transition urbaine (Nevens et al. 2013), les dialogues constructifs intégrés à la gouvernance urbaine (Smedby et Neij 2013) qui s'opposent aux actions descendantes visant à créer des niches, des espaces de marché protégés qui découlent du *strategic niche management* et de la *MLP*. Moins radicalement critiques, d'autres travaux, pointent la difficulté voire l'impossibilité à décrypter la relation niche-régime sans considérer les dynamiques sociopolitiques et le rôle “of space and place” : la combinaison de niches de régimes différents en un même territoire (Raven et Verbong 2007), la force des acteurs et collectifs urbains (Michael Hodson, Marvin et Bulkeley 2013; Bulkeley, Broto et Maassen 2014) ou l'action des gouvernements locaux pour amender le régime (Quitau et al. 2013a; Debizet et al. 2016a) et, comme nous le verrons plus loin, la force de la diversité et de la densité d'acteurs humains et non-humains en ville.

Les exemples ne manquent pas : mais impossible de livrer ici la finesse des discussions sur tel ou tel point comme le ferait un article contribuant à un front de recherche. Mon intention est plutôt de dresser un panorama des questions relatives à la spatialité dans le champ des *STS* et de sérier les points clés dans un contexte urbain. L'extension d'un courant scientifique dans une direction approfondie (*'geography of transitions'*) et le développement par combinaison d'un front de recherche induisent des épistémologies différentes. La méthode de reconstitution d'une généalogie doit s'adapter tant à l'épistémologie qu'aux voies qu'elle a empruntées.

Je développe donc les deux sections de ce chapitre de façon très différente. Approfondissement d'une thématique des *STS* et objet de la première section, la géographie des transitions est dressée à partir d'une analyse matricielle de cinq appels largement reconnus au sein du courant. Dans la deuxième section consacrée à la transition énergétique urbaine comme objet de recherche, je déroule une pelote de la mobilisation des énergies renouvelables aux réseaux puis des réseaux aux marges de manœuvre des acteurs urbains vis-à-vis des régimes. Enfin, une synthèse pose les principaux enseignements de ce chapitre : certains fixeront le cadre d'analyse des chapitres suivants, d'autres seront repris en conclusion.

1.1 Une géographie des transitions ?

Que disent les géographes à propos du *MLP* ? Quelles dimensions géographiques promeuvent-ils dans les STS ?

Ce chapitre relève de l'état de l'art : il dresse un panorama des thématiques et des questionnements portés par les géographes se revendiquant du courant des *STS*. Mon objectif est de cerner les propositions portées par les géographes. Je trierai plus tard (à partir du chapitre 3) les questionnements auxquels la notion d'assemblage socio-énergétique peut répondre.

Plusieurs appels à intégrer les dimensions géographiques dans le champ des *STS* ont été lancés peu après le double mouvement - décrit dans le précédent chapitre - de stabilisation de la *MLP* et d'institutionnalisation du courant de recherche (création de l'association et d'une revue). Quelques-uns ont été largement entendus et ont suscité un front de recherche que certains ont appelé "*Geography of transitions*". Analyser ces appels publiés entre 2012 et 2015 est un moyen rapide de repérer avec une relative exhaustivité les questions qui préoccupent le front de recherche. Il ne s'agit pas, pour autant, de relater avec précision ces débats et de prendre position. Je réserve ces discussions détaillées à la rédaction d'articles compte tenu de la rapidité des évolutions dans ce champ émergent.

Cinq appels couvrent de larges dimensions géographiques : ils s'adressent à la communauté des *Sustainable transitions studies*, aux géographes ou aux urbanistes (tableau 2-1).

Auteurs <i>Titre article</i>	Revue <i>année</i>	Cible de la revue Type d'appel	N°
Coenen, Lars, Paul Benneworth, and Bernhard Truffer <i>Toward a Spatial Perspective on Sustainability Transitions</i>	<i>Research Policy</i> 2012	Sciences humaines et sociales N° spécial consacré aux <i>Sustainability Transitions</i> Différenciation géographique	1
Truffer, Bernhard, and Lars Coenen <i>Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies</i>	<i>Regional Studies</i> 2012	Sciences régionales Présentation de champ de la <i>Geography of transitions</i> , appel à contributions et annonce de la création du journal EIST	2
Coenen, Lars, and Bernhard Truffer <i>Places and Spaces of Sustainability Transitions: Geographical Contributions to an Emerging Research and Policy Field</i>	<i>European Planning Studies</i> 2012	Planning Introduction au n° spécial éponyme Reprise des critiques adressées aux STS par des urbanistes et géographes, pistes de questionnement au sein des STS	3
Truffer, Bernhard, James T. Murphy, and Rob Raven <i>The Geography of Sustainability Transitions: Contours of an Emerging Theme</i>	<i>Environmental Innovation and Societal Transitions</i> 2015	Revue du courant des STS Introduction au n° spécial consacré à <i>Geography of Sustainability Transitions</i>	4
Hansen, Teis, and Lars Coenen <i>The Geography of Sustainability Transitions: Review, Synthesis and Reflections on an Emergent Research Field</i>	<i>Environmental Innovation and Societal Transitions</i> 2015	Revue du courant des STS Revue de littérature pour le n° spécial consacré à <i>Geography of Sustainability Transitions</i>	5

Tableau 2-1 Cinq appels de la 'Geography of transitions'

Le petit nombre d'auteurs traduit une concentration des initiatives : trois des auteurs ont été des pionniers du courant des STS (Coenen, Raven et Truffer) et sont largement reconnus comme tels. Les réponses à ces appels ont été plus pointues et donc, par leur diversité, plus hétéroclites. Il est encore un peu tôt pour repérer avec fiabilité celles qui creuseront le sillon de nouveaux débats scientifiques. Mon objectif était de dresser un large panorama exploratoire. Pour autant, il convenait de sérier des points féconds caractéristiques des questionnements géographiques relatifs à l'énergie. J'ai donc investigué ces cinq appels à partir du cadre sémantique proposé par Bridge, Bouzarovski, Bradshaw et Eyre : 'Geographies of Energy Transition: Space, Place and the Low-Carbon Economy' paru dans *Energy Policy* en 2013¹⁰.

¹⁰ Appel de références (Coenen, Benneworth et Truffer 2012; Truffer et Coenen 2012; Coenen et Truffer 2012; Truffer, Murphy et Raven 2015; Hansen et Coenen 2015; Bridge et al. 2013)

1.1.1 Méthodologie de l'analyse des appels à explorer la géographie des *sustainability transitions*

Pour analyser ces propositions à plat c'est à dire sans hypothèses heuristiques - si ce n'est celle de considérer que les auteurs des appels maîtrisent les enjeux et les questions géographiques ainsi que le courant de recherche – j'ai procédé de la manière suivante :

- Construction d'une matrice croisant les niveaux et les relations du *MLP* et les notions géographiques d'analyse des *sustainability transitions* (Bridge et al. 2013) ;
- Positionnement dans la matrice des perspectives de recherche proposées dans les cinq appels ;
- Synthèse des principales thématiques et discussion.

Un des articles portant sur la géographie des transitions les plus cités¹¹ propose six notions pour évaluer les implications géographiques de la transition vers une économie bas-carbone. Réunis en séminaire de 2009 à 2011, quatre scientifiques de la géographie humaine de différentes universités du Royaume-Uni (Bridge et al. 2013) ont retenu : '*location*', '*landscape*', '*territoriality*', '*spatial differentiation*', '*scaling*' et '*spatial embeddedness*' :

- '*Location*' que je traduis par *localisation* peut s'entendre de manière absolue (la latitude et la longitude) mais c'est surtout de façon relative et dynamique que ce terme prend tout son sens puisque le développement d'infrastructures de transport plus rapides rapproche les lieux qu'elles desservent et ce faisant éloigne des lieux non desservis par ces transports : le rail, les routes et les grandes voies maritimes ont modifié les localisations relatives. Les politiques bas-carbone ont des effets sur la localisation relative des activités et des populations.
- '*Landscape*' (*paysage*) décrit l'assemblage de fonctions naturelles et culturelles à travers un large espace ainsi que l'histoire de leur production et de leurs relations. Le paysage énergétique associé aux équipements de capture, de conversion, de distribution et de consommation d'énergie change avec une économie bas-carbone : par exemple des équipements visibles de production ou de conversion concernent désormais des espaces ruraux où ils suscitent souvent des oppositions.
- '*Territoriality*', qu'une première intuition me conduit à traduire par *territorialité*, décrit la façon dont est organisé et exercé le pouvoir social et politique d'un espace. Tous les systèmes énergétiques sont constitués spatialement mais ils sont territorialisés différemment dans le temps. Par exemple, les îlots électriques locaux ont changé de territorialité lorsqu'ils ont été intégrés dans un réseau national. Trois dimensions caractérisent la territorialité des réseaux d'énergie : la contiguïté et la connectivité - qui peuvent être denses ou dispersées - et la centralisation qui qualifie le degré de concentration des décisions (investissement, fourniture ...) par une même entité.
- '*Uneven differentiation*' que nous traduisons par *inéquité spatiale*. Les *localisations*, *paysages* et *territorialités* liées à la transition bas-carbone engendrent de nouveaux modèles de développement qui vont différencier l'espace. Elles créent ou accroissent

¹¹ (421 google scholar au 28 juillet 2018)

des inégalités spatiales alors que l'achèvement des grands réseaux (électrique, eau potable...) dans les pays occidentaux avaient effacé des inégalités de contiguïté et de connectivité des espaces (Coutard et Rutherford 2015).

- '*Scaling*' décrit l'aire d'extension d'un phénomène, par exemple d'une technologie. Mais, considéré comme un verbe, '*scaling*' signifie l'extension d'aire. '*Scaling*' peut aussi concerner l'exercice du pouvoir : l'échelle d'action exercée par une organisation. '*Scaling*' désigne donc autant l'extension spatiale que l'échelle relative à un système : je la traduis par *scalarité* au sens dynamique de changement – ou pas - d'échelle.
- '*Spatial embeddedness*' (*imbrication spatiale*) relie les spatialités du capital immobilisé dans les infrastructures et celles des cultures territorialisées de consommation propre à un vecteur énergétique : sont notamment citées les normes sociales de fiabilité elles-mêmes associées aux pratiques de consommation d'énergie apportées par ce vecteur. Cette imbrication explique les sentiers de dépendance généralement constatés par les observateurs du déploiement des innovations comme des freins ou des obstacles.

Pour ces auteurs, considérer les transitions comme des processus géographiques change le point de vue sur l'importance des questions à poser. Les six notions constituent des points d'entrée pour investiguer les transitions. Recensons maintenant les points clés, les pistes de recherche des géographes des *STS* en les positionnant dans une matrice qui croisent ces notions avec les niveaux et inter-niveaux de la *MLP* (tableau 2-2). J'ai retiré la colonne « Paysage » et les lignes « Paysage » et Régime-paysage » car elles étaient vides : aucun des cinq appels ne proposaient d'items relatifs à la notion géographique de *Paysage* ou au niveau de la *MLP Paysage* ou à la relation *Régime-Paysage*.

Le chiffre entre parenthèses correspond au numéro (1 à 5) de l'appel (tableau 2-1). La lettre entre parenthèses correspond à quelques articles importants cités dans ces appels (F. Geels et Deuten 2006; Crouch et Voelzkow 2009; Karnøe 1999; Dewald et Truffer 2012; Carvalho, Mingardo et Haaren 2012), respectivement de (a) à (e).

Niveau	Imbrication	Territorialité	Localisation	Différenciation	Échelle
Régime		Variation du régime selon les territoires (1) Configurations retranchées et stables (2) (car fortes proximités)			
Niche-Régime	Noeud local et réseau global ' <i>Local node and global network</i> ' (1) Processus de configuration sociotechnique et leur imbrication spatiale (2) (4) Système d'innovation technologique (3)	Co-influence entre le RST et le mode d'accumulation (2) Régions et ville comme régulatrices et 'managers de transition' (2) (5) Proximité spatiale et non-spatiale (5)	Disponibilité de ressources (5)	Uniformité du marché accélère déploiement (1) Pertes et gains comme obstacles (4) Inéquité spatiale (1) Stratégies des institutions régionales (5)	Noeud local et réseau global (1) Inter-localization socio-cognitive changes transform regime by actors operating across multiple scales (1) Acteurs transcalaires (1) Villes et PME promotrices de la durabilité (2) (d, e) Système d'innovation technologique (3) (Dés-)alignement (3)
Niche		Concentration locale de connaissance et capacités (1) Proximités comme avantage de l'apprentissage collectif (2) Rôle du local (c) (1) (a) Territorialisation relationnelle, lutte des places (3)	Disponibilité de ressources (5)	Variété de relations territorialisées comme atout pour portage innovation radicale (1) (b)	
Paysage-Niche		Culture et styles de vie, réseau (4)			Rôle des institutions informelles (5)

Tableau 2-2 Positionnement des appels *Geography of transitions* dans la matrice notions géographiques / niveaux MLP

1.1.2 Résultats : territorialité et relation niche-régime au cœur – attendu - de la géographie des transitions

Commençons par porter notre attention sur les absences. Le niveau *paysage* et la relation entre *régime* et *paysage* ne semblent pas faire l'objet de questionnements géographiques. Une hypothèse serait que le niveau *paysage* – essentiellement socio-culturel (cf. chapitre 1) - serait intrinsèquement a-spatial. Cela ne signifie pas que le socio-culturel n'est pas spatialisé ou l'objet de dynamique spatiale ; cette absence peut s'expliquer par le courant évolutionniste qui focalise son attention sur les questions – y compris socio-culturelles – globales, celles qui accompagnent la formation de marchés mondiaux. Les notions géographiques *paysage* et *localisation* occupent une place marginale dans les enjeux scientifiques pointés par les appels à la prise en compte de la géographie. Peut-être sont-elles incluses dans les autres notions géographiques.

Finalement, alors que la matrice contenait 6x6 cases, deux axes accaparent l'essentiel des pistes de recherches suggérées (tableau 2-2). La relation *niche-régime* de la MLP mobilise la plupart

des notions géographiques. La *territorialité* traverse plusieurs des niveaux et inter-niveaux de la *MLP*. Analysons cela plus en détail.

Poids de la territorialité → relativité de la distinction niche et régime

L'exploration des cinq appels (tableau 2-1) a fait surgir une première difficulté : aucun des termes "territoriality", "territorial" ou "territory" n'est utilisé dans les appels. Le terme "place" est parfois utilisé pour désigner ce que nombre de géographes francophones appellent *territoire*, mais le plus souvent il n'est pas chargé de sens : ce pourrait être un lieu topologique statique que Bridge et al. appellent "location" (cf. supra).

La deuxième difficulté tient à la signification que Bridge et al. (2013) donne au mot "territoriality" : « *la façon d'organiser et d'exercer le pouvoir social et politique dans un espace* », définition empruntée à l'ouvrage qui traite de la façon dont les États organisent le pouvoir à l'heure de la globalisation (Brenner et al. 2008). Dans un premier temps, j'ai scruté les propositions des cinq appels en utilisant cette définition. Le résultat était mince. Cette définition de "territoriality" renvoie au contrôle du territoire dans un sens politico-juridique ou éthologique. Elle est en vigueur dans la géographie anglo-saxonne (Debarbieux 1999; Del Biaggio 2016) alors que le terme « territorialité » en français a connu une évolution importante au sein de la géographie francophone : Raffestin désignait « territorialité » comme « *un système de relations qui dépend de la variation de la quantité d'information dans un territoire donné* » (Raffestin 1986). La richesse des débats scientifiques a diversifié les objets de la notion : la territorialité serait caractérisée par « *les actions, les pratiques, les mobiles, les intentions, les ressorts, les genèses, les histoires particulières, et les attendus cognitifs qui accompagnent la production et/ou la construction des territoires* » et le territoire serait « *une forme circonscrite et repérable, ajustable et modelable, multiscale et multiculturelle* » qui associe l'inscription dans l'espace des processus sociaux et l'effet de l'espace dans ces processus (Vanier 2008, 12). L'espace du territoire n'est plus « donné » et de multiples dynamiques le (territoire) construisent. Et, pour revenir à Brenner, le pouvoir n'est plus, loin de là, la seule question. Ces raisons m'ont conduit à substituer la définition de *territoriality* proposée par Bridge et al. par une définition synthétique de *territoire* donnée par Debarbieux dans Levy and Lussault (2013) : « *agencement de ressources matérielles et symboliques capable de structurer les conditions pratiques de l'existence d'un individu ou d'un collectif social et d'informer en retour cet individu et ce collectif sur sa propre identité* ». La collecte des items dans cinq articles fut alors sensiblement plus riche (Tableau 1-1).

Cette moisson de trois aspects spécifiques à un territoire (région, ville, communauté, collectif...) mérite un approfondissement :

- les apprentissages, car ils sont favorisés par la proximité spatiale mais aussi cognitive ou organisationnelle (Truffer et Coenen 2012; Boschma 2005; Coenen et Díaz López 2010), la concentration des connaissances et de capacités étant inégalement répartie dans l'espace et les territoires (Coenen et Truffer 2012).
- le rôle des institutions comme une Région ou une Ville en matière d'animation de la transition (Truffer et Coenen 2012) ainsi que de régulation (Coenen et Truffer 2012). Notons que le rôle des associations et des entreprises est évoqué pour les relations transcalaires (cf. infra).

- les spécificités socio-culturelles, de style de vie ou bien encore d'accumulation du capital qui vont constituer une niche plus ou moins marquée et plus ou moins sensible à des évolutions au niveau *paysage* (Truffer, Murphy et Raven 2015).

Les territoires intéressent les géographes contributeurs des *STS* comme des espaces habités où se rêvent des transitions et au sein desquels émergent et se déploient les innovations durables. Ils appellent à comprendre comment le sociotechnique s'imbrique avec le socio-spatial pour former des niches dans lesquelles prennent corps les innovations sociotechniques.

Dans leur introduction, les éditeurs du numéro spécial de la revue *Environmental Innovation and Societal Transitions* de 2015 consacré à la géographie des *STS* (Truffer and Coenen, 2012b) appellent aussi à étudier les luttes et les transformations de pouvoir. Les dynamiques de transition peuvent être étudiées comme une lutte des places ('place-making') – un processus multiscalair, réticulaire et spatial imposant une vision ou visant à contrôler ses déclinaisons (Longhurst 2015; Murphy 2015). Nous retrouvons la question du pouvoir dans cette lutte des places ; les auteurs s'attachent à ces dynamiques.

Enfin, les mêmes auteurs suggèrent de considérer les variations des régimes selon les territoires et envisagent même des territoires retranchés qui disposent de leur propre régime. In fine, cette approche territoriale des *STS* confirme la relativité de la distinction niche-régime. Nous l'avons évoquée dans le chapitre 1 sous le prisme de filières et sous-filières énergétiques (Berkhout, Smith et Stirling 2004) : une sous-filière pouvant correspondre à un régime ou à une niche selon que l'on étudie la transition respectivement de la sous-filière ou de la filière complète. Elle l'est aussi selon l'échelle spatiale observée : un régime établi dans un territoire peut être une niche à l'échelle d'un territoire plus grand qui l'englobe. Notons aussi qu'il est admis que les éléments (socio-culturels, style de vie ...) du niveau *paysage* puissent varier selon les territoires. La notion de *paysage* de la *MLP* pourrait elle aussi être attachée à un territoire.

Finalement, même fondée sur une ontologie plate (« agencement des ressources... »), la notion de *territoire* – bien que peu mobilisée dans la littérature des *STS* – nous a permis de condenser et de relier les différents aspects évoqués dans cette sous-section. C'est dire la pertinence que cette notion pourrait avoir dans le champ des *STS*.

Imbrication entre socio-spatial et sociotechnique au cœur de la relation niche-régime

La relation niche-régime constitue l'autre axe principal de notre analyse croisée des niveaux *MLP* et des notions géographiques au sens de Bridge et al. (Bridge et al. 2013). L'imbrication entre phénomènes socio-spatiaux et sociotechniques est largement soulignée : l'analyse socio-spatiale est décrite comme peu contournable pour comprendre la relation niche-régime (Truffer et Coenen 2012; Truffer, Murphy et Raven 2015). Au-delà de ce constat qui ne peut surprendre les géographes qui s'intéressent à l'innovation, je relève trois grandes pistes à approfondir :

- Les activités trans-scalaires de certains acteurs. La fonction d'animation de la transition que les Régions ou les Villes assurent sur leur territoire (Truffer et Coenen 2012), s'inscrit non seulement dans une stratégie qui tient compte d'autres échelles géographiques mais s'avère complétée par des actions à des échelles supra (Hansen et Coenen 2015). De même, des entreprises promouvant la durabilité sur un territoire relaient ou déploient leurs activités dans d'autres territoires (inter-scalaire) et/ou à

d'autres échelles territoriales (trans-scalaires) (Carvalho, Mingardo et Haaren 2012; Dewald et Truffer 2012). Il en est ainsi des associations environnementales ou citoyennes et des collectifs informels (Murphy 2015).

- L'alignement d'une niche avec des configurations locales ou régionales. Le co-alignement de processus conduits parallèlement dans plusieurs territoires (régions, villes, communautés voire ménages) et l'alignement d'une niche ou d'un Technological Innovation System (TIS) avec des structures institutionnelles locales ou régionales préparent un alignement à l'échelle nationale ou globale qui peut mener à un changement du régime. (Truffer, Murphy et Raven 2015). Ces auteurs partent du constat de Murphy selon lequel regarder comment les interactions socio-spatiales rendent possibles des alignements émergents est plus pertinent que d'observer les caractéristiques structurelles d'un régime. C'est ainsi que l'on peut comprendre le degré de compatibilité d'une innovation produite dans une niche (ou un TIS) avec un régime sociotechnique en extension ou en transformation (Murphy 2015). Murphy l'explique par le fait que les proximités spatiales facilitent et accélèrent les processus de légitimation et de construction de la confiance (comme Dupuy et Torre dans (Pecqueur et Zimmermann 2004).
- Nœud local et réseau global. L'analyse des systèmes d'innovations technologiques (TIS, tableau 2-1) échoue à prendre en compte la spécificité des territoires sur lesquels elle observe l'émergence et le déploiement des innovations ; l'analyse des niches dans les *MLP* aussi. Coenen et al. (Coenen, Benneworth et Truffer 2012) préconisent d'étudier les nœuds articulant le local et le global, c'est à dire qui occupent des positions privilégiées dans les réseaux internationaux de transition et qui réciproquement contribuent au processus de transition dans des territoires particuliers. Ils citent l'ouvrage de Bulkeley et al. (Bulkeley, Castán Broto et Maassen 2014) et un article de Hodson et Marvin (Mike Hodson et Marvin 2010) pour illustrer en quoi les villes sont des terrains où l'on peut observer facilement les synergies et les obstacles entre différentes transformations sociotechniques. La capacité des villes à développer simultanément leurs ressources et à accéder et orienter des ressources à d'autres échelles spatiales en font des terrains privilégiés pour l'analyse des transitions. Encore une fois, l'on retrouve dans cette dialectique global/local une question fondatrice des approches scientifiques dites « territoriales » (Moulaert et Sekia 2003; Crevoisier 2010).

Cela justifie que nous nous focalisions la suite de cette revue de littérature sur les villes. Mais, auparavant il convient d'énoncer un dernier enseignement de cette revue des cinq articles appelant à des contributions de géographes aux *STS*. Des comparaisons internationales (Crouch et Voelzkow 2009) ont mis en évidence qu'une forte régionalisation politique (par opposition à une centralisation) constituait un atout pour l'émergence d'innovations radicales variées ainsi que l'instauration de réformes et d'innovations institutionnelles (Coenen, Benneworth et Truffer 2012). Il y a donc matière à s'intéresser aux territoires non seulement parce qu'ils forment les niches qui demain transformeront les régimes vers le bas-carbone mais aussi parce qu'ils constituent un réservoir de diversité sociotechnique pour les transitions.

1.2 Transitions bas-carbone ou durables urbaines

Rassemblant plus de la moitié de la population mondiale, hébergeant plus des trois quarts de la production de richesse, les villes consommaient déjà en 2005 plus des trois quarts des flux matériels et de l'énergie produite sur la planète (Swilling et al. 2014). L'attractivité et la croissance des villes se poursuit : les agences onusiennes estiment qu'elles rassembleront près des trois quarts des dix milliards d'habitants de la planète en 2050 (UN-Habitat 2008; United Nations 2017). La double question des modes de consommation et de la façon dont les biens consommés sont produits est essentielle. Elle se pose non seulement en termes de satisfaction des besoins humains mais aussi de limitation des impacts environnementaux, deux grands objectifs du développement durable.

Le changement climatique n'est pas le moindre des aspects. À l'échelle d'une ville comme de bien d'autres territoires, les effets du changement climatique posent problème : il renforce des risques existants ou ajoute de nouveaux risques. Cela a conduit la communauté internationale à viser une stabilisation puis une réduction des émissions de gaz à effet de serre comme l'a définie la COP21 en 2016. Nous avons vu (chapitre 1) que l'ampleur des changements à opérer est telle qu'elle remet en question les fondements de notre développement : une transition sociétale est nécessaire tant l'énergie est au cœur des activités humaines (cf. *transition management* chapitre 1) et a suscité le développement du courant des *STS* que j'ai décrit dans le premier chapitre. L'échelle planétaire du phénomène du changement climatique n'est sans doute pas étrangère à la mobilisation des économistes évolutionnistes qui se sont intéressés conjointement aux transitions technologiques (*technological transitions*) et à la mondialisation.

Nous avons vu dans la section de ce chapitre consacrée à la géographie des transitions que les villes intéressent particulièrement ce courant de pensée : elles sont considérées comme des niches favorables au déploiement des innovations sociotechniques avant un plus large déploiement. Les villes sont considérées (UN-Habitat) et se considèrent (ICLEI, groupement « C40 » des 40 villes les plus peuplées du monde ou bien encore la convention des maires des villes américaines) comme les clés du développement durable et des lieux où des solutions intégrées peuvent être efficacement mises en œuvre (McCormick et al. 2013) (Bulkeley et al. 2011). Les villes sont à la fois des cibles de la transition et des instruments clés de sa mise en œuvre (Rutherford et Coutard 2014).

Mais de quelle transition parlons-nous ? Existe-t-il un courant de recherche en urbanisme des transitions comme nous l'avons identifié en « géographie des transitions » ? Les expressions «urban sustainability transition», «urban energy transition» et «urban low carbon transition» ont-elles le même sens ?

Après avoir apporté des éléments de réponse à ces questions, nous nous intéresserons aux transitions énergétiques – vers le bas-carbone - urbaines.

1.2.1 Sustainability / sustainable / low carbon / energy transitions : des expressions plus ou moins stabilisées au sein de plusieurs courants de recherche

Dans la section précédente, j'avais analysé les pistes de recherche de la géographie des transitions à partir de quelques appels parus dans la revue du mouvement *Sustainability Transitions Research Network* (STRN) et dans des revues du domaine de l'énergie et de

l'aménagement. Le recensement de tels appels¹² dans la discipline « urbanisme » m'a intuitivement semblé beaucoup plus délicat. Plusieurs expressions anglaises désignent ce que nous appelons la discipline urbanisme en France (“planning“, “city planning“, “town planning“, “urban planning“, “urbanism“) ; il était donc difficile de repérer un éventuel sous-courant de « l'urbanisme des transitions » au sein des *STS* comme je l'ai fait pour la *geography of transitions*¹³.

En tant que lecteur, j'avais repéré un florilège d'articles utilisant l'expression “urban energy transition“, généralement pour désigner l'objet de recherche. Ces articles ne mobilisent pas nécessairement la *MLP* ou ses antécédents épistémologiques. Assez récemment des articles et des ouvrages, notamment l'ouvrage “*Cities and low carbon transitions*“ (Bulkeley et al. 2011) associaient les expressions énoncées dans le paragraphe précédent avec des références à la *MLP* et aux courant des *STS*. D'où l'hypothèse intuitive d'une rencontre récente de deux courants scientifiques. Cette sous-section mobilise une approche bibliométrique afin de valider cette hypothèse et d'affiner le vocabulaire utilisé par la suite.

L'approche bibliométrique a été menée en deux phases. Connaissant l'essor rapide et récent du courant des *STS* (figure 1-5), une analyse chronologique permet d'abord de vérifier l'hypothèse de deux généalogies. Dans la deuxième phase, l'analyse d'occurrence de combinaisons de mots-clés relatifs à la ville et la qualification des transitions permet de repérer d'éventuels concepts caractéristiques de sous-courants ; à défaut, je m'autoriserai par la suite à utiliser des combinaisons de mots-clés avec une relative liberté.

Dans un premier temps, j'ai dénombré les documents publiés annuellement entre 2000 et 2018 recensés par google scholar contenant dans le texte ou les métadonnées les chaînes de caractères suivantes :

- “urban energy transition“ ;
- “urban sustainability transition“ ;
- “cities“ et “MLP“ et “sustainability transition“.

Il apparaît (figure 2-1) que “urban energy transition“ est sensiblement plus répandue et surtout plus ancienne (essor dès 2008, aire noire figure 1-1) que “urban sustainability transition“ (essor à partir de 2015 voire 2017, aire gris clair figure 1-1). Compte tenu du fait que le champ des *STS* a véritablement pris son essor à partir de 2010 avec une nouvelle expansion en 2013 (figure 1-5), il peut être conclu que les publications mentionnant “urban energy transition“ ne s'inscrivent pas dans le courant des *STS*. Cette affirmation est confortée par un décompte parallèle selon lequel une très grande majorité (632 sur 675) des publications contenant “urban energy transition“ recensées au 1^{er} aout 2018 ne contenaient ni “MLP“, ni “sustainability transitions“.

¹² Au-delà de celui lancé par Coenen et Truffer lancé en 2012 dans la revue *European Planning* (Coenen et Truffer 2012)

¹³ Nous verrons plus loin qu'un front de recherche intitulé “Urban sustainability transitions“ émerge depuis 2017 au sein des *STS*

Le champ émergent des *STS* s'intéresse de façon croissante aux villes depuis 2012 (« cities » et « MLP » et « sustainability transition », en gris foncé, figure 1-1). Je l'ai déjà évoqué à plusieurs reprises chapitre 1 et section 2-1 de ce chapitre. L'émergence de l'expression « urban sustainability transition » (en gris clair) et sa croissance presque continue depuis 2014 peut laisser supposer une discussion sur une notion et l'émergence d'une communauté. Le rassemblement d'une vingtaine de chapitres dans le livre éponyme en constitue un premier élément de preuve (Frantzeskaki et al. 2017).

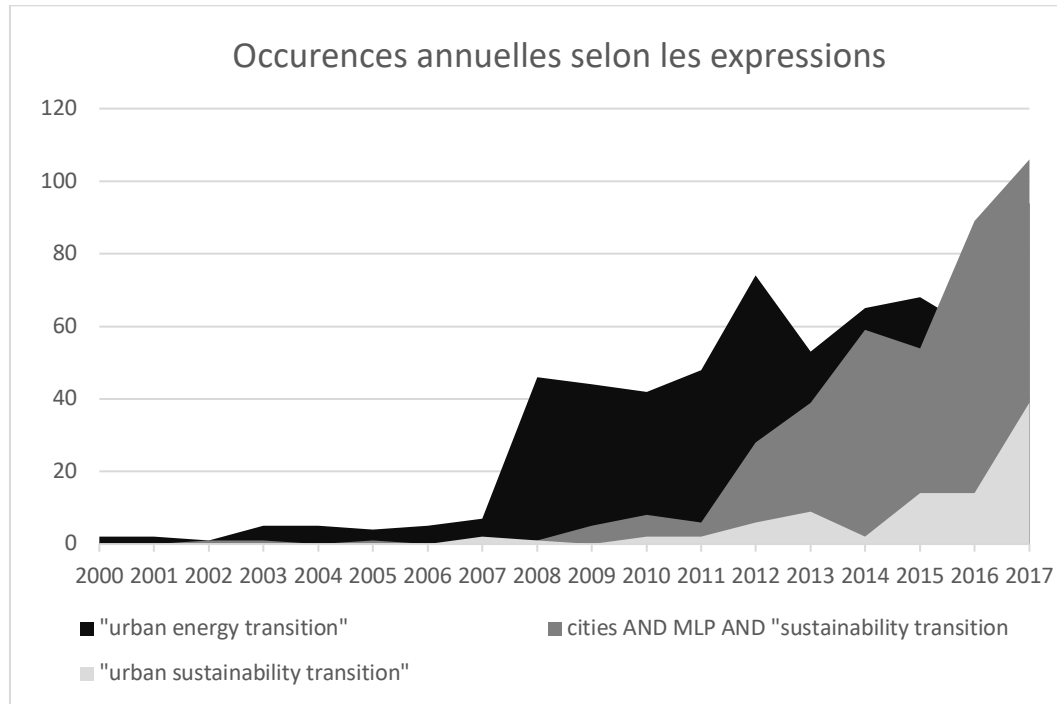


Figure 2-1 Occurrence annuelle de documents publiés relatifs à la ville et aux transitions énergétiques ou durables Source : google scholar 1er aout 2018

En résumé, un faisceau d'éléments laisse penser que des spécialistes de l'urbanisme et de la ville se sont intéressés aux transitions énergétiques à partir de 2008 sans mobiliser les notions des *STS* ; courant qui s'est intéressé de façon croissante à la ville depuis 2011. Très récemment, un front de recherche émergent se nommant « Urban sustainability transitions » cherche à mobiliser, entre autres les *Urban studies*, pour alimenter le courant des *STS*. Il porte sur deux questions intimement liées : quelles contraintes et opportunités pour les transitions durables émergent des contextes urbains ? En quoi et comment les transitions durables peuvent-elles être gouvernées au niveau urbain ? (Frantzeskaki et al. 2017)

« Sustainability », « sustainable », « low carbon », « energy »... les adjectifs tenant compagnie aux « transitions » et aux termes « urban » ou « cities » dans les articles anglo-saxons consacrés aux villes sont multiples. Il est assez clair que l'expression « sustainability transition » renvoie généralement au courant éponyme, même précédée par « urban » comme le paragraphe précédent l'explique. En revanche, les autres termes semblent relativement interchangeables. Les expressions les plus fréquemment utilisées – « urban energy transition », « low carbon transition in cities » et « urban sustainable transition », - sont en fait rarement définies dans les articles.

La sémantique des mots isolés et les gammes des études de cas permettent néanmoins de repérer quelques principes :

- Lorsqu'elle est utilisée pour qualifier des transitions en cours, l'expression "Energy transition" embarque implicitement un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Un objectif *bas-carbone* pourrait-on dire sauf que l'expression « bas-carbone » était jusqu'à récemment peu utilisée en France.
- Les objets¹⁴ '*Energy transitions*' comme '*low carbon transitions*' ne se limitent pas aux études portant sur les systèmes et les vecteurs énergétiques : elles peuvent concerner, par exemple les déchets ménagers (émetteurs de gaz à effet de serre) et la mobilité et, plus généralement tous les usages de l'énergie, c'est à dire la sobriété autant que l'efficacité des systèmes et la mobilisation d'énergie renouvelable.
- "Sustainable transitions" couvre un champ de finalités diversifiées : l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre constitue l'objectif le plus fréquent mais il n'est pas systématique et s'avère souvent combiné avec d'autres objectifs environnementaux (pollution, préservation de la nature, biodiversité ...) ou sociaux (participation, inclusion...). En conséquence, il peut être affirmé que les '*urban energy transitions*' et '*low carbon transitions in cities*' sont incluses dans la famille des '*sustainable transitions*'.

Il est difficile de faire des comparaisons statistiques de ces chaînes de caractères pour diverses raisons¹⁵. Même si leur substantif diffère radicalement, deux chaînes de caractères "*low carbon cities*" et "*urban energy transitions*" ont des significations proches et ont connu un très grand succès depuis 2008 (tableau 2-2). La comparaison des occurrences laisse penser que des publications mentionnant "low carbon cities" traitent peu des transitions. Les deux expressions sont très largement utilisées en dehors du courant des STS vu les faibles occurrences des deux dernières lignes (tableau 2-3).

¹⁴ D'une façon générale, nous utilisons " – " et « - » pour désigner des expressions, respectivement en anglais et en français. ' - ' est utilisé pour la signification d'une expression en anglais. Les mots en italiques sont réservés aux concepts, notions et courants scientifiques.

¹⁵ "Low carbon transition" est une expression très utilisée en sciences des matériaux et chimie. Le parallèle de "urban energy transition", "urban low carbon transition" n'est quasiment jamais utilisé car la succession d'adjectifs rend peu compréhensible le sens de l'expression.

Occurrence google scholar sur le titre ou l'article	avt 2002	2003-07	2008-12	2013-17
"urban energy transition" TITRE	3	5	12	14
"low carbon cities" TITRE	0	6	173	150
"urban energy transition" ARTICLE	16	26	255	344
"low carbon cities" ARTICLE	14	61	1820	3110
"urban energy transition" and "sustainability transition" ARTICLE	0	2	6	17
"low carbon cities" and "sustainability transition" ARTICLE	0	0	4	78

Tableau 2-3 Occurrence google scholar d'expressions le 13 septembre 2018

Ces observations nous conduisent à utiliser indistinctement les expressions « transition énergétique urbaine » (“urban energy transition“), « transition bas-carbone » (“low carbon transition“) et à réserver “*Sustainability transition*“ au courant de recherche éponyme. Ces deux premières expressions sont les expressions-clés de l’exploration de la littérature. Néanmoins, j’utiliserai de préférence l’expression « transition bas-carbone » car l’orientation indiquée couvre sans ambiguïté le nouveau paradigme des énergies renouvelables au cœur de ce mémoire.

1.2.2 Les transitions énergétiques ou bas-carbone en ville

D’une façon générale, l’attention des publications relatives aux villes bas-carbone porte sur les changements relatifs aux systèmes techniques urbains, aux pratiques des individus (particuliers ou professionnels) et aux processus urbains. Les trois étant étroitement intriqués (Rutherford et Coutard 2014). Le changement climatique appelle des transformations profondes des infrastructures urbaines, autant en matière d’approvisionnement que d’usage des flux qu’elles apportent. Les infrastructures jouent en effet un rôle critique dans l’urbanisation, et inversement les villes ont une responsabilité dans le changement climatique (Bulkeley et al. 2011). Alors que leur approvisionnement et leur organisation ont longtemps été considérés comme non problématiques, relevant simplement de questions techniques ou administratives (Bulkeley et al. 2011), les infrastructures de production et de distribution sont particulièrement pointées depuis quelques années : les choix politiques, l’économie des ressources ou la gestion quotidienne des flux qui affectent les pratiques des habitants (Rutherford et Coutard 2014).

Ceci étant, les villes et leurs infrastructures sont à l’intersection d’autres échelles spatiales et d’autres enjeux urbains. Les villes ne sont pas des entités isolées : par les réseaux, elles sont connectées à de multiples échelles et de multiples façons à l’économie mondiale (McCormick et al. 2013) au-delà – et souvent au détriment (Veltz 2014) - de leur hinterland. L’histoire de l’approvisionnement énergétique de la commune de Paris illustre cette interdépendance entre le développement des réseaux et les relations entre une ville et d’autres espaces géographiques (Kim et Barles 2012). A partir du milieu du 19^{ème} siècle, le développement du réseau ferroviaire français a accéléré le basculement du bois vers le charbon de la consommation finale d’énergie

à Paris. Ainsi, le charbon essentiellement issu des houillères de Saint-Etienne a été remplacé par celui du nord de la France et de la Belgique lorsque la demande en charbon du sud-est de la France a renchéri le prix de la houille stéphanoise (Kim et Barles 2012). Réciproquement, le développement du réseau découle de la demande comme le remarquent les deux auteures à propos de la réalisation tardive du pipeline acheminant le pétrole en région parisienne depuis le port du Havre. Globalement, du charbon au pétrole et minerais d'uranium, le 20^{ème} siècle a été celui de la mondialisation des ressources énergétiques approvisionnant la commune de Paris ; chacun peut imaginer qu'il en fut ainsi de l'approvisionnement des villes de nombre de pays développés.

L'évolution de la part des différents vecteurs ne dépend pas seulement de leur coût relatif, elle dépend aussi de leur qualité d'usage. Alimentant de façon continue et sans effort physique humain les appareils de cuisson et de chauffage, le gaz a supplanté le charbon qu'il fallait régulièrement aller chercher à la cave où il était stocké. Plus tard, la très grande praticité d'usage de l'énergie électrique a contribué au succès des appareils électriques domestiques et, ce faisant, à une augmentation substantielle de la consommation d'énergie finale au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle (Kim et Barles 2012). Pour le dire autrement, les qualités d'usage d'un vecteur énergétique induisent son essor et le développement des infrastructures.

Si les villes sont porteuses de dynamique de développement et d'innovations, elles sont aussi le siège de vulnérabilités économiques et d'inégalités sociales ; les problèmes environnementaux - induits par les flux urbains croissant à mesure que les villes se densifient ou s'étendent - contribuent d'ailleurs à exacerber ces problèmes. Un bon nombre de ces problèmes ont été résolus par le développement et la stabilité des réseaux urbains dans les pays développés (McCormick et al. 2013). Le vingtième siècle a été celui de « l'achèvement » des réseaux urbains dans ces pays.

1.2.3 Les réseaux au cœur des transitions énergétiques

Le développement de la ville est étroitement lié à celui de ses réseaux, et réciproquement (Dupuy 1990). (Coutard et Rutherford 2015) identifient trois caractéristiques qui concourent à la stabilité des infrastructures des réseaux urbains dans les pays développés : 1) Homogénéité du service aux abonnés sur un espace, 2) Omniprésence spatiale et sociale de ce service 3) Planification et gestion centralisée par une entité détentrice d'un monopole. Cette situation apparemment stabilisée et qualifiée « d'achèvement du réseau » résulte d'attributs devenus des dogmes : primo, la performance du réseau s'accroît avec sa taille ; secundo les solutions aux problèmes du réseau se trouvent au sein du réseau (par l'extension, par la centralisation ou par la sophistication (Coutard 2009)).

Les transitions énergétiques passées ont montré que cette stabilité est temporaire. Des pans entiers d'usage de l'énergie ont basculé vers d'autres vecteurs énergétiques comme l'a montré Geels (F. W. Geels 2005) pour la marine marchande passée de la voile au charbon puis au pétrole. De même, le gaz et le pétrole ont remplacé le charbon qui a lui-même remplacé le bois pour l'approvisionnement énergétique de Paris (Kim et Barles 2012).

Depuis une vingtaine d'années, les réseaux urbains sont bousculés par trois macro-processus fondamentaux en Europe (Coutard 2009):

- Le développement des technologies de l'information, qui après avoir été utilisées au renforcement du contrôle centralisé des réseaux et de leur interconnexion sont désormais mises au service d'une organisation distribuée ;
- Les réformes de libéralisation économique, particulièrement dans le secteur électrique, qui dé-intègrent les fonctions assurées par les opérateurs nationaux des grands réseaux et simultanément renforcent la concentration à l'échelle européenne ;
- Les mutations urbaines : les logiques de pré-équipement ou de rattrapage pensées au sein du seul réseau laissent place à des logiques de diversification par les autorités politiques locales.

La combinaison de ces trois processus remet en cause les grands réseaux au profit de configurations moins centralisées. Avant de les décrire, revenons avec Dupuy (Dupuy 2011) sur la combinaison de mécanismes technico-économiques, socio-politiques et socio-spatiaux constitutive des réseaux : de leur expansion comme de leur stagnation ou rétrécissement.

Au fur et à mesure de son expansion (spatiale, sociale...), le réseau marginalise ceux qui ne sont pas connectés et accroît la dépendance de ceux qui le sont. Cela entraîne une fracture socio-politique. La stratégie correspondant à la recherche de solution interne au réseau consiste à assumer la dépendance et cela conduit par exemple à abaisser les prix pour conquérir ou conserver des abonnés quitte à faire financer le déficit par d'autres abonnés ; les alertes qui anticipent les défaillances temporaires du réseau électrique traduisent le fait que cette dépendance est assumée. Dépendances et fractures ont ainsi été les moteurs conjoints du développement des réseaux. Une autre stratégie consiste à accepter la fracture, ce qui revient concrètement à ne pas desservir l'intégralité des populations de l'espace perçu comme le territoire du réseau. Cette inégalité spatiale de service est fréquente ; elle a l'avantage de ne pas accroître la dépendance.

Ces deux stratégies expliquent relativement bien la pénétration et la couverture géographique des réseaux de gaz et d'électricité. Dans la mesure où le gaz peut être aisément substitué par d'autres vecteurs énergétiques dans les fonctions qu'il assure (chauffage, cuisson et eau chaude sanitaire), la dépendance au réseau de gaz est faible et la fracture assumée : le réseau peut desservir à peine la moitié des ménages en France. En revanche, les équipements supports des activités domestiques et professionnelles ne fonctionnent qu'à l'électricité : sauf autoproduction d'électricité, la dépendance au réseau est forte et elle est assumée : 99% des résidences principales ont accès au réseau électrique en France. Nous retiendrons que les trois caractéristiques des réseaux soulignées (homogénéité, omniprésence, centralisation) par Coutard et Rutherford (2015) fonctionnent en synergie si l'espace dont il est question correspond strictement à celui que le réseau dessert, c'est-à-dire l'espace où la dépendance est assumée mais pas la fracture.

Deux échappatoires évoquées par Dupuy ouvrent des perspectives à prendre en considération. La première est la dislocation du réseau qui est observée dans une variété de pays où les inégalités de revenus sont fortes. Elle contribue à les accroître ce qui est peu souhaité en Europe sur le plan sociopolitique. La seconde échappatoire consiste à agir sur le système qui englobe le réseau, notamment sur les dimensions immatérielles associées au réseau, par exemple : les

significations imaginaires et les règles. L'objectif bas-carbone constitue-t-il un imaginaire suffisant pour modifier les règles de fonctionnement des réseaux ?

Avant de répondre à cette question dans la section suivante, remarquons que la notion de *fracture* présuppose implicitement une correspondance bijective entre un territoire politico-administratif et l'espace de déploiement « théorique » du réseau : la fracture traduit l'écart entre une représentation idéalisée et normative de où – et qui – le réseau devrait desservir et de ce qu'il dessert en réalité.

1.2.4 Des réseaux urbains remis en cause par l'approche métabolique

Il est sans doute un peu tôt pour cerner l'évolution des règles : les régimes sont bousculés depuis peu. En revanche, si la ville bas-carbone reprend l'imaginaire de la ville durable forgée par une vision écosystémique telle que développée dans des quartiers jugés exemplaires de Hammerby en Suède et Bedzed au Royaume-Uni, l'on peut, comme Coutard (Coutard 2009) relever son antagonisme paradigmatique par rapport au grand réseau centralisé. Le tableau suivant reprend la mise à jour (Coutard and Rutherford, 2011) dans l'ouvrage "Cities and low carbon transitions" (Bulkeley et al. 2011).

Grand réseau centralisé	Circularité techno-écologique
Métabolisme linéaire : prélèvement > approvisionnement > évacuation	Métabolisme circulaire : recyclage, récupération
Découplage entre la disponibilité des ressources et les usages	Adéquation entre la disponibilité des ressources et les usages
Cycle long, dé-bouclage	Cycle court, re-bouclage
Solidarité territoriale	Autonomie territoriale
Logique d'offre	Maîtrise de la demande
Économie expansive et en croissance : économie d'échelle, effet de club, faible coût de transaction	Économie de la préservation de la ressource
Gestion sectorielle et séquentielle	Gestion transversale et intégrée
Flux, étanchéité, cinétique	Stock, porosité, stase
Dépendante de l'économie carbone	Neutre en carbone

Tableau 2-4 Paradigmes « grand réseau centralisé » et « circularité techno-écologique » (selon Coutard 2010 et Coutard & Rutherford 2011)

Coutard et Rutherford critiquent le courant des *STS* qui perçoit dans les 'small scales', 'dispersed' et autres 'alternatives' « techno-écologiques » des solutions vertueuses vers la transition durable et bas-carbone alors que les circularités courtes menacent les solidarités historiques construites par le réseau public. En effet, le spectre de l'éclatement de la gouvernance des réseaux en de multiples polarités dans l'espace urbain inquiète pour ces

conséquences sociales les chercheurs en *Urban Studies* à l'image de l'ouvrage de référence de (Graham et Marvin 2001).

L'inscription de ces réflexions dans le champ des *STS* conduit (Bulkeley, Castan Broto et Maassen 2011) à poser la question d'une reconfiguration des réseaux sociotechniques alors qu'ils sont déjà en crise dans de nombreuses villes du monde (Graham et Marvin 2001). Les trois auteures soumettent au questionnement une grille paradigmatique appliquée à l'énergie sensiblement différente de celle portée par Coutard et Rutherford dans le même ouvrage.

Paradigme	Conventionnel	New
Ressource	Stock fini	Flux renouvelable
Type d'énergie	Concentré	Diffuse
Technologie	Grande échelle	Petite échelle
Production	Centralisé	Décentralisé
Impact environnemental	Grand, planétaire	Petit, local
Marché	Monopole	Libéralisé

Figure 2-2 Paradigmes conventionnel et nouveau des réseaux selon Bulkeley, Castan Broto et Maassen, 2011

Alors que Coutard et Rutherford pointent la nécessité de stock dans le nouveau paradigme de circularité techno-écologique (qu'ils opposent au flux fourni par l'historique grand réseau centralisé), les trois auteures soulignent le flux – renouvelable – du nouveau paradigme (qu'elles opposent à la finitude de stock du paradigme historique). La raison de cet écart tient au périmètre du système étudié : Coutard et Rutherford se focalisent sur le système technique qui prélève et approvisionne - et parfois récupère et recycle dans - l'espace urbain ; Bulkeley, Castan Broto and Maassen étendent aux ressources et au milieu – impacté – le périmètre étudié. Elles introduisent la *nature* dans leur vision bas-carbone de la ville - une *nature* qui est à la fois désirable et incontrôlable citant (Kaika 2005) – sans en faire un modèle.

Le concept de *métabolisme urbain* établit un parallèle entre les systèmes techniques urbains et les systèmes écologiques. Il repose sur deux lois écologiques : primo, un organisme ajuste son fonctionnement interne et donc sa demande d'énergie à la disponibilité des ressources du milieu qui l'entoure ; secundo, un organisme est partie d'une population ou d'un organisme supérieur qui lui-même est un élément de l'éco-système. L'application du métabolisme à la planification urbaine consiste à définir des zones de relative auto-suffisance ou d'organiser les activités humaines afin qu'elles se complètent les unes avec les autres (Pulido Barrera, Rosales Carreón et de Boer 2018).

Plusieurs approches écosystémiques inspirées du métabolisme s'adressent à la ville. Le *Régénérative Development* souligne les bénéfices mutuels entre l'homme et des systèmes naturels, la nature est considérée comme pouvant atténuer les détériorations écologiques sociales et écologiques (Birkeland 2012; X. Zhang et al. 2018). La *résilience* vise à prévenir les

villes des traumatismes des désastres majeurs, notamment ceux auxquels le changement climatique contribue (Plessis 2012). La conjonction de ces deux approches offre une trajectoire idéale qui ne relève pas seulement de la matérialité construite ou du re-développement de régions mais aussi de l'adaptation cognitive et comportementale des sociétés (X. Zhang et al. 2018).

L'utilisation de références récentes (2018) pour décrire le *métabolisme urbain* et ses filiations conceptuelles ne doit pas occulter le fait que cette notion est ancienne et a déjà inspiré des projets alternatifs de la taille de quartier dès les années 90. De tels projets ont été largement popularisés en Europe (Emelianoff 2007) et ont donné lieu à la notion d'écoquartier en France (Souami 2007; Boutaud 2009; Souami 2009a). Cette notion a été mobilisée au nom de la durabilité dans de nombreuses villes françaises (O. Blanchard et Debizet 2015) à tel point que le ministère français qui a la tutelle de l'urbanisme délivre un label éponyme (Grudet 2015a). Cependant, l'analyse des discours promouvant les écoquartiers qui revendiquant ce label (Maitre et al. 2015) met en évidence une occultation complète des principes du métabolisme à tel point que Emelianoff (Emelianoff 2015) souligne une passivation en France de l'idéalisme de symbiose respectueuse entre l'homme et la nature à l'origine du développement durable. Nous faisons l'hypothèse que si la notion de métabolisme urbain a inspiré des concepteurs de l'urbanisme, elle n'a pas massivement percé dans l'opinion publique et n'a pas – pas encore ? – fait l'objet de traduction dans les discours des organisations responsables de la production immobilière, si ce n'est dans le cadre de concours publics largement médiatisés. J'étaierai l'hypothèse d'une production immobilière et urbaine peu portée sur le métabolisme urbain dans le chapitre 5 à propos des toitures végétalisées en Amérique du nord.

1.2.5 La ville bas-carbone : quel système et quelle marge de manœuvre ?

Un nombre croissant d'académiques s'intéresse aux réponses urbaines au changement climatique et aux facteurs d'une gouvernance urbaine du climat. Ils s'interrogent sur les formes nouvelles de politiques et de planification urbaine et les changements dans les processus institutionnels guidés par l'objectif de ville bas-carbone.

Nous avons vu que le courant des STS considère les villes comme des territoires clés de la transition bas-carbone : la consommation est élevée, les capitaux importants, les compétences étoffées et les dynamiques socio-politiques variées tant planifiées et institutionnelles que dispersées et indisciplinées comme l'ont souligné les dernières auteurs. Ces processus menés à l'échelle urbaine peuvent-ils influencer la transition bas-carbone ?

“Can cities shape sociotechnical transitions?”. Pour (Mike Hodson et Marvin 2010), la première condition est celle du partage d'une vision bas-carbone : la co-construction d'une telle vision implique un grand nombre d'acteurs agissant à différentes échelles : une coalition large est nécessaire. Cependant, elle est aussi problématique du fait de la multiplication d'intérêts potentiellement divergents (je pense d'ailleurs que cela explique la passivation de l'idéologie métabolique constatée par Emelianoff (Emelianoff 2015)). Cette vision doit ensuite être traduite. La traduction s'opère à l'interface entre les régimes sociotechniques et les gouvernances urbaines déjà établies. Cependant, d'autres auteurs considèrent la transition bas-carbone des villes comme un processus interactif combinant les interventions stratégiques avec des crises, des disruptions et des contestations (Bulkeley, Castan Broto and Maassen, 2011) :

des groupes sociaux et des individus contestent aussi bien la mise en place de système bas-carbone que la perpétuation du système conventionnel.

Au stade actuel où elle peut être observée, la transition bas-carbone est assurée par un nombre croissant d'organisations intermédiaires qui interviennent de façons diverses notamment sous forme de nouvelles médiations entre des enjeux de production et de consommation (van Lente et al. 2003) ou bien dans la mise en œuvre des projets qui relient ces deux pôles de l'énergie. La nature de ces organisations intermédiaires varie selon les terrains : municipalités, agences publiques locales, associations, fournisseurs de services énergétiques (Mike Hodson et Marvin 2012; Moss 2012; Moss et al. 2012).

L'existence des intermédiaires ne préjuge pas de leur efficacité. (Mike Hodson et Marvin 2010) proposent d'évaluer les écarts entre les objectifs et les résultats des actions ou des projets portés par ses intermédiaires. L'absence d'écart reflète l'enrôlement réussi autour de la vision et la rencontre entre un « nécessaire » besoin social et des « pertinences » ainsi qu'à une méthode adaptée aux objectifs initiaux¹⁶. Les auteurs pointent un besoin de coordination efficace de capacités et de capabilités pour initier et tenter de donner force à une transition systémique.

(Moss 2012) replace la notion d'intermédiaire dans une transformation longue des réseaux d'énergie. La figure de régulateur – public - s'est progressivement affirmée en même temps que le réseau se développait ; elle a été institutionnalisée au plus tard lors de la libéralisation des services de l'électricité et du gaz. L'espace d'action politique se situait entre l'utilisateur, le fournisseur et le régulateur dont l'une des missions consiste à équilibrer les taxes d'infrastructure avec ses coûts, avec pour effet - plus ou moins réussi - de maintenir la question des infrastructures hors du débat public (Reverdy 2015a). L'espace d'intermédiation était relativement étroit, que ce soit pour les autorités publiques, les associations, les gestionnaires d'habitat collectif ou d'autres entreprises. La mise en politique de problèmes environnementaux et les technologies de l'information ('smart grid') ont fait émerger la nature, l'infrastructure et la ville. Ce faisant, l'espace intermédiaire s'est étoffé de nouvelles possibilités de compromis et s'est donc étendu. Les organisations intermédiaires identifiées par Hodson et Marvin naviguent désormais dans cet espace d'enjeux et d'actions, ce qui explique aussi leur grande variété.

Comme application de cette notion d'espace intermédiaire, l'on pourrait s'intéresser aux scènes de discussion qui jalonnent l'élaboration de Plan Climat Territoriaux et les démarches de Territoire à énergie positive (TEPOS). Nous y consacrerons une section dans le chapitre 5 à partir de nos propres travaux.

De nombreux observateurs des innovations sociotechniques au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et en France (F. W. Geels 2010; Guy et Karvonen 2015; Webb 2015; Poupeau 2008; Debizet et al. 2016b) s'accordent pour considérer que la capacité des acteurs locaux (autorités locales, associations, petites et moyennes entreprises...) est limitée par les régimes sociotechniques :

¹⁶ Nous pensons que l'absence d'écart peut aussi s'expliquer par la fixation d'objectifs qui ne perturbent en rien le système sociotechnique environnant le projet, autrement dit par l'absence d'effet en termes de reconfiguration du système sociotechnique. Un cas de compatibilité entre une innovation et son milieu d'adoption au sens (Rogers 2003).

“Clearly a very large gap remains between state expectations for city leadership in sustainable energy, the matching ambitions of many city authorities and their capacities to realise such plans” (Webb 2015)

L’affirmation devrait être nuancée lorsqu’il s’agit de vecteur énergétique nouveau, par exemple le développement de la filière hydrogène à Londres (Mike Hodson et Marvin 2007; Mike Hodson et Marvin 2012) ou lorsque les réseaux sont contrôlés par des autorités locales, comme c’est le cas pour les réseaux de chaleur en France (Rocher, 2013; Debizet *et al.*, 2016; Colombert and Diab, 2017; Hampikian, 2017), ainsi que le gaz et l’électricité en Allemagne (Moss 2014; Moss et Francesch-Huidobro 2016) ou encore pour la mobilisation des énergies renouvelables en zone rurale (Durand et Landel, 2015). En fait, les régimes de l’énergie ont des gouvernances et des spatialités différentes selon les vecteurs et selon les pays. J’exposerai dans le chapitre suivant les spatialités des principaux vecteurs énergétiques disponibles dans les villes françaises.

Synthèse

Que retenir de cette courte revue de littérature consacrée aux approches spatialisées des transitions ?

Sur la géographie des transitions

La première observation tient à l'influence de la géographie économique - inspirée par la théorie économique évolutionniste - dans les approches géographiques des *STS*. La principale finalité des *STS* consiste à expliquer les modalités des transformations technologiques et les relations entre niche et régime occupent la place centrale à tout point de vue : de l'émergence à la généralisation d'une innovation, d'un jeu d'acteurs en interaction à des règles de marché générales, de multiplicités à une unicité, de micros au macro ...

La deuxième observation porte sur la prise de distance de ce courant avec la matérialité. Primo, la matérialité de l'espace est occultée : ce que Bridge et al. (2013) ont appelé 'location' n'est pas évoqué comme une piste à explorer. Les territoires sont convoqués pour leurs acteurs politico-administratifs ou leurs spécificités culturelles ou économiques mais non pour leur infrastructure, leur localisation dans des réseaux de transports et de communication ou bien encore leurs tissus urbains ou leurs paysages. Secundo, la matérialité des technologies n'est pas explorée comme une variable analytique de la diffusion des innovations : tout se passe comme si l'on cherchait à cerner des mécanismes qui puissent concerner aussi bien le déploiement des smartphones que celui des barrages hydro-électriques ; certes les réseaux sont nécessaires dans les deux cas, mais les systèmes d'acteurs et leur géographie sont substantiellement différents.

Enfin la troisième observation pointe la combinaison de deux ontologies opposées au sein des *STS*. D'un côté, la *MLP* positionne le marché non seulement comme un mécanisme central mais elle le considère aussi comme le débouché de l'innovation technologique et la finalité des - provisoires - niches. De l'autre, les notions de 'socio-technical embeddedness' et 'socio-spatial embeddedness' convoquent une hétérogénéité d'éléments humains et matériels et présupposent sans les hiérarchiser une multiplicité d'intentionnalités, et donc bien au-delà de l'objectif de déploiement d'une innovation sociotechnique. Cet oxymore ontologique – un objet-valise au sens de Flichy (Flichy 1995) - ouvre le courant des *STS* à de multiples concepts, entre autres ceux de l'espace et du territoire. Il introduit des contradictions potentielles que l'application de la *MLP* dans l'analyse d'innovations sociotechniques ou de configurations ne devrait pas manquer de faire resurgir.

J'ai relevé trois pistes intéressantes de contribution de la géographie aux courant des *STS* :

- Le développement d'une modélisation multi-scalaire des transitions sociotechniques à trois dimensions : le principe défendu par Raven, Smith et Berkhout (Raven, Schot et Berkhout 2012) est d'ajouter l'échelle spatiale aux niveaux temporels et structurels (ce que nous avons appelé filière ou vecteur pour l'énergie) de la *MLP* ... une *MLP* « 3D » en quelque sorte ;
- L'effet d'une diversité sociotechnique – favorisée par une déconcentration du pouvoir de l'État aux Régions ou Villes – en termes de multiplication des innovations

émergentes et, ce faisant, d'aptitude d'un pays à se positionner favorablement dans les transitions globales (Crouch et Voelzkow 2009; Coenen, Benneworth et Truffer 2012).

- Un focus sur la relation local/global : une approche 'Local nodes, global networks' est notamment recommandée pour approfondir l'étude des relations entre niches et régime et spatialiser les approches *Technological Innovation System*.

Ce dernier point revient à comprendre comment des innovations sociotechniques contribuent à reconfigurer les relations locales entre individus, groupes sociaux ou communautés en relation avec des réseaux relationnels globaux, et réciproquement. Cet objectif est proche de celui qui avait fondé le groupe de recherche sur les milieux innovateurs (Camagni et Maillat 2006) et qui nourrit le courant de recherche francophone sur le *territoire*. Les spécificités et les ressources d'un territoire (Gumuchian et Pecqueur 2007), l'apprentissage collectif (Asheim 2001), le rôle des valeurs, des intentions et des pratiques des acteurs en interaction « *qui accompagnent la construction et/ou la production des territoires* » (Vanier 2008, 11) sont autant de questions à appréhender pour qualifier la relation 'Local nodes, global networks'.

Enfin, rappelons que les thématiques et notions de la *geography of transitions* exposées dans cette section sont des pistes de recherche dont la plupart n'ont pas encore livré de résultats saillants. Il faudra du temps pour mesurer la contribution des géographes aux *STS* et, peut-être, réciproquement celle des *STS* à la géographie.

Sur les transitions durables ou énergétiques urbaines

A l'inverse de la « géographie des transitions », les transitions durables/énergétiques urbaines caractérisent un objet de recherche plutôt qu'un champ de recherche. Les matérialités occupent une place importante alors que la première s'en détournait.

Commençons par les convergences. Un consensus porte sur l'imbrication dynamique entre le système énergétique, les activités humaines et le milieu urbain qui les héberge. L'analyse des évolutions majeures au cours de l'histoire relie le déploiement d'infrastructures urbaines et d'équipements fondés sur un « nouveau » vecteur énergétique avec le développement économique rapide et relativement général des villes. A ce titre, il convient de rappeler que la théorie des réseaux a analysé, décortiqué cette imbrication avant de devenir un modèle explicatif de l'extension spatiale et de la densification des réseaux. Ces deux phénomènes conjoints (développement réticulaire et développement urbain) résultent bien de « transitions technologiques » comme conceptualisée par la théorie économique évolutionniste. L'essor des approches interactionnistes et notamment la théorie des acteurs-réseaux ont conduit à qualifier les systèmes techniques de « sociotechniques ». Ceux qui mobilisent les régimes et la *MLP* ont repris l'adjectif composé (chapitre 1).

Je remarque cependant une attention aux infrastructures plus grande qu'elle ne l'était dans la *geography of transitions*. Dans les villes où la consommation d'énergie ou de matière excède la production, les infrastructures qui relient les ressources aux usages sont critiques. Établir des relations entre des lieux de production (plus exactement de capture et de transformation) et de consommation traversant un espace densément occupé requiert une coordination complexe qui est allée de pair avec une centralisation et une régulation publique forte. Assurant une partie essentielle des transformations et du transport, les réseaux publics occupent une place

essentielle dans les Études Urbaines. L'éclatement ('splintering') des réseaux (Graham et Marvin 2001) est une préoccupation majeure du champ de recherche des *urban studies*.

Depuis une bonne décennie, l'impératif de durabilité et notamment d'atténuation du changement climatique a conduit de nombreux chercheurs de la ville à se pencher sur les transitions énergétiques – et, plus largement, durables - urbaines. D'une part, de par ses ressources cognitives, financières et organisationnelles diversifiées et sa position nodale dans les flux globaux reliant consommation et production, la ville est une clé des transitions durables et, par conséquent, le terrain prioritaire - après celui des États - du champ des *STS*. D'autre part, l'attention initiale pour les réseaux urbains s'est élargie aux ressources urbaines disponibles (fatales et renouvelables) et aux usages ; les approches métaboliques ou écosystémiques ont fait leur entrée dans la boîte à outils cognitive de l'urbanisme et des sciences de la ville. La transition bas-carbone des villes se situe à la jonction des deux courants de recherche : celui des *études urbaines* qui se saisit de l'enjeu bas-carbone depuis une dizaine d'années et celui des *STS* pour qui les espaces urbains constituent - depuis quelques années - des niches pour l'émergence et le premier déploiement des innovations sociotechniques. Ce n'est que très récemment (2017) qu'émerge au sein (et non plus au bord) du courant des *STS* un front de recherche dédié à la ville : *Urban sustainability transitions*. Il est trop récent pour en tirer des enseignements épistémologiques. Je concentre donc mon propos sur la double confrontation qui l'a précédé : celle qu'introduit un enjeu nouveau (bas-carbone) dans des mondes sociaux imbriqués (villes, réseaux, développement techno-économique...), celle de l'exploration de terrains hétéroclites et complexes par un courant scientifique habitué à pister le parcours d'une innovation technologique spécifique. Trois débats scientifiques se nourrissant de cette confrontation retiennent particulièrement mon attention :

- La définition du périmètre du système sociotechnique : équipement technologique inclus dans un réseau public, lui-même inclus dans un système sociotechnique assurant un même type de flux (par exemple un vecteur énergétique), lui-même inclus dans un éco-système urbain. Alors que les *STS* s'intéressent au déploiement d'équipements technologiques et formalisent un régime sociotechnique autour d'un vecteur spécifique entre production et consommation, les *urban studies* traitent de la relation du réseau à la ville - et parfois celle de l'éco-système - à la ville, à l'espace urbain, au territoire urbain.
- Le rôle des intermédiaires (cognitifs) trans-scalaires. Les *STS* portent une attention croissante aux processus trans-scalaires, ceux qui passent des connaissances et des savoir-faire de niches à d'autres niches ou au régime ou bien encore du local au national ou global. Les *urban studies* observent leur rôle mais dans le sens opposé : comment des modèles exogènes sont appropriés voire imposés, notamment par d'autres leviers que cognitifs, et transforment le tissu urbain, social et économique ?
- A la croisée des deux questions précédentes, se pose celle des relations entre les intermédiaires cognitifs et les intermédiaires sociotechniques ou socio-métaboliques, ceux qui vont par exemple développer des circularités courtes occultées par les grands réseaux.

Ma proposition d'assemblage socio-énergétique contribuera-t-elle à nourrir ces questionnements ? Je la présente dans le chapitre suivant.

3 Les notions de nœud socio-énergétique et d'assemblage : propositions et contexte d'émergence

Après deux chapitres consacrés à l'état de l'art scientifique, ce chapitre présente la notion centrale de ce mémoire : *l'assemblage de nœuds socio-énergétiques* ou plutôt les notions de *nœud socio-énergétique (NSE)* et d'*assemblage* car elles ont des origines bien différentes. La seconde est utilisée dans des travaux portant sur la fabrique de la ville et elle trouve son origine dans la notion d'*agencement* de Deleuze et Guattari (1980) traduite en anglais par le terme "assemblage". La première section se consacre essentiellement à cette épistémologie.

Quant à elle, la notion de *NSE* a émergé d'un projet de recherche interdisciplinaire en sciences sociales *Ecoquartier Nexus Energie* consacré aux systèmes énergétiques déployés de façon novatrice dans des écoquartiers européens. La notion de *NSE* est en construction : ce chapitre commence par la définir et l'explicitier avant de s'attarder sur la notion d'*assemblage* elle-même. Il présente ensuite des systèmes énergétiques pour souligner les combinaisons entre infrastructures privées et réseau public et entre réseaux publics. La suite du chapitre expose le contexte de cette recherche et les raisons pour lesquelles il a fallu élaborer une notion compatible avec celles des chercheurs - de six disciplines différentes - impliqués dans la recherche. La méthodologie de recherche interdisciplinaire est expliquée avec précision.

À partir de la deuxième section, ce chapitre mobilise les rapports de recherche remis à l'ADEME dont j'ai coordonné la rédaction avec Odile Blanchard (rapport intermédiaire n°1 publié dans la revue en ligne universitaire *Innovatio* (Debizet et Blanchard 2015)), Stéphane La Branche (n°2 (Debizet (dir), La Branche et Forest 2013)) et Fabrice Forest (pour l'ensemble) y compris l'ouvrage « *Scénarios de transition énergétique en ville Acteurs Régulations, Technologies* » qui fait office de rapport final. Pour la fluidité de la lecture, j'ai limité l'insertion de citations aux sections dont je ne suis pas le premier auteur. Les rapports sont décomposés en chapitre pour mieux faire apparaître leurs auteurs. Les co-rédacteurs sont mentionnés afin de lever l'ambiguïté du sujet « nous ».

3.1 Assemblage de nœuds socio-énergétiques : définitions et épistémologie

En entame de ce chapitre, il convient de préciser les notions de *nœud socio-énergétique (NSE)* et d'*assemblage*. Elles ont des origines bien différentes. La notion de *NSE* a été élaborée pour le projet de recherche interdisciplinaire *Ecoquartier Nexus Energie* financé par l'ADEME. Dans la mesure où la section 3.3 décrit précisément le contexte d'émergence et les questionnements afférents, cette section 3.1 se limite à la formulation et à l'explication des deux définitions successivement élaborées.

Nous avons associé cette notion de *NSE* avec celle - plus générale et plus ancienne - d'*assemblage*. Je présente la généalogie de cette dernière en remontant jusqu'à la notion d'*agencement* (Deleuze et Guattari 1980) dans la deuxième partie de cette section.

3.1.1 Définition de nœud socio-énergétique

Dans l'ouvrage collectif « *Scénarios de transition énergétique en ville : acteurs, régulations technologies* », nous avons défini un nœud socio-énergétique comme « un ensemble d'éléments assurant la transformation, le stockage ou le transport d'énergie dont la conception a été supervisée par un même acteur décisionnel interagissant globalement avec les mêmes actants » (Debizet 2016). Quelques mois plus tard, nous (Tabourdeau et Debizet) avons donné une définition légèrement différente : « un ensemble d'éléments, qui collecte, convertit et/ou distribue de l'énergie, construit par un acteur décisionnel en interaction avec des actants » (Tabourdeau et Debizet 2017).

Cette dernière définition –que je discute ici pour la première fois – me semble plus sociale. Plus sociale, parce qu'elle privilégie les fonctions relationnelles (collecter et distribuer) plutôt que les fonctions caractéristiques de l'état cinématique de l'énergie (stocker, transporter). Plus sociale aussi, parce qu'elle mobilise le verbe d'action « construire » qui, en sciences sociales, fait référence à un ensemble de processus sociaux. Nous assumions ainsi une posture constructiviste reconnaissant la complexité des interactions et l'importance des dimensions cognitives inter-subjectives. Cette posture est compatible avec le fait que le NSE a une dimension matérielle puisqu'il est composé de dispositifs physiques qui collectent, convertissent et distribuent des flux.

Cette dernière définition est aussi plus ouverte sauf sur un point. Plus ouverte, car l'utilisation du « et/ou » autorise sans ambiguïté toutes les combinaisons contrairement au seul « ou ». Le verbe « construire » couvre, dans son acception en sciences humaines et sociales, une variété d'actions bien plus grande que celle qui consiste à « superviser ». Enfin, plus ouverte parce que les actants peuvent changer dans le temps : ce ne sont plus seulement « les mêmes » au cours du processus d'interaction. En revanche, la définition est plus resserrée sur un point : le verbe « convertir » invite à qualifier la forme de l'énergie collectée ou distribuée, alors que le verbe « transformer » autorisait des changements mineurs tant physiques que sociaux : le verbe convertir oblige à expliciter le vecteur par lequel l'énergie sera échangée entre différents acteurs.

Poursuivons l'explicitation avec les mots conservés par la deuxième définition. Le terme « actant » renvoie à la théorie de l'acteur-réseau - “Actor-Network Theory“ (ANT) en anglais - (Akrich, Callon et Latour 2006; Latour 2007b) : un actant peut être humain, tel qu'une entreprise, une collectivité, un habitant ou un groupe d'habitants, etc. ou non-humain, par exemple, une procédure administrative, un règlement technique, un équipement technique. Les deux définitions distinguent parmi les actants un « acteur décisionnel » qui construit « l'ensemble d'éléments ». Cet acteur est décisionnel dans le sens où il a la possibilité de choisir et de définir des éléments, voire de renoncer à construire. À l'inverse, les « actants » influencent, orientent ou encadrent mais ils n'ont pas – nécessairement - le pouvoir de construire (ou de ne pas construire) les éléments du NSE. Ainsi, le verbe « construire » est – volontairement - ambigu : il peut désigner la réalisation des infrastructures matérielles autant que la construction sociale du NSE.

3.1.2 La notion d'assemblage : origine et définition

La ville et les infrastructures urbaines ont fait l'objet d'analyses inspirées de la théorie de l'acteur-réseau. La notion d'*assemblage* (en anglais) a été largement utilisée dans l'analyse des transformations de l'espace urbain et des reconfigurations d'acteurs. Farias (Farias 2010) considère la ville comme un objet "*relentlessly being assembled at concrete sites of urban practices or, to put it differently, as a multiplicity of processes of becoming, affixing, sociotechnical networks, hybrid collectives and alternative topologies*". Cette notion décrit un ensemble de processus et non ce qui est produit par ces processus.

Les expressions "*sociotechnical networks*", "*hybrid collectives*" soulignent le principe d'imbrication - difficile à démêler - entre le social et le matériel cher à l'ANT et largement repris dans les *Sciences and Technologies Studies* qu'elles soient appliquées à la ville (Rutherford et Coutard 2014) ou aux technologies de l'énergie (Santoyo-Castelazo et Azapagic 2014). Ce principe d'imbrication a été - très pédagogiquement - explicité par Akrich (Akrich 1989). Farias (2010) a astucieusement ajouté l'expression "*alternative topologies*" qui renvoie explicitement à une dimension géographique ou spatiale. Il est vrai qu'un fondateur de l'ANT a remis en cause la pertinence d'une quelconque échelle spatiale (micro, meso...) : le « local » n'existe pas démontre Latour (Latour 2007b), il n'est qu'une construction résultant d'interactions menées à de multiples autres échelles que l'échelle locale ; il revient donc au chercheur de « redistribuer le local ». Ceci explique les efforts de créativité pour concilier la théorie de l'acteur-réseau avec la géographie (Mounet 2014) et, en l'occurrence, l'ajout de "*alternative topologies*" (Farias, 2010).

C'est peut-être pourquoi la notion d'*assemblage* a émergé dans la littérature scientifique anglo-saxonne consacrée à la ville comme un concept sensiblement distinct de l'ANT (Rydin et Tate 2016). Certes, comme l'ANT, l'*assemblage* met l'emphase sur les dimensions relationnelles des collectifs. Mais, alors que l'ANT ne considérait le pouvoir que comme une résultante du réseau - mobile et incertain - d'acteurs, l'*assemblage* autorise des analyses où des acteurs pourraient être dotés a priori de ressources spécifiques. Elle offre de ce fait une plus grande liberté dans l'analyse des interconnexions dynamiques entre des éléments (Rydin et Tate 2016). En particulier, elle me paraît compatible avec la notion de *régime sociotechnique* qui suppose que des éléments soient dotées de caractéristiques temporairement stables.

Le terme *assemblage* utilisé dans la littérature anglophone trouve son origine dans la traduction anglaise du terme français *agencement* introduit par Deleuze et Guattari (Deleuze et Guattari 1980). Un *agencement* est une *multiplicité* et non une unité : « *une sorte d'organisme, ou bien une totalité signifiante, ou bien une détermination attribuable à un sujet, mais non moins vers un corps sans organes qui ne cesse de défaire l'organisme, de faire passer et circuler des particules asignifiantes, intensités pures, et de s'attribuer les sujets auxquels il ne laisse plus qu'un nom comme trace d'une intensité.* » (idem, page 10). L'*agencement* est toujours en mouvement « *précisément cette croissance des dimensions dans une multiplicité qui change nécessairement de nature à mesure qu'elle augmente ses connexions* » (idem, p15). La notion s'inspire des mathématiques fractales - qui commençaient à être utilisées pour l'observation de la nature - et de la linguistique : l'*agencement* comprend ainsi deux facettes : l'*agencement* dit *machinique* défini ci-dessus est systématiquement associé à un *agencement collectif*

d'énonciation, ce qui donne à la notion d'*agencement* une dimension philosophique (multiplicité de subjectivités) sans ôter une aptitude à englober la matérialité.

A mesure du succès de la notion d'*assemblage* dans les sciences sociales anglo-saxonnes¹⁷, l'usage du terme *assemblage* a pris quelques libertés avec la définition originelle d'*agencement* (en français). *Assemblage* (en anglais) désigne une collection de choses sans nécessairement associer la dimension philosophique, elle a été par exemple utilisée dans le domaine de l'art sans embarquer la notion de commun ('common' dans le texte) de Spinoza dont Deleuze s'était inspiré (Phillips 2006). (Anderson et McFarlane 2011) identifient ainsi quatre caractéristiques de la notion d'*assemblage* (en anglais) :

- Elle met l'emphase sur le rassemblement, la cohérence et la dispersion ; elle traite donc intrinsèquement de spatialités et de temporalités ;
- Elle implique des groupes sociaux, des collectifs et, donc, des organisations distribuées ;
- Elle traite d'éléments émergents et non de régimes ou d'institutions établies ; ainsi de multiples pouvoirs coexistent : l'assemblage ne résulte ni d'un pouvoir central ni d'une distribution de pouvoirs égaux ;
- Elle met l'emphase sur les fragilités et les situations temporaires ; les écarts, les fissures et les fractures sont des objets de recherche privilégiés.

La notion d'*assemblage* sert une approche systémique constructiviste, dans le sens où rien n'est donné ni définitivement acquis. Dans le numéro spécial de la revue *Area* de la Royal Geographical Society qu'ils ont coordonné, ces deux chercheurs concluent : la notion d'*assemblage* constitue "*a specific form of relational thinking that attends to the agency of wholes and parts, not one or the other (...) is also in part about the play between stability and change, order and disruption.*" (McFarlane et Anderson 2011). Elle permet de cerner les incertitudes, les non-linéarités et les contingences du changement dans le champ de la discipline géographie sans poser de limites spatiales ou temporelles a priori au système étudié.

Ces qualités susnommées de la notion d'*assemblage* (en anglais) reprennent bien l'accent mis sur la multiplicité et les connexions dynamiques de l'*agencement* (en français), cependant, la dimension sociale (groupes sociaux, collectifs, organisations distribuées...) prend le pas sur la dimension philosophique (signifiante, nominative...). Enfin, la dimension linguistique sous-tendue par l'*agencement de collectif d'énonciation* a disparu. Pour (Müller 2015), le langage est un champ d'application de la notion d'*assemblage* (généralement associé à l'étude du pouvoir) mais pas une de ses dimensions constitutives.

En revanche, l'*agencement* (en français) a conservé quelques caractéristiques deleuziennes si l'on se réfère à un géographe francophone qui a utilisé cette notion dans des ouvrages récents. Lussault mobilise effectivement la notion d'*agencement* pour penser l'espace comme un construit social mais, à la différence de Anderson et McFarlane, il met l'accent sur la dimension

1. ¹⁷ Plus de 33000 citations google scholar de la version en anglais de l'ouvrage : "A thousand plateaus: Capitalism and Schizophrenia" G Deleuze, F Guattari - 1988 - Bloomsbury Publishing

linguistique « *un agencement est un assemblage spatialisé, circonstanciel et labile (...) qui met en forme l'espace dans et pour une action (...). De surcroît, dans chaque situation pratique, les protagonistes disposent des idées, des discours des figures (...). Cette disposition permet aux acteurs de qualifier, de valoriser et de marquer l'espace pratique, de spatialiser les actes par le langage.* » (Levy et Lussault 2013, 58).

Dans son ouvrage de référence « *Changer de société, refaire de la sociologie* », version française de « *Reassembling the Social - An Introduction to Actor-Network-Theory* », (Latour 2007b) utilise le terme *assemblage* et non celui d'*agencement* dans la conclusion. Il associe l'*assemblage* à l'émergence d'un collectif qui deviendra commun en cas de succès : un commun agréé, institutionnalisé et néanmoins susceptible d'être déstabilisé ultérieurement par de futurs assemblages (idem, p357). Le terme français « *assemblage* » trace sa propre trajectoire scientifique à côté de celui d'*agencement*¹⁸. Le premier ne me semble pas avoir encore été suffisamment modelé pour que la littérature scientifique francophone en donne une définition relativement – et provisoirement – stable, en tout cas dans le champ de la géographie et de l'urbanisme.

Privilégiant les dimensions sociales et spatiales y compris dans leur matérialité sur les dimensions philosophiques et linguistiques, je préfère utiliser le terme « *assemblage* » plutôt que celui d'*agencement*. A ce stade de notre analyse, je reprends la définition d'*assemblage* posée en liminaire de cette section (Farias 2010) : « *as a multiplicity of processes of becoming, affixing, sociotechnical networks, hybrid collectives and alternative topologies*”.

Je considère donc que le (les) système(s) énergétique(s) urbain(s) qui assure(nt) l'approvisionnement en énergie des citoyens – est (sont) formé(s) par *assemblage de nœuds socio-énergétiques*, un *nœud socio-énergétique* étant un ensemble d'éléments, qui collecte, convertit et/ou distribue de l'énergie, construit par un acteur décisionnel en interaction avec des actants.

Voyons maintenant ce que la notion d'*assemblage de nœuds socio-énergétiques* apporte et que n'apporte pas la notion de *réseau* à l'étude des transitions bas-carbone urbaines.

3.2 Le système énergétique au-delà du réseau public

Les systèmes énergétiques urbains sont abordés sous l'angle des réseaux dans la littérature qui traite de la ville et plus particulièrement sur des services urbains. Qu'ils véhiculent des flux d'eaux, de déchets ou d'énergie, les grands réseaux ont joué un rôle social, économique, culturel ou encore idéologique dans la manière dont la ville s'est façonnée depuis la fin du XIX^e siècle (Kaika et Swyngedouw, 2000). Réciproquement, leur déploiement résultent des stratégies d'acteurs socio-économiques (Hugues 1983; Akrich, M., Callon, M. et Latour, B. 1988; Flichy 1995; Rip et Kemp 1997) et de choix politiques opérés par les autorités nationales et locales en

¹⁸ L'on retrouve le terme d'*agencement* dans un champ de la sociologie des marchés. L'*agencement marchand* est utilisé pour analyser la naissance ou la transformation de marché (Callon et al. 2017). Même si cet objet de recherche peut présenter un grand intérêt pour comprendre comment le marché de la fourniture d'énergie est bousculé par les circuits courts (par exemple l'autoconsommation collective) et comment les circuits courts font l'objet de nouveaux services marchands, je laisse - pour l'instant- les sociologues creuser ce sujet.

termes de technologies utilisées, de modalités d'accès au service et d'organisation de leur gestion (Dupuy 1990; Coutard 2002; Poupeau 2017).

L'imbrication étroite entre le technique (infrastructures, technologies, mesures...) et le social (organisations, régulations, modalités d'accès...) fait consensus dans les communautés scientifiques internationales en sciences humaines et sociales (Pinch et Bijker 1987; Williams et Edge 1996; Coutard 2002; Dupuy, Van Schaick et Klaasen 2008) bien au-delà du courant des *Sciences et Technologies Studies* qui promut simultanément le message d'imbrication et les méthodes pour l'analyser : la *théorie de l'acteur-réseau* et la notion d'*assemblage*.

Comme nous l'avons vu dans le deuxième chapitre, la libéralisation du secteur de l'électricité, la montée en puissance des collectivités locales et l'essor de dispositifs techniques de production dans ou à proximité des lieux de consommation remettent en cause les grands réseaux techniques à tel point que Coutard et Rutherford (2013) ont suggéré la notion de ville « post-réseaux ». De nombreux travaux interrogent effectivement le changement de statut de la planification énergétique dans les zones urbanisées (Swyngedouw et Heynen, 2003 ; Cumo et al., 2012 ; Jaglin, 2014 ; Rutherford et Coutard, 2014 ; Webb, 2015).

Avant de traiter la question émergente des circularités courtes de l'énergie dans la dernière sous-section, il m'importe d'explicitier les limites d'une vision focalisée sur le réseau public de l'énergie comparativement à une vision - élargie - de systèmes énergétiques urbains ou territorialisés. Je soulève en particulier deux points récurrents sous-estimés par la notion de *réseau* : d'une part, l'indispensable articulation entre les infrastructures publiques et les infrastructures privées et, d'autre part, les interconnexions entre réseaux.

3.2.1 Complémentarité réseau public et infrastructures énergétiques privées

L'énergie en milieu urbain est distribuée essentiellement sous forme d'électricité et de gaz (figures 3-2 et 3-3)¹⁹. Ces deux vecteurs - selon lesquels l'énergie est acheminée depuis des lieux de production (extraction et/ou conversion) jusqu'à des lieux de consommation (usages) - utilisent des infrastructures d'envergure qui requièrent de lourds investissements en capital (Coutard, 2002).

L'utilisation de ces vecteurs énergétiques dans le bâtiment – de loin le principal lieu de consommation dans les villes – requiert des infrastructures complémentaires au réseau public - dit de distribution - pour acheminer l'énergie du point de raccordement du bâtiment au réseau public jusque dans les locaux (bureaux, magasins, entrepôts, pièces de logement...). Que ces infrastructures connexes au réseau²⁰ soient privatives (appartenant à un individu ou à un ménage) ou collectives (appartenant à une entreprise hébergeant des individus ou un ensemble de ménages et/ou entreprises), leur fonctionnement est encadré par des normes techniques

¹⁹ Voir la consommation finale «domestic» sur la figure 3-2. La consommation finale de produits pétroliers (figure 3-3) concerne très largement les transports.

²⁰ Pour alléger la lecture j'utilise dans ce chapitre le seul terme « réseau » pour désigner le réseau public de distribution.

d'installation et de raccordement et requiert des savoir-faire de la part des professionnels qui les conçoivent, les réalisent ou les exploitent comme de celle des utilisateurs.

Dans les bâtiments, la frontière entre infrastructures privées et réseau diffère selon que l'on considère la phase de construction et la phase d'exploitation. En zoomant sur un quartier, nous (Debizet, La Branche et Tabourdeau 2016, 77) avons représenté trois combinaisons de raccordement aux réseaux de gaz et d'électricité les plus fréquentes en France : chauffage assuré par conversion électricité/chaleur au sein du logement (*chauffage électrique* sur la figure 3-1), chauffage assuré par conversion gaz/chaleur au sein du logement (*chauffage individuel gaz*) et chauffage assuré par conversion gaz/chaleur à l'échelle du bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments géré par une même entité (*chauffage collectif gaz*).

Dans les trois cas, les logements sont raccordés au réseau électrique pour assurer les usages domestiques spécifiques de l'électricité (éclairage, appareils électro-ménagers, communication, contrôle ...) par l'intermédiaire d'une infrastructure collective à l'échelle du bâtiment (ou d'un ensemble de bâtiments²¹) porté par un maître d'ouvrage du bâtiment (désigné par le terme « promoteur » sur la figure 3-1. Ainsi, le promoteur du bâtiment (ou de l'ensemble des bâtiments) construit un NSE couvrant les échelles logement et bâtiment. Ce NSE est connecté au réseau exploité par un opérateur (« op. réseau » figure 3-1) qui est lui aussi considéré comme un NSE. Ces deux types de NSE se complètent et composent le système électrique urbain.

Notons qu'en phase de fonctionnement, le système électrique traversant un quartier (périmètre de la figure 3-2) peut être matériellement décomposé en trois sphères de responsabilité première : primo, le logement sous la responsabilité du ménage occupant et, le cas échéant, de son bailleur ; secundo, le bâtiment par le syndicat de copropriétaires ou le propriétaire s'il est unique ; tertio, le gestionnaire du réseau d'électricité²². Par l'interface d'un compteur, le gestionnaire du réseau électrique est en relation directe avec le ménage qui occupe le logement. Il l'est aussi avec l'entité gestionnaire des espaces et des infrastructures collectives du bâtiment (ou l'ensemble de bâtiments) pour la consommation des locaux et les équipements collectifs.

²¹ Ce peut être le cas d'un ensemble de bâtiments réalisés par le même promoteur ou d'un lotissement de maisons individuelles. Dans l'objectif de fluidifier la lecture, nous assimilerons un ensemble de bâtiments réalisés par le même maître d'ouvrage et appartenant au même propriétaire ou regroupés dans la même copropriété par la suite à un « bâtiment ».

²² Par souci de clarté, nous ne distinguons pas dans cette section le gestionnaire du réseau et le fournisseur d'énergie.

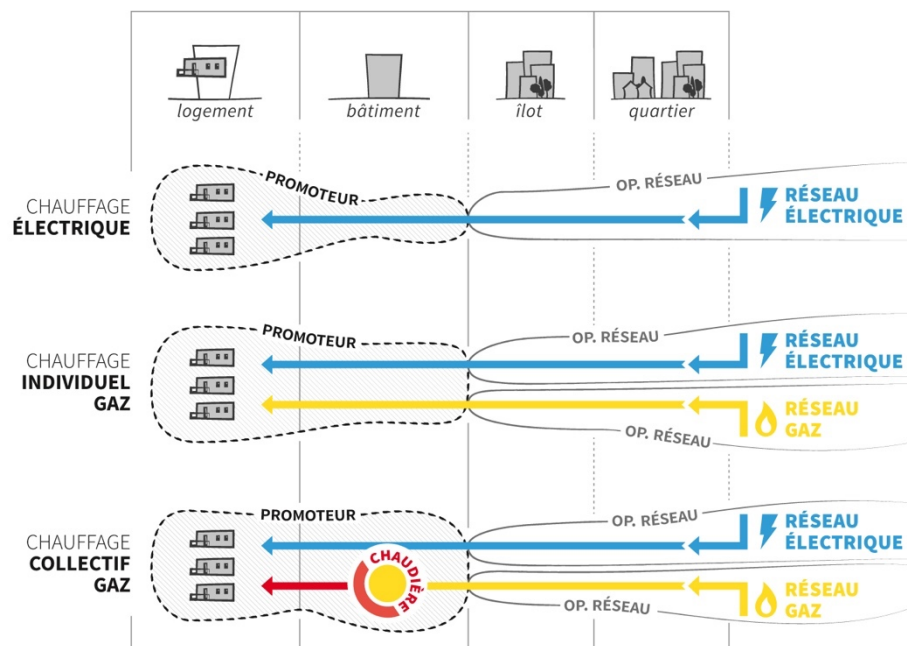


Figure 3-1 Assemblages usuels entre bâtiments et grands réseaux en France (source Debizet 2016)

Revenons à chacun des cas (figure 3-1) :

- En *chauffage électrique*, le fonctionnement et la répartition des responsabilités décrites pour l'électricité s'appliquent autant pour l'usage chauffage que pour les usages spécifiques. En général et pour des raisons économiques, le promoteur n'installe pas d'infrastructure de gaz alimentant les logements. Nous dénombrons donc, en phase de construction, deux NSE (le réseau électrique et l'infrastructure électrique privée 'logement + bâtiment') et, en phase de fonctionnement, trois sphères de responsabilité ('logement', 'bâtiment', 'réseau').
- En *chauffage individuel au gaz*, les responsabilités que j'ai décrites pour l'infrastructure électrique sont réparties de façon similaire. Nous dénombrons donc trois NSE en phase de construction : le réseau électrique, le réseau de gaz et l'infrastructure privée logement/bâtiment gaz et électricité. En phase de fonctionnement, le système gaz regroupe trois sphères de responsabilité ('logement', 'bâtiment', 'réseau') comme le système électrique. Remarquons que la sphère 'logement' peut choisir entre le gaz et l'électricité pour les usages domestiques thermiques (chauffage, cuisson, eau chaude sanitaire).
- En *chauffage collectif au gaz*, les logements sont alimentés en chaleur par l'entité collective gestionnaire du bâtiment. En général et pour des raisons économiques, le promoteur n'installe pas d'infrastructure de gaz alimentant les logements. Nous dénombrons donc trois NSE en phase de construction : le réseau électrique, le réseau de gaz et l'infrastructure privée logement/bâtiment comprenant l'infrastructure électrique et le système de chauffage alimenté en gaz par le réseau et conduisant la chaleur jusque dans les pièces des logements. Si tout le quartier était composé de bâtiments disposant de chauffage collectif, le nombre de sphères de responsabilité différerait selon que l'on s'intéresse au système électrique ('réseau', 'bâtiment', 'logement') ou gaz ('réseau' et

‘bâtiment’ sans le ‘logement’). La sphère ‘logement’ peut choisir entre la chaleur (fournie par l’entité gestionnaire du bâtiment) et l’électricité (acheminée par le gestionnaire de réseau jusqu’à l’entrée du logement) pour le chauffage mais l’électricité s’impose pour la cuisson²³. La sphère ‘bâtiment’ peut changer le vecteur énergétique d’approvisionnement pour les besoins de chauffage : la question se pose lorsque la chaudière devient obsolète.

Ces trois cas d’approvisionnement énergétique couvrent une grande majorité des logements existants en France. Ils s’appliquent à l’habitat collectif et individuel (dans ce cas, logement et bâtiment sont confondus). Notons que depuis l’entrée en vigueur de la Réglementation thermique 2012, le calcul des consommations en énergie primaire pénalise le chauffage électrique par effet Joule. En conséquence, le chauffage des bâtiments neufs est rarement assuré par l’électricité ; le vecteur gaz - voire le bois-énergie - et le prélèvement de calories dans l’environnement proche du bâtiment (le sol ou l’air) par des pompes à chaleur sont désormais très largement choisis.

Quoi qu’il en soit, ces trois cas représentatifs²⁴ d’une distribution historique de l’énergie dans le secteur du bâtiment mettent en évidence le fait que les systèmes énergétiques déployés en ville ne sont ni construits ni exploités selon une seule relation duale entre le(s) réseau(x) et le consommateur final. Les choix des acteurs de la construction (promoteurs, aménageurs...) relatifs aux infrastructures énergétiques privées conditionnent la capacité des consommateurs finaux à choisir leur(s) vecteur(s) d’approvisionnement énergétique. Qui plus est, ces acteurs créent *de facto* des collectifs énergétiques - nécessairement pérennes - à l’échelle du bâtiment ou d’un ensemble de bâtiments. Autrement dit, les infrastructures énergétiques localisées dans l’espace urbain sont constituées par assemblages hétérogènes de nœuds socio-énergétiques.

3.2.2 Interconnexion entre réseaux

L’analyse précédente était focalisée sur l’espace du quartier, un morceau de ville. Elle a mis en évidence des possibilités - variables selon la nature des infrastructures privées - de basculement d’un vecteur énergétique à un autre et de mobilisation de sources d’énergie plus ou moins différentes par les sphères de décision ‘logement’ et ‘bâtiment’. Des basculements de vecteurs et de sources s’opèrent-ils à d’autres échelles, par d’autres acteurs ? Où se situent-ils principalement ?

Étendons notre regard aux espaces régionaux et nationaux. Les conversions énergétiques entre les sources d’énergie et les catégories d’usages apparaissent sur des diagrammes de flux tel celui représenté par la figure 3-2. Les quantités indiquent les flux cumulés pour l’ensemble de l’année 2011 pour le périmètre du Royaume-Uni.

²³ Voir l’usage eau chaude sanitaire, si le système de chauffage collectif n’en délivre pas directement.

²⁴ Rares en villes, les approvisionnements discontinus en combustibles liquides (gaz, fuel) et solides (bois) sont fréquents dans le périurbain et en zone rurale.

Energy Flow Chart 2011 (million tonnes of oil equivalent)

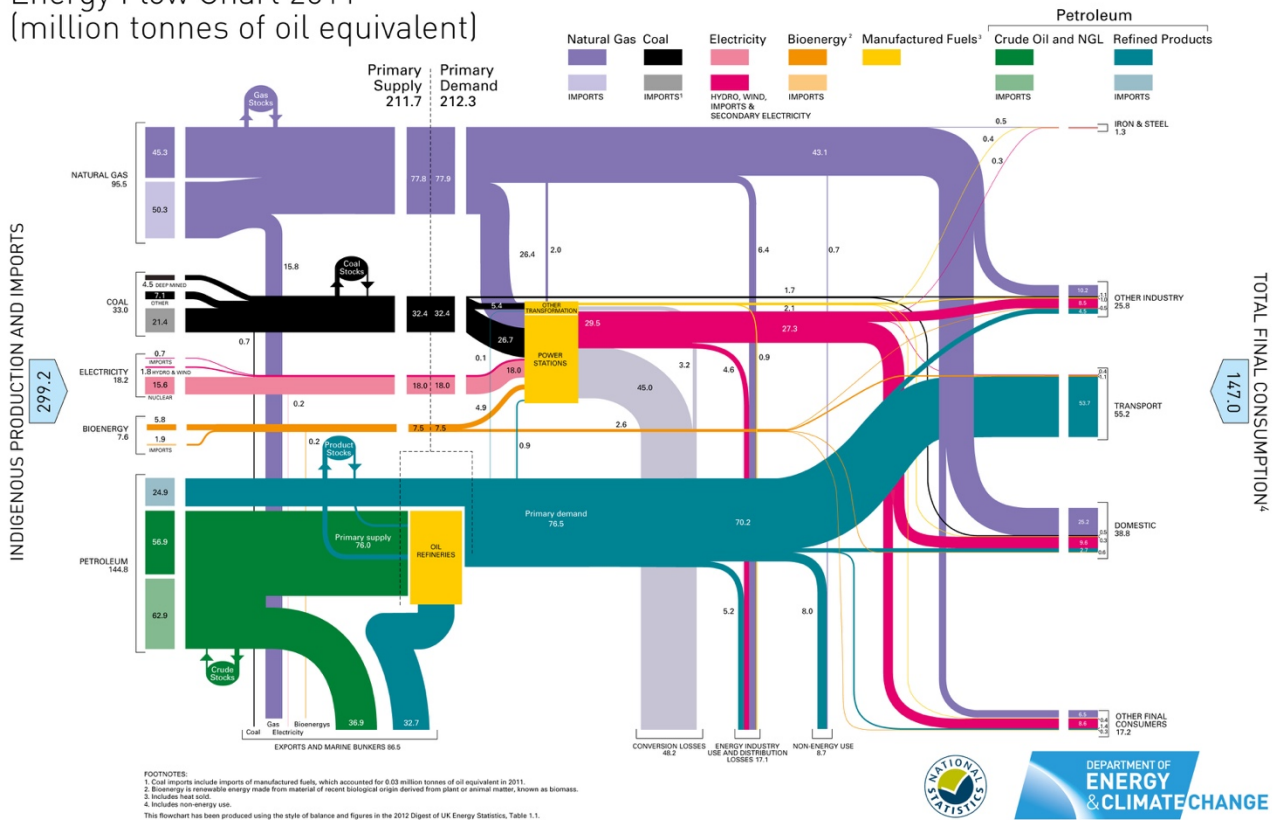


Figure 3-2 Flux d'énergies au Royaume Uni en 2011 : ressources primaires, conversions et consommations par secteur d'activité (source: UK Department and Climate Change)

Plusieurs vecteurs énergétiques alimentant le secteur 'domestic' que je suppose correspondre au secteur du bâtiment résidentiel : dans l'ordre décroissant : gaz, électricité, pétrole puis, de façon marginale, charbon et bio-énergie. Le vecteur chaleur n'est pas mentionné, il est peut-être négligeable. L'on peut supposer que les besoins thermiques (chauffage cuisson, eau-chaude et cuisson) sont principalement assurés par les combustibles fossiles.

Le schéma met en évidence une transformation massive interne au vecteur pétrole opérée dans les raffineries. Il souligne aussi la conversion de combustibles fossiles, principalement gaz naturel et charbon, en électricité dans des centrales électriques ("power stations"). La ressource gaz naturel est transformée en électricité ou consommée – essentiellement - dans l'industrie et le secteur 'domestic' ou bien encore exportée. Une part importante de cette ressource est perdue lors de la production d'électricité ("conversion losses"). Outre le secteur des bâtiments d'habitation mentionné plus haut (cf. 'logement' et 'bâtiment' de la figure 3-1 et 'domestic' de la figure 3-3), les centrales thermiques constituent de loin les principaux lieux de conversion, en l'occurrence du gaz ou du charbon en électricité.

Qu'en est-il de la France ? Le schéma fourni par le ministère en charge de l'énergie (figure 3-4) détaille lui aussi les conversions vers le vecteur électrique ; il ne répartit pas les consommations par secteur.

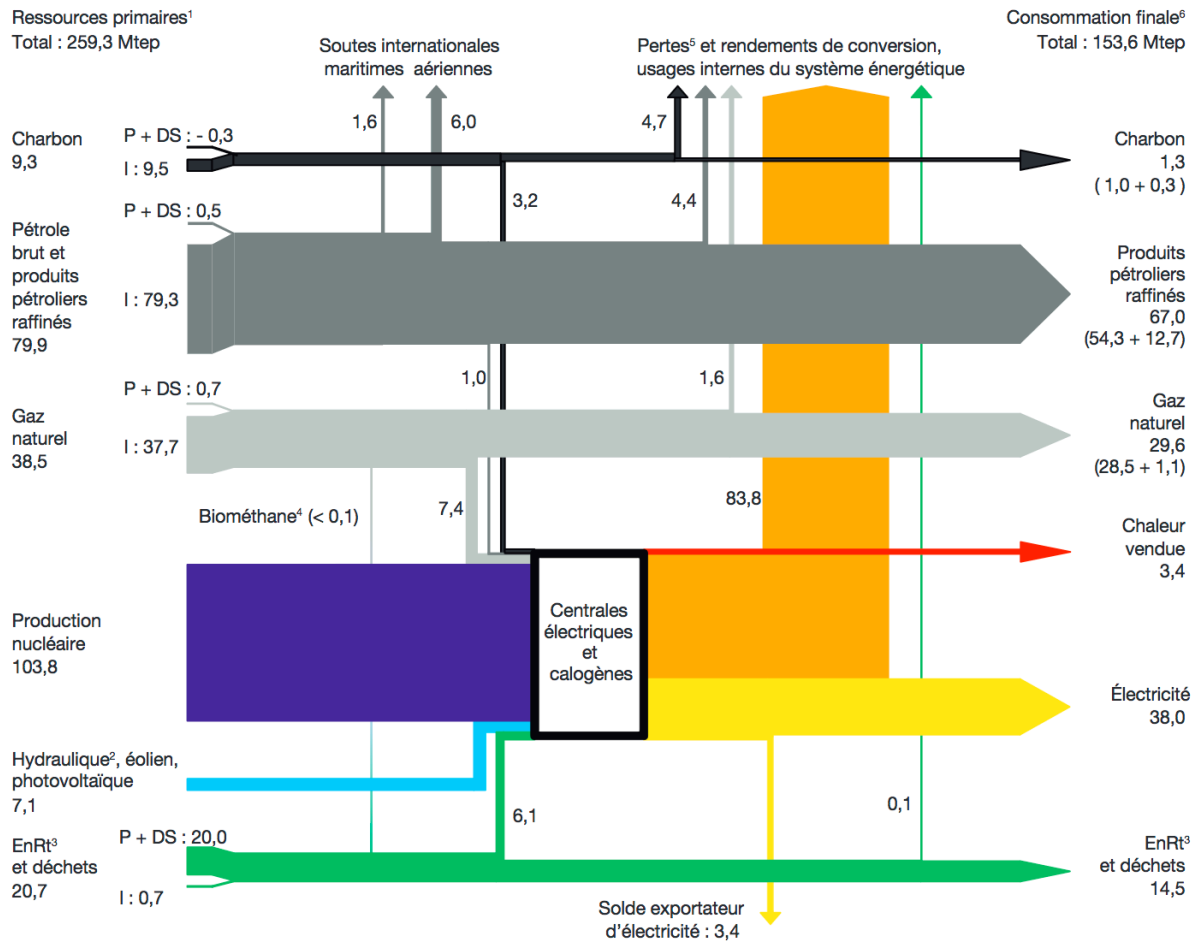
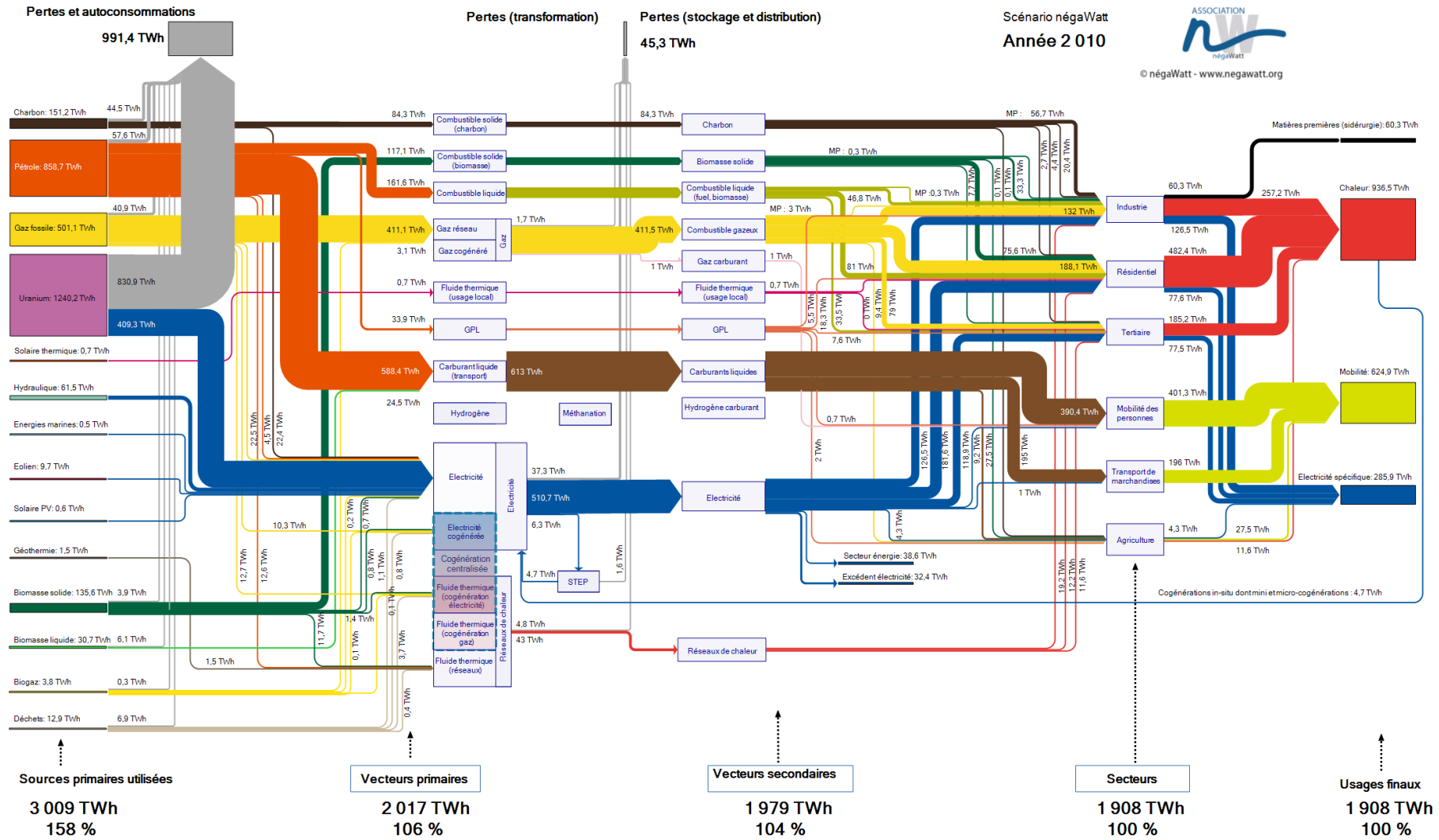


Figure 3-3 Flux d'énergie pour la France en 2017 : ressources primaires, conversion et consommation finale par vecteur (Source CGEDD, Ministère de la transition écologique et solidaire, avril 2018)

Les conversions entre vecteurs (et donc les interconnexions entre réseaux de vecteurs différents) se limitent-elles à la conversion combustible vers l'électricité ? L'association Négawatt a produit un bilan énergétique sensiblement plus détaillé, il concerne l'année 2010.



Notes :
1) Ce diagramme n'est pas une représentation physique des réseaux, mais une représentation des flux et pertes liées aux différentes transformations des énergies depuis les sources primaires jusqu'aux usages finaux. Ainsi, en 2010, le biogaz n'est pas réellement injecté dans le réseau de distribution gaz, mais utilisé localement. Cela ne change rien au bilan présenté.
2) La plupart des valeurs sont arrondies à l'unité, pour ne pas alourdir le schéma. Il peut en résulter des bilans non parfaitement équilibrés.
3) MP = matières premières

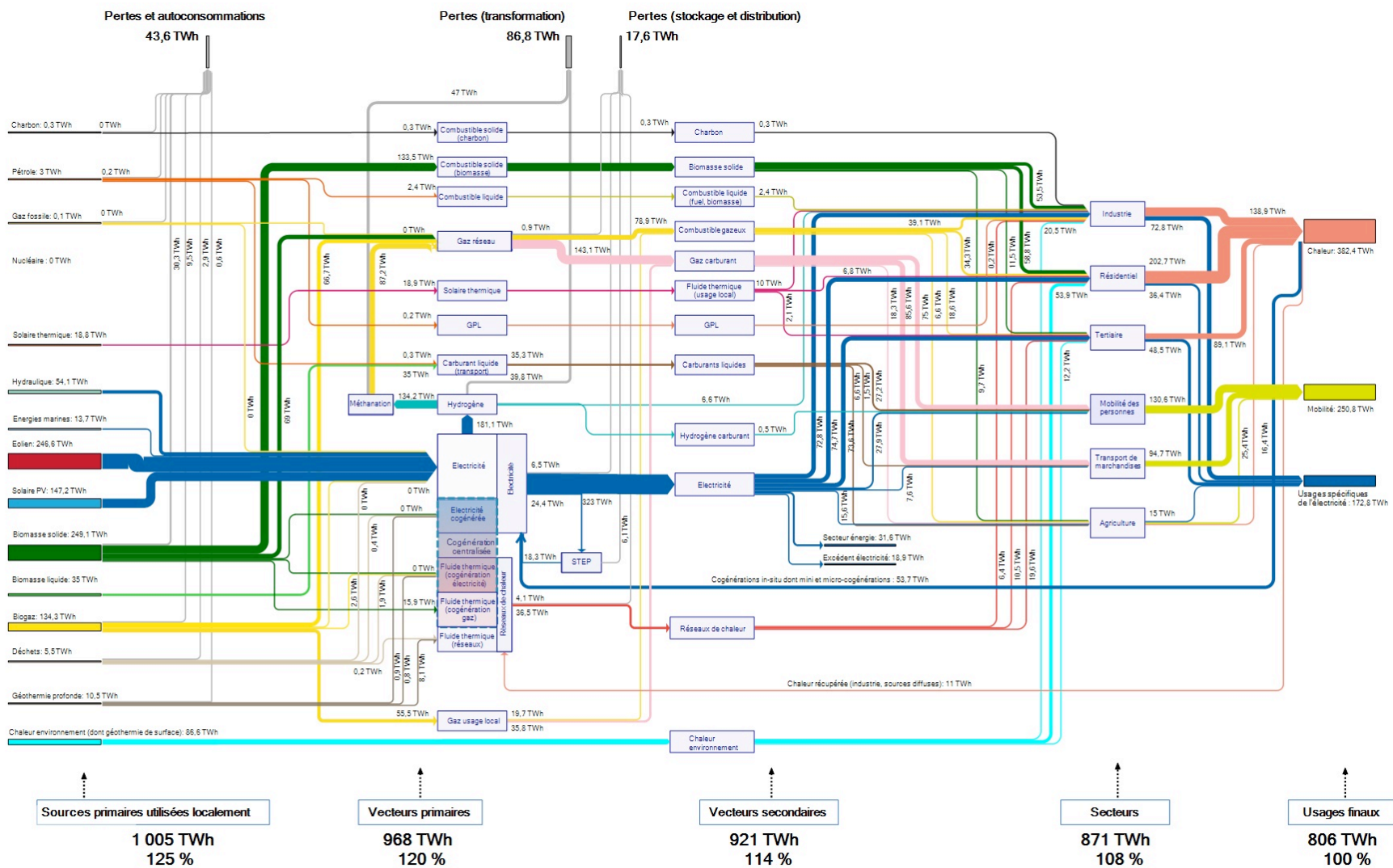
Figure 3-4 Flux d'énergie pour la France en 2010 : ressources primaires, conversion et consommation finale par secteur et usages fonctionnels (Association Négawatt 201?)

D'autres conversions à partir d'énergies primaires apparaissent : d'une part vers l'électricité, la biomasse solide et le biogaz ; d'autre part, vers le vecteur chaleur véhiculé par les réseaux éponymes, le gaz, le pétrole, la biomasse solide, le biogaz et les déchets ; enfin, vers le gaz, la biomasse qui a généré le biogaz. Ces volumes sont de 20 à 50 fois plus faibles que l'énergie électrique d'origine nucléaire mais ils sont du même ordre de grandeur que les combustibles fossiles convertis en électricité.

Sur la droite du schéma, apparaissent aussi les conversions des consommations finales vers les usages finaux : une part importante des besoins de chaleur des bâtiments résidentiels et tertiaires est assurée par le vecteur électrique. Le premier assemblage de la figure 3-1 correspond à cette consommation directe d'électricité.

Le schéma Négawatt 2010 de la France (figure 3-4) met aussi en évidence la diversité des vecteurs énergétiques alimentant les bâtiments, dans l'ordre décroissant : gaz, électricité, fuel, biomasse solide dans des ordres de grandeur proches et, dans une moindre mesure, la chaleur via des réseaux publics ou des infrastructures privés. Compte tenu du raccordement au réseau électrique de la quasi-totalité des bâtiments, l'utilisation de plusieurs vecteurs énergétiques est donc fréquente.

L'association Négawatt appelle une amplification des conversions énergétiques et des interconnexions de réseaux : elle préconise ainsi une évolution substantielle des flux énergétiques dans son scénario « 100% renouvelable » en 2050 (figure 3-5). Outre la baisse drastique des consommations et l'augmentation massive des conversions en électricité et chaleur à partir des ressources renouvelables, le scénario Négawatt 2050 prévoit des conversions massives : d'une part, d'électricité en hydrogène et en méthane (gaz) ; d'autre part, des combustibles (gaz, biomasse) en chaleur et électricité par cogénération.



Notes:
 1) Ce diagramme n'est pas une représentation physique des réseaux, mais une représentation des flux et pertes liés aux différentes transformations des énergies depuis les sources primaires jusqu'aux usages finaux. Ainsi, en 2050, le biogaz n'est pas réellement injecté dans le réseau de distribution gaz, mais utilisé localement. Cela ne change rien au bilan présenté.
 2) La plupart des valeurs sont arrondies à l'unité, pour ne pas alourdir le schéma. Il peut en résulter des bilans non parfaitement équilibrés.

Figure 3-5 Flux d'énergie pour la France en 2050 : ressources primaires, conversion et consommation finale par secteur et usages fonctionnels (Association Négawatt 201?)

Les flux produits par ces conversions seraient injectés dans les réseaux de distribution locaux (figure 3-6). Les conversions envisagées par Négawatt seraient dispersées dans l'espace et de faible ampleur, comparativement aux centrales nucléaires actuelles. L'espace urbain serait innervé par un réseau local de chaleur issue de la cogénération et de la méthanation (dont les installations seraient situées à proximité des lieux émetteurs de CO₂) puisque le transport à longue distance du CO₂ et de la chaleur demeure coûteux. Enfin, le stockage serait associé au réseau local (méthane pour le gaz et batteries pour l'électricité) et au réseau national (réservoirs de gaz naturels et station de pompage/turbinage hydroélectrique).

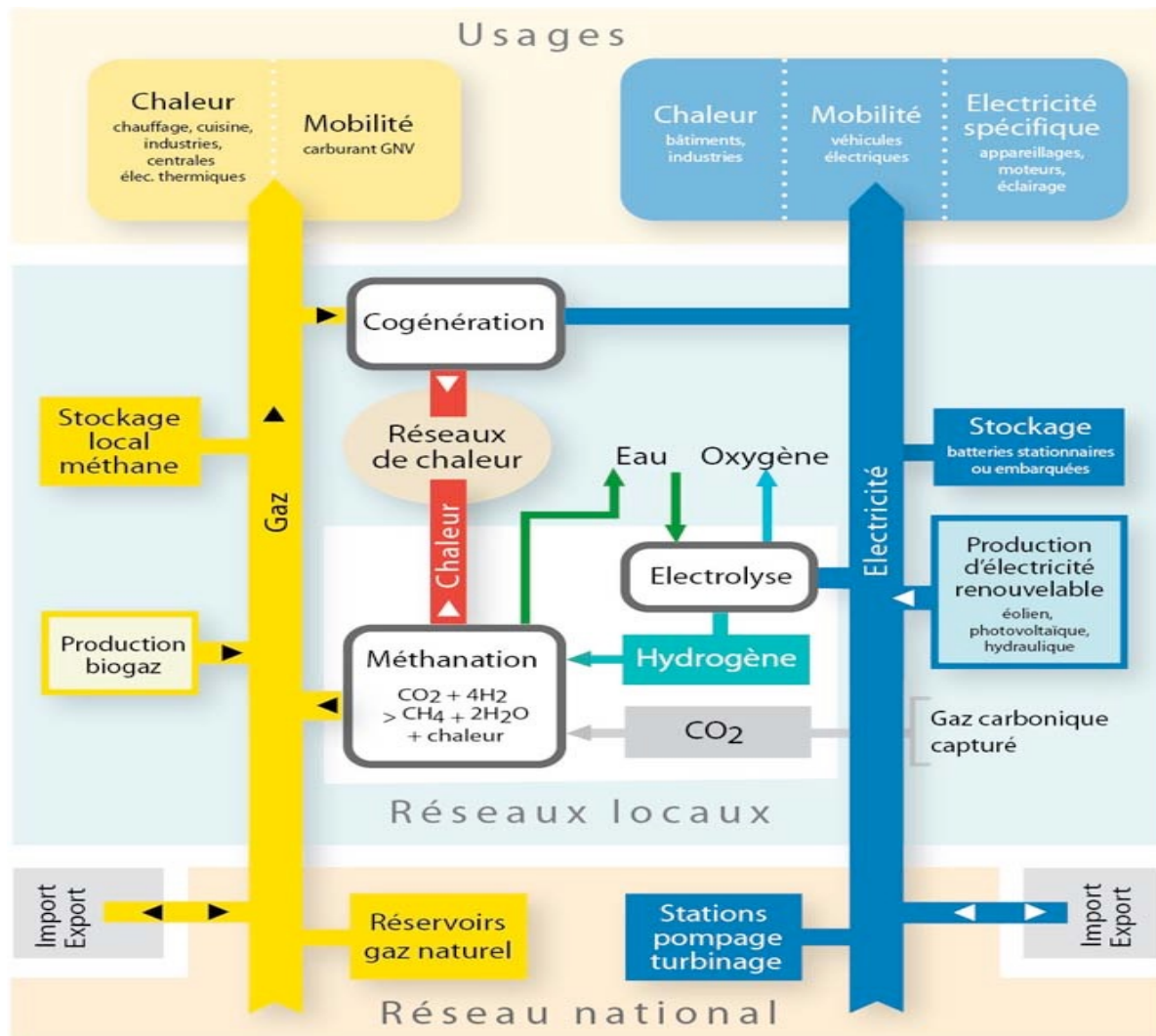
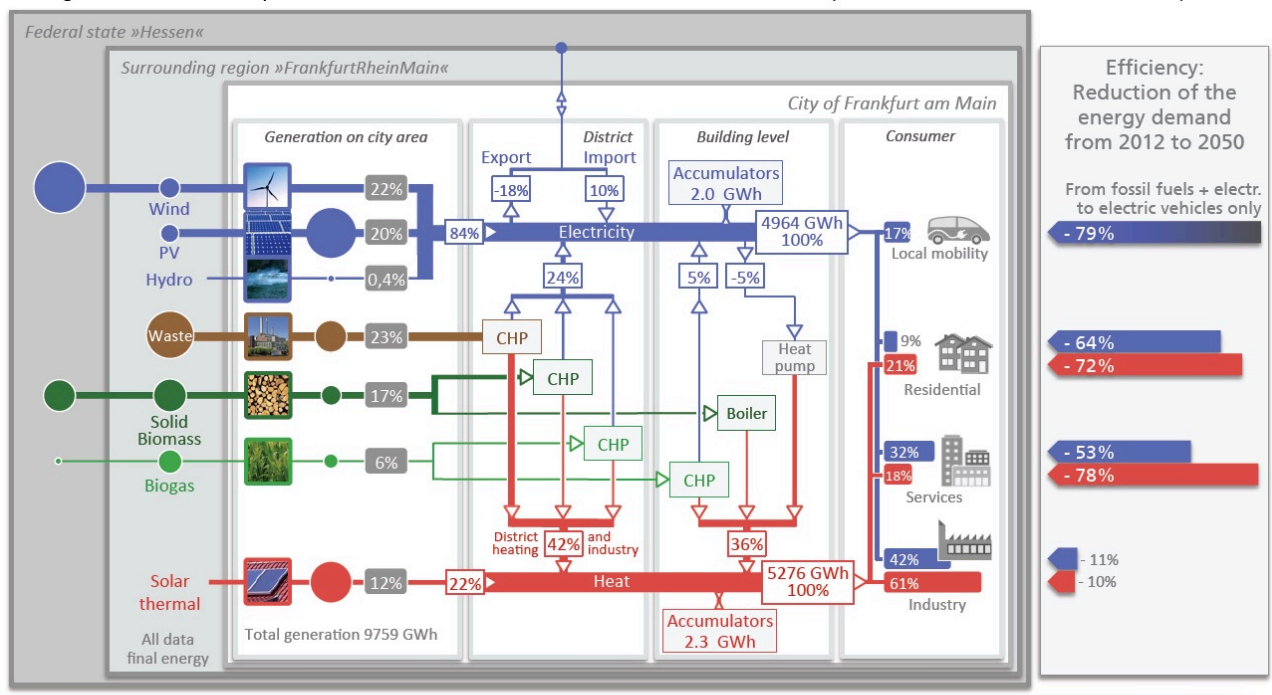


Figure 3-6 Principe de conversion (cogénération, méthanation, électrolyse) et injection dans les réseaux de distribution (Association Négawatt 201?)

Enfin, le scénario negawatt 2050 prévoit un prélèvement généralisé des calories et frigorifiques autour des lieux de consommation par des pompes à chaleur alimentées en électricité. Il ne précise pas si ces prélèvements sont effectués au sein des infrastructures privées (privatives ou collectives) propriétés des utilisateurs avec un objectif d'autoconsommation ou dans des unités publiques ou privées ad hoc injectant dans le réseau de chaleur. De même, je m'interroge sur les entités qui pourraient porter la cogénération : le ménage au sein du logement, l'entité

propriétaire-gestionnaire de bâtiment(s), une entité privée consacrée à la production ou bien encore le gestionnaire du réseau de chaleur public.

Cette variété de localisations et de modalités de relations entre production et consommation - en autoconsommation (ménage ou collective) par - et entre - différents réseaux – a conduit certains territoires à mener des démarches systémiques et partenariales. C’est le cas de la ville de Frankfurt et de sa région en Allemagne en collaboration avec l’institut Fraunhofer (figure 3-7) (Stryi-hipp 2015).



© Fraunhofer ISE 2015

Fraunhofer
ISE

Figure 3-7 Approche prospective systémique et spatialisée Frankfurt 100% renouvelable (source Stryi-Hipp Fraienhofer Insitutit 2015)

Les conversions énergétiques²⁵ entre les vecteurs électricité, gaz, chaleur et biomasse solide sont effectuées essentiellement aux échelles du quartier (districts) et bâtiment (building). Cela laisse supposer qu’une partie des flux convertis reste dans les infrastructures privées tandis qu’une autre transite dans les réseaux (publics). Contrairement à la vision Négawatt, le stockage est envisagé seulement à l’échelle bâtiment (‘accumulators’ figure 3-7). Cela laisse supposer un haut niveau d’autoconsommation individuelle et collective et une grande autonomie énergétique à ces échelles micro. Négawatt privilégiait le réseau.

Qu’elles concernent le passé (2010) ou le futur (2050), ces approches systémiques et spatialisées pensées par des ingénieurs de l’association Négawatt et de l’institut Fraunhofer font évidemment fi des dimensions sociales, politiques et territoriales des systèmes énergétiques et, par la même fi des régimes sociotechniques de l’énergie et de la construction.

²⁵ Ces conversions sont opérées par des chaudières (boiler), des pompes à chaleur (heat pump) et des cogénérateurs (CHP)

Les changements cognitifs par rapport à la façon dont les flux d'énergie sont représentés - par exemple par le ministère français de la transition écologique et solidaire (figure 3-4) - doivent interroger la recherche en sciences sociales sur la ville et les transitions. Je relève trois déplacements cognitifs majeurs :

- Une catégorisation des usages finaux selon leur forme énergétique : chaleur (énergie thermique), mobilité (énergie cinétique) et électricité spécifique (lumière, communication mais aussi cinétique et mécanique pour les appareils électro-ménagers et industriels) ;
- L'introduction du stockage de l'énergie, et ce, selon les formes gaz, chaleur, gravitaire et électrochimique, les deux dernières étant strictement associées au vecteur électrique ;
- Une répartition par échelle spatiale des sources énergétiques et des infrastructures de conversion et de stockage. Cette répartition a pour effet de réintroduire les infrastructures privées dans le système énergétique et rappeler la fonction transcalaire des réseaux.

Que l'objectif « 100% renouvelable » soit plausible ou pas, ces déplacements cognitifs soulèvent des questions politiques et territoriales majeures à prendre au sérieux que ce soit sur les fonctions et les gouvernances des réseaux ou sur l'autonomie énergétique de morceaux de l'espace urbanisé. Ainsi, l'analyse de l'opérationnalisation des politiques - locales et nationales – bas-carbone, tout autant que celle de la transition des systèmes sociotechniques appellent des approches de type assemblage socio-énergétique pour traiter ces questions que la seule approche « réseau » ne peut investiguer.

3.3 Contexte d'émergence de la notion de NSE

En réponse à l'appel à proposition de l'ADEME « Mettre l'innovation au service du Facteur 4 », nous avons proposé en 2011 d'élaborer des scénarios prospectifs prenant en compte les acteurs de la ville et de l'énergie. Notre proposition pointait l'absence des sciences humaines et sociales dans des débats sur la transition énergétique au sein desquels les scénarios quantitatifs fondés sur l'économie ou la technologie jouaient un rôle déjà important.

Cependant, cette finalité « opérationnelle » couvrait aussi deux objectifs proprement scientifiques. Il s'agissait d'une part de coproduire des connaissances nouvelles, en l'occurrence d'explorer le champ des possibles en matière de stockage infra-urbain de l'énergie, et d'autre part, de développer l'intercompréhension entre disciplines des sciences humaines et sociales dans le plus grand bassin de la recherche française dans les sciences de la matière, de la nature et des technologies relatives à l'énergie et l'environnement. L'enjeu local – avec des répercussions nationales attendues - consistait autant à montrer l'apport de chercheurs en sciences humaines et sociales grenoblois que leur cohésion et leur complémentarité. L'objectif de coproduction concerne donc autant le produit final que le processus : une progression de l'intercompréhension entre disciplines préparant d'autres collaborations scientifiques.

Partis d'un noyau de quelques personnes rassemblées à l'initiative de la Structure Fédérative de Recherche *Innovacs*²⁶, nous avons étoffé l'équipe pour disposer de l'ensemble des disciplines susceptibles de révéler des facteurs des choix de solutions technologiques et d'organisation sociale et de proposer des concepts éclairant les liens entre ces facteurs : gestion et technologie sont venues compléter les sciences économiques et politiques, la géographie et l'urbanisme (cf. figure 3-8).

Le projet Ecoquartier NEXUS Energie

Projet de recherche pluri et interdisciplinaire financé par **l'ADEME** dans le cadre du programme « Mettre l'innovation sur la trajectoire du facteur 4 », référente Aude Bodiguel

- PACTE (CNRS, IEP, UGA) : Nicolas Buclet, Gilles Debizet (coordonnateur scientifique), Stéphane La Branche, Antoine Doré, Olivier Labussière, Xavier Long, Antoine Tabourdeau et François Balaye
- Grenoble Ecole de Management : Sylvie Blanco, Caroline Gauthier
- INNOVACS (UGA) : Fabrice Forest (coordonnateur technique)
- GAEL-EDDEN (CNRS, UGA) : Odile Blanchard et Philippe Ménanteau
- CEA-LITEN-INES : Patrice Schneuwly
- Octobre 2011 à décembre 2015

Midi-INES
01/10/2018




Figure 3-8 Équipe de la recherche Ecoquartier Nexus Energie

La première section (3.3.1) pointe l'absence paradoxale des acteurs dans les scénarios de transition énergétique qui ont nourri les débats politiques sur la transition énergétique. La suite décrit la façon dont les objectifs d'intercompréhension et de production interdisciplinaire ont été appréhendés tout au long de la recherche. Elle montre en particulier comment la notion de *nœud socio-énergétique* a structuré le travail collectif tout en offrant des espaces d'écriture individuelle.

3.3.1 Les acteurs, ces oubliés des scénarios de transition énergétique²⁷

Des scénarios prospectifs ont été élaborés et pris en compte par une variété d'acteurs afin d'évaluer, en amont des politiques publiques, l'effet de dispositifs de régulation économique (par exemple la taxe carbone) ou de développement technologique (par exemple, le nucléaire, l'éolien ou la géothermie). Les scénarios les plus connus sont quantitatifs : les « résultats » de

²⁶ Innovacs est la structure fédérative de recherche (SFR) pluridisciplinaire sur l'innovation créée par l'université Pierre Mendès-France devenue l'université Grenoble Alpes après fusion avec les deux autres universités grenobloises. La SFR rassemble une douzaine de laboratoires, autant dans le domaine des Sciences humaines et sociales que dans celui des technologies.

²⁷ La première moitié de cette section 3.3.1 synthétise des parties du chapitre d'ouvrage co-écrit avec Stéphane La Branche à paraître en 2019 : 'Scénarios de Transition Énergétique : Les Vertus Critiques d'une Approche Par Acteur-Pivot'. In *La Transition Énergétique Un Défi Pour Les Sciences Humaines et Sociales*, édité par Vincent Baggioni, Céline Burger, Joseph Cacciari et Marie Mangold.

variantes de scénarios se distinguent par des valeurs numériques différentes selon un ou plusieurs indicateurs. L'estimation de ces valeurs repose sur une modélisation fondée sur des variables elles aussi quantitatives. De tels scénarios ont régulièrement alimenté les débats sur la transition énergétique ; par exemple, le poids des énergies renouvelables, fossiles et fissiles dans le mix électrique national fut un des principaux points de clivage des dernières élections présidentielles françaises.

Les scénarios proposés par l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie (ANCRE)²⁸ se fondent sur le levier prix, censé mettre en correspondance l'offre et la demande (Alazard-Toux et al. 2014). Chaque filière énergétique met en relation des grandes catégories d'usages avec des ressources. Le scénario Négawatt repose sur les potentialités de déploiement de technologies de production d'énergie renouvelables et des déplacements de frontières entre les filières (Salomon et al. 2005) : par exemple, la double conversion de combustible (la biomasse étant privilégiée sur les fossiles) en électricité puis, après acheminement dans les bâtiments, en chaleur est remplacée par un apport de combustible directement dans les bâtiments où ils produiront de la chaleur. Dans les deux familles de scénarios, la dimension spatiale se limite à distinguer ce qui est extrait ou produit en France de ce qui provient de l'extérieur.

« ... ces scénarios tendent à extraire les technologies de leur tissu social comme si elles en étaient indépendantes autant lors de leur installation qu'au cours de leurs usages – usages d'ailleurs moyennés à l'ensemble d'une population. Quant aux acteurs qui produisent ou consomment de l'énergie, ils sont considérés comme des agents animés par la rationalité économique et l'objectif de sobriété (NégaWatt), et coordonnés entre eux par les prix (ANCRE). » (Debizet et La Branche 2019)

Ces scénarios technico-économiques pensés uniquement à l'échelle nationale ignorent certains mécanismes déterminants des choix énergétiques opérés par les acteurs :

- Les variables dynamiques des modèles sont élaborées à partir des flux repérés par la comptabilité nationale, c'est-à-dire ceux transitant par des réseaux publics ou assurés par des entreprises patentées du secteur de l'énergie. Or, une part des échanges marchands d'énergie échappe à la comptabilité nationale de l'énergie, par exemple : les apports énergétiques gratuits autoconsommés et une bonne partie du bois-énergie utilisé pour le chauffage domestique.
- Quand bien mêmes ces apports seraient connus, le principe de dissociation entre demande et offre sur lequel ces modèles sont construits ne permet pas de prendre en compte des dynamiques relatives aux apports énergétiques naturels et, par conséquent de tester des dispositifs incitatifs. Le solaire thermique passif relève-t-il de la production d'énergie ou de la réduction de la consommation ? Des dispositifs d'incitation à la mise à disposition des excédents de chaleur ou d'électricité à des voisins peuvent-ils être

²⁸ <http://www.allianceenergie.fr/page000100dc.asp?card=985>

testés par ces modèles technico-économiques avec la même finesse qu'une taxe carbone sur la production d'électricité transitant dans le réseau public ?

- Le découpage par filière et, pour le transport, par vecteur ne tient pas compte des processus territorialisés d'interactions entre les vecteurs énergétiques. Ces modèles peuvent-ils évaluer les effets d'une plus grande subsidiarité territoriale de la gouvernance des grands réseaux d'électricité et de gaz ? ou bien encore les effets du déploiement d'une comptabilisation unifiée des flux énergétiques sur un territoire ?

Plus généralement, la modélisation technico-économique estime les impacts d'une disposition entraînant une baisse relative de coûts d'une technologie sur la répartition des flux entre filières pour de mêmes usages de l'énergie sans prendre en compte des effets autres qu'économiques et déjà paramétrés dans le modèle. Ainsi, elle ne prend pas en compte les changements en termes d'organisation et de règles de coordination entre acteurs, changements qui eux-mêmes affecteront les politiques et les dispositifs, qu'ils soient locaux, régionaux ou nationaux. Enfin, l'hypothèse de changement de régime sociotechnique place le jeu d'acteurs dans des situations non encore observées et donc susceptibles de modifier de façon peu prévisibles les paramètres calés sur des observations passées. Une approche systémique (multi-vecteurs et multi-scalaire) prenant en compte l'imbrication entre les systèmes techniques de l'énergie et les acteurs de la société ne peut donc être que qualitative.

En France aussi, les pouvoirs publics encouragent et mettent parfois en place des dispositifs qui - explicitement ou de facto - encouragent la mobilisation des énergies renouvelables à proximité de la consommation. Les « transitions bas-carbone » menées en Europe introduisent ou confortent des circularités courtes entre production et consommation.

À l'échelle du bâtiment, le principe de bâtiment à énergie positive (BEPOS) encourage la production in situ de chaleur ou d'électricité à partir du rayonnement solaire. L'État prépare l'insertion du concept BEPOS dans la prochaine réglementation de la construction de bâtiment qui remplacera en 2020 la réglementation thermique (Visier 2008). Promu par l'association Effinergie qui avait été créée en 2006 par des plusieurs Régions françaises et des organisations impliquées dans la lutte contre le changement climatique (Debizet 2012d), le label BEPOS a été créé en 2013 peu après l'instauration de la RT 2012 (Réglementation Thermique 2012). La future réglementation de la construction proposera vraisemblablement quatre niveaux de performances énergétiques ; la plus élevée correspondra à l'exigence BEPOS. Dans la plupart des projets de bâtiment labellisés BEPOS, l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est entièrement injectée dans le réseau public : la baisse progressive du tarif de rachat d'électricité photovoltaïque laisse augurer un basculement vers l'autoconsommation individuelle voire collective.

À l'échelle du quartier, c'est la démarche d'écoquartier qui a conduit à la mobilisation d'énergie renouvelable in situ. Venue d'Europe du nord et déployée en France par des municipalités pionnières au titre de la lutte contre le changement climatique (Souami 2009a; Emelianoff 2010), la démarche se caractérise par l'application des « principes environnementaux, sociaux et économiques de développement durable » dans la conception – et dans la perspective de son

fonctionnement sur le temps long - d'un espace bâti ou converti de l'échelle d'un quartier²⁹. Par la suite, la démarche dont la diffusion a été renforcée par le label éponyme instauré par l'État (Grudet 2015b) a inspiré de très nombreux projets d'aménagement urbain en France.

En 2011, les observateurs de la fabrique de la ville - dont j'étais – imaginaient bien que ces circularités de proximité des flux d'énergie entraînent en tension avec la logique historique des réseaux de distribution à l'instar de Coutard and Rutherford ((Coutard et Rutherford 2009) et annonçaient une reconfiguration du rôle des acteurs de la ville et de l'énergie. Or, les modèles technico-économiques utilisés pour élaborer les scénarios de transition énergétique ne peuvent évaluer les effets de ces reconfigurations sur le mix énergétique.

La construction de scénarios –qualitatifs- de transition énergétique intégrant les acteurs de la transformation et de la gestion de la ville permet d'élargir le débat politique sur la transition énergétique à des considérations autres qu'économiques ou technologiques. De grands groupes de la construction et de l'énergie l'avaient bien compris puisqu'ils esquissaient eux-mêmes leur vision de la ville de demain, vision évidemment compatible si ce n'est favorable au développement de leurs activités. Il importait donc que le monde académique –positionné à distance des acteurs politiques et économiques - apportent les connaissances scientifiques sous des formes adaptées à un large public. C'est pourquoi nous avons proposé à l'ADEME un livrable final contenant des scénarios de transition énergétique en plus des traditionnelles publications dans des revues.

3.3.2 Défis scientifiques et de pilotage d'une recherche pluri- et interdisciplinaire

Extraits du deuxième chapitre du rapport intermédiaire n°2 (non publié) (Debizet, Dore et La Branche 2013)

L'intercompréhension entre discipline ne va pas de soi. Les concepts et les termes propres à une discipline permettent de réduire les coûts de transactions entre les chercheurs de cette discipline ainsi qu'avec les praticiens mobilisant ces concepts. Dans une collaboration entre chercheurs de disciplines différentes, il est nécessaire de prendre du temps pour expliciter le vocabulaire et les concepts, même de façon simplifiée et réductrice, comme le montre les observations sur les objets-frontières (Star et Griesemer 1989). Collaborer entre disciplines requiert un déplacement cognitif paradoxal : pourtant garant de sa discipline dans l'équipe, le chercheur est conduit à prendre en compte des causalités et des relations que sa discipline ignore.

La constitution d'un corpus commun est, de ce point de vue, une épreuve en soi. En effet, dans toute recherche, le chercheur puise des éléments de preuve dans son corpus ; leur validité scientifique dépend des modalités de construction et d'utilisation du corpus et notamment de la cohérence entre la problématique, les modalités de l'enquête, la conduite des entretiens et leur analyse (Brechon 2011; (Kaufmann et Singly 2007). Puisque cette cohérence est construite sur des concepts généralement attachés à la discipline scientifique, la construction d'un corpus d'entretiens commun constitue un formidable moyen de forcer l'intercompréhension entre les chercheurs de différentes disciplines. C'est aussi un défi puisque la cohérence entre la

²⁹ Formulation inspirée de la définition de Boutaud (Boutaud 2009)

constitution du corpus et la rigueur scientifique des analyses ne peut pas s'appuyer sur une méthodologie fondée sur un concept avéré par une seule tradition disciplinaire.

Le projet NEXUS soulevait donc un défi méthodologique ambitieux : élaborer et expérimenter une méthode d'analyse qualitative permettant de répondre concomitamment à (1) des enjeux d'articulation séquentielle des différentes phases successives du projet (articuler les phases exploratoires, descriptives et explicatives d'une part, et la phase plus opérationnelle de construction des *scénarii* et de mise en œuvre d'ateliers prospectifs d'autre part), (2) des enjeux d'articulation transversale des différents chercheurs (faire en sorte que la méthode répondent concomitamment aux besoins particuliers de chercheurs dans le cadre d'une production de *connaissances mono-disciplinaires*), (3) des enjeux d'interdépendance et de coordination d'une entreprise collective de production de *connaissances pluridisciplinaires* (faire en sorte que la méthode élaborée favorise la cohésion de l'équipe et l'articulation intégrée des productions scientifiques, notamment dans l'élaboration des *scénarii*).

L'architecture générale du projet de recherche NEXUS proposé à l'ADEME a été conçue afin de placer les chercheurs dans des situations réciproques d'interdépendance ce qui est plutôt innovant dans le monde de la recherche en SHS. Chaque chercheur alterne la production de connaissances pour les autres avec l'utilisation de connaissances produites par d'autres. Dans le WP1 (état de l'art et typologie des écoquartiers), des analyses mono-disciplinaires - économique, géographique, politique et technologique - utilisent tout ou partie d'un corpus de littérature scientifique et grise sur les écoquartiers. Dans le WP2, quatre analyses mono-disciplinaires portent sur un corpus d'une cinquantaine d'entretiens construit par les cinq chercheurs contribuant à l'analyse. Mais la démarche est inversée dans le WP3 : les briques de connaissances disciplinaires - et bénéficiant des compréhensions mutuelles précédentes - alimentent des scénarii prospectifs élaborés en commun.

Cette organisation a pour intention, d'une part, à partager certaines connaissances sur les terrains, les acteurs et les objets à étudier : la conception de l'écoquartier De Bonne, la conduite de projets immobiliers et les dimensions techniques des systèmes énergétiques auxquelles les chercheurs en SHS sont en général peu familiarisés et, d'autre part, à maintenir l'hétérogénéité disciplinaire tout au long du projet, hétérogénéité recherchée et nécessaire pour esquisser et alimenter des scénarii contrastés. Ceci permettait aussi aux SHS d'investir ce champ. Il était prévu de précoder les entretiens avec un logiciel adapté (cf. section 3) dans l'objectif de faciliter les analyses du millier de pages d'entretiens par les chercheurs et de partager ainsi un vocabulaire relatif aux objets de recherche. Nous verrons plus loin que ce précodage a rempli aussi d'autres fonctions.

L'architecture générale définie dans la proposition de recherche et après une phase d'interconnaissance et de familiarisation avec les écoquartiers, le travail méthodologique mené pour l'enquête s'est organisé - plus ou moins successivement - autour de trois activités à forte dimension collective et interdisciplinaire : la détermination des objets de recherche, l'élaboration de la grille d'entretien et le précodage des entretiens. Chacune fut un véritable défi méthodologique et un défi de pilotage :

- Détermination des objets de recherche : la difficulté consistait à prendre en compte la diversité des vecteurs d'énergie et des échelles tout en définissant ces objets de façon suffisamment floue

pour laisser les acteurs (les personnes interviewées) en définir leur contour ainsi que interfaces. Cette section explicite aussi le processus de sélection des personnes à interviewer.

- Élaboration de la grille d'entretien : chaque entretien devait contenir des informations intéressantes sur chacun des thèmes à analyser mais sans dérouler l'entretien en sections thématiques. La grille d'entretien devait être suffisamment lâche pour que l'enquêteur approfondisse des questionnements en fonction de la pertinence des propos de l'enquêté et suffisamment explicite pour que l'enquêteur ne privilégie pas ses propres variables explicatives.
- Précodage des entretiens : confier le codage à un tiers visait à garantir l'homogénéité et une relative impartialité du codage. Il fallait créer des catégories d'analyse compatibles avec les différents concepts mobilisés par les chercheurs : des catégories qui facilitent leur travail d'analyse sans imposer une interprétation ou un concept au détriment d'autres.

3.3.3 Les trois phases de la recherche³⁰

Le projet de recherche s'est déroulé comme prévu en trois phases successives, chacune impliquait la majorité des chercheurs de l'équipe (figure 3-9).

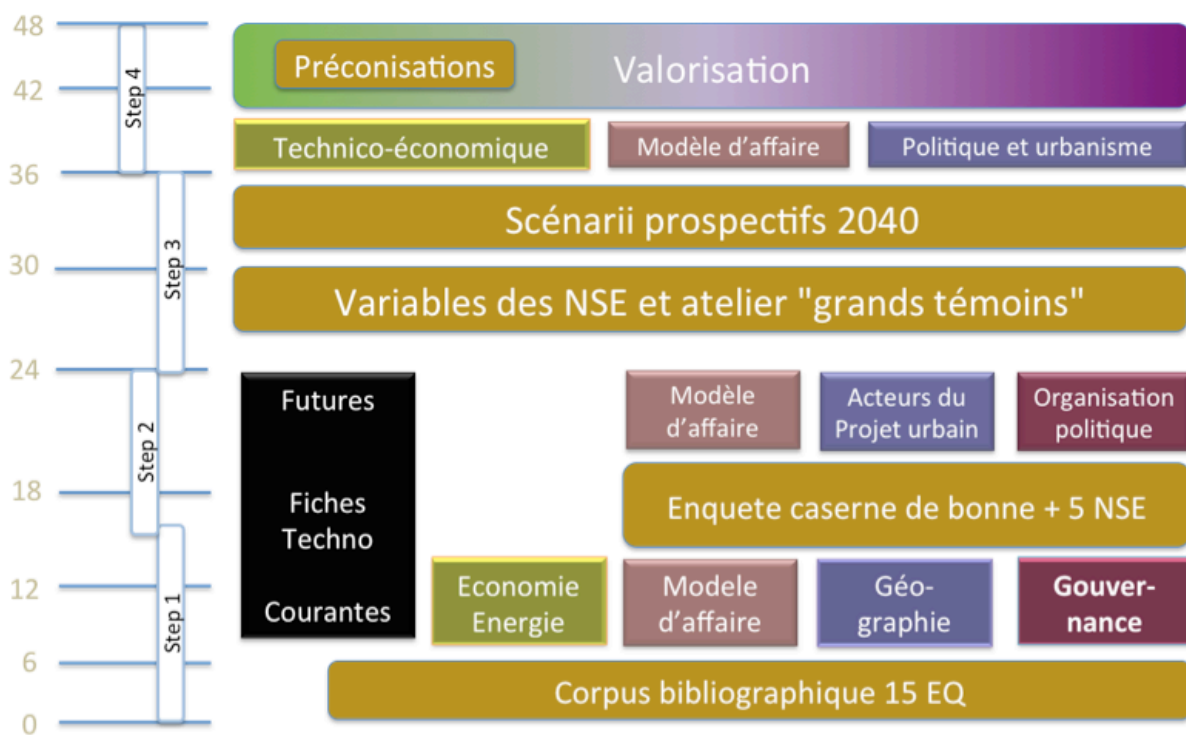


Figure 3-9 phasage de la recherche Ecoquartier Nexus Energie

La **première phase** ('step1') a consisté à construire puis utiliser un corpus communs relatifs aux systèmes énergétiques développés dans une quinzaine d'écoquartiers européens (O. Blanchard

³⁰ Cette section 3.3.3 emprunte largement à l'annexe méthodologique du livre Scénarios de transition énergétique en ville Acteurs Régulations Technologies que j'ai écrite avec l'aide de Fabrice Forest et qui a bénéficié de la relecture de Nicolas Buclet, Caroline Gauthier, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau et Antoine Tabourdeau

et Debizet 2015; Debizet 2016)³¹. Ce nombre devait être suffisamment élevé pour disposer d'un panel représentatif de technologies, de types de quartier et d'acteurs, et suffisamment faible pour éviter que les chercheurs ne dispersent leur analyse sur des terrains différents. In fine, cinq monographies mono-disciplinaires ont été rédigées, certaines transversales aux douze quartiers européens sélectionnés, d'autres portant sur deux ou trois quartiers. L'ensemble de l'équipe a discuté des critères puis de la sélection des quartiers. La discussion a permis aux chercheurs d'exposer leurs attentes, de comprendre celles des autres et de découvrir les variations sémantiques selon les disciplines.

L'enquête sur quatre écoquartiers français et ses analyses mono-disciplinaires ont constitué la **deuxième phase**. Le choix du projet urbain De Bonne à Grenoble s'est imposé comme terrain principal pour son caractère précurseur³², pour la variété des technologies déployées et pour sa maturité. Son achèvement au moment de l'enquête permettait d'interviewer tous les types d'acteurs : de la programmation urbaine jusqu'à l'exploitation des bâtiments. Les trois autres terrains ont été sélectionnés afin de couvrir les technologies les plus fréquemment utilisées en Europe³³ et de diversifier les modalités de gestion des infrastructures. Ainsi, l'ensemble des terrains couvre les trois principaux vecteurs énergétiques des réseaux urbains (gaz, électricité et chaleur), les principales sources d'énergie mobilisées dans les espaces urbanisés (gaz, solaire thermique et photovoltaïque, bois-énergie, géothermie, récupération de chaleur des eaux usées) et trois modalités de coordination : coopération inter-bâtiments (Issy-les-Moulineaux), opérateur d'équipement d'îlot sous statut privé (Grenoble), régie municipale (Fontaine) et délégation de service public (Nanterre) de réseau de chaleur.

Au total, 38 personnes ont été interrogées sur la base d'une grille d'entretiens commune (cf. 3.3.4). Les entretiens ont été menés en binôme de chercheurs de disciplines différentes, des permutations entre eux permettaient d'harmoniser la conduite d'entretiens. Les transcriptions d'entretiens ont été mises à disposition des chercheurs après un codage constitué de manière à faciliter les extractions grâce à un logiciel d'analyse de texte (N'Vivo). Le codage des entretiens a été réalisé par un chercheur spécialement recruté³⁴ qui a aussi élaboré la grille de codage par consensus entre les chercheurs utilisant les entretiens (Debizet, Dore et La Branche 2013).

Plusieurs analyses mono ou bi-disciplinaires ont ensuite été menées séparément et fait l'objet de chapitres de l'ouvrage et d'articles de revues : sur la gouvernance des projets urbains (La Branche 2013; La Branche 2015a; La Branche 2015b), la performance énergétique des

³¹ Le moissonnage bibliographique a été coordonné jusqu'à la rédaction des fiches d'écoquartier par Odile Blanchard de l'équipe EDDEN. Rattachée au laboratoire LEPII au début de la recherche, l'équipe EDDEN a rejoint l'UMR PACTE de 2013 à 2016. Elle a intégré le laboratoire GAEL en 2016. (Debizet 2016)

³² attestée par l'attribution du Grand Prix Ecoquartier français en 2009 par une commission indépendante nationale réunie par le ministère

³³ A partir de la base de données constitués pendant la première phase (60 projets urbains européens, 250 documents), une douzaine de technologies de capture d'énergie renouvelable et de stockage utilisés ont été identifiées (Schneuwly et al. s.d.).

³⁴ Chercheur contractuel à PACTE à l'époque, Antoine Doré est chargé de recherche à l'INRA Toulouse depuis 2015.

bâtiments (Labussière 2013b; Labussière 2015) , la mise au point et la généralisation de NSE innovants (Debizet et Tabourdeau 2013; Debizet et al. 2016b; Debizet, La Branche et Tabourdeau 2016) et la dynamique des modèles d'affaires (Gauthier, Blanco et Jullien 2015; Gauthier et Blanco 2013; Gauthier et Gilomen 2016; Gauthier, Blanco et Debizet 2016).

La **troisième et dernière phase** de la recherche visait à élaborer des scénarios d'organisation de la fonction énergétique dans la ville à l'horizon 2040. L'élaboration de ces scénarios emblématiques de tendances contrastées mais plausibles et cohérents s'appuie sur les résultats des phases précédentes : une innovation technologique n'est déployée qu'à condition qu'elle soit portée par des acteurs qui y voient une opportunité, se coordonnent, prennent des décisions, soulèvent des obstacles (Buclet et al, 2016). Nous supposons donc que le futur énergétique dépendrait des catégories d'acteurs en position de force sur les territoires, d'où la notion d'acteur-pivot (Brullot 2009, Mitchell et al. 1997).

Trois types d'acteurs étaient susceptibles de jouer un rôle pivot dans la coordination de l'énergie en ville : des *grandes entreprises* pourvoyeuses de systèmes énergétiques urbains, les *collectivités locales* pilotes de la fabrique de la ville, des collectifs (*acteurs coopératifs*) de consommateurs reprenant en main leur destin énergétique. À ces trois types, nous avons ajouté l'*État* car même s'il n'est pas actif à l'échelle du projet urbain, ses prescriptions peuvent être structurantes et contraignantes pour les trois types d'acteurs précédents.

Conformément aux pratiques de scénarisation prospective (ADEME 2013), nous (Debizet, Buclet et Gauthier 2013) avons suivi ces étapes :

- 1) Rédaction de courts récits : s'inspirant de cas emblématiques observés, ces récits permettent de cerner qualitativement le principe fondateur et le périmètre de chaque scénario ;
- 2) Analyse morphologique : une vingtaine d'items jugés décisifs pour la coordination de l'énergie proposés individuellement par des chercheurs³⁵ sont regroupés en 7 variables, chacune est susceptible de différencier les scénarios entre eux (cf. tableau ??).
- 3) Atelier PAT-miroir³⁶ : une quinzaine de grands témoins représentatifs des secteurs de l'énergie, de l'immobilier, de l'urbanisme et des collectivités locales se sont réunis pendant deux jours pour exprimer leurs peurs, leurs attraits, leurs tentations ainsi que des

³⁵ Nicolas Buclet a été le principal rédacteur des scénarios. La méthode a été définie, mise en œuvre et ajustée par consensus entre les chercheurs impliqués dans cette dernière phase du projet de recherche conjointement animée par Nicolas Buclet, Fabrice Forest et Gilles Debizet. Outre les trois précédemment cités : Caroline Gauthier, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Patrice Schneuwly et Antoine Tabourdeau.

³⁶ La méthode PAT-Miroir a été développée pour construire un consensus au sein d'équipes interprofessionnelles (Le Cardinal et al. 2001). En demandant aux participants de s'exprimer puis de quantifier les peurs, attraits et tentations vis-à-vis des partenaires, cette méthode a habituellement pour finalité d'élaborer des préconisations co-construites par tous les protagonistes d'un projet commun ou partageant un objectif commun. Dans le projet de Nexus, la méthode PAT-Miroir a été adaptée pour recueillir les consensus et dissensus potentiels entre les acteurs impliqués dans la planification/programmation des systèmes énergétiques urbains. La notation par les participants permettait de quantifier l'intensité d'adhésion - ou de refus - de préconisations selon les catégories d'acteurs. 15 grands témoins occupant des fonctions stratégiques en entreprises, dans des collectivités locales, des services de l'État ou des associations ont participé à l'atelier qui s'est déroulé en juin 2014 sous la conduite de Valérie Ambroise-Renault, consultante.

préconisations relatives suite à la présentation des courts récits de scénarios. L'atelier a permis de hiérarchiser les variables et de qualifier les interactions les plus déterminantes entre les acteurs ;

- 4) Rédaction détaillée des scénarios : à partir de notes transversales remises par quelques chercheurs, un même chercheur (Nicolas Buclet) a rédigé quatre textes établis fondés sur les assemblages de nœuds socio-énergétiques caractéristiques de chaque scénario et en prenant en compte la hiérarchie des variables ; les textes ont été relus par les co-auteurs et amendés;
- 5) Restitution aux grands témoins : une version provisoire des scénarios a été présentée aux grands témoins. Ils ont considéré que ces scénarios se révélaient comme plutôt radicaux mais néanmoins plausibles et auto-porteurs. Leurs remarques - le plus souvent des nuances ou des précisions de compréhension - ont été prises en compte dans la rédaction finale des scénarios ;
- 6) Illustration graphique des scénarios : sur la base d'un cahier des charges spécifiant les trois échelles de présentation (pays, ville et bâtiment) et composé d'une synthèse des scénarios, et de l'analyse morphologique, le graphiste a proposé des illustrations qui ont été amendées de façon itérative par les animateurs de la dernière phase de la recherche.

Le déroulement général étant décrit, nous pouvons maintenant revenir sur un point clé pour lequel la notion d'assemblage socio-énergétique a constitué un apport essentiel : le corpus commun d'entretiens

3.3.4 Construire et utiliser un corpus commun d'entretiens³⁷

Élaborer la grille d'entretien s'est révélé un processus plus complexe que prévu. Dès le départ, l'objectif était de mener des analyses mono-disciplinaires d'entretiens recueillis en commun. Concrètement, le pool d'enquêteurs était constitué par des rédacteurs des futures analyses mono-disciplinaires ; un ou deux enquêteurs interviewaient à tour de rôle les acteurs des terrains. En conséquence, chaque enquêteur (ou chaque duo) était chargé de collecter des informations susceptibles d'être utilisées par les autres chercheurs lors de la phase d'analyse.

Fonctions de la grille d'entretien

Une grille d'entretien semi-directif (Bréchon 2011) sert à guider les enquêteurs. Elle précise des questions appelant un récit pour la première phase de l'entretien et des indications plus directives afin de recueillir, au cours de la deuxième phase de l'entretien, des informations manquantes.

Le fait que les entretiens soient utilisés par plusieurs chercheurs, et qui plus est, de disciplines différentes posait un défi à l'équipe d'enquêteurs : la grille d'entretien devait être suffisamment lâche pour que l'enquêteur approfondisse des questionnements en fonction des propos de l'enquêté mais suffisamment explicite pour qu'il ne privilégie pas ses propres variables

³⁷ Cette section 3.3.4 mobilise largement le chapitre du second rapport intermédiaire de la recherche consacré à la méthodologie de construction et d'exploitation du corpus d'entretiens (Debizet, Dore et La Branche 2013)

explicatives et néglige celles des autres. Cette section expose les enjeux de la grille d'entretien, la méthode adoptée et les résultats obtenus.

Les données à recueillir lors des entretiens concernent essentiellement les déterminants des organisations de la production et du stockage de l'énergie aux échelles du bâtiment de l'ilot ou du quartier :

- les jeux d'acteurs et les logiques d'actions des acteurs de l'immobilier, de l'urbanisme et des réseaux d'énergie : rationalités, tensions et conflits, coordination, modèles d'affaires ;
- les instruments de coordination - explicites ou implicites, innovants ou réglés- de toute nature : réglementaire, financier, cognitif, ressource physique ...
- l'influence des héritages et des apprentissages sur les choix des systèmes énergétiques.

La grille d'entretien devait être adaptée à chaque site et en particulier à chaque NSE pour les terrains complémentaires. Il était donc nécessaire de définir assez précisément les NSE à étudier afin que l'enquête permette de comprendre comment ils ont été constitués et assemblés sur le terrain.

Cependant, compte-tenu de notre méconnaissance des objets (NSE novateurs), il importait de disposer d'une grille d'entretien ouverte et large et d'adapter la conduite des entretiens aux réponses de l'enquêté. Inversement, l'hétérogénéité disciplinaire des enquêteurs - et l'objectif de récolter de l'information pour d'autres chercheurs – nécessitait une grille détaillée. La discussion sur la grille d'entretien constituait alors un moyen d'harmoniser les pratiques de conduite des entretiens.

Élaboration de la grille d'entretien

Deux notions clés devaient structurer la grille : écoquartier (EQ) et nœud socio-énergétique. La première notion avait fait l'objet d'une riche recension par O. Blanchard et P. Menanteau (O. Blanchard et Debizet 2015) et nombreuses discussions communes (cf. 3.3.3). La deuxième notion avait été définie de façon relativement lâche : « *un groupe d'éléments liés à l'énergie dont la conception est supervisée par un même maître d'ouvrage en interaction avec d'autres acteurs* ». Les échanges sur la façon d'appliquer la notion au terrain enquêté ont mis en évidence une grande disparité. Certains considéraient l'écoquartier comme un NSE, d'autres qualifiaient de NSE un simple équipement technique.

Pour accélérer le processus d'appropriation de la notion, chaque chercheur a été invité à répondre par écrit à la question suivante : comment décliner son interrogation à la problématique d'assemblage de NSE sur l'écoquartier de Bonne ? Les réponses rédigées se sont avérées peu compréhensibles. Au-delà des différences de notions disciplinaires, les réponses mettaient en évidence des écarts de connaissance importants relatifs aux objets techniques et aux rôles des différents acteurs d'un projet urbain ou immobilier. Finalement, le coordinateur de l'enquête (Stéphane La Branche) s'est entretenu séparément avec chaque chercheur dans l'objectif d'éclaircir les notions utilisées, les questions de recherche, les hypothèses et les objectifs de chacun. Ensuite, il a élaboré les questions transversales selon le processus suivant :

- regroupement de l'ensemble des questionnements sur un même document à valider par écrit par chaque chercheur ;

- reformulation des questions transversales par itération (courriels bilatéraux et réunion des enquêteurs-analystes) jusqu'à la rédaction d'une grille « martyr » ;
- simplification et élagage des questions transversales aboutissant à un document de trois pages ; les questions spécifiques à une discipline ont été transférées dans une check-list à utiliser en fin d'entretien.

La finalisation de la grille d'entretien s'est ensuite déroulée ainsi :

- Intégration dans un format usuel : 1) Annonce de l'objet de l'entretien 2) Présentation de l'enquête et de son organisation 3) Mise en narration sur le projet, questions de relance si nécessaire 4) Liste de points à éclaircir de façon complémentaire aux récits 5) Questions prospectives.
- Structuration des questions transversales en séquences : une ou deux questions génériques par séquence et des mots-clés illustrant des informations. L'enjeu est de limiter la durée des narrations pour balayer les différents thèmes (et attentes partagées).
- Retour d'expérience des premiers entretiens : les transcriptions ont mis en évidence les difficultés de compréhension par les enquêtés. Les concepts énoncés dans les questions (*modèles d'affaires, nœud socio-énergétique...*) ont été remplacés par des expressions moins chargées sur le plan conceptuel telles que création de valeur, offre de service/produit, système énergétique ...

Après une dizaine d'entretiens (sur les trente-huit), il a été décidé de répartir les entretiens entre les enquêteurs par terrain selon leur connaissance initiale du système technique. Il importait qu'un des deux enquêteurs présents à l'entretien ait une bonne connaissance du cas (système technique, organisation des acteurs...).

Résultats

De manière globale, nous avons réussi à traduire les attentes scientifiques des chercheurs en questions transversales. L'analyse du contenu des entretiens montre une hétérogénéité des informations recueillies en particulier relatives au choix du système énergétique selon les enquêteurs.

Ces écarts de matières récoltées selon les enquêteurs ne réduisent pas la qualité globale du corpus. Tous les systèmes énergétiques utilisés sur De Bonne apparaissent au minimum dans deux entretiens. L'affectation des enquêteurs en fonction des accointances cognitives de l'enquêté a permis d'intensifier le recueil de matière sur les différents thèmes. Cela accroît effectivement les disparités selon les enquêteurs mais n'altère pas la qualité de l'ensemble de la matière récoltée.

Polysémique par définition, la notion de *NSE* combine des dimensions techniques (nature d'énergie, équipement de conversion et de transport, mesure, commande...) et sociales (les actants humains et les modalités de coordination). C'est sa force mais aussi sa difficulté d'utilisation. Malgré l'alerte sur les disparités de compréhension, malgré les fiches pédagogiques mises au point par le CEA, malgré le texte décrivant les NSE du quartier De Bonne, les chercheurs en sciences humaines et sociales sans formation technologique initiale ont peu posé de questions précises sur les systèmes énergétiques. Ce n'est pas la notion de *NSE* qui est en cause mais la technicité des objets étudiés et le rapport du chercheur avec la technicité.

L'élaboration collective des scénarios de transitions énergétique n'a pas souffert de cette hétérogénéité dans la récolte et la construction du corpus. Bien au contraire, la connaissance d'un même corpus commun a facilité la compréhension des concepts disciplinaires : les cas enquêtés ont très souvent été utilisés pour illustrer un processus ou une relation découlant d'un concept disciplinaire. Les difficultés d'intercompréhension entre des acteurs de mondes sociaux différents ont pu être levées par la perspective d'aboutissement du projet commun et la réalisation commune de tâches pratiques : les scénarios de transition énergétique furent un objet-frontière (Star et Griesemer 1989).

Ce travail interdisciplinaire n'a pas nui à la production scientifique disciplinaire. Les analyses mono-disciplinaires intermédiaires ont été transformées en articles dans des revues de haut niveau : modèles d'affaire (Gauthier et Gilomen 2016), gouvernance (La Branche 2015a), analyse de dispositifs de R&D transcalaire (Labussière 2015), assemblage énergétique urbain (Debizet et al. 2016b; Tabourdeau et Debizet 2017). Elles ont bénéficié de relectures croisées au sein de l'équipe.

4 NSE et assemblage : applications au nouveau paradigme de mobilisation des énergies renouvelables

Ce chapitre expose trois résultats de la recherche *Ecoquartier Nexus Energie*. Il illustre ainsi des connaissances nouvelles que la notion heuristique d'*assemblage socio-énergétique* a permis de produire.

La première section analyse des assemblages caractéristiques des principaux vecteurs énergétiques présents dans les villes. Elle éclaire les spatialités des régimes sociotechniques de l'énergie et de la construction et les processus locaux par rapport aux régimes.

La notion de *proximité* – géographique ou organisationnelle - est ensuite mobilisée pour qualifier différentes façons de mobiliser les ressources énergétiques in situ ou proches. Pour ce faire, cette section place les NSE intermédiaires entre grand réseau et logements au centre de l'analyse.

Enfin, la dernière section est consacrée aux scénarios prospectifs de transition énergétique en ville. En particulier, elle illustre l'apport de la notion d'*assemblage* aux questions clés de la gouvernance du réseau électrique et des trajectoires de la transition. L'ensemble nourrit le débat scientifique sur le rôle des villes dans les transitions bas-carbone (Geels 2011 ; *Castan Broto et Maassen 2011*).

Comme le chapitre 3, ce chapitre s'appuie sur des travaux collectifs de l'ensemble de l'équipe de chercheurs et mobilise des publications rédigées avec quelques chercheurs. Pour la fluidité de la lecture, j'ai limité l'insertion de citations aux sections dont je ne suis pas le premier auteur. Lorsque que j'ai été co-auteur, je mentionne prioritairement la référence la plus aboutie - en général un article de revue – ainsi que celle de travaux intermédiaires si des co-auteurs diffèrent.

4.1 Qualifier des processus scalaires entre niches et régimes

Comme nous l'avons vu (Chapitre 2), deux courants de recherche scrutent la transition bas-carbone des villes depuis une dizaine d'années. Les « urban studies » traitent de la relation du réseau à la ville et, plus récemment, de l'éco-système à l'espace urbain, au territoire urbain. Le courant des *STS* s'intéresse aux villes pour la fonction de niche puisque les innovations sociotechniques³⁸ peuvent émerger ou être déployées dans quelques villes particulières avant un éventuel déploiement plus large, au-delà des niches et espaces (au sens économique et non au sens géographique) de marchés protégés. Un débat s'est porté sur le poids des régimes sociotechniques : ils limiteraient les marges de manœuvres des acteurs de terrain (Geels). Pour d'autres, la puissance des initiatives et les dynamiques urbaines constituent non seulement le terreau mais aussi les moteurs de la transition bas-carbone en ville (Bulkeley, Castan Broto et

³⁸ Ce n'est que très récemment (2017) qu'émerge au sein (et non plus au bord) du courant des *STS* un front de recherche dédié à la ville : « Urban sustainability transitions ». Il est trop récent pour en observer les orientations. Eu égard au nombre de chercheurs dans le monde s'intéressant à cette question, les avancées de ce front de recherche seront vraisemblablement rapides. L'exploration des travaux récents sera liée à la rédaction d'article (en projet).

Maassen 2011; Cumo et al. 2012; Quitzau et al. 2013b; Bulkeley, Castán Broto et Maassen 2014) : cette dernière ne sera d'ailleurs pas nécessairement technologique (Rumpala 2013).

Dans un article paru dans *Journal of Cleaner Production*, nous (Antoine Tabourdeau, Caroline Gauthier, Philippe Menanteau et moi-même) avons utilisé la notion de NSE pour éclairer les processus spatiaux entre niches et régimes. Plus précisément, nous avons montré que les acteurs de la ville impliqués dans des projets d'énergies renouvelables composent avec les régimes et, ce faisant, comment ils forment – intentionnellement ou pas – des niches pour certaines innovations sociotechniques (Debizet et al. 2016b). Cet article reprend des résultats du chapitre de l'ouvrage « Scénarios de transition énergétique en ville » (Debizet, La Branche et Tabourdeau 2016).

Je reprends ici deux résultats de cette publication en l'étayant de résultats intermédiaires ou finaux (Debizet et al. 2016b) de la recherche Écoquartier Nexus Énergie (chapitre 3) à l'origine de ces publications. Le premier point part de l'observation des projets novateurs en matière de systèmes énergétiques de quartier pour révéler les échelles de régulation des différents régimes sociotechniques de l'énergie. Le deuxième montre comment les acteurs publics locaux composent avec des régimes sociotechniques dont la gouvernance leur échappe en grande partie.

4.1.1 Dissonance scalaire des régimes vue des innovations énergétiques urbaines

L'observation des processus sociaux qui ont conduit au déploiement novateur des technologies énergétiques à l'échelle îlot ou quartier sur les quatre terrains décrits chapitre 3 a permis d'analyser l'influence d'éléments caractéristiques de régimes sociotechniques de l'énergie. Les membres de l'équipe de recherche avaient comme objectif commun d'étudier les innovations énergétiques en milieu urbain, d'en comprendre les facteurs et les trajectoires. Identifier les régimes sociotechniques n'était pas un objectif initial partagé. Certains chercheurs avaient l'intuition que les régimes conditionnent les solutions choisies sans leur octroyer une place importante dans leur grille d'analyse (Debizet (dir), La Branche et Forest 2013, chap. 2). C'est donc de façon empirique que sont ressortis des éléments quasi-structurants des régimes sociotechniques de l'énergie et de la construction.

Le premier constat – peut-être évident – est celui de la coexistence de plusieurs vecteurs énergétiques dans l'espace urbain : l'électricité, le gaz et parfois la chaleur auxquels il convient d'ajouter le bois-énergie. Son transport des zones périphériques rurales suppose en effet des infrastructures matérielles, de véritable(s) organisation(s) et des règles sur lesquelles sont basées les transactions et des tentatives de contrôle par les autorités publiques (Tabourdeau 2014). Des spécificités de ces vecteurs ont eu des effets importants sur les choix des acteurs observés, par exemple :

- substituabilité différenciée des vecteurs d'approvisionnement selon la forme physique de l'usage d'énergie : le vecteur électrique apparaît incontournable pour l'indispensable

« électricité spécifique »³⁹; à l'inverse, comparer plusieurs vecteurs pour les besoins thermiques du bâtiment est une pratique généralisée ;

- niveau de « réglage » des interfaces de raccordement au réseau : les coûts de transaction en phase d'études sont nettement plus élevés pour le raccordement au réseau de chaleur que pour le raccordement au réseau électrique ; de même, la conception d'un système énergétique approvisionnant en chaleur plusieurs bâtiments d'un îlot ou d'un quartier est beaucoup plus délicate et complexe que celle d'appareils de production de chaleur internes au logement ;
- crédibilité de l'organisation : la notoriété et la fiabilité historiques de EDF et GDF bénéficient aux gestionnaires de réseaux Enedis et Grdf ; à l'inverse, celle d'un « nouveau » fournisseur (exemple du bois-énergie) doit être construite au cours du processus conjoint de conception et de négociation avec le fournisseur ;
- distance – topologique - du réseau public : l'éloignement d'un réseau public l'exclut de la comparaison des vecteurs d'approvisionnement menée en phase conception d'un bâtiment ou d'un quartier ;
- part du coût d'investissement dans le coût global : les promoteurs (qui revendent ensuite l'ensemble du bâtiment en lots) ont tendance à privilégier des solutions minorant le coût d'investissement (cela explique en partie l'observation précédente) ;
- réglementation thermique nationale : la valeur réglementaire des coefficients de conversion pour le calcul en énergie primaire des consommations énergétiques réglementaires (régime de la construction) éliminent le chauffage électrique direct (par effet Joule).

Cette liste empirique est loin d'être exhaustive mais elle nous a conduit à nous intéresser aux régimes sociotechniques de l'énergie et à leurs effets sur les choix des systèmes énergétiques : des technologies et de leur échelle. Il me paraît important de mettre en regard ces régimes avec celui de la construction. Le tableau suivant recense des caractéristiques – en France - des régimes sociotechniques : elles résultent d'observations empiriques au sein de mémoires de master en maîtrise d'ouvrage et gestion de patrimoine immobilier (MOBat), en urbanisme et projets urbains que j'ai encadrés ou évalués, de la littérature grise (ADEME, Commission de régulation de l'électricité ...) et de publications relatives aux relations entre réseaux de chaleur ou d'électricité et bâtiments (Souami 2009 ; Rocher 2013 ; Blanchard 2015 ; Blanchard 2017 ; Gabillet 2015b ; Gabillet 2015a ; Hampikian 2015 ; Hampikian 2017c ; Hampikian 2017a ; Hampikian 2017b ; Tardieu 2015 ; Tardieu 2017 ; Blanchard et Miot 2017), plus particulièrement des doctorants que je co-encadre (Balaye 2015; Balaye et al. 2017; Haller, Debizet et Buclet 2017; Balaye et al. 2018; Haller 2018) et de discussions, en particulier avec mes collègues Philippe Menanteau et Thomas Reverdy grand observateur des régulations nationales du gaz et de l'électricité (Reverdy 2015b).

Il ressort de ce tableau que le gouvernement local - municipalité ou intercommunalité – a très peu de prise sur le réseau de distribution d'électricité : son financement, le choix du gestionnaire

³⁹ Sur le seul plan technique, d'autres vecteurs peuvent être utilisés pour les usages domestiques de l'électricité. À Hanovre en Allemagne, des logements sociaux ont été équipés d'un cogénérateur d'appartement alimenté au gaz. Dans de nombreux pays, des groupes électrogènes – alimentés en essence -sont utilisés pour produire l'électricité du bâtiment.

et sa régulation sont dans les mains de l'État et le choix du fournisseur revient à l'abonné. À l'inverse, le gouvernement local supervise - voire pilote - le réseau de chaleur (l'État se limitant à imposer des normes techniques de sécurité et des règles de « bonne gestion publique » et de transparence⁴⁰).

Pour le reste (gaz et bois-énergie), le pouvoir du gouvernement local est modéré. Dans le cas du gaz, il contrôle – sans pour autant maîtriser - le déploiement du réseau. Cependant les relations entre le réseau et les producteurs et consommateurs sont régulées par l'État. Dans le cas du bois-énergie, les autorités locales (municipalité, intercommunalité, département) assurent la maîtrise d'ouvrage de la voirie, cette responsabilité s'avère essentielle dans le cas de grandes chaufferies bois mais sans influence dans le cas de chauffage au bois à l'échelle du bâtiment ou du logement.

La territorialité du régime de la construction est elle aussi hybride. Le potentiel de construction est planifié (et donc en partie localisé) par le gouvernement local ; cependant, la réglementation énergétique relève quasi-exclusivement de l'État (cf. 5.1). La construction couvre les activités urbanistiques (planification, aménagement...) et immobilière (construction, gestion...).

⁴⁰ La règle du double équilibre budgétaire (investissement et fonctionnement) imposée au réseau de chaleur urbain donne la prépondérance à la dimension économique sur les dimensions politiques : elle limite la marge de manœuvre politique des collectivités locales (Pflieger 2003, chap. Conclusion)

Régimes	Electricité	Gaz	Bois-énergie	Chaleur	Construction (infra. privée)
Part conso finale bâtiment ⁴¹	1/3	1/3	1/3		
Taux de raccordement	99%	50%	20 % (utilisation pp ^{alé})	< 10%	-
Echelle du réseau	National + interconnexion européenne		Réseau routier Communes/ Départ/État	Locale ou quartier	Bâtiment
Gestionnaire réseau transport	Opérateur historique national		Département /État	-	-
Economie du réseau	Taxe nationale sur abonnement et conso.		Budget général Collectivités et État	Recettes Impératif d'équilibre o investissement o fonctionnement +fourniture	-
Gestionnaire du réseau de distribution	Opérateur historique national		Communes /Département	Collectivité locale ou délégataire	Propriétaire ou Syndicat de copropriétaires
Décision extension/renforcement	Gestionnaire de réseau (urbain)	Collectivité locale		Collectivité locale	
Choix du gestionnaire	État		-		
Régulation & tarif			Aucune		
Choix du fournisseur	Abonné		Client		Selon vecteur cf. autres colonnes
Soutien Energies renouvelables	Tarif national de rachat		-	Auto-financement ou achats contractuel + subventions nationales	Subvention et déduction fiscale nationales
Pouvoir collectivité locale	Faible	Modéré	Modéré	Fort	Modéré

Tableau 4-1 Territorialités des régimes sociotechniques de l'énergie et de la construction

L'on comprend ainsi pourquoi les éco-quartiers français - projets urbains volontaristes portés par des municipalités (Boutaud 2009 ; Souami 2009 ; Grudet 2015) mettent plus souvent l'accent sur la création d'un réseau de chaleur que celui de mini-réseau électrique ou de smart-

⁴¹ En 2015 en France, source : CGDD, 2016, Chiffres clés de l'énergie, Repères http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Reperes/2016/reperes-chiffres-cles-energie-2015.pdf

grid de quartier comparativement aux “eco-districts“ européens (Menanteau et Blanchard 2014a).

Aux coûts de transaction et optimums technico-économiques près, le vecteur chaleur et ses ressources de proximité (aqua/géothermie, récupération chaleur fatale et bois-énergie) constituent le vecteur et les ressources prioritaires pour les institutions locales. Inversement, le photovoltaïque mais aussi le solaire thermique pâtissent du fait que les collectivités – pilotes de projets urbains - n’ont pas de prise sur le réseau électrique, la régulation du marché leur échappant totalement.

Par symétrie, l’on comprend que l’État mise massivement sur le vecteur électrique, alors que sa proportion - en volume d’énergie finale - représente à peine un quart de la consommation dans l’ensemble des secteurs d’activité en France.

Les pouvoirs publics –schématiquement répartis entre État et gouvernement local dans le tableau précédent- sont loin d’être les seules organisations influentes des régimes sociotechniques. Les grandes entreprises de l’énergie jouent un rôle d’autant plus essentiel qu’elles financent et gèrent les grands réseaux qui, rappelons-le, immobilisent intensément et durablement (au sens de durée) du capital (Coutard 2002). En France, les gestionnaires monopolistiques des réseaux (gaz, électricité ainsi que chaleur) sont rattachés à de grands groupes internationaux cotés en bourse mais avec un actionnariat de l’État non négligeable ; leur présence dans la plupart des métiers et activités des services énergétiques⁴² leur apporte une connaissance fine des risques et des opportunités ainsi qu’une capacité d’influence sur le régime sociotechnique.

4.1.2 Composer (localement) avec les régimes (nationaux) de l’énergie

Je viens de montrer que plusieurs régimes sociotechniques de l’énergie cohabitent entre eux ainsi qu’avec celui de la construction qui couvre les activités urbanistiques (planification, aménagement ...) et immobilières (construction, gestion...). Les vecteurs énergétiques sont - bien souvent - en concurrence pour l’approvisionnement en ville, mais ils s’articulent et se combinent aussi, les interconnexions et coopérations sont appelées à se multiplier (cf. 3.2.).

A l’instar des analyses de Geels (F. W. Geels 2010), nous avons constaté que les promoteurs et les porteurs de projets énergétiques de quartiers novateurs se confrontent à l’inertie des régimes. La mise en œuvre nouvelle de technologies – même technologiquement éprouvées – aux échelles de l’îlot ou du quartier requiert des modifications de conditions ou des modalités de coordination. Nous (Antoine Tabourdeau, Caroline Gauthier et Philippe Menanteau) avons identifié plusieurs modes d’ajustement par rapport aux régimes (Debizet et al. 2016b).

La stratégie la plus simple consiste à imposer une technologie pour des infrastructures réalisées dans le cadre du projet urbain. Les aménageurs (sous l’impulsion de la municipalité) ont introduit des clauses dans le contrat de cession des terrains aux promoteurs rendant obligatoire le raccordement au réseau de chaleur du quartier (Nanterre) ou la réalisation d’installations de

⁴² Outre les activités exercées sur le réseau public telles que production, agrégation et fourniture, ces entreprises conseillent, installent, exploitent et contrôlent des systèmes énergétiques à la demande des propriétaires ou gestionnaires immobiliers et industriels.

cogénération à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot (Grenoble). Ce faisant, elles ont **créé une niche – hors marché** – pour le déploiement de mini-réseaux de chaleur.

La deuxième consiste à compenser les surcoûts par des actions améliorant la rentabilité pour les maîtres d'ouvrage. Par exemple, la ville communique sur la dimension écologique du quartier et contribue ainsi à l'image de marque : non seulement cela permet de vendre plus cher les logements mais cela consolide la réputation et la crédibilité du promoteur. Ainsi, les deux municipalités ont sensiblement modifié le marché immobilier pour compenser le risque de surcoût énergétique et attirer promoteurs et acquéreurs. À Fontaine, c'est par le biais de subventions pour la rénovation sociale urbaine que la municipalité a facilement convaincu les maîtres d'ouvrage et les propriétaires immobiliers de raccorder leur bâtiment au réseau de chaleur. Les municipalités ont donc **modifié - localement - les conditions du marché** immobilier (Nanterre et Grenoble) ou du marché foncier (Fontaine) pour compenser les risques de surcoût et attirer des maîtres d'ouvrage (promoteurs et bailleurs sociaux).

La troisième stratégie mise en œuvre **consiste à déroger à certaines règles du régime**. À Fontaine, la municipalité a fini par assurer elle-même la maîtrise d'ouvrage de la chaufferie et du réseau de chaleur avant d'en confier l'exploitation à une entreprise. À Nanterre, la municipalité a inclus la licence du brevet du système de récupération de chaleur dans l'appel à délégation de service public du futur réseau de quartier et elle a poursuivi le processus d'attribution de sélection du délégataire alors même qu'une seule entreprise avait répondu. À Issy, les entreprises menaient fictivement des transactions électriques et financières. À Grenoble, le cumul des réglementations techniques de l'électricité, de la chaleur (combustion du gaz) et de la construction contraignait tellement la conception de la chaufferie que les maîtres d'ouvrage ont été conduits à déroger à leurs règles spécifiques usuelles.

La quatrième stratégie consiste à **contourner un régime énergétique** et son vecteur en privilégiant un autre vecteur. Nous l'avons énoncé plus haut, la propension d'un gouvernement local à créer un réseau de chaleur de quartier s'explique par le fait qu'il contrôle le développement du réseau de chaleur et maîtrise des arbitrages en phase de fonctionnement. Inversement, il ne mène pas d'action relative à la production renouvelable électrique car il ne dispose pas de leviers pour l'orienter.

Remarquons enfin que les territoires ou les projets urbains peuvent être des niches pour une technologie sans qu'une collectivité ou un porteur de projet n'ait à définir une stratégie, faire des efforts, innover, ni même agir intentionnellement. Les caractéristiques du projet et celles des ressources territoriales (Gumuchian et Pecqueur 2007) n'étant pas uniformes, un vecteur, un équipement et une technologie peuvent-être choisis ici plus qu'ailleurs. Autrement dit, le projet ou le territoire peut être considéré comme une niche pour une firme, une filière technologique ou un État sans que l'objet installé ne soit considéré comme une innovation par les acteurs du projet.

Synthèse

Reposant sur une hétérogénéité d'éléments, une variabilité des processus et une certaine imprévisibilité des résultats, l'assemblage apparaissait à première vue en contradiction avec la notion de régime sociotechnique – qui suppose une stabilité des organisations et des règles.

Cependant, la coexistence de vecteurs aux gouvernances différenciées ouvre un espace de choix pour la transformation des systèmes énergétiques urbains notamment à l'occasion de projets d'envergure menés à l'échelle d'un quartier. Les collectivités locales et les entreprises souhaitant promouvoir les énergies renouvelables privilégient le vecteur correspondant au régime sur lequel elles ont le plus de prise. Les coûts - perçus - de transaction et des considérations économiques entrent en jeu et peuvent affecter le dimensionnement du NSE voire le choix du type de NSE.

L'assemblage s'opère en fonction d'objectifs de contraintes et de ressources réglementaires, économiques, politiques du porteur du NSE et de celles de partenaires potentiels situés (gestionnaires de réseau, maîtres d'ouvrage et propriétaires de bâtiments...) ou mobiles (entreprises prestataires de service, investisseurs, fournisseurs...). Pour une part non dénombrable d'entre elles, ces contraintes et ressources sont des éléments de régimes sociotechniques, dont la spatialité est nettement plus vaste que celle du projet urbain support des NSE et dont la pérennité dépasse la période d'assemblage du NSE mais peut-être pas sa durée de fonctionnement. La notion d'*assemblage* dont nous avons défini le nœud socio-énergétique comme unité élémentaire n'est donc pas incompatible avec une approche en termes de régimes sociotechniques – au pluriel.

Les configurations ayant permis l'aboutissement des NSE novateurs constituent des niches – au sens de la *MLP* – dans lesquelles des technologies seront déployées. Les porteurs de NSE novateurs déploient des stratégies diversifiées : ils construisent ces niches dérogatoires ou à l'écart des régimes dominants. Ils composent ainsi avec les régimes sociotechniques existants. Nous pouvons nous demander si la multiplication de niches ne conduit pas directement à recomposer le régime. Si une même dérogation à une règle est pratiquée dans de très nombreux projets urbains, la règle pourrait être finalement abrogée ou s'éteindre et le régime correspondant modifié par des processus de réorientation par les acteurs établis ce qui correspond au 'transformation pathway' (F. W. Geels et Schot 2007). Cependant, si les modifications de marché favorisant un acteur (et défavorisant d'autres) se généralisent, le poids de l'acteur (ou du type d'acteurs) au sein du régime s'étend au détriment d'autres, une reconfiguration s'opère, 'reconfiguration pathway'. Ainsi, la généralisation de niches similaires en de nombreux territoires peut modifier le régime. Mais cette généralisation peut être stoppée par des modifications des régulations nationales ou européennes que ne manqueront pas de promouvoir des acteurs s'estimant perdants ou bien encore être étouffée par leurs pratiques commerciales.

4.2 Qualifier les assemblages émergents au prisme des proximités

L'analyse des nouvelles coordinations énergétiques visant à mobiliser les ressources d'énergie renouvelables ou fatales locales met en exergue l'émergence de NSE intermédiaires entre bâtiments et réseaux. Utilisant la notion de proximité, nous (Antoine Tabourdeau et moi-même) avons construit une typologie des relations entre ces NSE intermédiaires émergents et les objets/entités qu'ils connectent. Elle a été adressée dans des conférences internationales spécialisées sur les systèmes énergétiques durables et dans la revue francophone Flux (Debizet et Tabourdeau 2018; Tabourdeau et Debizet 2017).

4.2.1 Proximité, une notion pour ausculter les nouvelles circularités des flux urbains

La théorie de la proximité, aussi appelée économie de proximité éclaire les conditions et les effets de rapprochement entre individus. Elle distingue les proximités géographique et organisée (Andre Torre et Rallet 2005; André Torre et Zuindeau 2006) :

- « *La proximité géographique traduit la distance kilométrique entre deux entités (individus, organisations, villes...), pondérée par le coût temporel et monétaire de son franchissement. Elle a deux propriétés essentielles. Elle est tout d'abord de type binaire : il existe d'infinies graduations (plus ou moins loin de, plus ou moins près de) mais l'examen de la proximité géographique a in fine pour objet de savoir si on est « loin de » ou « près de ».* Elle est ensuite relative, doublement relative. Primo, la distance géographique, qui fonde le partage entre proximité et éloignement, est relative aux moyens de transport. On pondère la distance kilométrique par le temps ou/et le coût de transport. Secundo, la proximité n'est pas qu'une donnée objective. Elle procède en dernier ressort d'un jugement porté par les individus ou les groupes sur la nature de la distance géographique qui les sépare ».
- « *La proximité organisée n'est pas d'essence géographique mais relationnelle et concerne la capacité qu'offre une organisation de faire interagir ses membres. L'organisation facilite les interactions en son sein, en tous cas, les rend a priori plus faciles qu'avec des unités situées à l'extérieur de l'organisation. Deux raisons majeures l'expliquent. D'une part, l'appartenance à une organisation se traduit par l'existence d'interactions entre ses membres. C'est la logique d'appartenance de la proximité organisée : deux membres d'une organisation sont proches l'un de l'autre parce qu'ils interagissent, et que leurs interactions sont facilitées par les règles ou routines de comportement (explicites ou tacites) qu'ils suivent. D'autre part, les membres d'une organisation peuvent partager un même système de représentations, ou ensemble de croyances, et les mêmes savoirs. Ce lien social est principalement de nature tacite. C'est la logique de similitude de la proximité organisée. Deux individus sont dits proches parce qu'ils « se ressemblent », i.e. partagent un même système de représentations, ce qui facilite leur capacité à interagir. »*

L'économie de la proximité a été développée, particulièrement en France, pour analyser les processus conjoints de globalisation – économique – et de territorialisation. Elle se situe au carrefour de l'économie spatiale et de l'économie industrielle (Rallet et Torre 1995; Pecqueur et Zimmermann 2004). Il s'agissait notamment de comprendre comment les firmes internationales répartissaient géographiquement leurs activités de production sur la planète et comment des territoires attiraient les investissements et les emplois déployés par ce type de firmes. L'attention portait notamment sur les pays où le coût de la main d'œuvre est élevé et sur les activités de R&D : un groupement de recherche francophone sur les milieux innovateurs, le Groupement de recherche sur les milieux innovateurs (GREMI) a été particulièrement actif. Cela explique le fait que la définition de la proximité organisée donnée par Torre et Rallet (2005) se focalise sur l'organisation (au singulier). Plusieurs auteurs préfèrent le terme proximité organisationnelle qui ne renvoie pas à une organisation (institution capable d'organiser) mais aux pratiques/modalités/connaissances/représentations qui, elles, peuvent être communes à plusieurs organisations. En effet, la discussion scientifique « oppose » deux

filiations : institutionnaliste et interactionniste (Bouba-Olga, Coris et Carrincazeaux 2008). Les auteurs les plus influents essaient de concilier ces deux filiations. Boschma (2004) propose une « proximité sociale » – qui traduit l’encastrement des relations économiques dans un système social –, et la « proximité cognitive » – « *les personnes partageant la même base de connaissances et de compétences peuvent apprendre les unes des autres* ». (Pecqueur et Zimmermann 2004) privilégient l’expression « proximité organisée » mais lui attribuent « deux formes canoniques irréductibles désignées sous les vocables de « proximité organisationnelle » et « proximité institutionnelle ». Enfin Torre et Beuret (2012) soulignent une double logique d’appartenance et de similitude, la première clairement institutionnelle la deuxième plutôt cognitive.

Le consensus s’effectue sur le fait que les proximités constituent des potentiels, autrement dit qu’elles ne donnent pas nécessairement lieu à des relations et sur le fait que la proximité « organisée » ou « organisationnelle » est non-géographique. Cela ne signifie pas que les deux types de proximités sont antinomiques, bien au contraire les relations et les activités productives résultent bien souvent de l’association des deux formes canoniques de proximités.

Nous pouvons d’ailleurs nous demander si les techniques numériques de communication audio et visuelle qui se substituent progressivement à la co-présence physique ne sont pas à placer dans la proximité géographique. En effet, nombre de ces outils ne sont pas spécifiques à une organisation ou à des relations inter-organisationnelles, donc cette *proximité virtuelle* ne peut relever de la *proximité organisationnelle*. Or ce qui est non-géographique relève par définition de la *proximité organisationnelle*, cette *proximité virtuelle* est, par contraposée, *géographique*. Retenons cette dimension virtuelle de la proximité pour la conclusion.

Venons-en à la circularité des flux urbains. Elle a été étudiée sous l’angle de l’écologie industrielle et territoriale. Les notions de l’école de la proximité ont été adaptées à la compréhension des mécanismes de coordination de mutualisation ou de substitution de ressources. La finalité est de cerner les modalités de développements productifs locaux et les gouvernances des métabolismes de flux (Bahers et Durand 2017). Le domaine des déchets est emblématique d’une application de l’économie circulaire. Imposé comme un principe par le gouvernement central - régulateur et pro-actif prescripteur - la proximité n’est cependant pas définie précisément (Durand et al. 2016). Cette indéfinition relative à une politique publique en mouvement a suscité l’intérêt de géographes.

- Observant la filière⁴³ liant la démolition des bâtiments à la production de graves recyclées dans le secteur du BTP, (Mongear 2017) constate la prépondérance de la proximité sociale (cf. Boschma 2004 ci-dessus pour la définition) sur la proximité géographique dans le choix des centres de recyclage de l’agglomération lyonnaise.
- Observant la gestion des déchets sur plusieurs terrains européens (Cirelli, Maccaglia et Melé 2017) relèvent quatre registres de proximité (institutionnelle ; fonctionnelle ; militante ; contestée) qui structurent les périmètres des réseaux locaux de collecte ; la configuration de ces réseaux institue un territoire et exprime une capacité d’autonomie qui se dégage d’une solidarité spatialement plus large.

⁴³ Filière au sens de commodity chain « network of labor and production processes whose end result is a finished commodity » selon (Hopkins et Wallerstein 1986)

- (Bahers, Durand et Beraud 2017) identifient six proximités : spatiale (plus précisément topologique), relationnelle (plus précisément interpersonnelle), industrielle (logique d'entreprise), environnementale (réduction des impacts éponymes), politico-administrative et socio-économique (développement du territoire).

La diversité et l'orthogonalité des typologies exposées dans ces trois analyses révèlent des interprétations différenciées au sein de *l'école de proximité*. Pour la suite, je retiens deux types de proximités : géographique et organisationnelle.

4.2.2 Des NSE intermédiaires entre ressources in situ et approvisionnement exogènes

La recherche Nexus a porté in fine sur deux familles de NSE intermédiaires novateurs : réseaux de chaleur de quartier et smart grid inter-bâtiments.

Réseau de chaleur de quartier

Le réseau approvisionne en chaleur plusieurs bâtiments regroupés dans un ou plusieurs îlots. Au cœur du réseau, la chaufferie mobilise des ressources énergétiques renouvelables géographiquement proches : air (via pompe à chaleur), rayonnement solaire, géothermie (Nanterre), aqua-thermie (eaux usées Nanterre), biogaz, biomasse locale (Fontaine). Non-renouvelable et importé, le gaz s'avère utilisé⁴⁴ en complément (Fontaine et Nanterre) ou en totalité en cas de cogénération (Grenoble). L'électricité est nécessaire pour le fonctionnement des pompes à chaleur (air, géothermie, aqua-thermie) et des équipements de contrôle-régulation.

L'initiative du projet résulte de scènes participatives (Fontaine et Nanterre) et partenariales (Grenoble, Fontaine et Nanterre) impliquant le gouvernement local (municipalités, intercommunalités...) et d'une congruence d'objectifs plus ou moins communs aux parties prenantes : réduction des émissions de gaz à effet de serre, de la pollution atmosphérique ou des radiations nucléaires, autonomie politique par une diversification des approvisionnements, valorisation de ressources locales, développement de l'emploi local. Ces deux derniers objectifs s'inscrivent dans une préoccupation forte des autorités locales de conserver la richesse produite sur le territoire - voire son hinterland - en minimisant les achats d'énergie exogènes.

Le gouvernement local dispose de la légitimité pour synthétiser les objectifs et, ce faisant, en paraître le garant. Il supervise la programmation voire la conception même s'il n'est pas lui-même maître d'ouvrage du NSE intermédiaire (Nanterre et Grenoble). Il se trouve en situation d'arbitrage des choix de technologies et de périmètre notamment au prisme de l'économie du projet et, le cas échéant, de la préservation de ressources (i.e. aéro/aqua/géothermie).

En effet, les objectifs susnommés sont à concilier avec les contraintes de financement et de rentabilité économique. Non seulement, l'investissement doit être remboursé par des recettes commerciales et d'éventuelles subventions extraterritoriales mais le prix payé par le consommateur final (qui, en phases de programmation et de conception, n'existe pas pour les bâtiments neufs ou rénovés sans maintien des occupants) doit être compétitif par rapport aux

⁴⁴ Le rendement de capital immobilisé de production le plus élevé au moment de l'enquête chaleur correspondait au vecteur gaz. Le gaz a aussi un avantage très important pour les agglomérations : il n'émet pas de polluant atmosphérique.

solutions usuelles en particulier le chauffage individuel ou collectif (à l'échelle du bâtiment) qui est le plus utilisé en milieu urbain. Évidemment, les acteurs décisionnels des NSE connectés au NSE intermédiaire ont eux-mêmes leur objectif de rentabilité (ou d'équilibre économique s'ils n'ont pas de but lucratif). Le calcul économique ouvre généralement des discussions autour de trois ou quatre variables : la proportion de différentes sources énergétiques, le périmètre des bâtiments desservis, le coût pour le consommateur final ; la quatrième est le niveau de performance thermique des bâtiments. Ce calcul peut conduire à exclure (ou inclure) un NSE qui était inclus (respectivement inclus) en amont du processus de programmation/conception.

Le fait qu'un (co)propriétaire de bâtiment/logement et un occupant puisse installer, respectivement utiliser, un autre vecteur que la chaleur du réseau de quartier pour assurer ses besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (cf. 3.1.2) crée une incertitude qui pèse sur la viabilité économique et conséquemment, sur la définition du périmètre du réseau de chaleur. Le gouvernement local s'efforce de réduire l'incertitude en imposant le raccordement aux maîtres d'ouvrage de bâtiments neufs ou rénovés (ce qui suppose un pouvoir de coercition) et, en fonctionnement, en excluant les bâtiments de l'attribution de financement à des énergies renouvelables alternatives. L'incertitude est, au mieux, réduite car l'occupant aura toujours la possibilité de recourir à l'électricité pour se chauffer même si son prix relatif est actuellement dissuasif.

La combinaison de plusieurs vecteurs énergétiques dans les chaufferies engendre de grandes incertitudes du fait de règles spécifiques à chaque vecteur et de l'asymétrie des connaissances et des compétences. En effet, les maîtres d'ouvrage et les concepteurs connaissent chacun les règles propres à leur champ d'activité (construction, électricité, chaleur, gaz, bois énergie..) mais pas toujours celles des autres. Nombre d'entre eux ne font pas la part des choses entre les réglementations, les normes techniques - qui ne sont pas systématiquement obligatoires - et les habits propres à leur organisation ou à une profession sur son bassin d'activité. Rappelons ici, que les régimes du gaz et de l'électricité sont essentiellement nationaux et relativement stables. A contrario, l'hétérogénéité des règles locales telles celles du PLU et des habits professionnels au sein d'un même bassin d'emploi peut conduire les acteurs de la construction à considérer le régime instable. Cela concerne les régimes du bois-énergie ainsi que ceux de la chaleur et de la construction car ils intègrent des règles locales (cf. 3.2).

Enfin, notons une variété de statut de l'organisation qui investit et supervise le réseau de quartier. Juridiquement applicable au sein d'un îlot, le contrat de droit privé offre une grande latitude pour qualifier le service rendu et les engagements que les parties prennent entre elles. Au-delà de l'îlot, sur le domaine public, le service doit être considéré comme un service public rigoureusement encadré par le code des collectivités locales qu'il soit assuré en régie ou délégué à une entreprise.

Smart-grid inter-bâtiments

Nous avons étudié le projet Issygrid qui, lors du repérage de terrains d'enquête en 2012 était le plus avancé des projets français d'échange d'électricité entre des bâtiments gérés par des organisations différentes. A cette époque, les échanges horizontaux d'électricité étaient interdits : seul le gestionnaire du réseau d'électricité comptabilise les flux – séparément - de

chaque abonné et prépare les transactions financières avec le fournisseur – agréé par le gouvernement national - choisi par l’abonné.

Issygrid est une expérimentation financée par des acteurs privés, propriétaires et gestionnaires de bâtiments tertiaires, équipés d’une unité de chauffage- ventilation-climatisation (CVC) utilisant l’électricité. L’expérimentation combine la production d’énergie renouvelable (panneaux photovoltaïques, micro-ferme éolienne) avec du stockage, en l’occurrence les batteries de voitures électriques stationnées en sous-sol de certains bâtiments. Regroupées dans un consortium, les entreprises ont co-élaboré des solutions « smart » simulant des flux entre immeubles. L’objectif stratégique principal consistait à mettre au point des modèles d’affaires de transaction d’électricité intégrant des techniques de comptage/reporting et la gestion technique propres à chaque bâtiment. La nouveauté tenait à la simulation d’échanges directs entre consommateurs/producteurs à double sens (le sens changeant selon les moments de la journée ou de la semaine).

La mutualisation des données détaillées de consommation et de production de chaque bâtiment constitue la clef de voûte de l’expérimentation. Néanmoins, les échanges d’énergie et financiers restaient virtuels puisque ces entreprises n’ont pas le droit de vendre de l’électricité les unes aux autres.

Les connaissances acquises ont permis aux entreprises d’élaborer (ou de renoncer à le faire) des modèles d’affaires en anticipation de l’autorisation d’échanger de l’électricité entre des entités différentes (personne physique ou personne morale). Une disposition dite d’autoconsommation collective a effectivement été prévue par le législateur en 2016. Elle a fait l’objet en 2017 d’un décret gouvernemental fixant les modalités – et les limites - technico-administratives ainsi que des préconisations de la Commission de Régulation de l’Energie en matière de contribution au financement du réseau, de tarification et de relation avec les fournisseurs et les gestionnaires.

Contrairement aux réseaux de chaleur de quartier, le gouvernement local n’est impliqué ni dans l’expérimentation (si ce n’est en matière de communication et marketing territorial) ni dans le dispositif national d’autoconsommation collective électrique. En dehors de ceux qui sont rattachés à des entreprises du numérique, les acteurs de l’expérimentation disposent d’une connaissance similaire des règles du régime sociotechnique de l’électricité : les organisations auxquelles ils sont rattachés sont les principales organisations du régime français de l’électricité.

4.2.3 Relations autour des NSE intermédiaires : une typologie selon les proximités

Nous avons mis en lumière deux types de NSE observés en ville qui se positionnent comme des intermédiaires entre les réseaux de gaz et/ou d’électricité, les bâtiments et des sources d’énergie renouvelable géographiquement proches. Les statuts juridiques sont plutôt très encadrés par l’État, relativement stabilisés pour les réseaux de chaleur mais encore balbutiants pour les smart-grids électriques. Ces deux NSE intermédiaires constituent deux types d’hybridation entre les deux formes canoniques du réseau et d’éco-cycle évoquée par (Coutard et Rutherford 2011). Ils occupent l’espace intermédiaire défini par (Moss 2012) non seulement

entre fournisseur, utilisateur et régulateur mais bien entre infrastructure et, ce qui est nouveau, ville et nature.

Mais de quels NSE sont-ils les intermédiaires ? Pourrait-on caractériser des types génériques de NSE connectés aux NSE intermédiaires ?

Parce qu'elle distingue géographique et organisationnelle, la notion de proximité fournit un cadre d'analyse pertinent pour qualifier l'hybridation entre les deux paradigmes ou bien encore entre les pôles de l'espace intermédiaire (Moss 2012).

Nous identifions quatre NSE-types (figure 4-1) :

1. grands réseaux (*large technical networks*) ;
2. bâtiments et solaire ;
3. chaînes d'approvisionnement discontinues ;
4. géothermie et énergies fatales.

Nous distinguons un gradient entre des NSE réglés par des proximités organisationnelles et des NSE mobilisant des proximités géographiques.

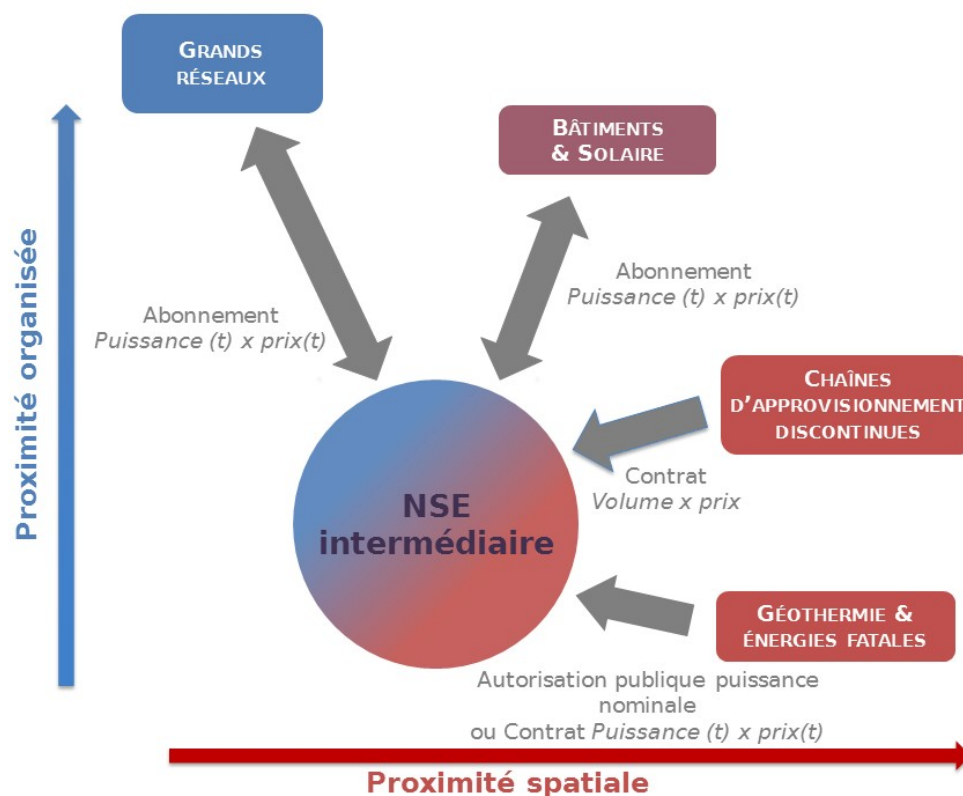


Figure 4-1 Familles de NSE selon leur nature de proximité avec un NSE intermédiaire (Tabourdeau et Debizet 2017)

Les grands réseaux : des proximités organisées fortement encadrées par l'État

Les grands réseaux alimentent en énergie le NSE intermédiaire à partir de ressources essentiellement exogènes au territoire, au pays voire au continent. Pour l'électricité et le gaz,

depuis la libéralisation de 2007 imposée par l'Union Européenne, il convient de distinguer l'infrastructure de réseau piloté par un gestionnaire et des flux d'énergie commercialisés par des fournisseurs concurrents. Les relations avec le NSE intermédiaire sont fortement réglées par l'État. La marge de discussion de l'opérateur de NSE intermédiaire avec les opérateurs de réseau porte globalement sur les volumes et la puissance garantie selon les périodes et sur une part du prix. De ce fait, la proximité spatiale a peu d'influence sur la relation. En résumé, dans ce NSE-type, l'agencement des relations entre acteurs découle essentiellement de règles institutionnelles et administratives fixées au niveau national et européen.

Bâtiments et panneaux solaires : des proximités avant tout spatiales mais encadrées par des règles nationales

Les immeubles sont les lieux de consommation, dont les maîtres d'ouvrage immobiliers puis les propriétaires et les occupants sont les acteurs décisionnels. La construction de bâtiment est régie par la réglementation de l'urbanisme (via le Plan local d'urbanisme, PLU) mais les réglementations techniques, notamment la réglementation thermique (RT) relève du niveau national. En général, les maîtres d'ouvrage immobiliers sont libres de choisir le mode d'approvisionnement en chaleur mais les collectivités et l'aménageur peuvent inciter – voire imposer - le raccordement à un réseau de chaleur comme l'illustrent les trois cas de réseaux de chaleur étudiés. Par la suite, les propriétaires des immeubles ont le droit de changer de mode d'approvisionnement de chaleur mais leur dépendance - économique et organisationnelle - à l'équipement installé reste importante.

Les règles locales d'urbanisme et la pratique d'urbanisme négocié (cf. 5.1) peuvent orienter la façon de capter le rayonnement solaire⁴⁵. Ces dispositifs sont rarement déployés par le maître d'ouvrage du bâtiment neuf. Ils le sont plus souvent par les propriétaires ou par un investisseur tiers des bâtiments existants sensibles aux incitations économiques (subvention, prix d'achat garanti) qui sont élevées pour le photovoltaïque et faibles pour le thermique. Ainsi, l'encadrement réglementaire des panneaux solaires est relativement similaire à celui des infrastructures énergétiques internes du bâtiment ; le formatage est essentiellement national et plus ou moins modulé par le local. Notons cependant que contrairement à l'injection totale dans le réseau et à l'autoconsommation individuelle, les nouveaux projets d'autoconsommation collective – électrique ou solaire- mobilisent fortement la proximité géographique.

Ce NSE-type - bâtiment et ses éventuels panneaux solaires - est caractérisé par l'articulation plus ou moins marquée des deux proximités, géographique et organisationnelle.

Chaînes d'approvisionnement discontinues portées par des organisations spatialisées

La fourniture de combustible par camion constitue un secteur d'activité relativement autonome par rapport aux grands réseaux d'énergie. Ces chaînes concernent aussi bien des énergies fossiles que le bois-énergie qui connaît un essor croissant depuis quelques années en France.

Dans le cas du bois-énergie, la biomasse est prélevée sous sa forme solide directement en forêt ou auprès des industries du bois (chutes de scieries, palettes, etc.), transportée par la route,

⁴⁵ Captée par des panneaux, la ressource solaire constitue un bien collectif dont le prélèvement est arrangé afin de ne pas nuire au potentiel disponible pour des immeubles voisins.

éventuellement transformée en tablettes, puis vendue (en masse ou en stères) et stockée pour conversion en énergie et parfois en électricité⁴⁶. Cette opération implique des entreprises de travaux forestiers et plusieurs filières parallèles de grossistes-transformateurs ainsi que des distributeurs sur lesquels reposent l'homogénéité et la fiabilité du combustible. Comparée à l'électricité et au gaz de ville pour lesquelles les infrastructures de transport relèvent du monopole public, les filières bois-énergie restent peu régulées malgré des tentatives répétées d'encadrement par l'État (Tabourdeau 2014) : les acteurs des filières bois utilisent des normes et des standards spécifiques et évoluent dans des arènes sociotechniques différentes. De même, la fourniture de combustible liquide (pétrole, fuel ou gaz) par camion est constituée en sous-filières différentes nettement moins régulées que les réseaux de distribution continue d'énergie.

La proximité spatiale joue un rôle important. Cela s'explique par la dispersion des moyens de transport et des coûts temporels et monétaires élevés, essentiellement marginaux au sens économique. Cette dispersion explique aussi une plus faible régulation par l'État car le contrôle de son respect lui serait nettement plus coûteux que celui des réseaux d'approvisionnement continus.

Géothermie et énergie fatale : des proximités spatiales fortes

La chaleur – et la fraîcheur en période estivale – des réseaux d'eaux usées et du sous-sol urbain peut être récupérée afin de chauffer - ou rafraîchir - les bâtiments. Dans la mesure où le transport de chaleur est onéreux et subit des déperditions importantes, la chaleur est généralement récupérée et valorisée au plus près des lieux de consommation. De ce fait, les bâtiments riverains se trouvent souvent en rivalité avec les réseaux de chaleur - urbain ou de quartier - pour capter ces ressources énergétiques. Pour des raisons sanitaires, les autorités publiques s'efforcent de limiter et de contrôler les soutirages dans les nappes phréatiques, les lacs ou les rivières. En revanche, elles n'organisent pas de marché et ne prélèvent pas de taxes incitatives ou dissuasives. Dans les limites du cadre réglementaire défini par l'État, les collectivités locales veillent à la pérennité de ces biens communs localisés. Quant à la récupération des chaleurs fatales, la collectivité peut jouer un modeste rôle de facilitateur ; ses initiatives sont plus marquées lorsqu'elle contrôle le réseau de chaleur (Hampikian 2015 ; Hampikian 2017b ; Hampikian 2017d ; Hampikian 2017a).

La variété des organisations qui mobilisent l'aqua/géothermie et récupèrent les énergies fatales est révélatrice d'une faible proximité organisationnelle instituée. In fine, la proximité spatiale s'avère largement prépondérante.

Synthèse

Cette analyse par la nature des proximités souligne, au-delà des infrastructures, les effets d'organisations et de règles sur la gestion des flux d'énergie et sur le raccordement des NSE entre eux et à des réseaux continus ou discontinus d'approvisionnement exogène. Ces règles sont en partie intégrées dans les calculs de rentabilité qui jouent un rôle décisif dans le choix des vecteurs d'approvisionnement, les technologies renouvelables et leurs échelles de

⁴⁶ En chaleur principalement dans les espaces urbains, la cogénération étant plutôt réservée aux sites industriels dans le cadre du tarif d'achat et de toute façon très critiquée par les acteurs forestiers et territoriaux.

déploiement (logement, bâtiment, îlot, quartier...) et, ce faisant, l'existence même du NSE intermédiaire. En effet, dans la mesure où nous n'avons sélectionné que des projets de chauffage de quartier qui ont abouti et non des projets avortés, il peut être supposé que des porteurs de NSE novateurs y renoncent et adoptent un mode d'approvisionnement plus classique comme le gaz ou l'électricité sur lequel leur marge de manœuvre en vue d'orienter vers les ressources renouvelable et/ou locales est faible.

La décomposition des systèmes énergétiques en NSE a permis d'identifier un grand nombre de règles, voire leur ensemble. Il est ensuite possible de rechercher leur origine : l'autorité qui a fixé une règle institutionnelle ou, plus difficile, les facteurs clés qui changent et installent des habits. Ainsi, le chercheur peut qualifier les régimes par leurs effets opératoires sur les projets comme nous l'avons fait section 4.1.

L'autre enseignement important de cette section tient à la constitution de familles définies en raison de leur nature relationnelle et non de leur nature technologique. La grille d'analyse des interactions distingue la co-présence dans un lieu (proximité géographique) ou le contrat. Ce contrat est plus ou moins contraint par des autorités régulatrices voire la jurisprudence, elles-mêmes plus ou moins proches géographiquement. Une telle grille est précieuse pour anticiper des assemblages novateurs et développer des outils d'aide à la décision ou à la conception (cf. conclusion).

4.3 Scénarisation prospective des coordinations de l'énergie en ville

J'ai décrit dans la section 3.3 l'intérêt de proposer des scénarios prospectifs de coordination de l'énergie en ville centrés sur des acteurs : introduire les sciences sociales et notamment celles qui traitent des dimensions spatiales de la gouvernance dans les débats scientifiques et politiques sur la transition énergétique. La méthode générale d'élaboration des scénarios comprend trois phases. Les deux premières visent à rassembler et produire des connaissances selon plusieurs points de vue disciplinaires. La troisième consiste à intégrer ces connaissances pour élaborer des scénarios plausibles et suffisamment distincts afin de révéler des questions politiques, territoriales et sociales importantes habituellement occultées par la prégnance des dimensions techniques, économiques et environnementales relatives à l'énergie.

Cette section reprend des éléments développés dans l'ouvrage *Scénarios de transition énergétique en ville : Acteurs, Régulations, Technologies* (Debizet 2016) et un chapitre d'ouvrage en cours de publication ainsi que dans les rapports intermédiaires remis à l'ADEME (Debizet (dir), La Branche et Forest 2013; Debizet et Blanchard 2015).

La plupart des évolutions communes aux quatre scénarios correspondent aux orientations affichées des politiques climatiques françaises et européennes et aux visions à long terme de l'Agence Internationale de l'Energie : baisse de la demande d'énergie pour le chauffage et augmentation pour le rafraîchissement, augmentation du prix des énergies fossiles, augmentation substantielle de la part des énergies intermittentes dans le mix électrique et du potentiel d'autoproduction électrique et chaleur. Sur le plan institutionnel, nous supposons d'une part que l'État et les collectivités locales existeront encore et seront en capacité de prélever des taxes pour le fonctionnement des réseaux, d'autre part que le marché restera un mode essentiel - mais non exclusif - de transaction économique ; en revanche, ses régulations

comme par exemple celle du gaz et de l'électricité pourraient différer de leur forme actuelle. Autrement dit, les catégories d'acteurs continueront d'exister mais les relations entre elles et entre eux différeront selon les scénarios.

Les quatre scénarios élaborés positionnent un des acteurs directs ou indirects (l'État intervient à travers ses prescriptions et son pouvoir de régulation des marchés) comme l'acteur-pivot des systèmes énergétiques urbains, c'est-à-dire celui qui est capable d'orienter les actions des autres acteurs ; ils se distinguent par les régulations, les échelles spatiales de décision et, ce faisant, des équipements de production et de stockage déployés ainsi que par la nature des ressources énergétiques renouvelables activées.

Pour que ces scénarios contribuent aux débats politiques, il leur fallait être clairement distincts de la situation actuelle en France, et en même temps il leur fallait être plausibles. D'une part, la cohérence interne, gage d'une stabilité dans le temps tout comme l'est un régime sociotechnique, de chaque scénario doit être grande ; d'autre part, les facteurs et les processus qui conduisent au scénario stabilisé doivent entrer en synergie pour que son avènement soit plausible. Pour ce faire, chaque scénario devait esquisser un bouquet cohérent de régimes sociotechniques de l'énergie et de la construction modifiés par rapport à leur état actuel.

J'aborderai ici ce qui nourrit la discussion générale de ce mémoire sur les transitions bas-carbone et l'apport de la notion d'*assemblage* socio-énergétique :

- Les relations entre systèmes énergétiques urbains et régimes de l'énergie ;
- Les différences d'assemblages selon l'objectif principal de l'acteur-pivot ;
- Deux évolutions antagoniques de la gouvernance des grands réseaux ;
- L'identification des trajectoires plausibles pour chaque scénario ;

4.3.1 Enjeux de la relation entre systèmes énergétiques urbains et régimes de l'énergie

Le déploiement des systèmes énergétiques intermédiaires que nous avons observés a bousculé les routines des acteurs qui s'y sont impliqués ; comme toujours, l'innovation requiert de multiples et de nouvelles formes de transactions entre acteurs. La confrontation des innovations aux régimes sociotechniques de l'énergie n'a pas été la moindre cause de multiplication des transactions : l'on pourrait citer, par exemple les ajustements conjoints du périmètre de bâtiments raccordés au réseau de quartier avec les équipements de la chaufferie (Nanterre), le choix du statut juridique du réseau de chaleur de quartier (Fontaine), la conception du local de cogénération (Grenoble) tout autant que l'ajout d'une couche virtuelle au mini-grid inter-bâtiments (Issy), (Debizet, La Branche et Tabourdeau 2016).

Échanges horizontaux d'énergie (entre producteurs/consommateurs), stockage et interconnexion des vecteurs pourraient être développés massivement : cela accroîtrait l'autonomie énergétique d'un îlot ou d'un quartier, tant au sens de taux d'autoproduction d'énergie que de réduction de dépendance à des grands réseaux. De telles évolutions supposent et conduisent à une reconfiguration des régimes de l'électricité et de la chaleur (cf. 4.1). Pour cerner les potentielles reconfigurations, nous avons fait l'hypothèse que les logiques différaient selon les acteurs. Des grandes catégories de variables (Tableau 4-2) ont été choisies pour leur influence dans les innovations observées et l'importance accordée par les grands témoins (cf.

section 3.4). Nous avons ensuite défini les enjeux ou visées prioritaires pour l'acteur-pivot (Tableau 4-3).

Variables	Définition des variables
Produit, valeur, chaîne de valeur	Motivation ou modèle d'affaires : schéma de production et de partage de la valeur (monétaire, d'usage, de confort, d'estime...) du NSE et/ou des NSE connexes,
Échelle des systèmes énergétiques	Échelle privilégiée de NSE ou de leur supervision, périmètre de consommation correspondant
Innovation et acceptabilité sociale	Usages du service, simplicité, accompagnement
Autonomie, autoconsommation énergétique	Degré d'autonomie au sens de capacité à maîtriser son destin énergétique, recours complémentaires à des ressources exogènes
Résilience sociotechnique	Réactions aux risques ponctuels ou structurels de dégradation ou de rupture du service énergétique, nature des aléas et gravité des effets
Inégalités et précarités énergétiques	Uniformité ou hétérogénéité des tarifs et des prix, formes de solidarité
Politiques publiques et régulation	Gouvernance, répartition des compétences, type d'autonomie Tarification, mécanismes de marché, planification

Tableau 4-2 Variables de l'analyse morphologique (source Debizet, 2016)

<i>Variables</i>	Acteurs coopératifs	Grandes Entreprises	Collectivités locales	État prescripteur
<i>Produit, valeur, chaîne de valeur</i>	Partage Valeurs peu monétisées	Rentabilité Solutions high-tech hautement capitalistiques	Développement économique local Cohésion sociale	Indépendance énergétique Prix bas
<i>Échelle des systèmes énergétiques</i>	(Groupes d') Immeubles visant autonomie relative par mise en réseau	Le quartier (ou morceau de ville) ressource pour des échanges via le réseau interconnecté européen	Bassin d'emploi (Agglomération-Métropole) Ramification dans hinterland	Réseaux nationaux et bâtiment
<i>Innovation et acceptabilité sociale</i>	Low-tech Habitants initiateurs et acteurs	Gamme de services basée sur technologies smart grids	Accompagnement social (rénovation, maîtrise conso...)	Smart grids obligatoires pilotés à partir du réseau national, voire européen
<i>Autonomie, autoconsommation énergétique</i>	Autonomie à échelles multiples infra et intra-coopératives	Autonomie quartier limitée par des énergies exogènes compétitives	Autonomie à l'échelle du territoire urbain élargi (hinterland)	Autoconsommation logement/immeuble et autonomie nationale
<i>Résilience sociotechnique</i>	Capabilité des entités plutôt que résilience technique du réseau	Réseaux parcellisés Fiabilité dépendante des entreprises ensemblières	Technologies éprouvées Réseau national comme secours mais limité	Fiabilité électrique capitale assurée par des capacités de réserve
<i>Inégalités et précarités énergétiques</i>	Solidarité interne Risque de 'gated communities'	Inégalités d'accès à l'énergie entre habitants et entre quartiers	Tarifs uniformes mais mixité sociale	Tarifs uniformes Tarifs sociaux
<i>Politiques publiques et régulation</i>	Régulation par les normes sociales plutôt que réglementaires	Deux types de territoires : a) gestion multi-énergie b) concession mono-énergie	Planification des ressources et des équipements en liaison avec lieux de consommation	Planification d'équipements massifs par régulation centralisée et autorisation ministérielle

Tableau 4-3 Analyse morphologique : enjeux prioritaires par acteur-pivot et variable (source Debizet, 2016)

Ainsi se dessinent des échelles et des modalités de coordination, des régulations et des technologies ; autant de rubriques qui caractérisent les principaux assemblages et des éléments des régimes qui les influencent en fonction de l'acteur prépondérant de chaque scénario.

4.3.2 Modalités d'assemblage orientées par l'objectif principal de l'acteur-pivot

Chaque paragraphe suivant traite d'un scénario, successivement : *grandes entreprises, acteurs coopératifs, collectivités locales et État prescripteur*.

Capables de mobiliser des capitaux importants dans des équipements de production d'énergie renouvelable et de gestion en temps réel, **de grandes entreprises** déploient des systèmes multi-énergies pilotés à l'échelle de grands morceaux de ville (figure 4-1). Une entreprise ensemblière -ou un consortium d'entreprises- propose aux consommateurs abonnés des services intégrés plus ou moins cadrés par le contrat qui la lie à la collectivité locale concédante : le prix du service de base est fixé mais l'entreprise propose une gamme de services étendue : pilotages à distance, niveau de confort à des prix différents. L'entreprise capte une partie de l'énergie sur place (solaire, géothermique...) et recourt, selon les moments, au marché européen du gaz et d'électricité. Elle déploie des équipements convertissant des flux électriques en chaleur - voire en gaz - afin de stocker les excédents d'électricité éolienne et solaire locaux ou exogènes (achetés à bas prix sur le marché européen) en anticipation de la consommation de chaleur. Ses investissements sont guidés par la rentabilité et sa gestion par la maximisation des bénéfices dans les limites du cahier des charges de concession fixées par l'autorité publique locale. Cette dernière joue un rôle plus ou moins important dans les relations entre la zone concédée et le reste de son territoire ainsi qu'avec les territoires périphériques (cf. *collectivités locales*) ; « plus

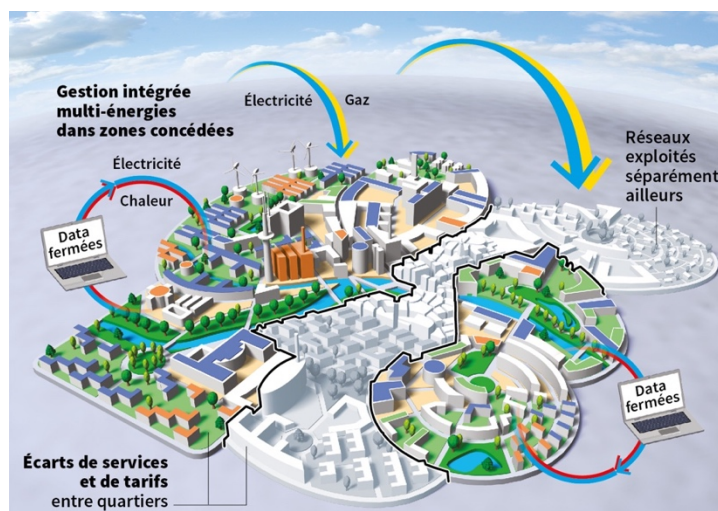


Figure 4-2 Scénario Grandes entreprises - Méso - (Debizet, Forest et Mouche 2016)

ou moins » car l'on imagine que l'entreprise concessionnaire privilégie les dispositifs du marché national voire européen du gaz et de l'électricité aux transactions locales.

Les initiatives citoyennes et privées sont à l'origine de nombreux bâtiments **coopératifs**, c'est à dire gérés collectivement selon des objectifs environnementaux et d'interaction sociale voire tout simplement économiques⁴⁷. L'autonomie énergétique à l'échelle du bâtiment est visée. Dans la mesure où elle est difficile et coûteuse à atteindre, des coopératives se regroupent afin de mutualiser des équipements, échanger des flux et co-investir dans des unités de production renouvelable (collecte bois-énergie, éolien, voire méthanisation rurale, etc.) et de stockage (thermique, gravitaire (hydraulique)...) à l'extérieur de la ville. Cet assemblage s'appuie sur des règles de gestion (notamment de répartition des coûts) suffisamment simples pour être débattues collectivement mais variables selon les coopératives et leur groupement. Ainsi des grappes de bâtiments qui échangent de l'énergie et mutualisent des capitaux se forment au sein de l'espace urbain en liaison avec des lieux de ressources de l'hinterland (figure 4-2). Les grappes les plus resserrées peuvent être reliées par des lignes spécifiques ou utiliser le réseau public d'électricité ou de chaleur. Ces grappes ne couvrant pas l'ensemble de l'espace, le

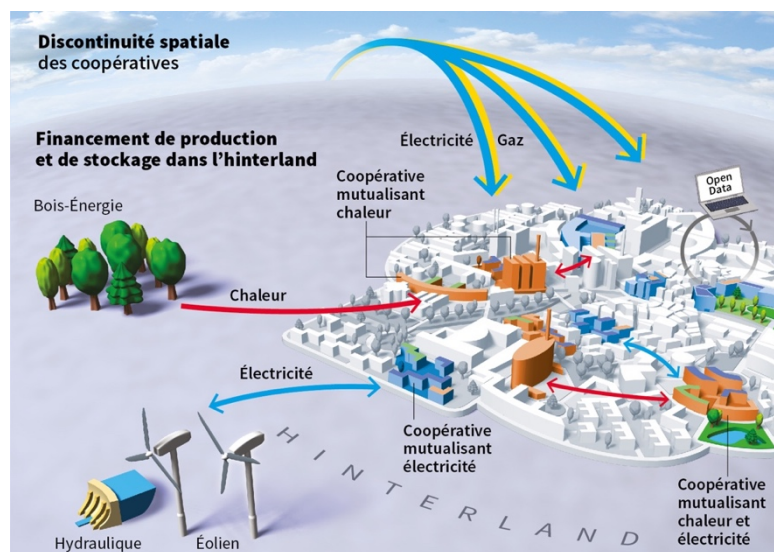


Figure 4-3 Scénario Acteurs coopératifs - Méso - (Debizet, Forest et Mouche 2016)

modèle coopératif cohabite, comme le scénario *grandes entreprises*, avec le scénario *collectivité locale*.

La **collectivité locale** planifie la distribution, la production, le stockage et supervise la gestion des réseaux d'énergie sans en assurer la gestion directe, préférant bien souvent mais pas toujours s'appuyer sur les deux entreprises nationales spécialisées dans la gestion du réseau de distribution. Elle ne correspond donc pas à un nœud socio-énergétique au sens défini section 3.1 mais constitue une couche décisionnelle (figure 4-3) structurant les relations entre les réseaux ainsi qu'entre NSE micro (bâtiment, îlots ...). La collectivité locale pilote les investissements en infrastructures des réseaux et utilise le levier du règlement d'urbanisme pour orienter la localisation de la production d'énergie renouvelable du territoire selon sa nature (gaz, électricité, chaleur) ainsi que la mobilisation de la biomasse originaire des territoires voisins. Privilégiant l'énergie produite localement ou à proximité, elle organise de facto une relative

⁴⁷ Dans la préface de l'ouvrage, Gabriel Dupuy s'interrogeait sur les conséquences du scénario Acteurs coopératifs si l'économie constituait la motivation principale des coopérateurs.

autarcie de l'ensemble ville + hinterland. Cela pourrait la conduire à promouvoir une autonomie énergétique au sens politique du terme ; l'équité de l'accès à l'énergie auquel elle veille ne rime pas forcément avec uniformité des prix de chaque vecteur énergétique sur le territoire car la

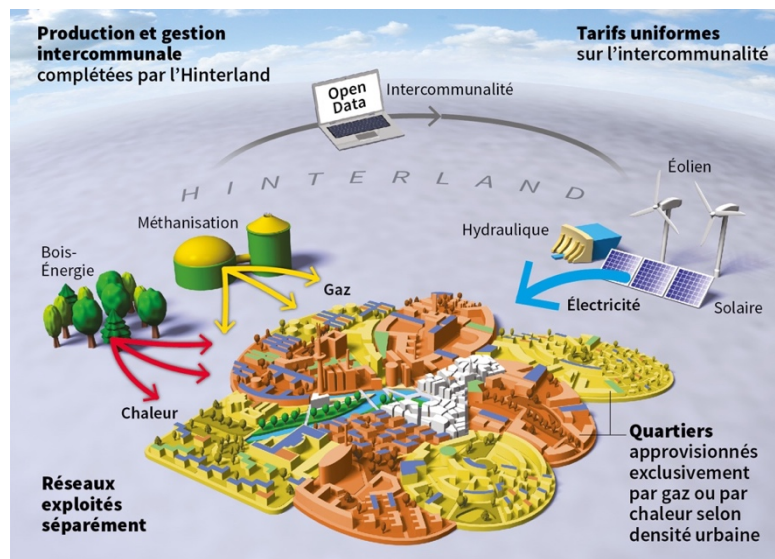


Figure 4-4 Scénario Collectivités locales - Mésoscale - (Debizet, Forest et Mouche 2016)

collectivité évite la dispersion des flux dans des réseaux concurrents : elle organise en effet la priorisation d'un réseau par zone : réseau de chaleur dans la zone centrale et dense, réseau de gaz dans la première couronne et réseau électrique au-delà. De même, les incitations au développement des énergies renouvelables diffèrent selon les zones : respectivement photovoltaïque, solaire thermique et chauffage bois⁴⁸.

L'**État prescripteur** n'exploite pas non plus directement de nœuds socio-énergétiques mais il est le chef d'orchestre de l'assemblage. À son échelle, il s'intéresse surtout au développement de grands parcs de production, de conversion et de stockage d'énergie – essentiellement – renouvelable. L'objectif d'indépendance énergétique du pays et l'optimisation de la dépense publique conduisent à une spécialisation régionale : chaque ressource énergétique est activée dans la région où ses facteurs de production sont les plus avantageux (figure 4-4). Charge à l'État de développer le réseau de transport pour compenser l'intermittence des productions liée aux grandes variations météorologiques (soleil et vent selon les régions). L'existence de grands réservoirs stratégiques de gaz conduit l'État à inciter, voire imposer la conversion des excédents de production électrique en gaz. Les tarifs uniformes du gaz et de l'électricité donnent à l'État le prétexte d'arbitrer seul et sans les collectivités locales le grand assemblage socio-énergétique autour des réseaux de gaz et d'électricité. Les échelles bâtiment et quartier font l'objet de réglementations et d'incitations à la production renouvelable ; une gestion collective à ces échelles est de fait nécessaire : elle est précisément encadrée afin que les logements – les NSE les plus fins - restent directement raccordés aux grands réseaux.

⁴⁸ Le schéma directeur des énergies de la Métropole grenobloise adopté en 2017 a explicitement défini des priorités différentes en termes de réseau et de ressources renouvelables selon chacune des trois zones concentriques. Plusieurs ateliers réunissant des élus et des techniciens de la métropole ont eu lieu en 2016 et 2017 ([rapport PACTE+ GAEL pour Grenoble Alpes Métropole](#)).

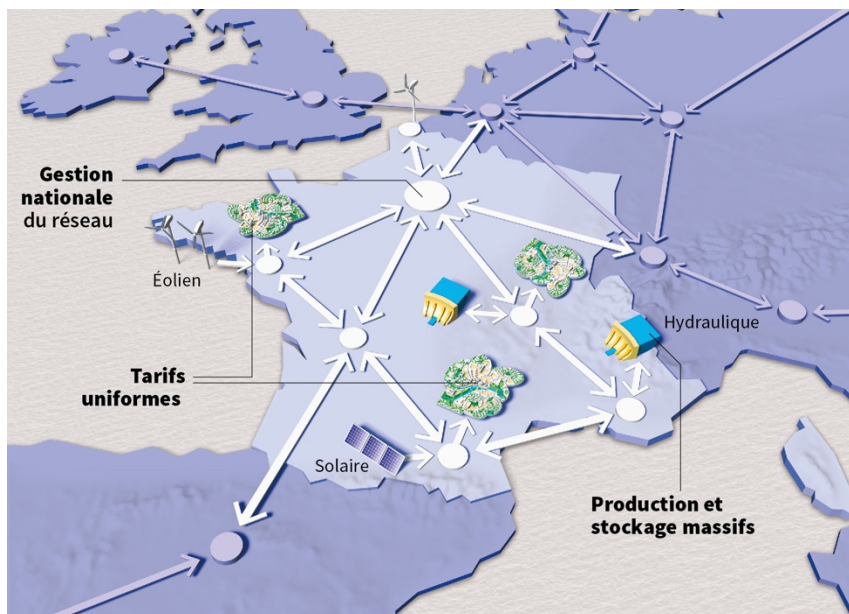


Figure 4-5 Scénario État prescripteur- Macro - (Debizet, Forest et Mouche 2016)

4.3.3 Deux régimes antagoniques pour les grands réseaux

Le régime des vecteurs énergétiques transportables à grande distance (gaz et électricité) diffère selon les scénarios *État prescripteur* et *collectivités locales*.

Dans le premier scénario, l'État a le monopole de l'autorisation des grands équipements de production renouvelables : éolien off-shore bien sûr mais aussi on-shore et solaire ; par exemple il se donne le droit de qualifier les sites pertinents. Il régule le marché de la production et de la fourniture de façon uniforme sur la totalité du territoire national (figure 4-4). Il est suffisamment puissant pour imposer de facto la conversion des excédents d'électricité vers le gaz et ainsi vers les stockages massifs de gaz qu'il peut aisément contrôler.

Le second scénario - *collectivités locales* - se distingue par la marge de manœuvre laissée aux collectivités locales. Les intercommunalités sont les chefs de file de la planification énergétique territoriale comme elles l'étaient devenues dans le champ de la mobilité au tournant des années 2000 avec l'instauration des Plans de Déplacement Urbains (Debizet 2004; Offner 2006). Bien plus qu'aujourd'hui, elles peuvent introduire des prescriptions « énergie » dans la planification spatiale et donc, les imposer aux acteurs de l'immobilier. Distinguant les flux internes au territoire et avec l'extérieur, l'intercommunalité récupère la part des taxes relative au réseau de distribution : une différenciation territoriale des investissements s'opère. La fédération des intercommunalités participe à la gouvernance (paritaire) du réseau de transport de gaz et d'électricité. Les intercommunalités peuvent choisir l'entreprise gestionnaire de réseau, son périmètre et la durée de la concession et même regrouper les concessions de plusieurs réseaux de distribution (électricité, gaz ou chaleur) dans un même appel (scénario *grandes entreprises*). Elles peuvent aussi encadrer des initiatives coopératives comme par exemple : fixer les modalités de raccordement et autoriser le passage de réseaux sur le domaine public ou l'utilisation du réseau public (scénario Acteurs coopératifs). Le pouvoir des intercommunalités

leur permet d'encadrer et d'orienter les nœuds socio-énergétiques intermédiaires entre les bâtiments et les grands réseaux nationaux. Les régimes sociotechniques du gaz et de l'électricité sont caractérisés par une régulation partagée entre l'État et les intercommunalités qu'elles soient rurales ou urbaines.

Dans un pays centralisé comme la France, comment de tels régimes sociotechniques pourraient-ils advenir ?

4.3.4 Identifier des trajectoires plausibles⁴⁹

Dans le chapitre de l'ouvrage présentant les scénarios (Buclet et al. 2016), nous avons esquissé pour chaque scénario sa trajectoire depuis la situation actuelle. Pour hiérarchiser les facteurs les plus déterminants des choix des acteurs en interaction sur le temps long des régimes, nous nous étions appuyés sur la hiérarchie des peurs, attraits et tentations opérée par les grands témoins lors de l'atelier PAT-miroir (cf. 3.4). Dans la présente section, j'ai mis à jour et complété les narrations de l'ouvrage par des nouveautés (TEPOS, block chain, autoconsommation électrique...) dont j'ai pris connaissance par des recherches postérieures sans dévier des hiérarchies révélées par l'atelier Pat-Miroir. Les trajectoires sont présentées par scénario.

Le scénario *collectivités locales* est amorcé par la planification climatique. L'instauration des plans climat locaux sur une grande partie de l'espace national a permis aux intercommunalités de s'initier aux questions énergétiques et d'accéder à des données relatives aux réseaux d'énergie qui desservent leur territoire et collectent les productions énergétiques dispersées. La pérennisation de la démarche « Territoire à énergie positive » (TEPOS) aura placé les intercommunalités dans une position centrale en termes de prospective énergétique territoriale. Les communes et intercommunalités rurales sont lassées de voir les recettes des parcs éoliens et solaires accaparées par des entreprises nationales et internationales sur lesquelles elles n'ont aucune prise. Elles acceptent un nouveau compromis – historique (Poupeau) - proposé par les intercommunalités urbaines :

- le fond d'électrification rurale (incarnation de la solidarité nationale consistant à financer le réseau de distribution des zones peu denses par les économies d'échelles des zones denses) est étendu au financement du renforcement du réseau pour la collecte de la production renouvelable (éolien, photovoltaïque, hydroélectrique ...) ;
- les intercommunalités urbaines accèdent aux mêmes prérogatives que les communes rurales en termes de financement des infrastructures du réseau électrique sur leur territoire ;
- la fonction d'autorité organisatrice de l'énergie est systématiquement transférée des communes aux intercommunalités, tout comme l'est la planification spatiale.

Ce compromis ne s'est pas opéré rapidement : il a fallu que les maires qui s'opposaient au transfert de compétences des communes aux intercommunalités perdent successivement plusieurs batailles parlementaires pour que les intercommunalités s'affirment, en ville comme

⁴⁹ Partant des principaux éléments du chapitre de l'ouvrage décrivant les scénarios de transition énergétique (Buclet et al.), cette section étoffe et détaille les processus qui conduisent aux scénarios.

à la campagne, comme des entités légitimes sur leur territoire. Ces intercommunalités établissent progressivement des synergies efficaces entre planification spatiale et planification énergétique. Les pratiques et les méthodes d'intégration de l'énergie dans la planification spatiale sont élaborées (cf. 5.1, 5.2 et 5.3) et se diffusent à tel point que l'encadrement par l'État des procédures de planification évolue vers une planification conjointe tant aux échelles intercommunale et départementale que régionale.

La sous-variante *grandes entreprises* du scénario *collectivités locales* résulte d'un double mouvement. D'une part, les entreprises locales de distribution de gaz ou d'électricité qui opèrent sur une part infime du territoire national ainsi que les syndicats départementaux d'énergie à qui les communes – notamment rurales – délèguent la fonction d'autorité organisatrice, ont développé des activités dans le domaine de la production renouvelable puis dans celui de la chaleur dont le stockage est de très loin le moins onéreux ; ceci dans le but de réduire leur exposition aux fluctuations du marché à court terme de l'électricité et de valoriser la ressource bois locale. D'autre part, les entreprises de l'énergie et du numérique développent des services fondés sur la gestion conjointe de l'électricité et de la chaleur : l'idée étant de contrôler du stockage thermique et des réseaux de chaleur afin de disposer de flexibilité sur le marché européen à court terme de l'électricité. Ces deux stratégies diffèrent sensiblement mais elles développent des savoir-faire de gestion multi-énergie dans un même contexte de dispersion des productions renouvelables électriques. Parce qu'elles en ont le droit, les communes et les intercommunalités qui disposent d'entreprises locales de distribution sont les premières à choisir des concessionnaires ou des exploitants multi-réseaux. Face au succès, l'État autorise de façon dérogatoire d'autres intercommunalités à lancer des concessions multi-énergies dans de nouveaux quartiers. Comme l'espoir d'exporter le savoir-faire nucléaire s'amenuise et comme l'Union Européenne s'avère trop affaiblie pour imposer un marché unique de l'électricité jusqu'aux mailles les plus fines, l'État multiplie les dérogations afin de placer l'ingénierie et les entreprises du BTP et de l'équipement électrique françaises parmi les leaders mondiaux de l'assemblage complexe de solutions multi-énergies en ville.

La sous-variante *acteurs coopératifs* du scénario *collectivité locale* résulte d'un mouvement général de défiance à l'égard des grandes institutions. La création de coopératives d'habitat s'inscrit initialement en rupture par rapport à la propriété individuelle. Les coopérateurs privilégient les postures de voisinage et la prise de décision par consensus. Ces modalités s'avèrent efficaces pour mutualiser les équipements, réduire le recours aux réseaux et minimiser les factures d'énergie. Une synergie s'amorce alors entre la diffusion de l'« esprit coopératif » au sein de copropriétés classiques et les effets d'échelle induits par la fédération de coopératives et de copropriétés. Face à l'urgence climatique et aux pressions citoyennes relayées par des municipalités rurales et des villes moyennes, le législateur autorise l'autoconsommation collective d'électricité (amorcée en 2018). Ces collectivités (cf. scénario *collectivités locales*) trouvent un intérêt à accorder pendant une durée définie et sous certaines conditions négociées une réduction des taxes d'utilisation du réseau électrique. Les technologies de comptabilité dynamique des flux d'électricité (par exemple les block-chain) réduisant drastiquement les coûts de gestion et de facturation, les assemblages de type « coopératives » deviennent sensiblement moins onéreux que le modèle classique. Comme ce modèle maintient sur le territoire les dépenses énergétiques des ménages et des entreprises et réduit l'investissement

public (désormais) local dans le réseau de distribution, un nombre croissant d'intercommunalités – à commencer par celles dont le tissu urbanisé est moyennement dense - encourage les réseaux coopératifs.

Les deux sous-variantes (*grandes entreprises* et *acteurs coopératifs*) sont antagoniques dans le sens où le développement de l'une sur un territoire rend l'autre moins pertinente voire rédhibitoire. Cependant, elles cohabitent dans l'espace. La première - *grandes entreprises* – se déploie particulièrement dans les villes en croissance où se construisent de nouveaux quartiers et où les transformations urbaines sont de grande ampleur, type rénovation urbaine. La deuxième – *acteurs coopératifs* – se déploie dans les villes moyennes et dans les cœurs de villages : l'énergie devient un bien commun autour duquel se redéfinissent des solidarités de proximité. Dans le scénario *collectivités locales* et ses deux sous-variantes, l'État a de facto renoncé à jouer le rôle de prescripteur général. Il n'est plus animé du dogme du marché, ses régulations du secteur du gaz et de l'électricité ne visent plus à maintenir partout le libre choix par les ménages de leur fournisseur de gaz et d'électricité. La transparence des comptes et la traçabilité générale des transactions opérées par les concessionnaires, les coopératives et les intercommunalités lui permettent de traquer les abus de situation dominante et de jouer efficacement un rôle de garde-fous.

Ceci dit, l'avènement du scénario *État prescripteur* est aussi plausible. Nous (Buclet et al. 2016) en avons décrit la raison principale. Confronté à l'urgence climatique et à l'inertie d'un grand nombre de collectivités (notamment celles qui ne remplissent pas les caractéristiques énoncées dans les paragraphes précédents ou bien si des mécanismes qui y sont décrits se grippent), l'État reprend la main dans tous les domaines de l'action gouvernementale. Certes, ce scénario *État prescripteur* conduit rapidement à l'impasse du financement du réseau dénommée « spirale de la mort » (Menanteau et al.) ou « enfer des réseaux » (Dupuy 2011). Un affaiblissement de l'Union Européenne vis-à-vis des souverainetés nationales permettrait à l'État de s'affranchir du dogme du marché unique – européen - de l'électricité et du gaz. Imposer la conversion des excédents d'électricité renouvelables vers le gaz (méthanation) et ses immenses réservoirs paraît à cet égard une solution - technico-politique – très pertinente.

Synthèse

L'objectif de cette section était de mettre en exergue l'utilisation des concepts de NSE, d'*assemblage* et de régimes sociotechniques dans le cadre d'une production qui mobilise plusieurs regards disciplinaires. Rappelons que la production de scénarios visait à mettre en lumière l'apport des sciences humaines et sociales et à introduire des questions occultées dans un débat que nous jugions trop exclusivement technique et économique.

Dans la mesure où avaient été identifiés les éléments pérennes (des régimes) qui limitaient le champ des possibles, la projection à l'horizon 2040 permettait de lever certains de ces éléments et ainsi de modifier le champ des possibles. La scénarisation définit des champs des possibles spécifiques à chaque scénario en tenant compte de la nature de l'acteur-pivot, des différents NSE et de l'influence - et des objectifs - de l'acteur prépondérant du scénario sur les NSE. La décomposition des systèmes énergétiques urbains en unités élémentaires correspondant au

périmètre de responsabilité d'un acteur (NSE) permettait de placer les choix de systèmes techniques dans des relations entre acteurs.

La quasi-totalité des NSE décrits dans les scénarios existent déjà sur le plan de la technologie et de l'échelle spatiale ; peu de nouvelles technologies sont mentionnées (méthanation, block chain ...) ; prudemment, nous ne précisons ni leurs lieux ni leur envergure. Chaque scénario se distingue par la motivation principale de l'acteur prépondérant et par des modalités principales d'assemblage avec, en toile de fond, des régimes sociotechniques de l'énergie et de la construction modifiés.

A ce stade, nous pouvons retenir de cette section que :

- une moindre dépendance énergétique est recherchée par les entités collectives (État, collectivités locales, coopératives) : elle vise à maîtriser son destin et à préserver les richesses actuelle et future du territoire. Bien sûr, cette motivation se heurte à d'autres objectifs souvent contradictoires, par exemple à celui de limiter les coûts de transaction, d'investissement et de fonctionnement pour accroître l'attractivité et la « compétitivité » du territoire ;
- les scénarios dessinent des modalités et des échelles d'autonomie énergétique différentes qui pourraient remettre en cause les solidarités existantes, notamment celles définies à l'échelle nationale via les réseaux de gaz et d'électricité : cela concerne l'accès à l'énergie tant pour des personnes que pour des territoires ainsi que les incitations au développement des énergies renouvelables ;
- des changements qui paraissent mineurs et relevant de règles techniques ou administratives peuvent conduire à une modification d'ampleur du régime : ce pourrait être le cas des échanges directs d'électricité entre voisins et riverains que le législateur a appelé « autoconsommation collective ».

Ce sont autant de raisons qui justifient une mise en débat politique de la transition bas-carbone et la contribution des sciences humaines et sociales du territoire et de la ville.

5 Relecture de mes travaux sur la planification urbaine au prisme des assemblages socio-métaboliques

Après la généalogie du courant des *Sustainability Transitions Studies (STS)* (chapitre 1), un panorama de sa « branche géographique » et une courte exploration des transitions énergétiques urbaines (chapitre 2), j'ai proposé la notion d'*assemblage de nœud socio-énergétique* et décrit le contexte au sein duquel elle a été élaborée (chapitre 3) et les résultats qu'elle a permis (chapitre 4) dans ce contexte, il convient de mettre à l'épreuve la notion d'autres terrains que ceux pour lesquels elle a été élaborée. Dans un article théorique comparant plusieurs notions, (Bonno et al. 2018) proposent d'utiliser la notion de *nœud socio-énergétique* pour analyser l'opérationnalisation de l'économie circulaire à la jonction de la gouvernance, de la conception urbaine et des méthodes d'évaluation de la durabilité. La notion n'a pas encore armé une grille d'analyse de travaux empiriques.

Puisque ce mémoire doit rendre visible un fil directeur dans mes productions scientifiques, l'occasion est trop belle de revisiter, au prisme de la notion d'*assemblage socio-énergétique*, des productions personnelles – souvent collectives - antérieures. Des trois thématiques qui ont jalonné mon travail de recherche, j'ai privilégié celles relatives aux flux de matière pour préparer la proposition finale d'*assemblage socio-métabolique* (cf. conclusion).

Exit donc les premières années consacrées aux déplacements urbains ; même si l'actualité gouvernementale de septembre 2018 confirme l'hypothèse centrale de ma thèse de doctorant : le changement de paradigme politique de la planification des transports à la gestion durable de la mobilité⁵⁰ ; même si les infrastructures immobiles assemblent des « nœuds socio-matériels de mobilité » au sens d'un ensemble d'éléments matériels conçus ou exploités par un même acteur décisionnel en relation avec des actants à l'image d'une place de stationnement - souvent située près de la frontière entre domaine public et domaine privé (Brès 2005) - ou des stations publiques-privées de vélo en libre-service (Huré 2012). En effet, même si les flux de personnes obéissent globalement au modèle gravitaire (Debizet 2004), l'aménagement des interfaces entre public et privé fait l'objet d'innovations (Debizet 2010), des maîtrises d'ouvrage d'infrastructures de mobilité cohabitent dans les mêmes espaces urbains (Debizet 2007; Debizet 2011a), je ne me risquerai pas à assimiler les mouvements de personnes à des flux de matières : quelques pages ne suffiraient pas pour éviter les écueils de cette assimilation.

Restent donc mes travaux consacrés à la construction durable et à la transition énergétique. J'ai sélectionné quatre exemples récents. Ils portent sur l'action publique locale relatives à des objets matériels supports de flux de matière : des réseaux urbains bien sûr mais aussi les bâtiments. Je n'exploite donc pas non plus mes publications spécifiques à la rénovation énergétique (Debizet 2011c; Debizet 2012d; Debizet 2012c), aux modalités de conception de bâtiments (Henry et al. 2006; Debizet et Symes 2008; Debizet et Henry 2009), ni à l'adaptation au changement climatique (Debizet 2011d; Debizet 2012a; Debizet 2012b; Debizet 2013c; Debizet 2013a; Debizet et Dubois 2011; Katia Cristina et Debizet 2015; Katia Cristina et

⁵⁰ Le premier ministre et le ministre des transports ont annoncé le 12 septembre 2018 le projet de loi d'orientation de la **mobilité** qui va se substituer à la loi d'orientation des **transports** intérieurs de 1982.

Debizet 2016). La grille de relecture de ces travaux combine la notion *d'assemblage socio-énergétique* et les notions de niche et de régime caractéristique de la *MLP*.

La première section mobilise une expérience de co-élaboration avec des professionnels d'un guide à destination des urbanistes communaux et des acteurs privés de la construction. Menée de 2012 à 2014, cette collaboration fait elle-même suite à un travail de modélisation d'interactions entre les communes et des constructeurs observées de 2005 à 2009 par des étudiants de master MOBat⁵¹ dans le cadre de leur formation. Certes, elle illustre la façon dont des résultats scientifiques (Debizet 2013b) peuvent émaner de travaux d'étudiants et d'observation participante lors de collaborations avec des professionnels. Mais le choix de relater cette expérience collaborative ici s'explique surtout par l'analyse fine de la prise en compte dans la planification urbaine et la conception architecturale des interactions énergétiques entre bâtiment, réseaux et « milieux naturels ».

La seconde section relate une monographie portant sur l'élaboration d'une méthode de planification énergétique communale en Suisse. Cette monographie repose sur une enquête menée de 2011 à 2014 dans le cadre d'un programme de recherche de l'ADEME sur la ville durable et d'un congé pour recherche accordé par le CNU et mon université. Cette monographie (Debizet 2014) n'a pas encore fait l'objet de publication ; je l'ai choisie parce qu'elle porte précisément sur l'articulation entre planification énergétique et planification spatiale et suppose des assemblages génériques mobilisant des ressources énergétiques in situ.

La troisième section s'appuie sur une recherche-action menée en 2016-2017 avec Pierre-Antoine Landel par le laboratoire PACTE, l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine de l'université Grenoble Alpes et le bureau d'études Transition. Elle consistait à qualifier les transactions entre ville et montagne dans le cadre de démarches novatrices de « Territoire à Energie Positive » soutenue depuis 2012 par la Région Rhône-Alpes et depuis 2015 par l'État. Des résultats de cette collaboration ont fait l'objet d'un article paru dans la revue de Géographie Alpine en septembre 2018 (Balayé et al. 2018). Ma relecture souligne la dispersion des activités de planifications énergétiques entre des réseaux et des territoires et esquisse, comme dans le cas Suisse, les phases et modalités d'assemblage socio-énergétique.

Enfin, la quatrième section s'aventure hors de l'énergie pour s'intéresser au parcours des eaux pluviales en ville. Elle s'appuie sur une monographie relative au déploiement des toitures végétalisées en Amérique du nord basée sur une enquête menée dans quatre villes nord-américaines dans le cadre du programme de recherche de l'ADEME déjà mentionné dans la seconde section. Considérer le bâtiment et sa toiture végétalisée comme un nœud socio-hydrique re-socialise les relations entre réseau et milieu naturel, elles-mêmes redéfinies par plusieurs des leviers de planification urbaine.

⁵¹ La spécialité du master Maitrise d'ouvrage et management de patrimoine bâti (MOBat) a été créée en 2001 par l'UFR Mécanique, l'UFR Développement Gestion Économie et Société et l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. Elle est actuellement portée par l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine de l'Université de Grenoble Alpes.

5.1 Boite à outils climat pour la planification urbaine et l'accompagnement des projets immobiliers (Métropole grenobloise - France)

De 2012 à 2014, j'ai accompagné Grenoble Alpes Métropole dans la rédaction de sa *Boite à Outils Air Climat Urbanisme* (BàO) (Bertrand et al. 2014). En application de son Plan Climat, l'institution métropolitaine souhaitait que les communes – alors responsables de l'urbanisme – prennent davantage en compte les enjeux climatiques et de qualité de l'air. De fil en aiguille, je me suis retrouvé dans une fonction de co-rédacteur du document de 248 pages.

De nombreuses propositions de ce document ont été reprises dans le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la Métropole grenobloise. Prochainement soumis à enquête publique après quatre ans d'élaboration, ce PLU se substituera aux PLU communaux. La démarche de co-pilotage des projets immobiliers décrite dans ce guide a été mise en œuvre par des communes de l'agglomération avec l'aide du CAUE de l'Isère. Ma contribution à la BàO s'appuie sur connaissances accumulées dans le cadre d'activités d'enseignement et de recherche, d'un colloque national en 2008 (Debizet 2008a) et d'un chapitre du cahier RAMAU n°6. (Debizet 2013b).

Guide et référentiel, la BàO se focalise sur la préparation par l'autorité locale des deux documents clés encadrant la production immobilière : le Plan Local d'Urbanisme (PLU) et l'autorisation de construire. Elle vise à apporter des connaissances environnementales et climatiques ainsi que des outils d'évaluation aux professionnels de l'urbanisme pour les aider à traiter ces enjeux :

- lors de l'élaboration du PLU⁵² : la BàO explique et décrit des pistes pour un PLU ambitieux en matière de lutte contre le changement climatique et propose des formulations qu'il est possible d'intégrer dans chaque pièce constitutive du PLU en fonction des thématiques prioritaires sélectionnées par les responsables de l'urbanisme communal,
- au cours du dialogue – souvent informel initialement – avec le porteur de projet immobilier par le(s) responsable(s) de l'urbanisme de la commune à chacune des étapes de la conception jusqu'à la délivrance formelle de l'autorisation de construire et celle de l'attestation de conformité. Ce dialogue est une forme de *co-pilotage* par la commune de la conception du projet immobilier.

J'ai étroitement contribué à la conception du guide : de la démarche générale d'intégration des enjeux air et climat jusqu'aux prescriptions détaillées mobilisables dans les activités que ce guide prête aux élus, aux urbanistes et aux porteurs de projet immobilier :

- l'organisation générale du guide ;

⁵² Quand le projet de rédaction de la BàO a démarré en 2012, le PLU était porté par chaque commune dans l'agglomération grenobloise. Le passage de la Communauté d'Agglomération en Métropole (loi MAPTAM) a impliqué le transfert de la compétence urbanisme des Communes à la Métropole et la préparation d'un nouveau PLU (métropolitain).

- les compétences acquises et requises des professionnels, le positionnement du guide par rapport à des réglementations existantes ;
- les moments d'élaboration du PLU et de dialogue avec les acteurs de la construction ;
- les arbitrages entre urbanisme réglementaire (PLU) et urbanisme négocié (co-pilotage) ;
- les besoins d'objectivation du dialogue et le choix des indicateurs en fonction de leur mobilisation au cours du processus de conception architecturale et technique.

J'ai rédigé l'essentiel du volet co-pilotage, un AMOHQE ayant été recruté pour la rédaction détaillée des fiches indicateurs. Ceci étant dit, les co-auteurs ayant été relecteurs très actifs de plusieurs parties dont ils n'ont pas rédigé le premier jet, aucune partie de la BâO ne peut être revendiquée par un auteur unique.

Structure de la BâO

- Edito politique
par les VP Habitat, logement & politique foncière / Environnement air, climat et biodiversité / Transition énergétique et aménagement numérique
- Introduction
Vocation du guide / Méthode d'élaboration collégiale,
- Cadrage enjeux : Liens entre climat et urbanisme
Étalement urbain / Impact environnemental / Réponses aux enjeux environnementaux de l'urbanisation / Commune : avant-dernier-maillon de la chaîne
- Cadrage processus : Portage et co-pilotage de projets immobiliers
Motivation des maîtres d'ouvrage immobilier / Marge de manœuvre des communes, Intérêt à collaborer
- Déclinaison des enjeux Air & climat en thématiques et orientations d'urbanisme
Quels enjeux, quels objectifs ? / 16 orientations d'urbanisme durable / 47 objectifs pour les projets immobiliers
- Mode d'emploi de la Boite à outils
Quand utiliser ce guide ? Quelles opérations sont concernées ? Comment optimiser l'utilisation de cette Boite à outils ? Comment lire et utiliser chacun des livrets ?
- Synoptique des fiches génériques
Rubriques du PLU / Étapes du co-pilotage / Indicateur objectivé
- 7 livrets thématiques
Confort d'hiver / Confort d'été / Végétalisation / Cycle de l'eau / Production énergétique / Accessibilité & stationnement / Nuisances air-bruit

5.1.1 Notion de co-pilotage

Le co-pilotage correspond à l'action de la commune - délivrant l'autorité de construire – au cours du processus de conception architecturale en vue de l'orienter et satisfaire ses objectifs. La qualité environnementale n'est pas le seul champ des objectifs que les communes discutent avec un porteur de projet immobilier. Les caractéristiques des locaux commerciaux en rez-de-

chaussée, de l'accessibilité automobile ou encore la position des logements sociaux⁵³ sont souvent discutées avec les promoteurs immobiliers et leurs maîtres d'œuvre : par exemple, pour les logements sociaux : leur taille, leur position dans le bâtiment, le partage des accès avec les logements en accession, etc. Ceci étant dit, la BâO se focalise sur les dimensions environnementales.

Concrètement, la commune s'invite dans le processus de conception au côté du maître d'ouvrage en organisant des revues de projet à différentes étapes : plan masse, esquisse, APS et parfois jusqu'à la rédaction des pièces du permis de construire. A chaque étape, la commune vérifie la prise en compte des prescriptions puis valide la proposition ou demande des ajustements (Buhe 2008; Debizet 2008b; Henry 2008; Roux, Jean-Michel 2008).

Ce dialogue en amont du dépôt de la demande d'autorisation de construire entre un porteur de projet immobilier et un ou des responsable(s) de la commune est fréquent en France. Il n'est pas cadré par le code de l'urbanisme ; il suit un processus de décision interne à la commune, parfois formalisé par une note interne voire par des délibérations du conseil municipal ; dans ce dernier cas, la démarche est rendue publique (Buhe 2008; Debizet 2008b; Henry 2008; Roux, Jean-Michel 2008).

C'était le cas à Grenoble. Initiée en 2003-2004, la démarche de co-pilotage a été systématisée en 2006 : elle se définit par une liste écrite d'exigences, 2 à 3 revues de projets entre le porteur de projet immobilier et son architecte avec l'adjoint à l'urbanisme aidé par ses services et discussions en commission « écologie urbaine ». Elle inclut aussi une réunion avec les riverains juste avant le dépôt de la demande d'autorisation de construire (Henry 2008). Le constructeur doit inviter tous les résidents des rues voisines. Les élus se présentent comme observateurs en début de réunion puis le maître d'ouvrage et son architecte exposent le projet architectural avant la discussion. Peu après la réunion, les élus et l'urbaniste municipal font le point avec le maître d'ouvrage et l'architecte et définissent ensemble d'éventuels ajustements (Debizet 2013b).

A l'époque où nous tentions de modéliser le co-pilotage, aucune publication scientifique ne portait sur cette démarche pourtant assez généralisée. C'est en tutorant des mémoires de stage d'étudiants en master DESS Management de construction et en analysant des projets novateurs de construction durable dans le cadre d'une recherche financée par le PUCA (Henry et al. 2006) que nous avons observé que de nombreux maîtres d'ouvrages immobiliers se pliaient à des attentes de la commune sans que le règlement d'urbanisme ne les aient prescrites. Nous avons progressivement modélisé ce processus, mise à l'épreuve de projets d'équipes d'étudiants du master MOBAt avant de le soumettre à la discussion de pairs (Abrial 2008; Bobroff 2008; Souami 2008) et de professionnels lors d'un colloque co-organisé par l'ADEME, la Région Rhône -Alpes et l'Université de Grenoble (cf. encadré ci-dessous).

Activités et corpus ayant conduit à la modélisation du co-pilotage de la qualité environnementale des bâtiments

⁵³ Les plus grandes communes de l'agglomération imposent un taux de 20 à 35% de logements sociaux dans les opérations immobilières en accession.

- Tutorat de stages d'étudiant du DESS Management de Constructions promotion immobilière et maîtrise d'ouvrage habitat social à partir de 2001
- Recherche *Compétences, expertises et gestion de projet en construction durable* (direction E. Henry) 2004-2006 financé par le PUCA en partenariat avec West England University
Analyse de 10 bâtiments novateurs en termes de qualité environnementale dont plusieurs selon les démarches HQE (France) et BrEEM (Royaume-Uni) : tableau de bord environnemental, interaction avec parties prenantes, dérogation aux normes techniques et règles usuelles, processus concourant
- Encadrement de projets d'équipe du Master Maîtrise d'ouvrage et management de patrimoine bâti (MOBat, ex DESS Management de Constructions) sur les interactions entre municipalités et porteurs de projets immobiliers en phase conception :

- *Une ZAC innovante à Échirolles, Étendre la démarche QE à l'habitat collectif* (diffus-ndlr), Aydogan, Dulac, Vivrat, Wolff, (sous la dir. G. Debizet et J.-M. Roux), avril 2007
- *Ville d'Échirolles Incitation à la qualité environnementale dans la promotion privée*, Grenier, Lux, Alvaro, Lefur, (sous la dir. G. debizet), avril 2008
- *Programmation conjointe ville – promoteurs d'un quartier durable La Motte-Servolex*, Anne, Doremus, Ladjal (sous la dir. E. Henry et J.-M. Roux), avril 2008
- *Promotion privée et co-pilotage environnemental d'un projet de construction Vaulx-en-Velin*, Bigot, Huart, Magnier, Sabat, Vigier, (sous la dir. G. Debizet et A. Lambert), avril 2009,
- *Co-pilotage de la QEB sur le quartier de Bonne à Grenoble*, Feidt, Moshkanbarians, Parmentier (sous la dir. G. Debizet et M. Leullier), avril 2009

- Colloque Bâtiment et urbanisme durable – Villes et constructeurs vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets, Grenoble, 11-12 juin 2008, ADEME, Région Rhône-Alpes, Université Grenoble PACTE
Conférences et ateliers sur 4 terrains (Bourg-les-Valence, Échirolles, Grenoble, La Motte-Servolex), Table-ronde
- Communications : Forum du Plan climat de Grenoble Alpes métropole (2009), Rencontres RAMAU (2012), Assises européennes de la transition énergétique (2013)
- Appui méthodologique à la Boîte à outils Climat et Urbanisme de Grenoble Alpes Métropole, Université Grenoble, Laboratoire PACTE, 2011-2014

La commune dispose de leviers implicites pour peser sur la conception architecturale des projets immobiliers, même lorsque le foncier a été vendu par un propriétaire privé. Primo, la rentabilité d'une opération requiert une synchronisation entre commercialisation, financement bancaire, conception et autorisation de construire ; or, la commune peut assez facilement demander des pièces complémentaires et de ce fait décaler, de bimestre en bimestre, la délivrance de

l'autorisation de construire. Secundo, l'élu municipal et le personnel du service urbanisme connaissent très bien les enjeux qui ont été portés par les riverains lors de l'élaboration du PLU et par les recours de tiers consécutifs à la délivrance d'autorisations de construire. Satisfaire les attentes de la commune, c'est susciter sa bienveillance vis-à-vis du projet et bénéficier de ses conseils en vue de son aboutissement. Tertio, le maître d'ouvrage est partie prenante d'un système d'acteurs local sur lequel la commune est potentiellement influente car elle fournit régulièrement du foncier aux maîtres d'ouvrage. Principal prestataire de ces derniers, l'architecte fait généralement lui aussi partie de ce système d'acteurs local : les communes et leurs satellites commandent régulièrement des prestations de maîtrise d'œuvre (Debizet 2013b).

5.1.2 Déclinaison de l'objectif bas-carbone dans l'urbanisme

La lutte contre le changement climatique comprend usuellement deux volets : l'adaptation aux effets du changement climatique et l'atténuation qui consiste à réduire les émissions de gaz à effet de serre, objectif appelé aussi « bas-carbone ». Au vu de la BâO, quelles prescriptions à l'adresse de la construction immobilière visent l'objectif bas-carbone ?

LE CONFORT D'HIVER

Mots clefs

Sobriété énergétique / Conception bioclimatique / Isolation / Apports solaires / Confort thermique

Orientations d'urbanisme durable

- Bénéficier des apports solaires en hiver (lumière, chaleur)
- Réduire les besoins en chaleur et en lumière artificielle

LE CONFORT D'ÉTÉ

Mots clefs

Sobriété énergétique / Conception bioclimatique / Îlot de Chaleur Urbain (ICU) / Isolation - Inertie / Masques solaires / Végétalisation / Ventilation

Orientations d'urbanisme durable

- Limiter la contribution du tissu urbain au phénomène d'îlot de chaleur urbain
- Réduire les besoins des bâtiments en rafraîchissement et favoriser l'usage de technologie de production de froid à faible impact environnemental

LA VÉGÉTALISATION

Mots clefs

Espace de pleine terre / Minéralisation des sols / Puits de fraîcheur / Continuités vertes urbaines / Adaptation du choix des espèces / Biodiversité

Orientations d'urbanisme durable

- Améliorer les conditions de confort thermique des espaces urbains
- Favoriser et pérenniser la présence végétale

LE CYCLE DE L'EAU

Mots clefs

Confort thermique / Gestion des eaux pluviales à la parcelle / Écrêtage / Infiltration / Récupération des eaux pluviales

Orientations d'urbanisme durable

- Gérer les eaux pluviales à la parcelle
- Économiser la ressource en eau
- Contribuer au confort thermique des espaces urbains

LES MODES DE PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE

Mots clefs

Énergies renouvelables / Filières d'approvisionnement locales / Réseaux / Flexibilité

Orientations d'urbanisme durable

- Privilégier les énergies renouvelables
- Favoriser les filières énergétiques locales et assurer la flexibilité du mode d'approvisionnement énergétique

L'ACCESSIBILITÉ & LE STATIONNEMENT

Mots clefs

Modes doux / Proximité des aménités urbaines / Mixité fonctionnelle / Stationnements cycles / Maillage piétons

Orientations d'urbanisme durable

- Contribuer au développement des modes de déplacement actifs (piétons, cycles, autres)
- Favoriser l'usage des transports en commun par rapport au véhicule individuel
- Limiter les nuisances liées à l'usage de la voiture

RÉDUCTION DES NUISANCES URBAINES

Mots clefs

Pollution atmosphérique (NO_x, particules) / Classement sonore des voies / Protection acoustiques / Espaces tampons / Ventilation

Orientations d'urbanisme durable

- Réduire l'exposition des populations aux polluants atmosphériques
- Réduire l'exposition des populations aux nuisances sonores

Figure 5-1 Thématiques et orientations (source Boites à Outils Air Climat Urbanisme, Grenoble Alpes Métropole, AURG PACTE, 2014)

Les prescriptions relatives à la production d'énergie consommée dans le bâtiment et visant à réduire les consommations d'énergie associées au confort estival et hivernal s'inscrivent en totalité dans l'objectif bas-carbone. Cependant, elles ne sont pas les seules (figure 5-1) : la végétalisation et le cycle de l'eau améliorent le confort estival, l'accessibilité et le stationnement influencent le choix modal ; la réduction des nuisances urbaines pourrait être ajoutée car rendre l'espace urbain plus attractif contribue à restreindre l'étalement urbain très consommateur d'énergie fossile pour la mobilité.

5.1.3 Le bâtiment comme nœud socio-énergétique actif

Le bâtiment échange de l'énergie avec son environnement : il reçoit de l'énergie par les réseaux publics et sous forme de rayonnement solaire par ses façades et toiture, capte des thermies dans

l'air ou dans le sol (entrée air neuf, pompe à chaleur ...). Dans le sens inverse, il rejette de la chaleur (évacuation de gaz brûlés et d'air vicié, déperditions et rayonnement par les parois ...) et éventuellement en injecte dans le réseau.

Selon la BâO (figure 1-1), l'objectif bas-carbone de Grenoble Alpes Métropole se décline ainsi au secteur de l'immobilier :

- Réduire les besoins en chaleur (confort d'hiver) ou en rafraîchissement (confort estival) du bâtiment ;
- Bénéficier des apports solaires passifs (hiver) ou s'en protéger (été), contribuer au confort thermique des espaces urbains (végétalisation, cycle de l'eau, confort d'été) ;
- Privilégier les énergies renouvelables et les filières locales, permettre la flexibilité de l'approvisionnement (modes de production) ;
- Favoriser l'usage des modes de mobilité bas-carbone.

La vérification de la mise en œuvre de ces orientations repose sur des indicateurs opérationnels. Prenons l'exemple de la thématique *confort d'hiver* (figure 5-2). L'enveloppe thermique doit être limitée en surface (COH4), placée à l'extérieur pour préserver l'inertie thermique (COH5), les baies vitrées des pièces de vie (COH2) doivent être orientées sud-est à sud-ouest et plus vastes que les autres (COH1, COH3). L'air entrant doit être préchauffé par les apports solaires ou par l'air sortant (COH6) et les baies suffisamment grandes pour limiter le besoin d'éclairage artificiel (COH7). J'épargne au lecteur l'énoncé des indicateurs relatifs au *confort d'été* et aux *modes de production énergétique*. Il en ressortirait que les prescriptions visent à accroître les échanges thermiques avec le milieu aux moments où ils contribuent au confort du logement.



Figure 5-2 Objectifs urbanisme et immobilier et indicateurs Confort d'hiver (source Boîtes à Outils Air Climat Urbanisme, Grenoble Alpes Métropole, AURG PACTE, 2014)

L'autorité délivrant l'autorisation de construire veille ainsi à préserver les biens communs (Ostrom 1990) que représentent l'air ainsi que le sol et l'eau dans lesquels les pompes à chaleur puisent de la chaleur en hiver et du froid en été. Ainsi, le bâtiment échange avec le milieu qui l'entoure (soleil, air, eau, sol) ; ce milieu est partagé avec les riverains, les passants et d'autres personnes situées en aval des flux : l'autorité délivrant l'autorisation de construire exerce une vigilance au nom des personnes susnommées.

Le bâtiment est également approvisionné en énergie par des réseaux : électricité, gaz, chaleur. Le volet co-pilotage de la BâO suggère des exigences relatives à trois performances : d'une part, la couverture des besoins en ECS et des besoins de chauffage par des énergies renouvelables, d'autre part, un système de chauffage collectif par fluide caloporteur basse température (exemple plancher chauffant) qui « offre la possibilité de diversifier les solutions énergie renouvelable ». Avec la préconisation de l'inertie thermique, il s'agit alors de fabriquer des bâtiments plus autonomes par rapports aux réseaux ou, dans le cas d'approvisionnement au réseau de chauffage urbain, un territoire urbain lui-même plus autonome.

Une maîtrise des échanges avec le milieu - commun - et une plus grande autonomie par rapport au réseau et aux ressources exogènes : attendues par la puissance publique, ces deux orientations positionnent le bâtiment comme un nœud socio-énergétique actif qui interagit avec le milieu et les réseaux.

5.1.4 Le poids du régime sociotechnique de la construction

Une question récurrente que nous nous sommes posée lors de la rédaction du guide fut la répartition des prescriptions entre le volet PLU et le volet co-pilotage, autrement dit entre l'urbanisme réglementaire et l'urbanisme négocié. Idéalement, nous aurions souhaité positionner dans la partie réglementaire ce qui préserve l'ensemble des biens communs (air, eau et sol) ; le positionnement dans le volet co-pilotage aurait été réservé aux prescriptions aux effets contradictoires, positifs selon une thématique et négatifs selon une autre thématique ou d'autres enjeux urbains, par exemple la qualité architecturale ou le coût de construction. L'objectif était de laisser de la latitude aux concepteurs afin qu'ils élaborent les meilleurs compromis en fonction du site et des attentes de leur client. Cependant, un critère fut nettement plus discriminant : la robustesse juridique des prescriptions du PLU. En effet, un PLU peut être annulé par un tribunal administratif s'il n'est pas compatible avec le code de l'urbanisme ou entre en contradiction avec une quelconque loi de la République Française.

La partie « règlement » du PLU - celle qui est directement opposable - est historiquement constituée de 14 articles, chacun correspondant à un enjeu défini - depuis plusieurs décennies - par la loi ; jusqu'à récemment, aucune obligation ne pouvait être introduite si elle ne pouvait être rattachée à une thématique. C'était le cas pour l'énergie et le système constructif : des orientations peuvent être énoncées dans la partie Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) mais non dans la partie « règlement ». En effet, le législateur craignait que l'introduction de telles prescriptions par une autorité locale ne crée des niches⁵⁴ locales dérogeant au grand marché national de la construction⁵⁵. Au moment de la rédaction de la BàO, la structure du règlement en 14 articles n'était déjà plus imposée par la loi mais elle continuait - et continue - de structurer la pensée des urbanistes impliqués dans la rédaction du guide. Forts de leur connaissance de la jurisprudence, des juristes de l'urbanisme de l'Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise et de l'État (Direction Départementale des Territoires) ont dissuadé les rédacteurs de la BàO d'introduire des prescriptions relatives à l'énergie dans le « règlement ». Par conséquent, les urbanistes co-rédactrices de la BàO ont fait preuve de créativité en rédigeant des prescriptions répondant de facto à l'objectif bas-carbone dans des articles qui n'étaient pas conçus dans cet objectif. Un exemple pour l'illustrer : elles proposent de « *tenir compte de l'ensoleillement souhaité pour fixer la distance minimale entre deux constructions à usage d'habitat sur une même parcelle. L'objectif (officieux c'est à dire énoncé dans la BàO mais pas dans le futur règlement - ndlr) est de limiter les ombres portées (en hiver – ndlr) des bâtiments les uns sur les autres.* ». Cette recommandation concerne le contenu de l'article 8 qui traite de l'implantation des constructions les unes par rapport aux autres sur une même propriété, c'est à dire des relations de riveraineté.

Nous avons prêté une grande attention à l'objectivation des exigences du volet co-pilotage par les deux parties. Il importe que les représentants de la commune puissent vérifier rapidement si le projet satisfera les exigences. Ces deux caractéristiques – objectivation et vérification – ont

⁵⁴ Il s'agit d'une reformulation de ma part.

⁵⁵ Les seules performances énergétiques renforcées qu'un PLU peut introduire correspondent aux labels nationaux précisément définis par le gouvernement.

guidé la définition des indicateurs opérationnels (cf. figure 5-2) ; chacun fait l'objet d'une fiche de 1 à 2 pages qui précise aussi des seuils de performance ou des principes constructifs à respecter. Il importait que la vérification puisse être faite par un instructeur d'urbanisme réglementaire en quelques secondes ou minutes. Ce critère éliminait des formulations qui nécessitent des calculs thermiques (énergie, température), hydrauliques (eau) ou biologiques (végétation). Autrement dit, les compétences cognitives des représentants de l'autorité autorisant la construction conditionnent le contenu des prescriptions. Cela me conduit à considérer la répartition des savoir-faire et les habitus professionnels comme des composants/dimensions du régime de la construction.

Le régime de la construction s'avère marqué par trois grandes temporalités :

- la planification urbaine dont la commune et/ou l'intercommunalité est l'acteur décisionnel, en interaction avec des actants ;
- la conception et la réalisation dont le maître d'ouvrage, les maîtres d'œuvres et les entreprises de construction - chacun selon des responsabilités définies par la loi et la jurisprudence - sont des acteurs-pivots (Mitchell, Agle et Wood 1997) ;
- l'utilisation et le fonctionnement du bâtiment auxquels participent directement les propriétaires, les occupants, le gestionnaire et les exploitants. Des ajustements du bâti sont opérés ne serait-ce que lorsque des équipements deviennent obsolètes.

Enfin, remarquons que la planification urbaine bas-carbone et le co-pilotage concentrent l'enjeu énergétique sur l'usage chaleur. L'électricité n'apparaît qu'à propos de l'éclairage naturel, qui permet de minimiser l'éclairage artificiel. Cela s'explique-t-il par le fait que les usages domestiques de l'électricité relèvent d'appareils mobiles, autrement dit, qui ne font pas partie de l'immobilier, parce que les communes urbaines n'ont pas de levier sur le réseau électrique ou parce que l'électricité française est déjà très peu carbonée (Menanteau et Blanchard 2014b) ? Nous apporterons des réponses à cette question plus loin.

Synthèse 5.1 Action climatique des villes sur les projets immobiliers

La conception d'un projet immobilier induit un assemblage socio-énergétique. Il connecte l'infrastructure énergétique privée du bâtiment - à un ou plusieurs réseaux de distribution d'énergie. Ce processus s'effectue en aval d'une planification urbaine, volet local du régime sociotechnique de la construction qui offre, sur le plan réglementaire, peu de latitude aux institutions locales sur les aspects énergétiques. Ainsi, le régime sociotechnique de la construction se conçoit en articulation avec les régimes sociotechniques de l'énergie que nous avons présentés dans le chapitre 3.

La lutte contre le changement climatique a conduit des villes à prendre en compte l'objectif bas-carbone et à développer les énergies renouvelables in situ ou proches. L'État lui-même a cherché à généraliser cette attention en obligeant les villes à réaliser un plan climat. Si la ville dispose de leviers puissants et officiels dans les projets urbains (cf. chapitre 3) pour jouer un rôle moteur dans l'assemblage socio-énergétique, ses leviers réglementaires sur les projets immobiliers en diffus (cette section) sont faibles. Elle dispose cependant d'autres leviers pour orienter la conception via une démarche d'urbanisme négocié.

5.2 Méthode de « planification énergétique communale » (Suisse)

De 2011 à 2014, j'ai mené une recherche pour l'ADEME intitulée « Chemins de l'innovation urbaine » dans le cadre du programme *Observation de la Recherche sur la Ville Durable* animé par Anne Grenier. Elle portait sur trois innovations urbaines diffusées dans des pays fédéraux : les politiques de déploiement des toits verts en Amérique du nord, la prise en compte de l'îlot de chaleur urbain au Canada et une méthode de planification énergétique communale en Suisse. Les théories expliquant la diffusion de l'innovation (Flichy 1995; Rogers 2003) constituaient le substrat conceptuel. Les monographies empiriques ont fait l'objet d'enquêtes approfondies menées pendant un congé pour recherche dans chacun des pays grâce à l'accueil en résidence des professeurs Raymond Levitt de Stanford University, Franck Scherrer de l'Université de Montréal et Antonio Da Cunha de l'Université de Lausanne. L'ensemble a fait l'objet d'un rapport de recherche (Debizet 2014) et une communication sous l'égide de l'ADEME (Debizet 2015a).

La planification énergétique communale (PEC) se situe en Suisse à l'intersection de deux grands domaines d'action publique : la construction (et la rénovation) des bâtiments et l'aménagement. Selon la constitution de la confédération, le cadrage de ces deux domaines d'action communale relève des Cantons. En 2012, la méthode PEC avait fait l'objet d'expérimentations par des communes et était en voie de finalisation au moment de l'enquête : elle n'était donc pas mise en œuvre de façon formalisée.

Méthodologie de la monographie : Planification énergétique communale en Suisse

L'enquête a été menée au cours du premier semestre 2012. Des échanges avec mes collègues de l'Institut de Géoscience et de durabilité de l'Université de Lausanne ont permis d'identifier les organisations en charge de la diffusion d'innovations en matière de planification énergétique communale : l'Office Fédéral de l'Aménagement, l'association Cité de l'Énergie (version francophone de Energiestadt), le Centre de Recherches Énergétiques et Municipales, les bureaux d'études BG Conseil et Amstein&Walthert et des urbanistes ainsi qu'au niveau cantonal : le service de l'énergie et celui de l'aménagement du territoire du canton de Fribourg. Dans chaque cas, j'ai interrogé la personne impliquée dans la diffusion et/ou ayant, aux dires de nos informateurs, une distance critique. Quatre universitaires ont été interrogés : des universités de Genève et Lausanne et des Écoles Polytechniques Fédérales de Zürich et de Lausanne. Les résultats de la recherche ont été présentés à l'équipe du CREAT de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne dirigée par Jérôme Chenal.

La littérature scientifique -peu étoffée- sur les politiques énergétiques locales, cantonales et fédérales a été complétée par une littérature grise émise par les organisations. Les entretiens ont été menés de façon semi-directive : la personne interrogée est invitée à décrire son parcours professionnel et son organisation puis à raconter l'histoire de la planification énergétique territoriale sur son territoire d'action ou ailleurs (confédération ou canton) ; des questions de relance (visant à remettre en récit) et directives (obtenir des informations sur des points précis pré-identifiés) étaient prévues. Préparant d'éventuelles relances, la grille d'entretien s'appuie sur les cadres d'analyse proposés par Flichy (Flichy 1995; Debizet 2010) (cadre de fonctionnement, cadre d'usages, imaginaire technique et imaginaire social) et Rogers (2003) :

caractéristiques d'adoptabilité : avantage relatif, compatibilité, simplicité, essayabilité, observabilité ; phase d'adoption : connaissance, conviction, décision, application, confirmation ; vecteurs : canaux de communication, agence de changement, intensité d'interaction, obligation ou pas.

Présentons l'hypothèse initiale de l'ensemble de la recherche des trois monographies : les innovations dans le champ de l'urbanisme qui visent à lutter contre le changement climatique se diffusent d'une ville à d'autres sans nécessairement passer par des injonctions fédérales ou étatiques. Or, ce n'est pas cette hypothèse plus ou moins confirmée par nos analyses que je discute ici. Mon présent objectif est double : d'une part : identifier en quoi la notion *d'assemblage socio-énergétique* transparait dans la méthode de planification énergétique communale ; d'autre part, apprécier la pertinence heuristique de la notion.

Un volet énergie dans la planification spatiale de la commune

Notre attention se porte ici sur la méthode préconisée par les institutions publiques et associatives en charge de l'énergie et du développement territorial : l'association Cité de l'énergie (qui rassemble de nombreuses communes suisses volontaristes en matière de transition énergétique), l'Office fédéral du Développement Territorial et SwissEnergie (un consortium public qui regroupe le Département (ministère) fédéral en charge de l'énergie et de l'environnement et les directeurs cantonaux de l'énergie).

La méthode de Planification Énergétique Communale (MPEC) est décrite dans un ensemble de huit fascicules disponibles sur le site de l'association Cité de l'énergie à destination des « spécialistes et des responsables communaux ». La MPEC s'incarne par trois formes de rendu : un rapport, la description de mesures et des cartes. Une première carte communale récapitule de façon spatialisée le potentiel énergétique (forêts, eaux, déchets ...) vers la chaleur, les réseaux existants (gaz ou chaleur) des zones urbanisées et les sites possibles de transformation concentrée de chaleur (figure 5-3).

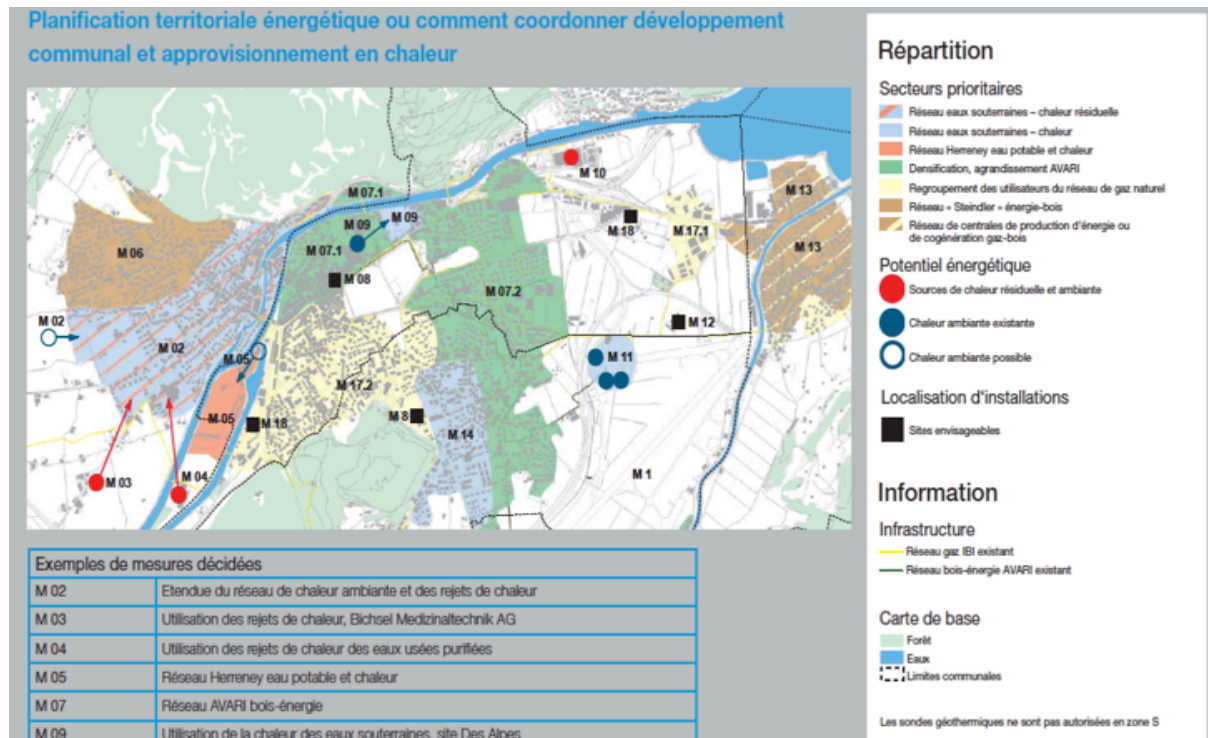


Figure 5-3 Exemple de carte des ressources, réseaux et zones de consommation (source : Cité de l'énergie, SuisseEnergie et ARE 2013)

Une deuxième carte communale présente le *concept énergétique* par zone urbanisée ou à urbaniser. Le *concept énergétique* désigne le vecteur, les sources et les infrastructures qui les relient visant à assurer les besoins énergétiques d'un bâtiment, d'un îlot ou d'une zone plus étendue. Cependant, l'assise de la méthode PEC ci-dessus est limitée aux besoins de chaleur, ceux qui ne peuvent légalement plus être assurés par l'électricité dans les bâtiments neufs⁵⁶.

La version initiale de la méthode portée par l'association Cité de l'énergie, la PEC concernait tous les vecteurs énergétiques et tous les usages, y compris l'électricité spécifique. Il n'est pas improbable que les acteurs de l'électricité aient pesé pour que le réseau électrique ne fasse pas l'objet d'une planification par les communes. La régulation de l'électricité en Suisse relève de la compétence fédérale. De façon assez générale dans les villes suisses, les relations entre la régie publique – les « Services industriels » qui gèrent généralement le réseau de distribution électrique d'un nombre important de communes du canton - et le service aménagement (urbanisme) des communes sont tendues. Chacun veille à garder ses prérogatives. L'irruption de la thématique énergie dans le champ de l'aménagement suscite des craintes de part et d'autre. La concentration opérée depuis une vingtaine d'années dans le secteur de la production d'électricité - par fusion des activités de production des « Services Industriels » municipaux et cantonaux - a conforté la logique économique y compris des « Services industriels » gestionnaires de réseau au détriment de la proximité avec les institutions territoriales (Pflieger 2008).

⁵⁶ Depuis une vingtaine d'années, les cantons ont progressivement interdit l'utilisation du vecteur électrique pour le chauffage des bâtiments neufs.

En conséquence, les cartes présentent le potentiel et les besoins (figure 5-4) ainsi que les intentions en termes d'infrastructure d'approvisionnement énergétique satisfaisant les besoins de chaleur des bâtiments, par exemple pour les zones colorées (figure 5-4) : réseau de gaz de ville, mini-réseau de chaleur (chauffage à distance CAD) alimenté par la récupération de chaleur des eaux usées (bleu ciel) ou la géothermie profonde (vert) ou bien encore le chauffage individuel à partir de pompes à chaleur eau/eau ou du gaz livré (bleu foncé).

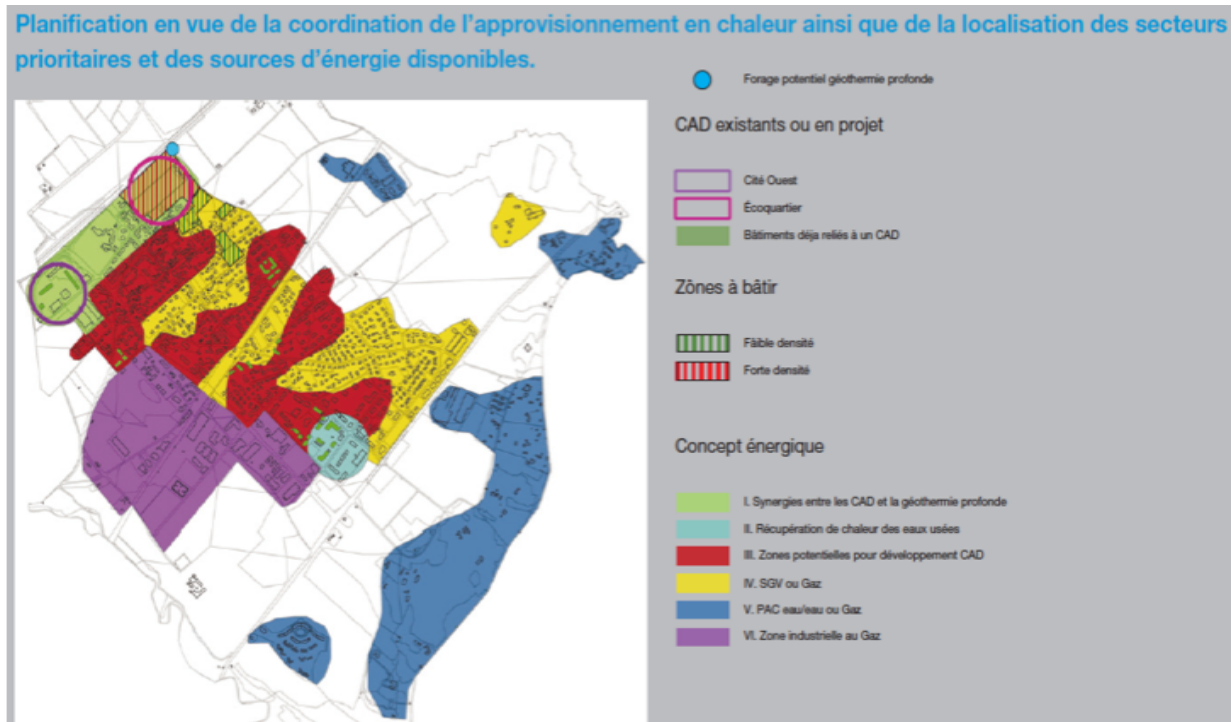


Figure 5-4 Exemple de carte selon l'approvisionnement (source : Cité de l'énergie, SuisseEnergie et ARE 2013)

Ces cartes ont vocation à être intégrées dans le document de planification spatiale, l'équivalent du Plan Local d'Urbanisme⁵⁷. Le raccordement au réseau de chaleur public pourrait être rendu obligatoire sous réserve de compétitivité avec d'autres vecteurs.

Lorsqu'un chauffage à distance (ndlr - réseau de chaleur) public est approvisionné par des rejets thermiques ou des énergies renouvelables, qu'il offre de la chaleur à des conditions techniques et économiques raisonnables, et qu'il approvisionne des zones selon l'al. 6, le Canton ou la Commune peut obliger les propriétaires d'immeubles à raccorder leur bâtiment au réseau dans un délai approprié et de permettre le passage des conduites. MoPEC⁵⁸

⁵⁷ Le nom des documents de planification spatiale locale diffère selon les cantons, ils ne sont donc pas utilisés dans ce mémoire.

⁵⁸ Extraite de *Modèle de Prescriptions Énergétiques Des Cantons (MoPEC)*, Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie. 2008'.

Cependant, il n'est pas certain que les communes aient l'audace de l'imposer aux propriétaires existants pour des raisons électorales et juridiques. En effet, la constitution et la jurisprudence fédérale protègent la propriété foncière et limitent l'imposition de règles par les autorités communales et cantonales (Donzel et Flueckiger 1999). L'imposition semble plus facile pour les bâtiments neufs.

Les planifications directrices sont fixées par l'État et les communes, ce sont des accords cadre sur des grosses taches du territoire qui vont être en mutation, et qui ensuite vont se décliner dans des aménagements spécifiques, qui sont les plans localisés de quartier, les plans des zones agricoles spéciales, ou les plans directeurs des zones industrielles. Et là on tombe dans la planification impérative. C'est à dire qu'une fois que l'on a élaboré ces plans localisés de quartier et que l'on a élaboré des concepts énergétiques à ces échelles-là, ils sont opposables à des tiers. C'est-à-dire qu'ils sont entérinés par l'État et n'importe qui vient ensuite construire dans ces zones, doit s'y conformer. (Entretien bureau d'études)

C'est donc une démarche en deux temps qui se dessine : celui de la planification énergétique et celui des mesures la mettant en œuvre.

La planification énergétique est élaborée par la commune en quatre phases (Analyse détaillée des besoins en énergie et en chaleur / Inventaire du potentiel énergétique / Coordination spatiale et objectifs / Catalogue de mesures). La démarche est proche de celle des plans climat : inventaire des consommations finales et des émissions / orientations / programme d'actions. Cependant, elle diffère par la formalisation explicite de « concepts énergétiques » et leur zonage par le document de planification spatiale. L'énergie est explicitement un des volets de la planification : *"Le plan directeur communal fixe les objectifs de la commune au minimum en matière d'utilisation du sol, de ressources du sous-sol, de mobilité, de sites et paysage et d'énergie"*. Loi d'Aménagement du Territoire et des Constructions du Canton de Fribourg de 2008

Ensuite, la mise en œuvre touche concrètement la matérialité. Elle peut notamment consister à créer ou étendre un réseau de chaleur reliant des ressources énergétiques renouvelables ou fatales - in situ ou proches - et un éventuel approvisionnement exogène à des bâtiments. L'enquête menée en suisse ne portait pas sur cette phase-là contrairement à la recherche Écoquartier Nexus Énergie que nous avons développée dans le chapitre 3.

Ceci étant dit, ces deux activités sont à considérer dans une dialectique itérative. La connaissance de projets urbains ou des études d'extension de réseau sont généralement prises en compte dans le document de planification. La vision prospective d'assemblages nourrit la planification.

Synthèse 5.2 Une véritable planification spatiale et privilégiant des assemblages standardisés ?

Nous retenons de cette relecture que la planification énergétique communale/territoriale suisse adopte des principes de l'approche métabolique de mobilisation prioritaire de la ressource locale. Le réseau de chaleur public piloté par la commune ou un opérateur à qui la commune délègue le service public constitue à première vue le système énergétique de référence de la

planification énergétique elle-même communale. Il n'est pas impossible qu'une infrastructure privée de production de chaleur et de distribution vers plusieurs bâtiments (cf. 3.2) soit réalisée en aval de planification mais elle sera pensée comme une alternative au cas où « *l'offre de la chaleur* (du réseau communal) ... *ne remplit pas des conditions techniques et économiques raisonnables* ».

La planification semble privilégier un type d'assemblage socio-énergétique déjà usuel dans de nombreuses grandes communes suisses. La carte fixe le périmètre du projet et de l'extension. La marge de manœuvre laissée à la phase projet pourrait se limiter au dimensionnement des équipements de capture des ressources énergétiques proches et à l'éventuel - mais souvent nécessaire dans les grandes villes – complément exogène apporté par le réseau de gaz comme nous l'avons observé dans les trois réseaux de chaleur de quartier français (cf. 3.3).

Des analyses fines de projets de création ou d'extension de réseau de chaleur seraient nécessaires pour apprécier le formatage opéré par la conjugaison de la planification énergétique communale et du régime sociotechnique des réseaux de chaleur cantonal/fédéral. L'on peut s'interroger sur les marges de manœuvre en termes d'obligation de raccordement (discuté à Nanterre et Fontaine), de définition du périmètre (discuté à Nanterre), de possibilité de subventions exogènes (Fontaine) et de statut juridique (régie à Fontaine, délégation à Nanterre), contractualisation privée à Grenoble) et sur les interactions entre le maître d'ouvrage de l'infrastructure de production et la distribution de chaleur et ceux des nœuds socio-énergétiques qu'elle connecte. Il s'agirait de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'institution en charge de la planification énergétique impose, en régime sociotechnique stabilisé, des assemblages qu'elle contrôle sur le plan administratif.

5.3 Transactions énergétiques ville-campagne vues des TEPOS-CV (Région Rhône-Alpes)

Pierre-Antoine Landel et moi avons mené une recherche-action au titre du laboratoire PACTE et de l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine de l'Université Grenoble-Alpes avec le cabinet de conseil « Transitions » spécialisé dans l'accompagnement des territoires et des acteurs de l'énergie et, en particulier de l'animation thématique des « Territoires à énergie positive » (TEPOS) de la région Auvergne Rhône-Alpes. Cette recherche-action visait à qualifier les relations entre les territoires urbains et ruraux dans le cadre de démarches TEPOS et à proposer des critères d'analyse de la relation. Elle a fait l'objet d'un atelier d'étudiants qui a bénéficié aussi du soutien du Labex ITEM (Innovations en Territoires de Montagne). Avec Lisa Bienvenu, stagiaire master, et François Balaye, doctorant au laboratoire PACTE sous l'encadrement de Bernard Pecqueur et moi-même, nous avons rédigé un article pour la revue de Géographie Alpine – Journal of Alpine Research intitulé « *La transition énergétique : eldorado des relations ville-campagne ? Le cas de TEPOS métropole-montagne* » (Balaye et al. 2018).

Cet article se penche sur les transactions entre institutions territoriales urbaines et rurales dans le cadre de la démarche TEPOS. Il s'inscrit dans les débats scientifiques sur le rôle des territoires dans la transition énergétique.

« Des travaux récents montrent l'insuffisance d'une approche technico-économique et la nécessité de comprendre les processus spatiaux de la transition énergétique (Theys et Vidalenc, 2011 ; Truffer et Coenen, 2012 ; Duruisseau, 2014 ; Debizet et al., 2016). En ce sens, un débat scientifique actuel porte sur la marge de manœuvre des collectifs et des institutions locales sur le fonctionnement des grands réseaux. L'intermédiation locale entre producteurs et consommateurs (Bulkeley et al., 2010 ; Hodson et Marvin, 2010) fait-elle le poids face aux organisations supra-territoriales en charge des infrastructures ? L'organisation des flux d'énergies entre les territoires déficitaires (urbain) et ceux potentiellement excédentaires (rural) constitue sans aucun doute une clé de ce débat. Elle était traitée sous l'angle des opérateurs énergétiques (Vanier, 2015) et des régulations nationales (Poupeau, 2013) voire des deux à l'échelle urbaine (Debizet, 2016) mais pas – à notre connaissance - sous celui des relations entre territoires urbain et rural. »

Les TEPOS déployés en région Rhône-Alpes depuis 2012 constituaient des objets particulièrement intéressants pour plusieurs raisons : inscription dans un objectif bas-carbone, regroupement de ville et territoire rural périphérique dans un même périmètre TEPOS, variété liée à une large couverture du territoire régional par les TEPOS et, enfin, ancienneté.

L'ADEME et la Région Rhône-Alpes ont lancé en 2012 l'appel à manifestation d'intérêt « Territoires à énergie positive » visant la création de « démonstrateurs territoriaux d'une démarche de transition énergétique »⁵⁹. Il s'agissait de faire émerger des territoires qui s'engagent dans une trajectoire permettant d'atteindre « l'équilibre entre la demande d'énergie et la production d'énergie renouvelable locales à l'horizon 2050 ». Les territoires lauréats bénéficiaient d'un financement d'assistance à maîtrise d'ouvrage à hauteur de 80% du coût plafonné à 100 000 euros : du diagnostic au programme d'actions puis de leur mise en place à leur évaluation. L'appel initial privilégiait des territoires peu denses excluant les grandes villes sauf si elles s'associaient avec un territoire rural périphérique. Treize « territoires » essentiellement ruraux ont répondu à l'appel et été sélectionnés en 2012 et 2013. Les grandes agglomérations (Saint-Etienne, Grenoble, Pôle métropolitain du Genevois français) et d'autres territoires ruraux ont rejoint le réseau régional en 2015, après avoir été lauréats du dispositif de soutien à l'investissement TEPCV⁶⁰ financé par le gouvernement français. L'intégration des TEPCV dans le réseau régional des TEPOS a permis à ces territoires de bénéficier de l'expérience des pionniers de la démarche.

⁵⁹ Région Rhône-Alpes et ADEME, 2012, Appel à manifestation d'intérêt Territoires à énergie positive, 16 pages, <http://www.territoires-energie-positive.fr/documents/cahier-des-charges-de-l-ami-tepos-rhone-alpes>, consulté le 24 juillet 2017

⁶⁰ Le dispositif TEPCV « (Territoire à énergie positive pour la croissance verte) concerne 400 territoires (dont 58 en région Auvergne Rhône-Alpes) qui bénéficient d'un financement de 500 à 2000 k€ pour des études et investissements en matière de sobriété ou d'énergie renouvelable.

La démarche – que nous dénommerons TEPOS dans la suite de cet article - s’inscrit dans une double finalité de développement territorial et d’atténuation du changement climatique. Cinq TEPOS ont été sélectionnés parmi une liste de 29 existants en région Rhône-Alpes afin de couvrir une diversité de territoires et de monter en généralité :

- Saint-Étienne Métropole et Parc Naturel Régional du Pilat ;
- Grenoble Alpes Métropole et Parc Naturel Régional du Vercors ;
- Genevois français ;
- Chambéry Métropole, Communauté d’agglomération d’Annecy et Parc Naturel Régional des Bauges ;
- Voironnais et Parc Naturel Régional de Chartreuse.

Constitué des dossiers de candidature, des rapports d’activité et d’entretiens auprès des chefs de projet TEPOS le corpus a été analysé en deux phases :

- identification et qualification des transactions entre ville et montagne programmées dans les dossiers de candidature ou relatées par l’entretien du chef de projet TEPOS (cf. tableau en annexe 1),
- analyse des transactions villes-montagnes : appréhension, modalités de décision et articulation avec d’autres dispositifs trans-territoriaux.

Partant des transactions repérées par les étudiants et décrites dans l’article, j’esquisserai les assemblages socio-énergétiques urbain-rural promus - ou pas - par les démarches TEPOS.

5.3.1 Assemblages rural-urbain dans et hors TEPOS

L’analyse détaillée des cinq démarches TEPOS nous a permis de repérer une vingtaine de transactions qui relient explicitement l’espace urbain et l’espace rural. Avec quelques nuances par rapport à l’article, je les regroupe en cinq thématiques : Mobilité, Sobriété thermique, Bois-chaleur, Bois-construction et Sobriété électrique. Les trois premières sont traitées dans les cinq TEPOS, les deux dernières dans un ou deux seulement.

La *mobilité* concerne le soutien au co-voiturage ville-campagne ou l’extension du déploiement de borne électrique ou hydrogène de la ville à la campagne. La *sobriété thermique* vise le secteur du bâtiment et en particulier le transfert de compétences en conseil et soutien en rénovation thermique développées en ville vers la campagne. Le transfert de compétences dans ce sens concerne aussi l’éclairage public (remplacement des ampoules par des leds, variation de puissances voire extinction et démarrage automatique) que nous rattachons au thème *sobriété électrique*. Le *bois-construction* consiste en la mise en place de l’AOC bois de Chartreuse dont la promotion est assurée par la métropole voisine. En fait, seule la thématique *bois-chaleur* concerne un flux d’énergie, en l’occurrence de la campagne à la ville.

Bois-chaleur dans les TEPOS : un assemblage reliant bois de forêt rural au(x) réseau(x) ou infrastructure(s) privée(s) de chaleur en ville

Issu d'exploitations forestières, le bois est rassemblé dans le territoire rural pour approvisionner des grandes chaufferies ou des unités de cogénération installées en ville. « *La ressource bois, une vraie ressource du rural amenée à l'urbain* » (entretien agent territorial). Sont notamment envisagées des plates-formes positionnées sur une route de transit vers la ville qui rassemblent le bois coupé du « bassin versant forestier ». La plate-forme fait l'objet de transactions entre l'intercommunalité de montagne et la collectivité urbaine puis avec l'exploitant des chaufferies du réseau de chaleur urbain agissant par délégation de la collectivité ou d'autres chaufferies de grande ampleur. Les actions TEPOS portent sur le financement de l'une ou l'autre de ces composantes ou sur les études d'approvisionnement. Il faut noter que des TEPOS financent aussi des chaufferies installées au sein du territoire de montagne.

L'assemblage bois-chaleur se compose d'au moins deux types de nœuds socio-énergétiques :

- plate-forme de rassemblement du bois de forêt (ou de scieries) approvisionnés par plusieurs exploitants
- chaufferie ou centrale de cogénération où le bois est brûlé pour produire de la chaleur et éventuellement de l'électricité. Cette chaufferie ou centrale est associée à un réseau de chaleur généralement exploité par la même organisation.

D'autres assemblages rural-urbain ignorés par les TEPOS

Le bois est le seul vecteur énergétique du territoire rural au territoire urbain traité dans les TEPOS. Il est pourtant loin d'être le principal support des flux d'énergie entre ces deux territoires.

L'hydroélectricité, l'éolien et le photovoltaïque figurent dans certains programmes d'actions TEPOS : quelques rares actions de cadastre énergétique, des initiatives coopératives de « Centrales villageoises », la production hydroélectrique comptabilisée dans le bilan énergétique du TEPOS. Ces énergies renouvelables essentiellement produites en zone rurale dépassent parfois la consommation du territoire rural et s'avèrent donc physiquement acheminées par le réseau électrique vers les lieux de consommation proches, donc la ville. Cependant, ces flux ne sont jamais mentionnés et aucune action mettant en relation production électrique rurale avec consommation électrique n'est évoquée. Alors que l'électricité est l'unique vecteur énergétique continu reliant les zones rurales et les zones urbaines, il n'est jamais évoqué comme tel.

Quant au biogaz, les actions précises mentionnées dans les TEPOS concernent des stations d'épuration urbaines (Grenoble, Chambéry et Annecy) ; la mobilisation des bio-déchets en zones rurales est au mieux à l'étude. Il est vrai que le réseau de gaz couvre peu les zones rurales.

Dans les TEPOS, le réseau électrique n'est pas considéré comme liant des lieux de production aux lieux de consommation : il apparaît comme un objet a-territorial qui absorbe les productions électriques du territoire rural et les rémunère en retour. Les TEPOS ne traitent pas d'assemblage socio-électrique novateur.

5.3.2 Programmation trans-territoriale et régimes sociotechniques

Les démarches TEPOS aboutissent à un programme d'actions mais peu d'entre elles relient les territoires ruraux au territoire urbain. L'écart est grand entre le bilan énergétique multi-énergie complet du territoire et les rares transactions urbain-rural adossées à un flux d'énergie. L'on peut donc raisonnablement penser qu'une grande part des flux énergétiques rural-urbain sont planifiés, gouvernés, coordonnés dans d'autres scènes que celle de TEPOS.

D'une part, il existe des scènes et des procédures interterritoriales de planification qui contiennent un volet énergie. En rassemblant souvent plusieurs intercommunalités notamment autour d'une grande agglomération, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) planifie l'espace à un horizon de 20 ans : il localise les grandes infrastructures de réseau énergétique et, parfois, de production renouvelable. Piloté par l'État et la Région, le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) établit un programme d'actions ; il peut être considéré comme le résultat de scènes interterritoriales dans la mesure où les collectivités locales participent activement à son élaboration.

D'autre part, les organisations supra-territoriales de l'électricité (gestionnaire du réseau de transport et du réseau de distribution, gros producteurs ...) planifient quasiment entre elles et sous l'égide du préfet les investissements de renforcement du réseau électrique, notamment pour accompagner le déploiement des énergies renouvelables aux échelles départementale et régionale. Ainsi, le Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR) est élaboré par le gestionnaire du réseau de transport et doit s'appuyer sur les objectifs fixés par le SRADDET⁶¹. En somme, l'avenir du réseau électrique et sa capacité à accueillir de l'électricité renouvelable se jouent sur des scènes bien éloignées de la démarche TEPOS et des institutions locales.

Synthèse 5.3 Marges d'action des institutions territoriales sur les réseaux

Portée par des institutions territoriales, la démarche TEPOS aboutit à un programme d'actions. Ces actions définissent les orientations et le cadre des projets qui pour une part seront portés par d'autres acteurs : les ménages ou des entreprises (rénovation thermique des bâtiments), des opérateurs économiques (méthanisation des déchets, récolte bois, chaufferies ...). Il est probable qu'une fois les principes de ces projets posés, les institutions territoriales s'effacent. Alors qu'il est de loin la principale – si ce n'est la seule - infrastructure énergétique reliant rural et urbain, l'évitement du réseau électrique par les TEPOS interroge. La faible prise des communes sur ce réseau tant en termes de planification que de gestion : les scènes d'articulation réseau/territoire sont déjà réglées institutionnellement et ce par des pouvoirs agissant à d'autres échelles. Le régime sociotechnique de l'électricité persistera à la démarche TEPOS et ses organisations établies n'ont pas à faire beaucoup d'efforts pour y résister.

L'approche par assemblage socio-énergétique a le mérite de mettre en lumière les différences de régime sociotechnique de l'électricité par rapport à ceux du bois et de la chaleur. Les

⁶¹ Sources : *Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables de la région Rhône-Alpes*, RTE, Novembre 2015, 99p. ; *Tout savoir sur le SradDET*, France Urbaine, octobre 2016, 12p.

relations rural-urbain sont marquées par l'asymétrie des ressources financières et cognitives : les villes sont en mesure de disposer de compétences humaines et financières plus pointues, plus diversifiées et plus complètes que les collectivités rurales. Il n'en reste pas moins que la démarche TEPOS peut faire émerger des assemblages énergétiques novateurs entre ville et campagne (exemple bois-chaleur). La prise de conscience de l'écart entre les flux d'énergie échangés et le champ d'action institutionnel peut conduire certaines d'entre elles à agir avec d'autres pour rendre possible des scénarios alternatifs, plus proches du scénario collectivité locale que de celui de l'État prescripteur (chapitre 4).

5.4 Le bâtiment et son toit comme nœud socio-hydrique (USA-Canada)

Les politiques de déploiement des toitures végétalisées ont été une des trois innovations étudiées dans le cadre de la recherche *Chemins de l'innovation urbaine* présentée section 5.1.2. Cette recherche a donné lieu à un chapitre du rapport de recherche (Debizet 2014), une publication sur la dynamique des incitations municipales (Debizet 2015b), une autre sur la circulation des modèles d'action (Debizet 2015d) et plusieurs communications, notamment sur la normalisation technique des prescriptions relatives à la nature en ville.

Mon objectif ici consiste à montrer par quels processus cognitifs et institutionnels la toiture végétalisée apparaît comme une solution aux problèmes posés par les épisodes pluvieux intenses et peut ainsi être considérée comme un nœud socio-hydrique entre nature et réseau. Après avoir montré que la végétalisation des toitures en Amérique du nord se concentre dans quelques villes particulièrement concernées par des problèmes environnementaux liés au déversement des eaux pluviales dans le milieu aquatique « naturel », je décris comment cet enjeu a été détaché de la multitude d'avantages apportés par la végétalisation et a fait l'objet de prescriptions qui re-socialisent les maîtres d'ouvrages et propriétaires de bâtiments privés dans le parcours des eaux pluviales, entre milieu naturel (ciel, nuage...) et réseau d'assainissement.

5.4.1 Concentration des toits végétalisés à Washington et Chicago aux USA et Toronto au Canada

La surface annuelle de toit végétalisé ne cesse d'augmenter aux États-Unis et au Canada depuis le début des années 2000. Ainsi vingt fois plus de toits verts ont été installés au cours de l'année 2013 qu'en 2006. La progression est continue depuis 2004 si ce n'est la période 2009 et 2010 qui correspond à une baisse drastique des livraisons de bâtiments neufs du fait de la crise immobilière (figure 5-5).

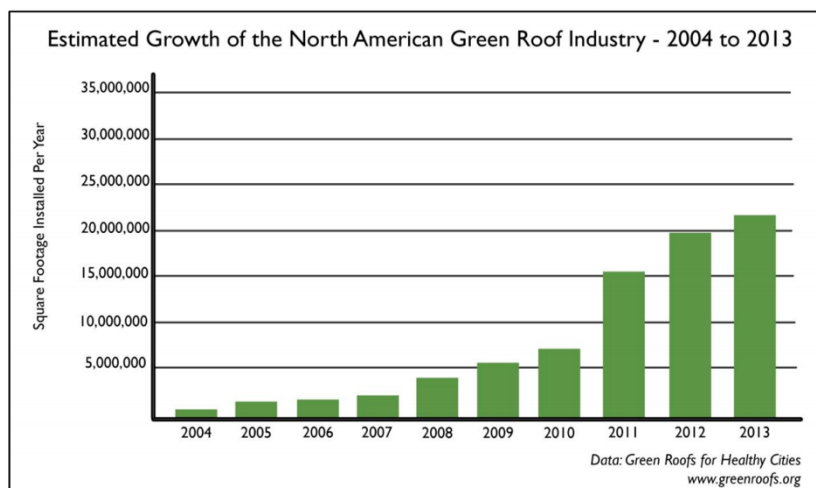


Figure 5-5 Surface annuelle de toits verts mis en œuvre aux USA et au Canada (GRHC 2014)

La végétalisation de toits se concentre désormais dans quelques métropoles. Comme le montre la carte des surfaces par habitant dans les trente villes des États-Unis les plus peuplées (figure 5-6)⁶², le toit végétalisé est l'apanage des villes du nord. La quasi-absence de toit vert dans les villes du sud peut s'expliquer par la difficulté à maintenir de la végétation sans arrosage. Ceci étant dit, les disparités entre les villes du nord sont fortes. Dans la plupart d'entre elles, la végétalisation de toiture n'a pas dépassé 1 pied carré par habitant sur la période 2010-2013.

⁶² Nous remercions l'association GRHC qui nous a fourni la liste de tous les projets de toits verts par commune pour les années 2010 à 2013. Elle a permis de déterminer les surfaces par commune (figure 5-7) alors que le classement GRHC est effectué par aire urbaine.

Cartographie des villes américaines selon la superficie de toits verts pour 100 000 habitants construits entre 2000 et 2013

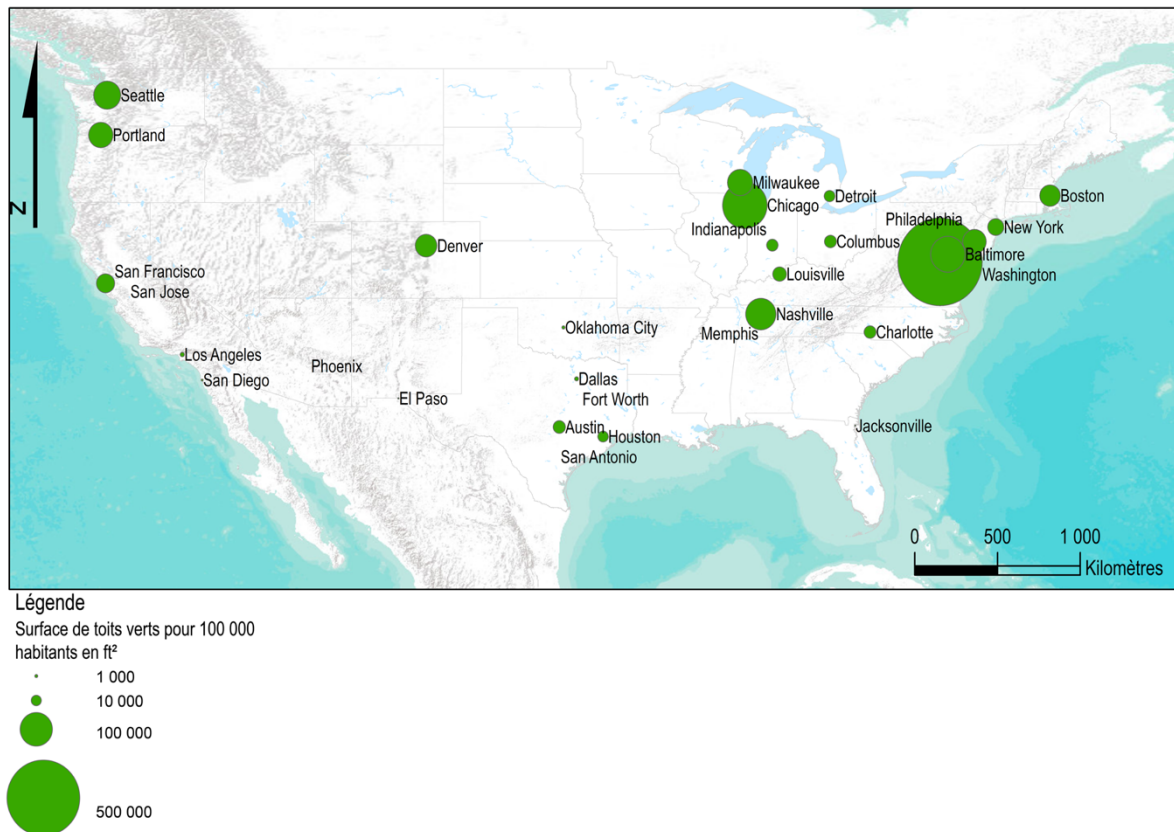


Figure 5-6 Cartographie des surfaces de toits verts par habitant installés entre 2010 et 2013 dans les 30 villes américaines les plus peuplées (Debizet-Morandy)

Chicago et Washington font exception avec des surfaces nettement supérieures. 5 à 10 fois plus de toits par habitant ont été végétalisés que dans les autres villes du nord des États-Unis. L'important écart entre Washington et ses voisines Philadelphie et Baltimore et celui de Chicago avec Milwaukee et Indianapolis ne peuvent s'expliquer par le régime climatique. Chicago et Washington se détachent depuis 2011 de New York et Philadelphie (figure 5-7). Dans ces quatre villes les projets de toits verts se comptent par dizaine chaque année. Au Canada, Toronto se distingue nettement depuis 2010 (figure 5-7). A l'inverse, la ville d'où est parti le mouvement "green roof" - Portland en Oregon - (Carter et Fowler 2008) a disparu du top 10 dès 2008.

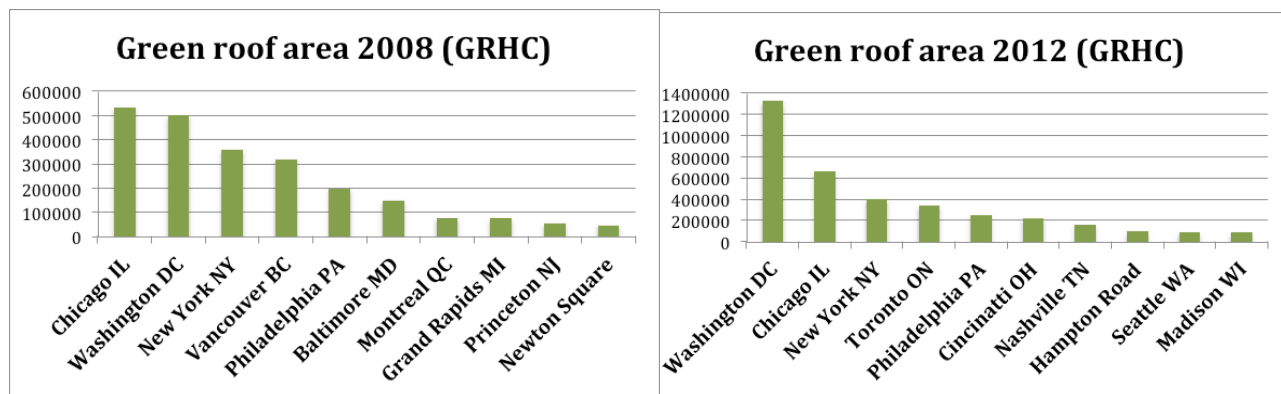


Figure 5-7 Surface des toits verts installés au cours des années 2008 et 2012 par métropole (ville et aire urbaine) aux États-Unis et Canada (GRHC)

L'enquête menée auprès des acteurs des toits verts dans ces quatre villes nord-américaines apporte des éléments de réponse. Son objectif était de comprendre la dynamique expliquant la progression des toits verts et d'identifier les dispositions prises par les municipalités (Debizet 2014).

5.4.2 La végétalisation des toits ; un élément clé de la gestion territoriale des eaux pluviales

Portland et Chicago ont été les premières villes américaines à promouvoir les toits verts au tournant des années 2000 en réalisant des bâtiments exemplaires et en formulant des recommandations techniques à destination des acteurs de l'immobilier (promoteurs, architectes...). Quelques années plus tard, et deux ans avant Washington, ces municipalités ont instauré des subventions assises sur la végétalisation des toits. Jusqu'en 2006, Portland et Chicago partageaient les premières places du classement de l'association GRHC avec Philadelphie et New York autres pionniers des toits verts.

Par la suite, les stratégies de Chicago et de Portland ont divergé. Celles de Washington et Toronto se singularisent :

- Portland a d'abord instauré des incitations économiques à la végétalisation des toitures, puis fixé des règles de rétention des eaux pluviales calculées sur l'ensemble de la parcelle. Elle a instauré en 2008 des subventions légèrement inférieures au surcoût de la végétalisation, subventions qu'elle réserve depuis 2011 aux bâtiments occupés par des ménages défavorisés. Parallèlement, elle a obligé les porteurs de projet immobilier à adopter des dispositions de rétention et d'infiltration des eaux pluviales prédéfinies dans un référentiel technique : au-delà de 1000 m² de surface imperméabilisée en 2006, et de 50 m² depuis 2011. Ces dispositions ont conduit à une végétalisation quasi-systématique des toitures des nouveaux bâtiments commerciaux mais non des bâtiments résidentiels qui disposent en général de surface au sol suffisante pour satisfaire les exigences municipales en matière de rétention d'eau.
- Chicago a imposé en 2008 la végétalisation des toits de tous les projets immobiliers recevant un financement de la municipalité (au titre du renouvellement urbain, du logement social ou du développement économique) ou localisés sur un terrain vendu par la municipalité. Cela représente une majorité des nouvelles constructions, la ville

ayant une forte tradition d'interventionnisme immobilier (Judd et Simpson 2011). Elle a ensuite imposé sur l'ensemble du territoire une rétention d'eau pluviale de 0,5 pouce pour les nouvelles constructions et subventionné la végétalisation des maisons et petits collectifs existants.

- Arrivé plus tardivement dans le peloton de tête du classement de l'association *Green Roof for Healthy Cities*, le District of Columbia (correspondant à la ville de Washington⁶³) a misé sur les exigences de rétention des eaux pluviales. Certes, il propose depuis 2007 comme la ville de Portland une subvention à la végétalisation des toits existants (augmentée en 2008 puis en 2012 à 15\$ par pied carré dans les quartiers les plus pauvres). Cependant, la mesure phare est la création d'un marché de compensation visant à faire cofinancer la rétention d'eau des toits existants par les porteurs de projet immobilier neuf. Plusieurs dispositions ont été mises en place conjointement en 2010 et 2011 :
 - assise de l'assiette de la taxe d'assainissement sur la surface imperméabilisée (et non plus sur la surface de plancher) avec possibilité d'exemption en cas de végétalisation de la toiture ;
 - exigence d'une hauteur minimale de rétention d'eau pluviale de 1,2 pouce pour tous les projets nouveaux ou rénovés de plus de 500 mètres carrés mais avec la possibilité de réaliser jusqu'à la moitié du volume de rétention correspondant en végétalisant la toiture d'un bâtiment existant localisé dans le district ;
 - instauration d'une bourse d'échange, contrôlée par la ville, de volumes de rétention permettant aux promoteurs d'acquérir le droit de ne pas retenir 1,2 pouce d'eau pluviale auprès de propriétaires de bâtiment s'engageant à végétaliser leur toit. Autrement dit, la végétalisation des toits existants est cofinancée par la promotion immobilière.
- Après quelques expérimentations pilotes de végétalisation de toit et de subventions, la ville de Toronto a imposé, via la réglementation de la construction (*Toronto building code*), la végétalisation partielle des toits des bâtiments neufs des bâtiments résidentiels depuis 2009. Cependant, face à la fronde des promoteurs immobiliers, elle a transformé l'obligation de végétalisation en exigence de performance en termes de rétention d'eau et d'indice de réflexion solaire (albedo) en 2012.

Plus que d'autres villes américaines, ces quatre villes dont le centre historique ne dispose que d'un réseau d'assainissement unitaire (Barbara Deutsch et al. 2005) étaient concernées par des problèmes majeurs de pollution du milieu aquatique : lors des épisodes pluvieux intenses, les eaux usées débordaient des réseaux ou étaient rejetées directement dans la rivière ou le lac. Sous la pression de la justice à respecter la loi fédérale *Clean Water Act*, Portland et Washington ont déployé chacune des politiques très volontaristes et directives afin d'éviter de très coûteux

⁶³ Le District of Columbia est une collectivité locale avec un conseil élu mais ses décisions comme son budget sont partiellement contrôlées par une commission du Congrès des États-Unis. La majorité des bâtiments tertiaires du district appartient aux institutions fédérales.

travaux de canalisation et d'agrandissement de station d'épuration avant rejet dans la rivière. Chicago et Toronto eurent la même démarche d'évitement de travaux mais la finalité était de permettre la baignade dans le lac le long duquel ces deux villes se sont construites ; le lac constitue en effet un élément fort du cadre de vie et offre une attractivité résidentielle et touristique certaine.

5.4.3 De l'imaginaire de la nature à la fonction technique hydrique

Aux États-Unis et au Canada, l'association *Green Roof for Healthy Cities* (GRHC) apparaît incontournable dès que l'on cherche un colloque, une revue ou un professionnel spécialisé en végétalisation des toits. Par sa couverture géographique et la multiplicité des échanges d'information, GRHC joue un rôle essentiel dans la promotion ainsi que la formulation et la circulation des connaissances (les deux activités étant liées) entre les -et en direction des- villes nord-américaines. Chaque année, l'association édite un classement des métropoles en fonction de la surface de toits verts réalisée sur le territoire (figure 5-7). Non seulement GRHC souligne les bénéfices de la végétalisation des toits pour les propriétaires immobiliers mais elle a réussi à faire apparaître la végétalisation des toits comme une contribution aux biens communs urbains tels que l'air et l'eau. Elle véhicule aussi abondamment l'imaginaire de nature en ville par sa revue *Living architecture Monitor* (figure 5-8 photo de gauche), imaginaire mobilisé par des hommes politiques de premier plan (figure 5-8 photo de droite : Robert Daley, maire de Chicago avant d'occuper la fonction de directeur de cabinet du président des États-Unis).



Figure 5-8 Végétalisation de toits comme imaginaire urbain (sources : *Living architecture Monitor* 2016 et *City of Chicago* 2008)

De nombreux bénéfices sont attribués aux toitures végétalisées : rétention des eaux de pluie (Dagenais et al. 2011) (Czemieli Berndtsson 2010), atténuation des températures de surface et évapotranspiration réduisant le phénomène d'îlot de chaleur urbain (Gago et al. 2013; Kleerekoper, van Esch et Salcedo 2012; Susca, Gaffin et Dell'Osso 2011), isolation thermique des toitures (Saadatian et al. 2013; Castleton et al. 2010), contribution à la biodiversité, capture des poussières et polluants (Rowe 2011), séquestration de dioxydes de carbone, absorption des bruits automobiles et contribution au paysage voire à la création d'espaces d'agrément

supplémentaires (Mees et al. 2013a) bénéfiques à la santé psychologique (Dagenais, Thomas et Paquette 2017).

Ces avantages sont à mettre en regard avec les surcoûts. Dans le cas d'une végétation extensive⁶⁴, le coût de réalisation de 5\$ par pied carré et celui de la visite annuelle de contrôle de la végétation ne sont que partiellement compensés par l'augmentation de la durée de vie de la membrane d'étanchéité (Liu et Baskaran 2003). Eu égard aux nombreux avantages environnementaux, l'on peut s'étonner que les acteurs de la construction n'aient quasiment pas réalisé de toits verts au cours du vingtième siècle. Pour comprendre ce paradoxe, il convient d'identifier les spatialités des avantages de la végétalisation des toitures.

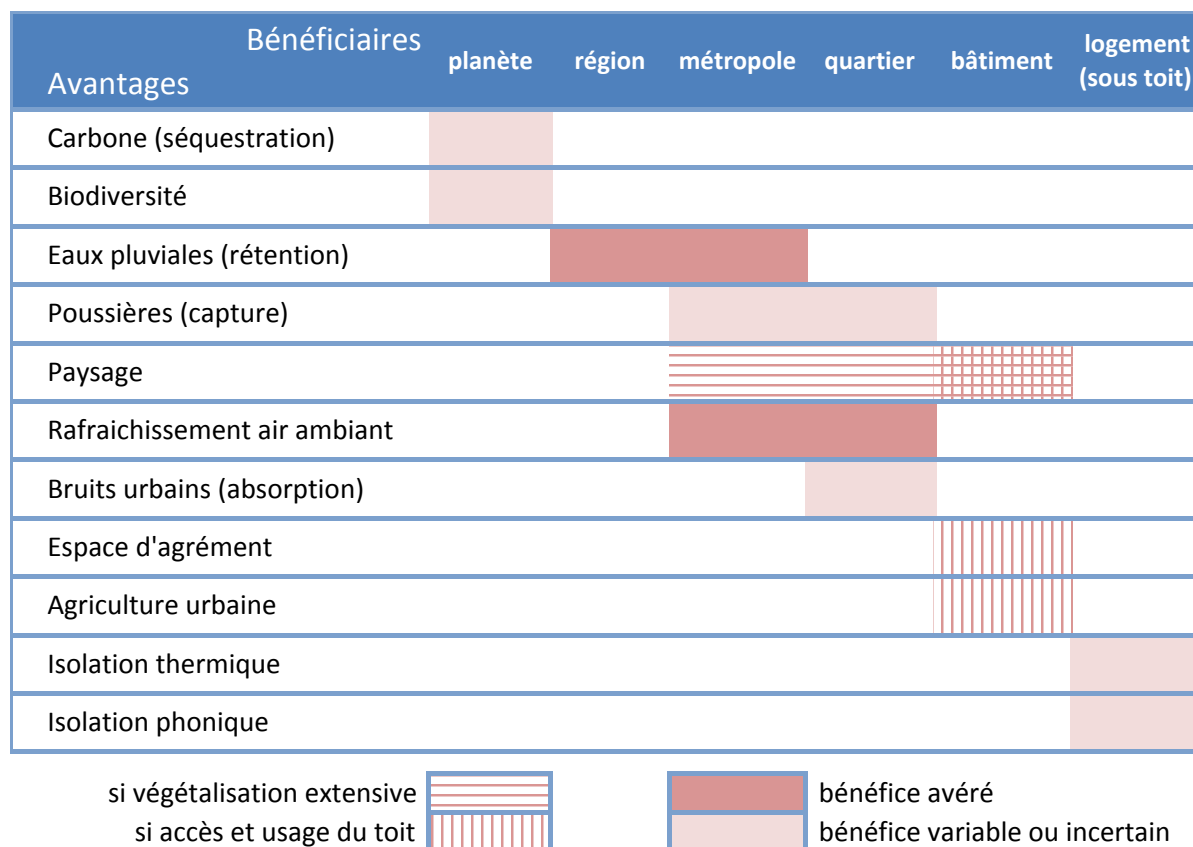


Figure 5-9 Spatialités des bénéfices des toits verts (Debizet)

En fait, les bénéfices sont relativement faibles pour les occupants de l'immeuble. En dehors des occupants de l'étage situé sous le toit, il tient à la possibilité d'utiliser le jardin en toiture mais cela suppose une végétalisation extensive, relativement coûteuse à installer et l'entretien d'un accès permanent au toit. La vue sur le toit végétalisé, la capture des poussières et un moindre rayonnement thermique de la toiture bénéficient aux éventuels riverains dominant le toit (Peng et Jim 2013). La séquestration du carbone (atténuant le changement climatique global) et la contribution à la biodiversité varient substantiellement selon l'intensité de la végétation et les apports hydriques (Speak et al. 2013; Cook-Patton et Bauerle 2012). Finalement, la rétention

⁶⁴ Une végétalisation extensive nécessite peu d'entretien ; elle correspond généralement à une dizaine de centimètres de substrat et drainage recouverts par des plantes résistantes au manque d'eau et se développant à l'horizontale.

des eaux pluviales (Mees et al. 2013b; Vijayaraghavan, Joshi et Balasubramanian 2012; B. Zhang et al. 2012) et l'évapotranspiration (atténuant la chaleur urbaine) constituent les principales externalités positives locales ; la végétalisation contribue essentiellement au bien commun relatif à l'air (réduisant le phénomène d'îlot de chaleur urbain) et réduit les coûts de gestion ou de renforcement (cf. supra) du réseau d'assainissement préservant le bien commun aquatique (rivière et lac).

Synthèse 5.4 Ré-assemblage et re-socialisation de la gestion des eaux pluviales

Le peu de bénéfice pour le propriétaire explique sans doute pourquoi aucune ville ne rend obligatoire la végétalisation des toits existants. Chacune promeut dans sa communication la végétalisation et attribue des incitations financières. Cependant, même lorsqu'elles sont élevées, cela ne suffit pas auprès des populations modestes ; des actions d'accompagnement – souvent menées par des associations sociales ou environnementales financées par la ville – sont nécessaires. Finalement, après des opérations pilotes d'apprentissage technique et économique, les processus de déploiement diffèrent selon que le bâtiment soit neuf ou existant :

- dans le cas des constructions neuves, des obligations techniques générales succèdent à des obligations limitées à des niches pour lesquelles la ville dispose de leviers ;
- dans le cas des bâtiments existants, des incitations économiques généralement directes (subvention, déduction fiscale) et parfois indirectes (bourse d'échanges) sont progressivement ajustées pour prendre en compte la situation sociale du quartier ou des ménages ; des intermédiaires – généralement associatifs – recrutent et accompagnent les habitants notamment les plus modestes.

La chronologie des dispositions prises par les quatre municipalités montre un glissement de la nature des prescriptions : tout d'abord, principe de végétalisation, puis dispositif technique (membrane, substrat, type d'essences ...) et finalement performance fonctionnelle (hauteur des eaux pluviales retenues⁶⁵).

Le toit végétalisé a légitimé le changement de paradigme de la gestion des eaux pluviales urbaines : le fait de retenir l'eau de pluie sur la surface où elle tombe y compris privée plutôt que dans de grands bassins du réseau d'assainissement public. De ce point de vue, le toit végétalisé et plus généralement les green infrastructures ont remis en cause les standards de gestion des eaux pluviales en ville. L'imaginaire technique - au sens de (Flichy 1995), du toit vert a opéré un déplacement vers les parcelles privées d'un problème que l'on traitait auparavant intégralement dans le domaine public. Il a de facto justifié une immixtion de l'intérêt public sur des espaces privés. La difficulté de ce déplacement idéologique explique la rareté des municipalités nord-américaines ayant mis en place des règles contraignantes.

Le toit végétalisé est un nœud socio-hydrigue selon une définition analogue à celle que nous avons donnée du nœud socio-énergétique. Il embarque en plus une dimension imaginaire qui a changé le paradigme non seulement de la gestion technique d'un domaine sensible de l'action

⁶⁵ Seul Toronto ajoute une exigence albedo qui vise à limiter l'absorption du rayonnement solaire et l'accumulation de chaleur afférente. Cette attention à la chaleur estivale s'explique par la mémoire de la canicule meurtrière qu'a connue cette ville en 1999.

municipale mais aussi du droit de propriété : aux propriétaires d'assurer une part d'une fonction jusque-là exclusivement assurée par la collectivité. La socialisation du nœud socio-hydrigue *toit végétalisé* touche directement à un principe fondamental de la gouvernance urbaine. Il est vrai que la menace de sanctions judiciaires plaçait les édiles de Washington dans une situation de crise qui justifiait un re-investissement du politique (Pflieger 2003, 438).

5.5 Synthèse : planification urbaine/ territoriale et assemblage socio-métabolique ?

De l'agglomération grenobloise et ses montagnes voisines au canton de Fribourg en Suisse et aux grandes villes américaines, cette relecture de travaux apporte un éclairage sur la dimension énergétique de la planification urbaine/territoriale et ses relations avec les assemblages. Plusieurs enseignements peuvent être tirés relativement au changement paradigmatique de substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables.

Le premier porte sur l'hétérogène latitude des collectivités locales à intervenir dans le champ de l'énergie. Les collectivités locales sont considérées comme pertinentes pour animer la transition bas-carbone à leur échelle. Cependant les observateurs sont sceptiques sur leur capacité à le faire en raison des arguments suivants : le poids de l'État et des grandes entreprises publiques (F. W. Geels 2010; Marcou, Poupeau et Staropoli 2013; Poupeau 2017) et le cloisonnement des compétences et des habitus (Debizet et al. 2016b). Les résultats des observations menées sur l'ensemble des terrains nuancent ces constats. Certes, les collectivités locales évitent d'entreprendre des actions de planification du réseau ou d'intervenir dans la gestion du service le plus commun : l'électricité. Cependant, d'autres vecteurs font l'objet d'actions des collectivités françaises et suisses : le bois-énergie, la chaleur et même le gaz. Elles cherchent à orienter les infrastructures publiques et privées dans le but de favoriser l'approvisionnement local. En France, la législation réservant la prescription énergétique à la réglementation nationale de la construction, les collectivités sont contraintes de bricoler avec le PLU ou de mobiliser des leviers extraréglementaires (mais pas illégaux). En Suisse, le canton - de Fribourg en l'occurrence - leur permet et les incite à prescrire pour mobiliser davantage les ressources énergétiques locales ou les énergies fatales (hors électricité).

Le deuxième concerne l'étendue de la gamme d'actions des collectivités locales. De façon assez classique, j'ai distingué trois temporalités relatives aux infrastructures énergétiques – et hydriques - vues par l'entrée institution territoriale : planification, projet et utilisation ; chacune étant portée par des registres d'acteurs différents, respectivement autorités publiques et gestionnaire de réseau, maîtres d'ouvrage et investisseurs, et enfin, propriétaires et occupants. Ces registres d'acteurs ne sont pas exclusifs les uns des autres : une même organisation pouvant agir selon plusieurs registres. Une collectivité locale peut intervenir au cours des trois temporalités.

- La modification de l'assiette de la redevance eaux pluviales par la ville de Washington illustre l'action municipale au cours de la temporalité « utilisation » ; je ne trouve pas d'exemples similaires en France : la fiscalité de l'énergie et de l'eau est définie par l'État. Les communes peuvent seulement moduler un taux – mais pas l'assiette – dont l'application doit généralement être inconditionnelle.

- L'octroi de ressources financières, cognitives, foncières ou matérielles constitue un levier des collectivités locales au cours de la conception du « projet » d'infrastructure tant en France que dans les villes nord-américaines.
- C'est au vu de ces possibilités d'influence qu'il faut considérer le pouvoir institutionnel de planification des collectivités. Les variations selon les vecteurs et les pays sont importantes : la planification énergétique communale envisagée dans le canton suisse de Fribourg semble être la plus intégrée à la planification spatiale et la plus aboutie. En France, les collectivités disposent de leviers relevant de la planification mais pas au titre de leur politique énergétique.

L'analyse des politiques municipales volontaristes de déploiement des toits verts une chronologie des leviers utilisés. Après le financement de projets-pilotes, des ressources sont octroyées sous condition par appel à projet ou guichet ouvert. Le levier réglementaire est ensuite activé et l'octroi de ressources s'estompe alors. Seules persistent les subventions ou des taxes appliquées aux bâtiments en fonctionnement. Ce processus accompagnant la généralisation peut s'arrêter après chaque étape. Il s'inscrit pleinement dans la démarche de *strategic niche management* et la trajectoire de la courbe en S de diffusion des innovations (Rogers, 2003).

Troisième enseignement, le bâtiment constitue effectivement un nœud socio-énergétique (et socio-hydrique) qui échange de l'énergie avec le milieu environnant et un ou plusieurs réseau(x). Il correspond à une unité décisionnelle élémentaire au sens d'« *ensemble d'éléments ... porté par un acteur* (ndlr – le maître d'ouvrage) ... » en phase projet. Le raccordement au(x) réseau(x) est réglé (conditions, taxes voire prix de soutirage et d'injection) même si les technologies de chauffage utilisées diffèrent. Les échanges avec le milieu sont au contraire non marchands et peu réglés : ils peuvent être recherchés (rayonnement solaire, apports thermiques) ou évités (déperditions thermiques). La collectivité peut tenter de limiter ou de favoriser les échanges avec le milieu environnant notamment pour préserver des biens communs ; mais quoi qu'il en soit, les modalités de l'échange sont très peu réglées et substantiellement variables selon les situations topographiques et les objectifs politiques. Les collectivités peuvent promouvoir d'autres nœuds socio-énergétiques : le réseau de chaleur de ville ou de quartier est privilégié. Ce type de nœud constitue une référence lorsque la planification énergétique est intégrée à la planification spatiale (Suisse).

Même si elles ne portent pas elles-mêmes les projets d'infrastructures, les collectivités observées contribuent, somme toute, au cadrage des assemblages socio-énergétiques. Le dit cadrage des infrastructures internes aux bâtiments relève dans les villes françaises bien davantage de l'urbanisme négocié ou de l'urbanisme opérationnel (projet d'aménagement urbain) que de l'urbanisme réglementaire : l'influence de la collectivité dépend de son pouvoir de coercition (cf. notion d'acteurs pivots chapitre 3) à l'égard du maître d'ouvrage ; elle est limitée par les conditions de marché des équipements et des vecteurs énergétiques. Dans la mesure où l'un de ces vecteurs (électricité) est fortement régulé par l'État, qu'il est organisé comme un marché indifférent à la proximité géographique et que la dépendance au réseau est assumée (Dupuy 2011), les collectivités locales évitent d'agir sur les infrastructures électriques.

Enfin, jusqu'à quel point peut-on étendre à l'eau la notion d'*assemblage socio-énergétique* ? La rétention des eaux pluviales sur le bâtiment le place comme un intermédiaire entre le milieu

environnant (le ciel) et le réseau (d'évacuation). Elle requiert une permanence de fonctionnement pour servir les fonctions assurées par le réseau : déplacer et stocker les flux pour éviter inondation et pollution. Comme la mobilisation in situ des énergies renouvelables, elle agit aux marges du réseau – et pas seulement au sein du -ou par le - réseau. Les flux d'eau et d'énergie sont des éléments essentiels du métabolisme urbain. Et si on considérait *l'assemblage socio-métabolique* ?

6 Conclusion et perspectives

6.1 Synthèse

Après plus d'un siècle d'accroissement de l'utilisation des énergies fossiles, les perspectives du changement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre ont conduit une multitude d'acteurs à envisager leur substitution par des énergies renouvelables⁶⁶ pas ou peu carbonées. Alors que la concentration des réserves fossiles réparties sur la planète et la globalisation économique avaient conduit, au cours du 20^{ème} siècle à une densification des flux dans des réseaux de transports d'énergie, la re-mobilisation actuelle des énergies renouvelables rend possible d'autres géographies des relations entre lieux d'extraction/captation et lieux de consommation.

Les villes sont nombreuses à s'être engagées depuis les années 2000 (les années 90 pour les pionnières) dans des politiques d'aménagement durable dans lesquelles la lutte contre le changement climatique occupe une place importante mais pas nécessairement centrale. La première phase est caractérisée par la définition d'un programme d'action à l'instar des agendas 21 majoritairement élaborés dans des territoires urbains puis des Plans Climat rendus progressivement obligatoires (pour les villes) par l'État depuis le début années 2010. La ville passe alors à une démarche globale dont les impacts se situent dans la réorganisation des services associée à de nouvelles façons de concevoir l'action publique (participation, évaluation, transversalité ...) (Larrue 2018). La production d'énergie constitue une des nombreuses thématiques. Mais le bilan de l'intégration des orientations de la durabilité dans les politiques sectorielles est mitigé. « *Le bilan aujourd'hui, reste à cet égard, plutôt mitigé. Si des actions sont entreprises, elles ne pèsent pas encore réellement sur les choix retenus en matière d'aménagement.* ». (idem).

La mobilisation des énergies renouvelables en ville s'inscrit, en France, dans la lignée de deux mouvements celui de *développement durable* et celui de *transition énergétique*, deux expressions qui ont successivement été utilisées comme mots d'ordre gouvernementaux. Les intitulés successifs des ministres en charge du périmètre couvrant l'aménagement et l'urbanisme, le logement et les transports ont successivement contenu – à peu près - ces deux expressions.

Mon attention s'est portée sur les acteurs de la fabrique urbaine qui s'engagent ou en engagent d'autres dans la capture des énergies renouvelables in situ ou à proximité et à la récupération des chaleurs fatales localisées dans l'espace urbain. Elle s'est étendue récemment aux échanges horizontaux d'énergie et au stockage, autrement dit à la coordination de l'énergie en ville.

Dans le cadre de ce mémoire, et à l'instar de travaux sur les assemblages urbains, j'ai proposé la notion d'*assemblage socio-énergétique* afin d'explorer les formes de coordination entre

⁶⁶ Certes, les énergies fossiles sont encore promues dans certains pays mais un ensemble de raisons environnementales, économiques et politiques – que je n'ai pas développées - laissent penser qu'elles ne s'imposent, ni ne s'imposeront, comme un substitutif général aux énergies fossiles.

acteurs de la ville et de l'énergie et les changements de processus qu'induit l'objectif bas-carbone.

Les systèmes qui relient des lieux d'usage de l'énergie à des lieux de production sont formés de *nœuds socio-énergétiques* ; un *nœud socio-énergétique* est aussi bien un ensemble d'éléments, qui collecte, convertit, stocke et/ou distribue de l'énergie que le collectif (ou l'organisation) qui en assure le fonctionnement et la connexion. Ces nœuds socio-énergétiques ainsi que les systèmes qu'ils forment sont construits/transformés par assemblage, c'est à dire par une multiplicité de processus variables, plus ou moins réglés, alternatifs et hybrides.

La notion de *nœud socio-énergétique (NSE)* a émergé d'une recherche interdisciplinaire en sciences sociales sur les systèmes énergétiques novateurs réalisés dans des écoquartiers français (Debizet (dir), La Branche et Forest 2013; Debizet et Blanchard 2015; Debizet 2016). Elle a permis à des chercheurs de disciplines différentes de discuter d'un objet commun et de produire des résultats scientifiques dans leur propre discipline à partir du même corpus (chapitre 3). L'analyse de quelques NSE intermédiaires entre grands réseaux publics, bâtiments et ressources énergétiques locales a permis de qualifier des changements de nature des modèles d'affaires énergétiques urbains, de modéliser de nouvelles gouvernances des innovations énergétiques dans les projets urbains, de comparer les types d'innovations sociotechniques déployés en France avec ceux d'autres pays européens (chapitre 3). Dans le champ de l'aménagement et de l'urbanisme, nous avons esquissé une typologie des relations sociales entre les NSE intermédiaires et les systèmes qu'ils connectent (section 4.2), cerné les dynamiques spatiales entre niches et régimes (section 4.1) et élaboré des scénarios de transitions énergétiques en ville centrés sur des acteurs-types (section 4.3).

La notion d'*assemblage* permet de décomposer les systèmes sociotechniques véhiculant des flux d'énergie en unités placées sous la responsabilité d'un même acteur. Ainsi peuvent être explorées conjointement les relations sociales et physiques que les réseaux tissent – et réciproquement - avec les infrastructures privées nécessaires aux usages de l'énergie. Ainsi peuvent être observées les hybridations entre le réseau linéaire approvisionnant la ville depuis des lieux de productions éloignés, souvent ignorés, avec des circuits courts – et ouverts - qui extraient sur place l'énergie du milieu naturel ou celle récupérable et utilisable en seconde main.

En théorie, le métabolisme physique est simple : prendre de l'énergie ou de l'eau à proximité, l'utiliser et si cela ne suffit pas, en soutirer du réseau. Pas seulement parce que les réseaux sont là et que les acteurs qui en ont la responsabilité ou l'usage résistent à cette évidence métabolique mais aussi parce que la répartition des responsabilités de nœud socio-énergétique résultent d'une organisation économique et sociale imbriquée avec les activités humaines et qui a fait ses preuves en matière d'efficacité et de solidarité. Elle résulte aussi de choix démocratique tout autant que de choix individuels. Comme nous l'avons montré à plusieurs reprises, des infrastructures des organisations et les règles qui les relient forment un ensemble cohérent et dynamiquement stable : un régime sociotechnique. La perspective du changement climatique nous presse de réduire nos émissions de carbone. Comment changer de régime : d'un régime hautement émetteur de carbone à un régime qui en émet beaucoup moins ? Comment s'opère la transition d'un régime à un autre ? Et plus précisément, comment s'amorce voire s'opère la transition bas-carbone en ville ?

La transition bas-carbone urbaine se situe à la jonction de deux champs de recherche : celui des *Études urbaines* qui se saisit de l'enjeu bas-carbone depuis une dizaine d'années et celui des *Sustainability Transitions Studies (STS)* pour lesquels les espaces urbains constituent - depuis quelques années - des niches pour l'émergence et le premier déploiement d'innovations sociotechniques.

Avant une partie centrale consacrée à la recherche à l'origine de la notion et après une généalogie du courant des *Sustainability Transition Studies*, ce mémoire a exploré la littérature sur les transitions bas-carbone urbaine pour, in fine, revisiter mes travaux récents sur l'action publique locale et la fabrique urbaine. Les résultats de cette exploration sont synthétisés autour des questions suivantes :

- Quels sont les principales questions que suscite la mobilisation urbaine des énergies renouvelables vue depuis les champs des *STS* et des études urbaines ?
- Comment sont mobilisées les énergies renouvelables en milieu urbain ? Quels assemblages socio-énergétiques observe-t-on ?
- Quelles influences les collectivités locales ont-elles sur ces assemblages ?
- En quoi les régimes sociotechniques formatent les actions des collectivités ?
- Quelles relations de pouvoir entre local et national/global ?

Le sujet des énergies renouvelables en ville vu depuis les *STS* et les études urbaines

Depuis une bonne décennie, l'impératif de durabilité et notamment d'atténuation du changement climatique a conduit de nombreux chercheurs de la ville à se pencher sur les transitions énergétiques urbaines. De par ses ressources - cognitives, financières, organisationnelles... - diversifiées et sa position nodale dans les flux globaux reliant consommation et production, la ville est une clé des transitions durables et, ce faisant, le terrain prioritaire - après celui des États - du champ des *STS*.

Les deux champs s'accordent sur l'imbrication dynamique entre le système énergétique, les activités humaines et le milieu urbain qui les héberge. L'analyse des évolutions historiques majeures relie d'ailleurs le déploiement d'infrastructures urbaines et d'équipements basés sur un « nouveau » vecteur énergétique, le développement économique rapide et relativement général des villes et l'extension spatiale de la collecte et des réseaux d'approvisionnement (Hugues 1983; Kim et Barles 2012).

Dans les villes où la consommation d'énergie ou de matière excède la production, les infrastructures reliant les ressources aux usages sont critiques. Établir des relations entre des lieux de production (plus exactement de capture et de transformation) et de consommation traversant un espace densément occupé requiert une coordination complexe qui est allée de pair avec une centralisation et une régulation publique forte. Assurant une partie essentielle des transformations et du transport, les réseaux publics occupent une place importante dans les *Études Urbaines*. L'éclatement ('splintering') des réseaux (Graham et Marvin 2001) est une préoccupation majeure du champ de recherche des « urban studies ».

Avec la transition bas-carbone, l'attention initiale des *études urbaines* pour les réseaux urbains (y compris ceux qui visent à réduire les impacts environnementaux du métabolisme urbain) s'est élargie aux ressources énergétiques disponibles sur place qu'elles soient renouvelables ou fatales, c'est à dire aux sous-produits ou déchets de l'activité anthropique dont il peut être récupéré de l'énergie. Les approches métaboliques ou écosystémiques connaissent un nouvel essor dans la boîte à outil cognitive de l'urbanisme et des sciences de la ville.

- À la forme canonique historique du grand réseau centralisé, Coutard et Rutherford (2011) opposent celle de la circularité techno-écologique : cycle long versus court, logique d'offre versus maîtrise de la demande, gestion sectorielle et séquentielle versus gestion transversale et intégrale, économie d'échelle versus coût de transaction, solidarité versus autonomie territoriale, flux et cinétique versus stock et stase.
- Au paradigme conventionnel centralisé aux impacts environnementaux planétaires⁶⁷, Bulkeley, Castan Broto et Maassen (2011) opposent un nouveau paradigme décentralisé et impactant peu l'environnement : énergie concentrée versus dispersée, technologie à grande échelle versus petite, monopole versus libéralisé, ressource finie versus renouvelable.

La circularité techno-écologique et le recours au renouvelable à petite échelle s'inspirent de la notion de *métabolisme urbain*, dont l'application consiste à définir des zones de relative autosuffisance ou à organiser les activités humaines afin qu'elles se complètent les unes avec les autres (Pulido Barrera, Rosales Carreón et de Boer 2018). C'est peut-être ce qui conduit (Coutard and Rutherford, 2011) à associer le nouveau paradigme à « autonomie territoriale » et (Bulkeley, Castan Broto and Maassen, 2011) à « libéralisé » ('liberalised') par opposition respectivement à la « solidarité territoriale » et au « monopole ».

Le réseau public a des vertus qui ont concouru à son développement et à sa stabilité : 1) omniprésence spatiale et sociale de ce service 2) homogénéité du service aux abonnés sur un espace 3) planification et gestion centralisée par une entité détentrice d'un monopole (Coutard et Rutherford 2015). Et le développement de la ville est étroitement lié à celui de ses réseaux, et réciproquement (Dupuy 1990). Ces caractéristiques intrinsèques et, ce faisant, sa viabilité économique et sa légitimité politique - sont frontalement remises en cause par le nouveau paradigme.

Comment penser le réseau de demain si les solutions aux problèmes qu'il pose ne se trouvent plus en son sein ? Au-delà du réseau, quel périmètre doit-on considérer : le système sociotechnique véhiculant un même type de flux ? L'écosystème urbain ? Et, la réalité des réseaux d'énergie ne s'écarte-t-elle pas déjà du modèle canonique du réseau ?

Réseaux, énergies renouvelables et assemblages socio-énergétiques

La difficulté heuristique majeure de la notion de *système* consiste à définir le périmètre étudié. Cela concerne aussi bien l'espace éventuel que la nature des flux. C'est une question récurrente

⁶⁷ Les trois chercheuses exercent au Royaume-Uni où l'électricité est produite dans des centrales thermiques essentiellement alimentées au pétrole et au gaz et donc émettant du carbone, contrairement aux centrales nucléaires françaises.

de l'étude des métabolismes territoriaux. Dans la recherche interdisciplinaire que nous avons menée sur les systèmes énergétiques à l'échelle du quartier, notre attention s'est portée sur la relation entre les grands réseaux d'énergie et les bâtiments et logements. Il est apparu que l'omniprésence du service est, déjà aujourd'hui, loin d'être effective pour les usages de la chaleur et du gaz. D'une part, les réseaux – publics - de chaleur et de gaz ne couvrent qu'une partie des territoires urbains. D'autre part, l'accès aux services publics de l'énergie – notamment pour les besoins en chauffage - est conditionnée par l'infrastructure installée par les acteurs de la construction (promoteurs, aménageurs...). D'ailleurs, ces derniers créent souvent et de facto des collectifs énergétiques obligés et pérennes à l'échelle du bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments.

La notion de vecteur énergétique – au sens d'une forme sous laquelle une énergie est transportée – permet d'observer les flux énergétiques à une échelle plus grande, ceux d'aujourd'hui et ceux qu'ils pourraient être demain (section 3.3). Pour promouvoir l'objectif « 100% renouvelable », l'association Negawatt et l'institut Fraunhofer ont élaboré des schémas représentant les flux de vecteurs énergétiques respectivement pour la France (figures 3-4 et 3-5) et les périmètres Frankfort « ville », « région urbaine » et « Land » (figure 3-6). Que ces scénarios du futur soient plausibles ou pas, il est intéressant de s'attarder sur les changements cognitifs par rapport à la façon dont les flux d'énergie sont représentés - par exemple par le ministère français de la transition écologique et solidaire (figure 3-3). J'ai relevé trois déplacements cognitifs :

- Une catégorisation des usages finaux selon leur forme énergétique : chaleur (énergie thermique), mobilité (énergie cinétique) et électricité spécifique (lumière, communication mais aussi cinétique et mécanique pour les appareils électro-ménagers et industriels) ;
- L'introduction du stockage de l'énergie, et ce, selon les formes gaz, chaleur, gravitaire et électrochimique, les deux dernières étant strictement associées au vecteur électrique ;
- Une répartition par échelle spatiale des sources énergétiques et des infrastructures de conversion et de stockage. Cette répartition a pour effet de réintroduire les infrastructures privées dans le système énergétique et de rappeler la fonction transcalaire des réseaux.

L'analyse de la Boîte à Outils Air Climat et Urbanisme de la Métropole grenobloise (section 5.1) a mis en évidence la fonction de *nœud socio-énergétique* jouée par les bâtiments : ils ne sont pas seulement l'issue finale du réseau de distribution mais des nœuds socio-énergétiques du métabolisme énergétique urbain. Le bâtiment échange avec son milieu. Ces échanges peuvent être intentionnels (rayonnement solaire hivernal, apports thermiques de l'air, du sol...) ou pas (déperditions thermiques, rayonnement solaire estival). Par des prescriptions portant sur le bâtiment et ses infrastructures énergétiques ou le raccordement au réseau, la Métropole grenobloise tente de limiter les échanges avec le milieu environnant afin de préserver des biens communs locaux (eau, air, sol...). Ces échanges ne sont pas marchands. Leurs modalités sont généralement peu réglées et en tout cas variables selon les situations topographiques, les objectifs politiques et la capacité des autorités publiques et des autres parties prenantes des biens communs à les contrôler (les mesurer et les juguler).

Dans le cadre de la recherche Nexus (chapitre 3), nous avons identifié deux types émergents de NSE à l'échelle du quartier favorisant la mobilisation de ressources renouvelables in situ ou à proximité et/ou la récupération d'énergie fatale : le réseau de chaleur et le microgrid électrique. En nous basant sur la distinction entre proximité géographique et organisationnelle, nous avons identifié quatre familles possibles de connexions à d'autres NSE pour la chaleur (2 seulement pour l'électricité). Il en ressort que l'assemblage de NSE combine des co-présences dans un même espace (proximité géographique) et des relations contractuelles plus ou moins réglées (proximité organisationnelle). Ces règles résultent d'autorités régulatrices (collectivité locale,

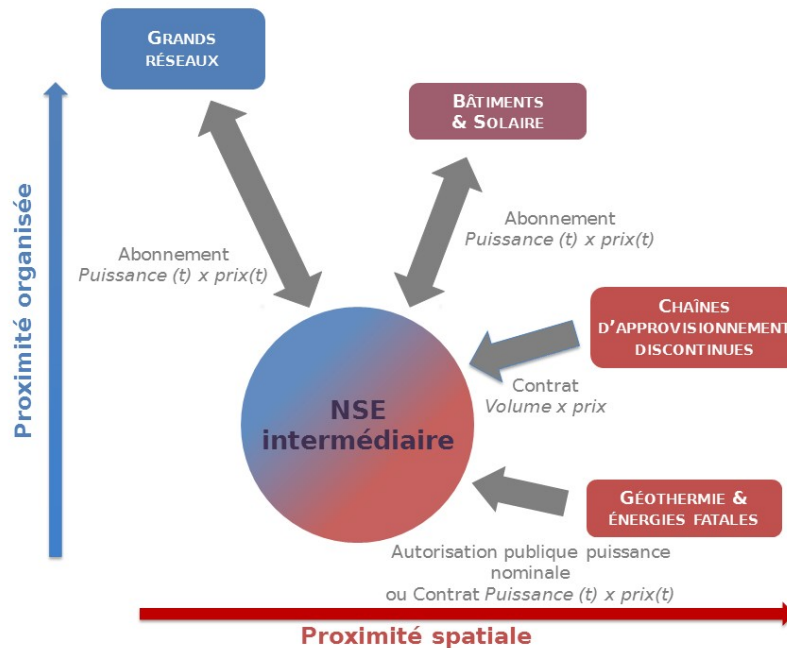


Figure 6-1 Familles de NSE selon leur type de proximité avec un NSE intermédiaire (Tabourdeau et Debizet 2017)

État y compris la jurisprudence) plus ou moins proches géographiquement.

Cette analyse par la nature des proximités souligne, au-delà des infrastructures, les effets d'organisations et de règles sur la gestion des flux d'énergie et sur le raccordement des NSE entre eux et à des réseaux continus ou discontinus d'approvisionnement exogène. Ces règles sont en partie intégrées dans les calculs de rentabilité qui jouent un rôle décisif dans le choix des vecteurs d'approvisionnement, les technologies renouvelables et leurs échelles de déploiement (logement, bâtiment, îlot, quartier...) et, ce faisant, l'existence même du NSE intermédiaire.

Sur le plan méthodologique, une fois le système énergétique observé décomposé en NSE, il a été possible d'interroger les acteurs sur les ressources, les objectifs et les contraintes prises en compte dans la conception des NSE. Il est ainsi possible d'identifier les éléments clés exogènes - mais néanmoins portés voire explicitement assumés par des acteurs du projet - qui ont impacté sa forme et sa réalisation. À partir de ce premier traitement du corpus, le chercheur peut classer ce qui est spécifique au territoire local ou pas, ce qui est usuel ou nouveau. Ce qui est usuel et

non spécifique peut être attribué au régime sociotechnique, lointain dans sa gouvernance mais présent dans ses effets (sections 4.1 et 4.2).

Par rapport à la théorie de l'acteur-réseau, *l'assemblage socio-énergétique* resserre la focale sur la connexion et l'effectivité des flux et présuppose des périmètres de responsabilité. Il pointe ce qui est nécessaire à la connexion et à la transmission des flux : infrastructures matérielles, conventions bilatérales, éléments de cadrage du fonctionnement, connaissances et compétences opérationnelles ainsi que nouveautés exogènes au projet, ajustements et apprentissages. Cependant, il ne suffit pas d'analyser les assemblages pour qualifier les régimes. D'autres connaissances sont nécessaires à l'instar des références que j'ai mobilisées pour construire le tableau 4-2. *L'assemblage socio-énergétique* ne traite pas directement des processus territoriaux autour des biens communs mais il révèle des usages et d'éventuels impacts environnementaux de ces biens communs.

Dans le travail d'observation du projet de récupération de chaleur du laboratoire de champ magnétique intense mené dans le cadre du CDP eco-SESA, Thibaut Fonteneau, Sylvie Laroche et Nicolas Tixier ont mis en évidence, comme Milena Marquet à propos du projet de boucle tiède du projet urbain Cambridge, le rôle de la nappe phréatique sur les projets énergétiques de la presqu'île de Grenoble. Il révèle des interdépendances énergétiques qui ne peuvent être identifiées a priori par le chercheur.

Règles publiques influençant les assemblages socio-énergétiques

L'assemblage socio-énergétique s'opère en fonction d'objectifs de contraintes et ressources réglementaires, économiques, politiques du porteur du NSE et de celles de partenaires potentiels situés (gestionnaires de réseau, maîtres d'ouvrage et propriétaires de bâtiments...) ou mobiles (entreprises prestataires de service, investisseurs, fournisseurs...). Pour une part - non dénombrable - d'entre elles, ces contraintes et ressources sont des éléments de régimes sociotechniques, dont la scalarité est nettement plus vaste que celle du projet urbain ou immobilier support des NSE et dont la validité dépasse la durée du processus d'assemblage du NSE mais peut-être pas sa durée de fonctionnement.

Les modalités de formatage du NSE associé à un projet urbain et immobilier par l'action publique diffèrent selon les temporalités de la fabrique et du fonctionnement urbain. Je distingue trois temporalités :

- Cadrage récurrent (mais pas constant) : il s'agit de règles ou recommandations qui existent indépendamment du projet. D'une façon générale en France, celles relatives à la performance énergétique du bâtiment neuf ou rénové et à l'accès aux services de l'électricité et du gaz émanent exclusivement de l'État, celles relatives à l'implantation et la forme du bâtiment et aux accès à la voirie relèvent de la collectivité locale, celles relatives au réseau de chaleur aussi mais selon un cadrage de l'État.

Parce qu'elle établit un lien entre des ressources énergétiques in situ et des besoins en chaleur d'une zone bâtie, la planification énergétique communale envisagée par le canton suisse de Fribourg suppose - à moyen terme si ce n'est déjà le cas - une obligation de raccordement à un réseau. A Grenoble, le nouveau schéma directeur des énergies fixe une obligation de raccordement au réseau de chaleur sur une zone définie et en énonce la perspective à moyen

terme pour le réseau de gaz. Ces cadrages – locaux et nationaux - résultent de processus territorialisés impliquant les acteurs des régimes sociotechniques, en particulier ceux de l'énergie et de la construction. Les connaissances naviguent entre les échelles spatiales.

- Cadrage dynamique voire co-pilotage du projet urbain ou immobilier porté par des aménageurs ou constructeurs : si elle octroie de ressources financières, cognitives, foncières ou matérielle, la collectivité locale enjoint le porteur de projet de respecter des prescriptions extra-réglementaires ; elle s'invite dans le processus de conception. C'est une forme d'urbanisme négocié qui prend en compte les riverains et les futurs habitants/occupants et parfois les implique. Il arrive que les projets d'envergure fassent l'objet de conflits et prennent une dimension politique ; ils contribuent ainsi à une construction idéale et relationnelle du territoire. C'est pourquoi le cadrage public local est dynamique : il s'agit autant d'adapter le cadrage aux résistances des acteurs impactés par le projet que d'ajuster le projet à des enjeux et à des dynamiques émergentes et jugées opportunes.

À ce stade, la rentabilité des investissements du NSE est au cœur des choix énergétiques par le porteur du projet et de l'éventuelle négociation mettant en balance octroi de ressources et respect des prescriptions extra-réglementaires voire compensations environnementales (exemple des toitures végétalisées à Washington) ; elle dépend aussi des hypothèses de prix d'accès aux énergies marchandes et des taxes. Le contrôle majoritaire par la collectivité locale du gestionnaire du réseau apporte une capacité de pilotage des investissements non seulement sur les infrastructures de réseau mais aussi sur des infrastructures de production.

- Règles pendant la phase de fonctionnement : interdiction des échanges d'électricité hors réseau public, autorisation sous condition via le réseau public, conditions d'utilisation du service (puissance et tarification fixes ou modulables dans le temps, fiscalité), d'une ressource (débit de soutirage dans une nappe, une rivière ou un réseau d'eaux usées), de rejets de polluants, obligation de raccordement au réseau de chaleur en cas de travaux d'envergure (retour cadrage récurrent) etc. De multiples modalités d'approvisionnement énergétiques par les réseaux et de mobilisation des énergies renouvelable in situ seront en vigueur pendant la longue phase de fonctionnement. Elles sont traduites en hypothèses de types de transactions avec des fournisseurs (cf. section 4.2) : prix, taxe, redevance, flexibilité, dépendance ainsi que de règles d'échanges avec des co-investisseurs d'équipements mutualisés ... qui impactent la rentabilité des infrastructures et des équipements et donc orientent le type de NSE.

La fourniture de gaz et d'électricité est soumise à la concurrence. L'État a l'exclusivité de la régulation de ces marchés. La fiscalité de l'énergie et de l'eau est définie par l'État⁶⁸. Les collectivités locales et leurs groupements peuvent moduler un taux – mais pas l'assiette – et l'application doit généralement être uniforme sur l'ensemble du périmètre de la collectivité ou du groupement. L'utilisation gratuite d'une ressource et les rejets de polluants sont contrôlés épisodiquement par les services de l'État.

⁶⁸ La modification de l'assiette de la redevance eaux pluviales décidée par la ville de Washington illustre l'action municipale au cours de la temporalité « utilisation ». Une collectivité locale ne pourrait le faire de son propre chef en France.

Les actions publiques classées dans ces trois temporalités impactent les choix relatifs aux systèmes énergétiques ainsi qu'à l'enveloppe et la forme des bâtiments. Demain l'autoconsommation individuelle ou collective d'électricité solaire et la probable (dans un marché concurrentiel de fourniture d'électricité) variabilité temporelle du prix de l'électricité donneront un poids très important aux hypothèses de la phase de fonctionnement. Les bouquets de solutions - compétitives sur le plan économique et flexibles en termes d'usage - pourraient substantiellement varier selon la morphologie des bâtiments et le tissu urbain. Une différenciation des assemblages pourrait s'opérer dans l'espace, même à règles et actions publiques identiques.

Les analyses portant sur les quatre NSE étudiés (chapitres 3 et 4) ont fait ressortir d'autres facteurs que ceux relevant des règles et des incitations publiques : appétence pour l'innovation, compétence de conduite de projets novateurs, apprentissage territorialisé et/ou transcalaire, présence d'activités de R&D d'envergure nationale ou internationale sur le territoire... que nous avons peu développés dans ce mémoire.

Marge de manœuvre et préférence des collectivités locales

Les collectivités locales sont considérées comme pertinentes pour animer la transition bas-carbone à leur échelle. Cependant, les observateurs sont sceptiques sur leur capacité à le faire en raison des arguments suivants : le poids de l'État et des grandes entreprises publiques (F. W. Geels 2010; Marcou, Poupeau et Staropoli 2013; Poupeau 2017) et le cloisonnement des compétences et des habitus (Debizet et al. 2016b). Les résultats des observations menées sur l'ensemble des terrains nuancent ces constats.

La coexistence de vecteurs aux gouvernances différenciées ouvre un espace de choix pour la transformation des systèmes énergétiques urbains que ce soit à l'occasion de projets d'envergure menés à l'échelle d'un quartier ou de projets immobiliers voire de la rénovation de bâtiments. En France comme en Suisse, un nombre croissant de villes initient des réseaux de chaleur, lancent des études pour produire du gaz à partir des déchets et encouragent l'utilisation du bois-énergie souvent en partenariat avec des territoires périphériques. A contrario, le vecteur électricité est délaissé (sections 5.1 et 5.3). Pourquoi ces choix ?

L'hypothèse d'une préférence pour les ressources énergétiques locales est plausible mais elle ne suffit pas car elle n'explique pas le désintérêt pour la production photovoltaïque. Plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- l'électricité étant peu carbonée en France, il n'y a pas d'intérêt à substituer le nucléaire par les énergies renouvelables. Cette hypothèse contredit la première hypothèse et les initiatives susnommées. Sauf à montrer que ces initiatives n'existent que dans des municipalités où les anti-nucléaires sont puissants, cette hypothèse ne résiste pas.

- Les villes s'engagent pour des formes d'énergie renouvelable sur lesquelles elles ont prise. Cette hypothèse qu'il m'est difficile de contredire laisse supposer que les villes s'engageraient si elles étaient davantage impliquées dans la gouvernance des réseaux⁶⁹.
- Les élus locaux évitent de prendre des responsabilités dans le vecteur électrique car la dépendance à ce réseau est largement assumée au sens de Dupuy (2011) : le risque politique d'une immixtion serait trop grand eu égard à la faiblesse de leur marge de manœuvre. Cette hypothèse laisse supposer que les collectivités locales seront peu demandeuses d'une plus grande implication dans la gouvernance de réseaux⁷⁰.

Les trois hypothèses méritent vérification. Elle ferait peut-être apparaître d'importantes différenciations territoriales.

6.2 Trois questions sociétales clés soulevées par les transitions bas carbone urbaines

Cette synthèse soulève trois questions clés jusqu'ici peu développées.

Régime local versus régime national et niches locales

La chronologie des dispositions prises par les quatre municipalités américaines pour déployer les toits verts révèle un double glissement :

- relatif à la nature des prescriptions techniques : principe de végétalisation, puis dispositif technique et, finalement, performance fonctionnelle ;
- relatif à la forme des incitations : financement direct de projets-pilotes, subvention par appel à projet, octroi conditionnel de ressources (foncières, financières), réglementation technique générale et/ou taxe avec extinction parallèle des financements.

Mises en œuvre par des autorités publiques, ces différentes phases correspondent à un phasage classique de type *strategic niche management* en fonction de l'évolution de l'adoption (courbe en S de diffusion des innovations (Rogers, 2003)). Dans ces villes, les municipalités ont construit pas à pas un espace protégé avant d'établir une réglementation. Cette dernière opère un verrouillage (au sens de Flichy 1995) qui profite temporairement à une technologie. Un régime local de la construction peut alors exister dans ces villes⁷¹. Notons bien qu'une telle configuration n'est pas envisageable en France : en effet, la loi délimite strictement les compétences des collectivités locales.

⁶⁹ Plusieurs Métropoles le demandent selon mes observations dans des réunions préparatoires au Schéma Directeur des Énergies de la Métropole grenobloise et au cours du comité de pilotage de la feuille de route de l'ADEME sur les systèmes énergétique territoriaux (2017-2018).

⁷⁰ Elle peut expliquer les réticences des petites et moyennes communes à demander davantage de responsabilité sur le réseau de distribution électrique ainsi que le retournement brutal de la commune de Montdidier (Marcou, Poupeau et Staropoli 2013; boutaud 2016).

⁷¹ Dans les pays où les principes juridiques et l'organisation judiciaire sont fondés sur la "common law", chaque niveau institutionnel territorial peut disposer d'un '*building code*'. À chaque institution de veiller à ce que ce code soit compatible avec le code de niveau supérieur (État ou Fédération) sous peine de voir le code dénoncé par une juridiction et ses prescriptions rendues sans effet.

Cependant, nous pouvons nous demander si la généralisation de niches locales par dérogation ou modification locale du marché n'équivaut pas *de facto* à une transformation du régime. Des acteurs s'estimant perdants demanderont une modification des régulations pour mettre fin à ces niches ou bien étoufferont les acteurs émergents par leur pratique commerciale. La perception de la pérennité du régulateur et de celle de ses objectifs voire de ses intérêts est un pilier du régime sociotechnique.

Cette réflexion remet en cause le fait que des niches locales d'un régime national puissent être considérées, au niveau local, comme un régime. Est-ce que cela explique la faible emprise des *Sustainability transitions studies* dans les pays de droit latin (cf. note de bas de page) ? La question est ouverte : elle dépasse le périmètre d'observation de ce mémoire. La réponse a des incidences sur la façon de traiter la question suivante.

Autonomie et solidarité

L'imaginaire alternatif d'autonomie énergétique à des échelles infra-urbaines se concrétise dans un nombre croissant de projets urbains ou immobiliers (Lopez 2015; Lopez et Bouton, Alexandre 2015). Elle transparaît dans la vision 100% renouvelable imaginée pour Frankfort (Stryi-hipp 2015). Une moindre dépendance énergétique - une capacité à maîtriser son destin ou à préserver la richesse du territoire - est recherchée par les acteurs publics ou collectifs (États, collectives locales et coopératives) sous réserve de coûts raisonnables comparativement aux approvisionnements exogènes.

A moyen terme, le développement massif de l'autoconsommation individuelle est une hypothèse très plausible, quelles que soient les dispositions prises par les collectivités et l'État. Certes, la dépendance au réseau électrique est assumée politiquement (au sens de Dupuy 2011) mais le sera-t-elle longtemps lorsque la « spirale de la mort » produira pleinement ses effets (Debizet 2016, 125, 157) ? A fortiori si la charge financière du réseau est alourdie par la spécialisation régionale ou internationale des ressources énergétiques renouvelables ? Et si cette charge financière conduit ceux qui ont les moyens matériels et financiers – pour stocker - à soutirer moins d'énergie du réseau à accepter une baisse de la fiabilité du service public voire à se déconnecter, la fracture ne deviendra-t-elle pas assumée ? Quid alors des habitants dont les logements ne peuvent produire et stocker de l'énergie ?

Une reconfiguration des modalités de solidarité paraît nécessaire. Sera-t-elle davantage territorialisée ? Le marché de l'électricité sera-t-il partiellement cadré ou limité par le local ? Des sous-régimes électriques locaux s'esquisseront-ils ?

Effets de l'imaginaire et des crises

Le toit végétalisé a légitimé le changement de paradigme de la gestion des eaux pluviales urbaines : la rétention des eaux pluviales sur la surface privée où elles tombent. De ce point de vue, le toit végétalisé et plus généralement les *green infrastructures* ont permis la remise en cause du standard de gestion des eaux pluviales en ville. L'imaginaire technique - au sens de (Flichy 1995) - du toit vert a opéré un déplacement vers les parcelles privées d'un problème que l'on traitait auparavant intégralement dans le domaine public. La crise environnementale et la menace de sanctions financières massives imposées par une juridiction du fait du non-respect

du *Clean Water Act* a entraîné un réinvestissement du politique comme Pflieger l'avait déjà observé (2003, 438).

Les scénarios de transition énergétique en ville mettent en évidence le fait que des changements apparemment mineurs relevant de règles techniques ou administratives peuvent conduire à une déstabilisation d'ampleur du régime. L'autoconsommation collective électrique induit-elle une extension de la logique de marché ou l'amorce d'une territorialisation pas nécessairement marchande ? Prépare-t-elle une prochaine crise ou constitue-t-elle la solution à la prochaine crise ?

6.3 Travaux en cours

C'est par l'analyse des outils, de leur élaboration à leur utilisation dans les domaines de l'aménagement, de l'urbanisme et de l'architecture que je contribue à ces questionnements. Mes réflexions actuelles s'étendent dans quatre directions.

Territoire et assemblage socio-métabolique bas-carbone

Un défi scientifique consiste à relier les différents processus qui contribuent au déploiement – ou pas - des innovations socio-énergétiques. Nous avons souligné l'effet des régulations sur le choix des systèmes énergétiques urbains mis en œuvre tant sous forme d'incitations ou de dissuasions économiques qu'en terme de règles autorisant ou pas telle ou telle modalité d'échanges d'énergie ou de coordination. Mais les acteurs ne sont pas des agents. Chaque acteur ayant ses propres priorités, les effets du régime diffèrent selon l'acteur qui participe au choix.

Des processus collectifs influencent les décisions : des connaissances circulent d'une ville à d'autres, d'un groupement ou d'une organisation supra-locale à des organisations locales, d'une profession à d'autres, d'individu à d'autres aussi. Des apprentissages territorialisés, interprofessionnels ou autres rendent envisageable, souhaitable ainsi que bénéfique, simple, essayable, observable⁷² un dispositif sociotechnique qui n'était peut-être pas initialement compatible. Les acteurs portent des imaginaires ; les mots d'ordre de la « ville durable », d'« écoquartier » et désormais la « transition bas-carbone » ont eu des vertus mobilisatrices. Leur déclinaison en prescriptions et dans des projets résulte de transformations locales impliquant élus, professionnels et citoyens. L'ancrage à l'espace – et pas à un unique espace - de ces processus explique aussi pourquoi un dispositif est adopté ici plutôt que là.

La notion de *territoire* au sens donné par Vanier (2008, 12) : « *une forme circonscrite et repérable, ajustable et modelable, multiscalaire et multiculturelle ... (qui associe) l'inscription dans l'espace des processus sociaux* (et l'effet de l'espace dans ces processus). » complète la notion heuristique d'*assemblage socio-énergétique*. La première constitue un cadre d'analyse des éléments moissonnés par le chercheur après qu'il ait ausculté le terrain, les cas d'études en mobilisant la seconde.

⁷² Bénéfique, simple, essayable, observable sont quatre des cinq qualités d'une innovation concourant à sa diffusion selon Rogers (2003). Pour Rogers, la compatibilité avec le milieu d'adoption était la cinquième qualité. Je pense cependant que cette compatibilité relève de processus d'apprentissage et d'instauration (ou de simple repérage) de niches.

Quel statut donner au réseau ? Il est un nœud socio-énergétique tel que j'ai défini la notion d'*assemblage* au début de cette conclusion. Il occupe aussi une place essentielle dans les échanges urbains au-delà des « petites » circularités énergétiques. Dans le cas du réseau de chaleur et du réseau d'eau, il est en outre une marque de l'institution territoriale qui le contrôle.

Dès lors que l'on s'intéresse au territoire et aux relations du système énergétique (les nœuds socio-énergétique assemblés) au milieu « naturel », il convient de s'interroger sur la nature et les limites du métabolisme étudié. La notion d'*assemblage socio-énergétique* présente-t-elle un intérêt heuristique pour certains flux métaboliques ? Quelles pourraient être les utilisations heuristiques de la notion de nœud socio-métabolique pour l'analyse des dynamiques spatiales de flux de matière circulant dans les espaces habités et, ce faisant, pour celle des transformations des solidarités historiquement installées par les réseaux publics ?

Intermédiaires cognitifs et intermédiaires socio-métaboliques

La littérature sur les intermédiaires énergétiques s'inscrit dans les travaux sur les villes bas-carbone (Moss et al. 2012; Hodson, Marvin et Bulkeley 2013; Bush et al. 2017), les communautés énergétiques renouvelables (Hargreaves et al. 2013; Hyysalo, Juntunen et Martiskainen 2018) et plus généralement les innovations durables ou écologiques (Kanda et al. 2018; Gliedt, Hoicka et Jackson 2018). Elle décrit leur travail relationnel : promotion des innovations sociotechniques, traduction des réglementations, facilitation des échanges d'expériences....

Ces intermédiaires que je dénomme « intermédiaires cognitifs » connectent, traduisent et facilitent les flux d'informations (van Lente et al. 2003). Des intermédiaires durables ou bas-carbone se sont multipliés depuis plus d'une décennie : l'ADEME a soutenu un réseau d'agences locales d'énergie au tournant des années 2000 (F.-M. Poupeau 2008), des organisations publiques et privées offrent des services d'intermédiations sur les éco-innovations ou l'énergie dans plusieurs pays européens (Nolden, Sorrell et Polzin 2016; Kivimaa et Martiskainen 2018; Kivimaa et al. 2017).

Ces intermédiaires cognitifs assurent une circulation transcalaire des connaissances. Les *STS* portent une attention croissante aux processus transcalaires passant des connaissances et des savoir-faire de niches à d'autres niches ou au régime ou bien encore du local au national ou global (tableau 2.1). Les *Urban studies* observent leur rôle mais dans le sens opposé : comment des modèles exogènes sont appropriés voire imposés, notamment par d'autres leviers que cognitifs, et transforment le tissu urbain, social et économique (Boisnier 2010; Debizet et Godier 2015, chap. conclusion).

Par ailleurs, des intermédiaires énergétiques opèrent entre réseaux, bâtiments et milieu (ou nature pour reprendre l'expression de Moss (2009)). Des énergies fatales sont récupérées (Colombert, Chiche et Diab 2016; Chiche et al. 2016; Hampikian 2015; Hampikian 2017), des panneaux photovoltaïques sont mutualisés (Debizet et Yalcin-Riollet 2018), des réseaux de chaleur de quartier déployés (Blanchard et al. 2016; Tabourdeau et Debizet 2017; Blanchard 2016). L'impératif de fonctionnement exige une technicité, la traversée de plusieurs NSE requiert des conventions. Ces flux traversent eux aussi différentes échelles spatiales (figure 6-2). Pour une part, les porteurs de NSE intermédiaires mettent en œuvre les orientations et

appliquent les connaissances transmises par les intermédiaires énergétiques ou durables décrits précédemment.

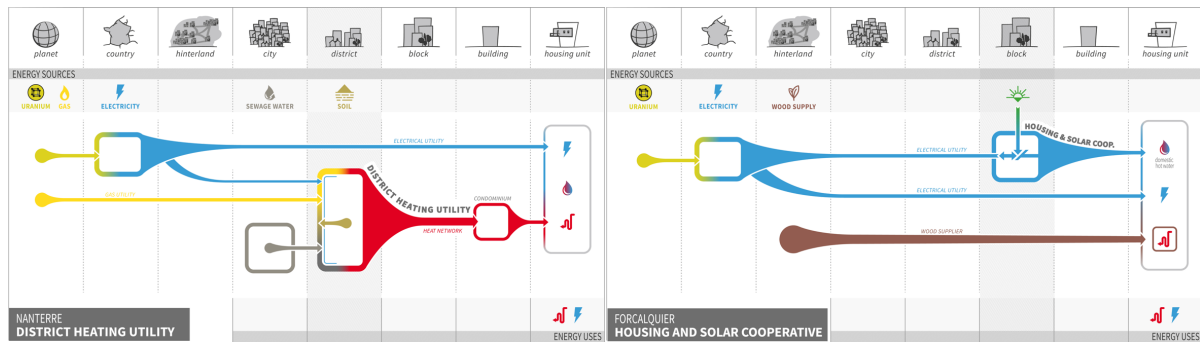


Figure 6-2 Intermediaires socio-energetiques et echelles d'approvisionnement (Debizet, Yalcin-Riollet, Tabourdeau 2018)

Se pose donc la question des relations entre les intermediaires cognitifs et les intermediaires socio-energetiques - ou socio-metaboliques.

Comment rôles jouent-ils dans la planification et la gestion énergetique en ville ? Jusqu'à quel stade d'avancement du projet de NSE intermediaire participent les intermediaires cognitifs ? Comment s'échangent-ils les connaissances acquises par l'expérience ? En quoi apprennent-ils les uns des autres ? Quels desseins intentionnels en termes de transformation de la société mènent les intermediaires cognitifs ? Quels effets - intentionnels ou pas - sur les intermediaires socio-energetiques ont-ils ?

Prémices et promesses de l'autoconsommation collective d'énergie

L'autoconsommation collective électrique (cf. encadré ci-dessous) qu'adoptent et adaptent aujourd'hui des citoyens-habitants, des entreprises de l'énergie ou du numérique et demain, peut-être, les acteurs de l'immobilier – neuf ou ancien – en France se prête à l'analyse des intermediaires socio-energetiques. Par quoi ces acteurs intermediaires sont-ils motivés ? Comment apprennent-ils ? Selon quelles proximités géographiques, organisationnelles ? L'autoconsommation individuelle et collective engendre-t-elle de nouvelles territorialités (appartenance, identité, différenciation) ? De nouvelles routines s'installent-elles ? De nouveaux métiers émergent-ils ? La perspective d'une large autoconsommation menace-t-elle le fonctionnement des réseaux ? Modifie-t-elle les stratégies des autorités publiques et des gestionnaires de réseau ? Appelle-t-elle le renouvellement du contrat social des énergies ?

Enquête autoconsommation collective électrique

Après le recensement d'opérations d'autoconsommation collective électrique par Estelle Payan sous la direction de Philippe Ménanteau (laboratoire GAEL), plusieurs jeunes chercheurs financés par le Cross-Disciplinary Program *Eco-SESA Smart Energies in Districts* vont mener des enquêtes sur des opérations pionnières en France et en Suisse en 2019 impliquant différents types de porteurs : commune, bailleur social, association villageoise, coopérative d'habitat, fournisseur agréé d'électricité. Une grande attention sera portée à la construction de la répartition dynamique de l'autoproduction. Chaque chercheur (doctorants, post-doctorants ou collègues - Silvere Tribout et Thomas Reverdy - et moi-même) a une problématique spécifique.

Afin d'accélérer la montée en généralité⁷³, le corpus d'entretiens et de littérature grise sera mis en commun. Une grille d'entretien commune sera élaborée : semi-directive, elle conciliera autant que possible les attentes des uns et des autres.

La construction d'une base de données de recherche constitue un des objectifs du CDP qui rassemble une cinquantaine de chercheurs issus de 16 laboratoires grenoblois dont 3 de sciences sociales. Elle archivera littérature grise, entretiens et mesures physiques et résultats de recherche (monographie, publications, certains travaux intermédiaires) afin de faciliter les collaborations entre disciplines, d'accélérer les montées en généralité et de permettre des analyses secondaires diachroniques et des comparaisons dans le temps. Une partie de ces documents seront rendus publics. Il s'agit aussi d'anticiper l'évolution du financement de la recherche européenne (ouverture des données, réutilisation de données de recherche...) tout en sécurisant les données (respect des personnes, transparence...).

Outils d'aide à la décision multi-vecteurs et multi acteurs

Au-delà des questionnements propres aux sciences sociales, j'ai eu l'occasion de collaborer avec les sciences de la conception (architecture, génie civil, génie électrique et génie thermique) qui développent des modèles d'outils d'aide à la décision multi-acteurs. Cela a été le cas dans le cadre de recherches financées par le PIR-Ville (L'ambiance est dans l'air), par l'ADEME (Ecoquartier Nexus Energie) et, plus récemment dans le cadre du CDP Eco-SESA et de recherches financées par la Région Auvergne-Rhône-Alpes et par l'ADEME (cf. encadré)

Les projets de recherche OREBE et RETHINE visent à utiliser les synergies entre des réseaux thermiques et électriques (boucles -ou minigrids- énergétiques ouvertes) en contexte urbain, afin de valoriser des sources d'énergies renouvelables et les rejets thermiques industriels connectés sur les réseaux publics (smart grid) ou des infrastructures énergétiques privées de type mini-grid à l'échelle de bâtiment, d'ilot voire de quartier. Le modèle de simulation et d'optimisation multicritères (économique, énergétique, exergétique) à l'échelle locale d'un quartier ou d'un territoire prend en compte les intérêts et représentations des différents acteurs et différents modes de coordination (charges de fonctionnement type copropriété, contrat de performance, co-investissement, transaction à prix convenu ou de marché ...).

Contrairement aux modèles usuels qui cherchent parmi les solutions possibles celle correspondant à l'optimum économique, l'outil envisagé aidera à construire un consensus entre les acteurs sur la formulation du problème (obtenu itérativement). Le modèle définira un espace de solutions possibles sur la base de scénarios de fonctionnement et de contractualisation entre NSE qui prennent en compte les besoins, les contraintes et les objectifs des acteurs concernés. Il évaluera plusieurs scénarios de déploiement et de pré-dimensionnement de systèmes de

⁷³ Un parallèle pourra être effectué avec les *opérateurs énergétiques territoriaux* analysés par Pierre-Antoine Landel et Lucas Durand (2015), opérateurs qui investissent et exploitent des installations de production d'électricité renouvelable, de même avec les *centrales villageoises* observées par Antoine Fontaine et Olivier Labussière.

production, de stockage et de transfert d'énergie. Il servira ainsi à réaliser des études d'aménagement urbain et des études de faisabilité au stade d'avant-projet (figure 6-4, lot 5).

L'outil sera appliqué de façon rétrospective à la Presqu'île Grenobloise qui se compose d'activités électro-intensives (comme le LNCMI⁷⁴) et de bâtiments tertiaires et résidentiels, et à la phase études du quartier Triangle Sud lac du Bourget qui comprendra une boucle ouverte d'eau froide reliant le lac aux immeubles tertiaires et résidentiels, des installations photovoltaïques et des panneaux solaires thermiques. Le laboratoire PACTE est chargé de l'enquête sur l'autoconsommation collective électrique (cf. supra), la récupération de chaleur et les processus de décision de la gestion énergétique et de l'aménagement urbain avant d'élaborer des scénarios d'intermédiation énergétique précisant les priorités des acteurs (figure 6-4, lot 3). Il participera aux arbitrages sur l'architecture de l'outil (lot 4) et à l'application aux terrains d'études qui sera menée avec les acteurs opérationnels des deux terrains (lot 5).

L'outil développé est construit sous forme de modules réutilisables séparément sous licence ouverte de type *Creative commons* en phase avec les préconisations des financeurs de la recherche publique et des communautés scientifiques internationales de l'énergie (AIE, IEEE...).

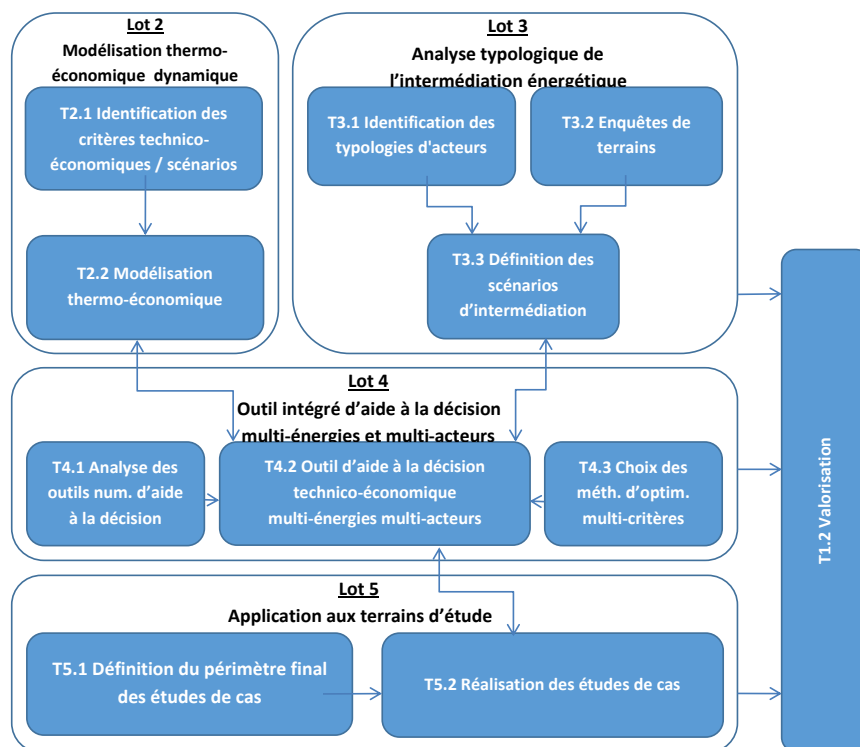


Figure 6-3 Outil d'aide à la décision multi-acteurs multi-vecteurs Organisation de recherche interdisciplinaire (Stutz, Debizet, Wurtz 2018)

Les finalités de cette collaboration interdisciplinaire sont multiples. Pour les technologues, l'apport des sciences sociales permet d'intégrer des variables dépassant la rationalité économique et de penser une architecture des outils prenant en compte les processus de décision

⁷⁴ Laboratoire national de champs magnétiques intenses est un instrument du CNRS.

de l'aménagement urbain. Pour les sciences de l'aménagement, il s'agit d'une part de mettre la notion *d'assemblage socio-énergétique* à l'épreuve des outils de conception et, d'autre part, d'observer de l'intérieur l'élaboration de modèles d'outils

Les outils de conception embarquent des connaissances et des façons de penser et d'agir. Ils ne sont pas neutres dans la transformation de la ville et des espaces vécus. Ces hypothèses ont été à l'origine de mon inscription en doctorat après des années d'engagement en faveur des modes alternatifs à l'automobile et n'ont cessé d'inspirer mes recherches. Des modèles de trafic (2001-2011)⁷⁵ aux outils de l'aménagement urbain (2008-2017)⁷⁶ en passant par la démarche HQE et les labels de performance énergétique (2006-2017)⁷⁷, mes travaux ont montré précisément comment la construction des outils concilie le nouvel enjeu de durabilité et la prise en compte des outils et pratiques existants. Mes publications ont également montré en quoi l'expertise et nouveaux outils d'aide à la décision et à la conception utilisés dans l'aménagement et l'urbanisme résultent de changements de l'organisation générale du pouvoir et comment, à l'aval, leur utilisation peut orienter les projets urbains et architecturaux et les pratiques des concepteurs.

A l'heure des circuits courts qui remettent en question les principes fondamentaux des réseaux tels que l'uniformité de l'offre de service et l'unicité du « marché » des flux, j'entends contribuer aux réflexions sur les questions essentielles et conjointes d'autonomie et de solidarité qu'ils soulèvent. Parce qu'ils sont considérés comme un levier du changement, un levier de la transition écologique, les outils cognitifs constituent un traceur pour saisir les transformations en cours du pouvoir et des territoires dans la société.

⁷⁵ (Baye et Debizet 2002; Baye et Debizet 2001; Debizet 2004; Debizet 2010; Debizet 2011a)

⁷⁶ (Dufrasnes, Buhe, Wurtz, Achard et Debizet 2008; Dufrasnes, Buhe, Wurtz, Achard, Debizet et al. 2008; Debizet 2011b; Debizet et Dubois 2011; Debizet 2012a; Biau et al. 2013; Debizet 2013c; Debizet 2015c; Balaye et al. 2017)

⁷⁷ (Henry et al. 2006; Debizet et Symes 2008; Debizet et Henry 2009) (Debizet 2012d; Haller, Debizet et Buclet 2017)

Table des figures

FIGURE 1-1 MULTI LEVEL PERSPECTIVE, SOURCE GEELS AND SCHOT 2007	10
FIGURE 1-2 PREMIERE SUPERPOSITION DES NIVEAUX NICHES REGIMES ET PAYSAGE SUR UN MEME SCHEMA. SOURCE : ROTMANS, KEMP AND VAN ASSELT 2001)	13
FIGURE 1-3 MLP NIVEAUX PAYSAGE ET REGIME AGISSANT AU NIVEAU NICHE SOURCE : GEELS 2002	15
FIGURE 1-4 MLP RELATIONS ENTRE LES 3 NIVEAUX (GEELS, 2002)	16
FIGURE 1-5 NOMBRE DE REFERENCES GOOGLE SCHOLAR CONTENANT "SUSTAINABILITY TRANSITION" OU "SUSTAINABILITY" ET "TRANSITION" DANS LE TITRE SOURCE : DEBIZET ET GOOGLE SCHOLAR LE 27 JUILLET 2018)	20
FIGURE 1-6 NOMBRE ANNUEL DE CITATIONS (LIGNE ET ECHELLE DE GAUCHE) ET D'ARTICLES (COLONNE ET ECHELLE DE DROITE) SOURCE MARKARD ET AL. 2012	20
FIGURE 1-7 PRINCIPALES REVUES MOBILISANT LES CONCEPTS ORIGINELS DES SUSTAINABILITY TRANSITIONS STUDIES, SOURCE MARKARD ET AL. 2012	21
FIGURE 1-8 ECHELLES GEOGRAPHIQUES DES ARTICLES DU CHAMP DES STS, SOURCE MARKARD, RAVEN, TRUFFER 2012	22
FIGURE 2-1 OCCURRENCE ANNUELLE DE DOCUMENTS PUBLIES RELATIFS A LA VILLE ET AUX TRANSITIONS ENERGETIQUES OU DURABLES SOURCE : GOOGLE SCHOLAR 1ER AOUT 2018.....	36
FIGURE 2-2 PARADIGMES CONVENTIONNEL ET NOUVEAU DES RESEAUX SELON BULKELEY, CASTAN BROTO ET MAASSEN, 2011	42
FIGURE 3-1 ASSEMBLAGES USUELS ENTRE BATIMENTS ET GRANDS RESEAUX EN FRANCE (SOURCE DEBIZET 2016)	58
FIGURE 3-2 FLUX D'ENERGIES AU ROYAUME UNI EN 2011 : RESSOURCES PRIMAIRES, CONVERSIONS ET CONSOMMATIONS PAR SECTEUR D'ACTIVITE (SOURCE: UK DEPARTMENT AND CLIMATE CHANGE)	60
FIGURE 3-3 FLUX D'ENERGIE POUR LA FRANCE EN 2017 : RESSOURCES PRIMAIRES, CONVERSION ET CONSOMMATION FINALE PAR VECTEUR (SOURCE CGEDD, MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, AVRIL 2018).....	61
FIGURE 3-4 FLUX D'ENERGIE POUR LA FRANCE EN 2010 : RESSOURCES PRIMAIRES, CONVERSION ET CONSOMMATION FINALE PAR SECTEUR ET USAGES FONCTIONNELS (ASSOCIATION NEGAWATT 201?)	62
FIGURE 3-5 FLUX D'ENERGIE POUR LA FRANCE EN 2050 : RESSOURCES PRIMAIRES, CONVERSION ET CONSOMMATION FINALE PAR SECTEUR ET USAGES FONCTIONNELS (ASSOCIATION NEGAWATT 201?).....	64
FIGURE 3-6 PRINCIPE DE CONVERSION (COGENERATION, METHANATION, ELECTROLYSE) ET INJECTION DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION (ASSOCIATION NEGAWATT 201?)	65
FIGURE 3-7 APPROCHE PROSPECTIVE SYSTEMIQUE ET SPATIALISEE FRANKFURT 100% RENOUEVELABLE (SOURCE STRYI-HIPP FRAIENHOFER INSITUTUT 2015)	66
FIGURE 3-8 ÉQUIPE DE LA RECHERCHE ECOQUARTIER NEXUS ENERGIE	68
FIGURE 3-9 PHASAGE DE LA RECHERCHE ECOQUARTIER NEXUS ENERGIE	73
FIGURE 4-1 FAMILLES DE NSE SELON LEUR NATURE DE PROXIMITE AVEC UN NSE INTERMEDIAIRE (TABOURDEAU ET DEBIZET 2017)	94
FIGURE 4-2 SCENARIO GRANDES ENTREPRISES - MESO - (DEBIZET, FOREST ET MOUCHE 2016)	101
FIGURE 4-3 SCENARIO ACTEURS COOPERATIFS - MESO - (DEBIZET, FOREST ET MOUCHE 2016)	102
FIGURE 4-4 SCENARIO COLLECTIVITES LOCALES - MESO - (DEBIZET, FOREST ET MOUCHE 2016)	103
FIGURE 4-5 SCENARIO ÉTAT PRESCRIPTEUR- MACRO - (DEBIZET, FOREST ET MOUCHE 2016).....	104
FIGURE 5-1 THEMATIQUES ET ORIENTATIONS (SOURCE BOITES A OUTILS AIR CLIMAT URBANISME, GRENOBLE ALPES METROPOLE, AURG PACTE, 2014)	116
FIGURE 5-2 OBJECTIFS URBANISME ET IMMOBILIER ET INDICATEURS CONFORT D'HIVER (SOURCE BOITES A OUTILS AIR CLIMAT URBANISME, GRENOBLE ALPES METROPOLE, AURG PACTE, 2014	118
FIGURE 5-3 EXEMPLE DE CARTE DES RESSOURCES, RESEAUX ET ZONES DE CONSOMMATION (SOURCE : CITE DE L'ENERGIE, SUISSEENERGIE ET ARE 2013)	123
FIGURE 5-4 EXEMPLE DE CARTE SELON L'APPROVISIONNEMENT (SOURCE : CITE DE L'ENERGIE, SUISSEENERGIE ET ARE 2013)	124
FIGURE 5-5 SURFACE ANNUELLE DE TOITS VERTS MIS EN ŒUVRE AUX USA ET AU CANADA (GRHC 2014)	132
FIGURE 5-6 CARTOGRAPHIE DES SURFACES DE TOITS VERTS PAR HABITANT INSTALLES ENTRE 2010 ET 2013 DANS LES 30 VILLES AMERICAINES LES PLUS PEUPLEES (DEBIZET-MORANDY)	133
FIGURE 5-7 SURFACE DES TOITS VERTS INSTALLES AU COURS DES ANNEES 2008 ET 2012 PAR METROPOLE (VILLE ET AIRE URBAINE) AUX ÉTATS-UNIS ET CANADA (GRHC)	134

FIGURE 5-8 VEGETALISATION DE TOITS COMME IMAGINAIRE URBAIN (SOURCES : LIVING ARCHITECTURE MONITOR 2016 ET CITY OF CHICAGO 2008).....	136
FIGURE 5-9 SPATIALITES DES BENEFICES DES TOITS VERTS (DEBIZET)	137
FIGURE 6-1 FAMILLES DE NSE SELON LEUR TYPE DE PROXIMITE AVEC UN NSE INTERMEDIAIRE (TABOURDEAU ET DEBIZET 2017) ...	148
FIGURE 6-3 INTERMEDIAIRES SOCIO-ENERGETIQUES ET ECHELLES D'APPROVISIONNEMENT (DEBIZET, YALCIN-RIOLLET, TABOURDEAU 2018)	156
FIGURE 6-4 OUTIL D'AIDE A LA DECISION MULTI-ACTEURS MULTI-VECTEURS ORGANISATION DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE (STUTZ, DEBIZET, WURTZ 2018).....	158

Table des tableaux

TABLEAU 2-1 CINQ APPELS DE LA 'GEOGRAPHY OF TRANSITIONS'	27
TABLEAU 2-2 POSITIONNEMENT DES APPELS GEOGRAPHY OF TRANSITIONS DANS LA MATRICE NOTIONS GEOGRAPHIQUES / NIVEAUX MLP	30
TABLEAU 2-3 OCCURENCE GOOGLE SCHOLAR D'EXPRESSIONS LE 13 SEPTEMBRE 2018	38
TABLEAU 2-4 PARADIGMES « GRAND RESEAU CENTRALISE » ET « CIRCULARITE TECHNO-ECOLOGIQUE » (SELON COUTARD 2010 ET COUTARD & RUTHERFORD 2011).....	41
TABLEAU 4-1 TERRITORIALITES DES REGIMES SOCIOTECHNIQUES DE L'ENERGIE ET DE LA CONSTRUCTION	85
TABLEAU 4-2 VARIABLES DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE (SOURCE DEBIZET, 2016)	99
TABLEAU 4-3 ANALYSE MORPHOLOGIQUE : ENJEUX PRIORITAIRES PAR ACTEUR-PIVOT ET VARIABLE (SOURCE DEBIZET, 2016).....	100

Bibliographie

- Abrial, Stéphanie. 2008. « Synthèse de l'Atelier 2 : Les Chabanneries Bourg-les-Valence. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 7. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Synthese-atelier-Bourg-les-Valence_Abrial.pdf.
- ADEME. 2013. « Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030 2050 L'exercice de prospective de l'ADEME « Vision 2030-2050 ». » s.l.: ADEME. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=85536&p1=30&ref=12441>.
- Akrich, M., Callon, M. et Latour, B. 1988. « A quoi tient le succès des innovations? 2 : Le choix des porte-parole. » *Gérer et comprendre, Annales des Mines* (12): 14-29.
- Akrich, Madeleine. 1989. « La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques. » *Anthropologie et Sociétés* 13 (2): 31-54. doi:10.7202/015076ar.
- Akrich, Madeleine, Michel Callon et Bruno Latour. 2006. *Sociologie de la traduction : Textes fondateurs*. Paris: Presses de l'Ecole des Mines.
- Alazard-Toux, Nathalie, Patrick Criqui, Jean-Guy Devezeaux De Lavergne, Emmanuel Hache, Elisabeth Le Net, Daphné Lorne, Sandrine Mathy, Philippe Menanteau, Henri Safa, Olivier Teissier et Benjamin Topper. 2014. « Les scénarios de transition énergétique de l'ANCRE. » *Revue de l'Energie* (619): 189-210.
- Anderson, Ben et Colin McFarlane. 2011. « Assemblage and Geography. » *Area* 43 (2): 124-127. doi:10.1111/j.1475-4762.2011.01004.x.
- Asheim, Björn T. 2001. « Learning Regions as Development Coalitions: Partnership as Governance in European Workfare States? » *Concepts and Transformation* 6 (1): 73-101. doi:10.1075/cat.6.1.05ash.
- Bahers, Jean-Baptiste et Mathieu Durand. 2017. « Le retour de la proximité ! Quelles implications pour les services urbains en réseau ? » *Flux* (109-110): 1-8. doi:10.3917/flux1.109.0001.
- Bahers, Jean-Baptiste, Mathieu Durand et Hélène Beraud. 2017. « Quelle territorialité pour l'économie circulaire ? Interprétation des typologies de proximité dans la gestion des déchets. » *Flux* (109-110): 129-141. doi:10.3917/flux1.109.0129.
- Balaye, François. 2015. « Energy transition in France: how local authorities lead strategies linked to national policies. » In *Workshop "Cities in Energy Transition" – Comparative Analysis of Policies and Strategies in Europe and Asia*. Lyon, France: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01280850>.
- Balaye, François, Lisa Bienvenu, Gilles Debizet et Pierre-Antoine Landel. 2018. « La transition énergétique : eldorado des relations ville-campagne ? Le cas de TEPOS métropole-montagne. » *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* (106-2). doi:10.4000/rga.4415. <http://journals.openedition.org/rga/4415>.
- Balaye, François, Bienvenu lisa, Gilles Debizet et Pierre-Antoine Landel. 2017. « La transition énergétique à la recherche de la relation ville/campagne : enseignements des TEPOS rhonalpins. » In *Journée d'étude Politiques locales de l'énergie*. Rennes, France: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773357>.
- Barbara Deutsch, Heather Whitlow, Michael Sullivan et Anouk Savineau. 2005. « RE-GREENING WASHINGTON, DC: A Green Roof Vision Based on Quantifying Storm Water and Air Quality Benefits. » Washington, DC: Casey Trees Endowment Fund & Limno-tech Inc.
- Baye, Eric et Gilles Debizet. 2001. « Des nouvelles problématiques urbaines à l'innovation de l'expertise transport/déplacement. Mise en parallèle et convergence : Allemagne-France-Royaume-Uni. [.] » s.l.: Economie & Humanisme, CERAT Département civil.

- . 2002. « Innovation et bureaux d'études dans la planification des transports urbains. » *Metropolis* (108-109): 52-57.
- Berkhout, Frans, Adrian Smith et Andy Stirling. 2004. « Socio-technological regimes and transition contexts. » In *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*, 48-75. s.l.: s.n. <http://www.sussex.ac.uk/Units/spru/publications/imprint/sewps/sewp106/sewp106.pdf>.
- Bertrand, Philippe, Gilles Debizet, Muriel Pezet-Kuhn, Audrey Daste, Eric Henry et Loïc Chesne. 2014. « Boîte à Outils Air Climat Urbanisme. » <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01875100>.
- Biau, Véronique, Michael Fenker, Élise Macaire, GODIER Gilles, Isabelle Grudet, Gilles Debizet et Géraldine Molina. 2013. « "Savoirs et modèles de la ville durable". » In *Journées de rencontre du Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme*. Paris, France: (RAMAU). <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01656564>.
- Birkeland, Janis. 2012. *Positive Development : From Vicious Circles to Virtuous Cycles through Built Environment Design*. s.l.: Routledge. doi:10.4324/9781849772235. <http://www.taylorfrancis.com/books/9781136559457>.
- Blanchard, Guilhem. 2015. « Comment évolue le répertoire des systèmes énergétiques envisagés dans une opération d'aménagement ? » In . s.l.: s.n. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01254222>.
- . 2017. « L'élaboration des choix énergétiques dans les projets urbains, entre apprentissages et négociations. L'exemple des prescriptions immobilières à Bordeaux Saint-Jean Belcier, Energy design in urban development projects, between learning process and negotiations. Insights from Bordeaux, France. » *Géographie, économie, société* 20 (2): 173-196. doi:10.3166/ges.19.2017.0009.
- Blanchard, Guilhem et Yoan Miot. 2017. « Quelle activité de conception dans les séquences aval des projets d'aménagement ? Apprentissages et négociations dans l'encadrement des opérations immobilières à Bordeaux Euratlantique et Lille-Arras-Europe. » *Revue internationale d'urbanisme* (3). <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01519567>.
- Blanchard, Odile et Gilles Debizet. 2015. « Écoquartier, systèmes énergétiques et gouvernance : une base de données bibliographique. » *Innovatio* (2). <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=127>.
- Bobroff, Jacotte. 2008. « Synthèse de l'Atelier 2 Echirolles Copilotage de la qualité environnementale. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 7. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Synthese_atelier_Echirolles_Bobroff.pdf.
- Bonno, Pel, Wouter Achten, Ahmed Khan et Tom Bauler. 2018. « Reconfiguring which systems? An interdisciplinary reflection on units of analysis in the Circular Economy transition. » Working paper. Université Libre Bruxelles: s.n. https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/276428/3/Pel.et.al_IST2018.pdf.
- Boschma, Ron. 2005. « Proximity and Innovation: A Critical Assessment. » *Regional Studies* 39 (1): 61-74. doi:10.1080/0034340052000320887.
- Bouba-Olga, Olivier, Marie Coris et Christophe Carrincazeaux. 2008. « Avant-propos. » *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* octobre (3): 279-287. doi:10.3917/reru.083.0279.
- Boutaud, Benoît. 2009. « Quartier durable ou éco-quartier ? » *Cybergeo : European Journal of Geography*. <http://cybergeo.revues.org/22583>.
- boutaud, benoît. 2016. « An energy model in transition? Centralism and decentralisation in the regulation of the electricity system. » Theses, Université Paris Est. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01412937>.
- Brechon, Pierre. 2011. *Enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives*. Politique en + - août 2011. s.l.: PUG (Presses Universitaires de Grenoble).

- Brenner, Neil, Bob Jessop, Martin Jones et Gordon Macleod. 2008. *State / Space: A Reader*. s.l.: John Wiley & Sons.
- Brès, Antoine. 2005. « Inscription territoriale des mobilités et riveraineté des voies : faire halte aujourd'hui. » Thesis, Paris 1. <http://www.theses.fr/2005PA010623>.
- Bridge, Gavin, Stefan Bouzarovski, Michael Bradshaw et Nick Eyre. 2013. « Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. » *Energy Policy* 53: 331-340. doi:10.1016/j.enpol.2012.10.066.
- Buclet, Nicolas. 2015. *Essai d'écologie territoriale*. Sous la dir. de Buclet Nicolas. s.l.: CNRS Editions. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01254400>.
- Buclet, Nicolas, Gilles Debizet, Caroline Gauthier, Fabrice Forest, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Patrice Schneuwly et Antoine Tabourdeau. 2016. « Quatre scénarios de coordination de l'énergie en milieu urbain à l'horizon 2040. » In *Scénarios de transition énergétique en ville : Acteurs, régulations, technologies*, sous la dir. de Gilles Debizet, La Documentation Française, 13-72. s.l.: Debizet G.
- Buhe, Catherine. 2008. « Quels dispositifs de co-pilotage ville/constructeurs? Atelier 1: Bourg les Valence. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 16 diapos. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pactegrenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Atelier1_Bourg-Les-Valence_C-BUHE.pdf.
- Bulkeley, Harriet, Vanesa Castán Broto et Anne Maassen. 2014. « Low-Carbon Transitions and the Reconfiguration of Urban Infrastructure. » *Urban Studies* 51 (7): 1471-1486. doi:10.1177/0042098013500089.
- Bulkeley, Harriet, Vanesa Castan Broto et Anne Maassen. 2011. « Governing urban low carbon transitions. » In *Cities and Low Carbon Transitions*, 29-41. Routledge Studies in Human Geography. s.l.: Routledge.
- Bulkeley, Harriet, Vanesa Castán Broto et Anne Maassen. 2014. « Low-Carbon Transitions and the Reconfiguration of Urban Infrastructure. » *Urban Studies* 51 (7): 1471-1486. doi:10.1177/0042098013500089.
- Bulkeley, Harriet, Simon Marvin, Mike Hodson et Vanesa Castan Broto. 2011. *Cities and Low Carbon Transitions*. Routledge Studies in Human Geography. s.l.: Routledge.
- Callon, Michel, Madeleine Akrich, Sophie Dubuisson-Quellier, Catherine Grandclément, Antoine Hennion, Bruno Latour, Alexandre Mallard, Cécile Méadel, Fabian Muniesa et Vololona Rabeharisoa. 2017. *Sociologie des agencements marchands : Textes choisis*. Sciences sociales. Paris: Presses des Mines. <http://books.openedition.org/pressesmines/2019>.
- Camagni, Roberto et D. Maillat. 2006. *Milieux innovateurs : Théorie et politiques*. s.l.: Economica. <https://re.public.polimi.it/handle/11311/552822#.W6opYn6YTOQ>.
- Carter, Timothy et Laurie Fowler. 2008. « Establishing green roof infrastructure through environmental policy instruments. » *Environmental management* 42 (1): 151-164. doi:10.1007/s00267-008-9095-5.
- Carvalho, Luís, Giuliano Mingardo et Jeroen Van Haaren. 2012. « Green Urban Transport Policies and Cleantech Innovations: Evidence from Curitiba, Göteborg and Hamburg. » *European Planning Studies* 20 (3): 375-396. doi:10.1080/09654313.2012.651801.
- Castleton, H.F., V. Stovin, S.B.M. Beck et J.B. Davison. 2010. « Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. » *Energy and Buildings* 42 (10): 1582-1591. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.004.
- Cirelli, Claudia, Fabrizio Maccaglia et Patrice Melé. 2017. « « L'incinérateur est trop près, la poubelle trop loin » : gérer les déchets en régime de proximité. » *Flux* (109-110): 61-72. doi:10.3917/flux1.109.0061.

- Coenen, Lars, Paul Benneworth et Bernhard Truffer. 2012. « Toward a spatial perspective on sustainability transitions. » *Research Policy* 41 (6). Special Section on Sustainability Transitions: 968-979. doi:10.1016/j.respol.2012.02.014.
- Coenen, Lars et Fernando J. Díaz López. 2010. « Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. » *Journal of Cleaner Production* 18 (12): 1149-1160. doi:10.1016/j.jclepro.2010.04.003.
- Coenen, Lars et Bernhard Truffer. 2012. « Places and Spaces of Sustainability Transitions: Geographical Contributions to an Emerging Research and Policy Field. » *European Planning Studies* 20 (3): 367-374. doi:10.1080/09654313.2012.651802.
- Cook-Patton, Susan C. et Taryn L. Bauerle. 2012. « Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. » *Journal of Environmental Management* 106: 85-92. doi:10.1016/j.jenvman.2012.04.003.
- Coutard, Olivier. 2002. *The Governance of Large Technical Systems*. s.l.: Routledge.
- . 2009. « Services urbains : la fin des grands réseaux. » In *Ecologies urbaines, Economica/Anthropos*, 102-129. Villes. s.l.: COUTARD O., LEVY J.-P. (dirs). <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-00580937>.
- Coutard, Olivier et Jonathan Rutherford. 2009. « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques « décentralisées ». » 76-77 (2): 6-13.
- . 2011. « The rise of post-networked cities in Europe? Recombining infrastructural ecological and urban transformations in low carbon transitions. » In *Cities and Low Carbon Transitions*, 107-125. Routledge studies in human geography. s.l.: Bulkeley, Castan Broto, Hodson, Marvin.
- . 2015. *Beyond the Networked City: Infrastructure Reconfigurations and Urban Change in the North and South*. s.l.: Routledge.
- Crevoisier, Olivier. 2010. « La pertinence de l'approche territoriale, The pertinence of the territorial approach. » *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* décembre (5): 969-985. doi:10.3917/rru.105.0969.
- Crouch, Colin et Helmut Voelzkow. 2009. *Innovation in Local Economies: Germany in Comparative Context*, 1 edition. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Cumo, Fabrizio, Davide Astiaso Garcia, Laura Calcagnini, Fabrizio Cumo, Flavio Rosa et Adriana Scarlet Sferra. 2012. « Urban policies and sustainable energy management. » *Sustainable Cities and Society* 4: 29-34. doi:10.1016/j.scs.2012.03.003.
- Czemiel Berndtsson, Justyna. 2010. « Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. » *Ecological Engineering* 36 (4): 351-360. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.
- Dagenais, Danielle, Isabelle Thomas et Sylvain Paquette. 2017. « Siting green stormwater infrastructure in a neighbourhood to maximise secondary benefits: lessons learned from a pilot project. » *Landscape Research* 42 (2): 195-210. doi:10.1080/01426397.2016.1228861.
- Debarbieux, Bernard. 1999. « Le territoire: Histoires en deux langues A bilingual (his-)story of territory. » In *Discours scientifique et contextes culturels. Géographies françaises à l'épreuve postmoderne*, Maison des Sciences de l'homme d'Aquitaine, 33-34. Bordeaux: s.n.
- Debizet (dir), Gilles, Stéphane La Branche et Fabrice Forest. 2013. « Projet de Recherche Ecoquartier NEXUS Energie Rapport intermédiaire N° 2. » Rapport de recherche 2. Grenoble: ADEME, CNRS, Université Grenoble Alpes, CEA, Grenoble Ecole de Management.
- Debizet, Gilles. 2004. « Déplacements urbains de personnes : de la planification des transports à la gestion durable de la mobilité. Mutations d'une expertise. » Phdthesis, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00006468/document>.

- . 2007. « Les projets ferroviaires des Régions dans les aires métropolitaines. Des histoires d'arènes. » In *Six Régions à l'épreuve des politiques de transport Décentralisation, régionalisation ferroviaire et différenciation territoriale*, sous la dir. de Mariane Trigalo, INRETS, 232. Synthèse n° 55. s.l.: Ollivier-Trigalo Marianne. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00349156>.
- . 2008a. « Quels dispositifs de copilotage villes/constructeurs ? » présenté à Colloque Villes et constructeurs : vers un copilotage de la QEB, 10 juin, Grenoble. http://halshs.archives-ouvertes.fr/view_by_stamp.php?&halsid=04kq2hpmg8gglnjgp7ae4kd91&label=SHS&langue=en&action_todo=view&id=halshs-00389318&version=1&view=extended_view.
- . 2008b. « Quels dispositifs de copilotage villes/constructeurs ? Atelier 2 : Echirolles. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 17 diapos. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Ateliers2_Echirolles_Gilles_DEBIZET.pdf.
- . 2010. « Crise ou mutation de l'expertise en transport et mobilité ? » In *Action publique face à la mobilité*, L'harmattan, 139-162. s.l.: Kaufman, Gallez, Vincent, Maksim. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00699354>.
- . 2011a. « L'évolution de la modélisation des déplacements urbains en France 1960-2005, The evolution of modelling of intra-urban mobility in France, 1960-2005 : the influence of the institutional organization of transport. » *Flux* (85-86): 8-21. doi:10.3917/flux.085.0008.
- . 2011b. « Adaptation des acteurs de la construction à l'injonction de lutte contre le changement climatique De la démarche HQE à la Réglementation thermique 2012. » In *pas d'actes*. Ministère du développement durable, Paris La Défense: RAMAU.
- . 2011c. « La rénovation énergétique des bâtiments en France entre marché, actions territoriales et dispositions nationales. » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* (Vol. 2, n° 1). doi:10.4000/developpementdurable.8856. <http://developpementdurable.revues.org/8856>.
- . 2011d. « Rapport sur l'atelier 1 : Ilots de chaleur, puits de fraîcheur, mesures urbaines. » In *L'ambiance est dans l'air*, sous la dir. de Cintia Okamura Nicolas Tixier Damien Masson, 24-27. s.l.: CRESSON. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00827177>.
- . 2012a. « Représenter les ilots de chaleur urbains : pourquoi et comment ? » In *Journées Jacques Cartier de l'IUL, Adaptation au changement climatique et politiques urbaines : approches comparées*. Lyon, France: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00827185>.
- . 2012b. « Chaleur : adapter la ville ou réguler son adaptation. » In *Journées Jacques Cartier de l'IUL, Adaptation au changement climatique et politiques urbaines : approches comparées*. Lyon, France: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00827184>.
- . 2012c. « PUBLIC AUTHORITIES CHALLENGE TO IMPLEMENT ENERGY RENOVATION OF CONDOMINIUM BUILDINGS IN FRANCE. » In *COBRA-2012 Proceedings*. s.l.: s.n. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00745682>.
- . 2012d. « Bâtiment et climat : la guerre des normes n'aura pas lieu. » *Métropolitiques*: www.metropolitiques.eu/Batiment-et-climat-la-guerre-des.html.
- . 2013a. « Des acteurs des territoires s'adaptent : que les autorités publiques en tiennent compte pour élaborer les plans d'adaptation. » In *Journées ECCOREV Changements climatiques et littoraux*. Aix-en-Provence, France: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00827190>.
- . 2013b. « Le copilotage concerté comme outil de densification de la ville par des maîtres d'ouvrage privés. » In *L'implication des habitants dans la fabrication de la ville Métiers et pratiques en question*, Edition de la Villette, 255-266. Cahier RAMAU 6. Paris, France: Biau V., Fenker M., Macaire E. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00920408/document>.

- . 2013c. « Représentation de l'îlot de Chaleur Urbain : limites de la thermographie aérienne et raisons de son succès. » In *Colloque Territoires vulnérables, villes résilientes : quelle adaptation possible dans le contexte des changements climatiques ?* Montréal, Canada: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00920421>.
- . 2014. « Chemins de l'innovation urbaine. » Report. s.l.: Université Grenoble Alpes ; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01875048>.
- . 2015a. « Les chemins de l'innovation ou comment des instances supra-locales accélèrent les innovations en matière d'urbanisme durable ? » In *Observation de la recherche sur le développement durable de la ville*. Paris, France: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773410>.
- . 2015b. « Les spécificités et nécessités politiques de déploiement des toits verts dans les villes américaines. » *ARQ Architecture Québec* (171). *Roofscape Le toit épiderme urbain aérien*: 28-31.
- . 2015c. « Diffusion diversifiée de trois types de modèles durables : dispositif technique, performance et démarche. » In *Normes d'habitat : transformations et recompositions du champ. N°2 : Production et reproduction des normes*. Paris, France: Yankel Fijalkow, CRH Lavue. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773385>.
- . 2015d. « Prescription ne fait pas loi, les "green roofs" dans les villes américaines. » In *Architecture et urbanisme durables Modèles et savoirs*, Edition de la Villette, 67-87. Cahier RAMAU. s.l.: Debizet G., Godier P. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01248086/document>.
- . 2016. *Scénarios de transition énergétique en ville : acteurs, régulations, technologies*. Paris, France: La Documentation Française. http://www.ladocumentationfrancaise.fr/ouvrages/9782110100252-scenarios-de-transition-energetique-en-ville#book_author.
- Debizet, Gilles et Odile Blanchard. 2015. *Energies en (éco)quartier*. s.l.: s.n. <http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01112772>.
- Debizet, Gilles, Nicolas Buclet et Caroline Gauthier. 2013. « Conclusion. » In *Debizet G. (dir) Rapport intermédiaire n°2 Projet de recherche Ecoquartier NEXUS Energie*, 134-139, non publié. Grenoble: s.n.
- Debizet, Gilles, Antoine Dore et Stéphane La Branche. 2013. « Méthodologie de construction et d'exploitation du corpus d'entretiens. » In *Projet de recherche Ecoquartier Nexus Energie Rapport intermédiaire n°2*, sous la dir. de Gilles Debizet, Stéphane La Branche, et Fabrice Forest, (non publié), 28-44. Grenoble: s.n.
- Debizet, Gilles et Patricia Dubois. 2011. « S'adapter à l'adaptation ? Mobilisation des acteurs et recours à l'expertise dans l'élaboration des PCET. » In *Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation*, sous la dir. de Université Paul Verlaine-Metz, 10. Metz, France: Université Paul Verlaine - Metz. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00699310>.
- Debizet, Gilles et Eric Henry. 2009. « Qualités en conception, concurrence et management de la qualité. » In *La qualité architecturale Acteurs en enjeux*, Edition de la Villette. Cahiers RAMAU 5. s.l.: Biau V. et Lautier F. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00385656/document>.
- Debizet, Gilles et Stéphane La Branche. 2019. « Scénarios de transition énergétique : les vertus critiques d'une approche par acteur-pivot. » In *La transition énergétique Un défi pour les sciences humaines et sociales*, sous la dir. de Vincent Baggioni, Céline Burger, Joseph Cacciari, et Marie Mangold. s.l.: s.n.
- Debizet, Gilles, Stéphane La Branche et Antoine Tabourdeau. 2016. « Transition énergétique dans les espaces urbanisés Composer avec - ou recomposer - les régimes de l'énergie. » In *Scénarios de transition énergétique en ville. Acteurs Régulations, Technologies*, La Documentation Française, pp73-108. s.l.: Gilles Debizet. <http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01276141>.

Debizet, Gilles et Martin Symes. 2008. « Expertise and Methodology in Building Design for Sustainable Development. » In *Sustainable Urban Development Volume 4 Changing Professional Practice*, sous la dir. de Ian Cooper & Martin Symes, 197-228. s.l.: Routledge. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00920510>.

Debizet, Gilles et Antoine Tabourdeau. 2013. « Mise au point des NSE innovants et conditions de leur généralisation. » In *Projet de recherche Ecoquartier Nexus Energie Rapport intermédiaire n°2*, sous la dir. de Gilles Debizet, Stéphane La Branche, et Fabrice Forest, (non publié), 45-57. Grenoble: s.n.

———. 2018. « Making Compatible Energy Planning with Urban Decision-Making: Socio-Energy Nodes and Local Configuration. » In *Eco-Design in Electrical Engineering*, sous la dir. de Jean-Luc Bessède, 51-62. Lecture Notes in Electrical Engineering. s.l.: Springer International Publishing.

Debizet, Gilles, Antoine Tabourdeau, Caroline Gauthier et Philippe Menanteau. 2016a. « Spatial processes in urban energy transitions: considering an assemblage of Socio-Energetic Nodes. » *Journal of Cleaner Production*.

———. 2016b. « Spatial processes in urban energy transitions: considering an assemblage of Socio-Energetic Nodes. » *Journal of Cleaner Production* 134, Part A. Special Volume: Transitions to Sustainable Consumption and Production in Cities: 330-341. doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.140.

Del Biaggio, Cristina. 2016. « Territory beyond the Anglophone Tradition: » 568.

Deleuze, Gilles et Félix Guattari. 1980. *Capitalisme et schizophrénie 2 : Mille plateaux*, Les Editions de minuit. Critique. Paris, France: s.n. http://www.leseditionsdeminuit.fr/livre-Capitalisme_et_schizophr%C3%A9nie_2__Mille_plateaux-2015-1-1-0-1.html.

Dewald, Ulrich et Bernhard Truffer. 2012. « The Local Sources of Market Formation: Explaining Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. » *European Planning Studies* 20 (3): 397-420. doi:10.1080/09654313.2012.651803.

Dijst, Martin, Ernst Worrell, Lars Böcker, Paul Brunner, Simin Davoudi, Stan Geertman, Robert Harmsen, Marco Helbich, Albert A. M. Holtslag, Mei-Po Kwan, Barbara Lenz, Glenn Lyons, Patricia L. Mokhtarian, Peter Newman, Adriaan Perrels, Ana Poças Ribeiro, Jesus Rosales Carreón, Giles Thomson, Diana Urge-Vorsatz et Marianne Zeyringer. 2018. « Exploring urban metabolism—Towards an interdisciplinary perspective. » *Resources, Conservation and Recycling* 132: 190-203. doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.014.

Donzel, Valérie et Alexandre Flueckiger. 1999. « Le droit de l'urbanisme en Suisse. » *Annuaire français du droit de l'urbanisme et de l'habitat*: 571-599.

Dosi, Giovanni, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerald Silverberg et Luc Soete. 1988. *Technical Change and Economic Theory*. s.l.: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy. <https://econpapers.repec.org/bookchap/ssalembks/dosietal-1988.htm>.

Dufresnes, Emmanuel, Catherine Buhe, Etienne Wurtz, Gilbert Achard et Gilles Debizet. 2008. « Modélisation du système de management urbain durable. » In *XXVIèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil*. Nancy, France: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00699348>.

Dufresnes, Emmanuel, Catherine Buhe, Etienne Wurtz, Gilbert Achard, Gilles Debizet et Sylviane Nibel. 2008. « Modelling a sustainable urban management system. » In *World Sustainable Building Conference*, Volume 2: fichier numérique indexé par auteurs. Melbourne, Australia: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00349288>.

Dupuy, Gabriel. 1990. *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*. s.l.: Armand Colin. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00438867>.

———. 2011. « Fracture et dépendance: l'enfer des réseaux? » *Flux* 83 (1): 6-23.

Dupuy, Gabriel, Jeroen Van Schaick et Ina T Klaasen. 2008. *Urban Networks: Network Urbanism*. Vol. 7. s.l.: Techne Press Amsterdam.

Durand, Mathieu, Jean-Baptiste Bahers, Thomas Bonierbale, Hélène Beraud et Bruno Barroca. 2016. « Vers une économie circulaire... de proximité ; Métabolisme urbain, empreinte environnementale et politique de gestion des déchets. » Research Report. s.l.: ADEME. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01662474>.

Durand Lucas, Pierre-Antoine Landel. L'émergence de l'opérateur territorial de l'énergie. *Géocarrefour - Revue de géographie de Lyon*, Association des amis de la revue de géographie de Lyon, 2015, Les campagnes dans la transition énergétique, 90 (4), pp.361-369. [10.4000/geocarrefour.9980](https://doi.org/10.4000/geocarrefour.9980). [halshs-01439831](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01439831)

Elzen, Boelie, Frank W. Geels et Kenneth Green. 2004. *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*. s.l.: Edward Elgar Publishing.

Emelianoff, Cyria. 2007. « Les villes européennes face au changement climatique. Une rétrospective. » *Les Annales de la Recherche Urbaine* 103 (1): 159-169. doi:10.3406/aru.2007.2726.

———. 2010. « La ville durable : l'hypothèse d'un tournant urbanistique en Europe, The sustainable city: a turning-point in european urban planning?Abstract. » *L'Information géographique* 71 (3): 48-65.

———. 2015. « La ville durable : questions à la recherche. » In *Architecture et urbanisme durables. Modèles et savoirs*, Editions de la Villette, n°7:266-275. Cahiers RAMAU. s.l.: G. Debizet et P. Godier.

Farias, Ignacio. 2010. « Introduction: decentring the object of urban studies. » In *Urban Assemblages: How Actor-Network Theory Changes Urban Studies*, Routledge. s.l.: Ignacio Farias and Thomas Bender.

Flichy, Patrice. 1995. *L'innovation technique, Récents développements en sciences sociales vers une nouvelle théorie de l'innovation.*, Editions La Découverte. Sciences et société. s.l.: s.n.

Frantzeskaki, Niki, Vanesa Castan Broto, Lars Coenen et Derk Loorbach. 2017. *Urban Sustainability Transitions*. Studies in Sustainability Transitions. s.l.: Routledge. <https://www.crcpress.com/Urban-Sustainability-Transitions/Frantzeskaki-Broto-Coenen-Loorbach/p/book/9780415784184>.

Freeman, Christopher. 1988. « Japan : A new national system of innovation? » In *Technical change and economic theory*. s.l.: s.n.

Gabillet, Pauline. 2015a. « Energy supply and urban planning projects: Analysing tensions around district heating provision in a French eco-district. » *Energy Policy* 78: 189-197. doi:10.1016/j.enpol.2014.11.006.

———. 2015b. « Les entreprises locales de distribution à Grenoble et Metz : des outils de gouvernement énergétique urbain partiellement appropriés. » Phdthesis, Université Paris-Est. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01357860/document>.

Gago, E.J., J. Roldan, R. Pacheco-Torres et J. Ordóñez. 2013. « The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. » *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 749-758. doi:10.1016/j.rser.2013.05.057.

Gauthier, Caroline et Sylvie Blanco. 2013. « Dynamique des modèles d'affaires : émergence de « design dominants » ? » In *Projet de recherche Ecoquartier Nexus Energie Rapport intermédiaire n°2*, sous la dir. de Gilles Debizet, Stéphane La Branche, et Fabrice Forest, (non publié), 89-107. Grenoble: s.n.

Gauthier, Caroline, Sylvie Blanco et Gilles Debizet. 2016. « Modèles d'affaires et innovations énergétiques urbaines. » In *Scénarios de transition énergétique en ville Acteurs Régulations Technologies*, sous la dir. de Gilles Debizet, 127-138. s.l.: La Documentation Française. <http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01276142>.

Gauthier, Caroline, Sylvie Blanco et Céline Jullien. 2015. « Écoquartiers et nœuds socio-énergétiques : transformation des modèles d'affaires. » *Innovatio* (2). <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=117>.

Gauthier, Caroline et Bettina Gilomen. 2016. « Business Models for Sustainability Energy Efficiency in Urban Districts. » *Organization & Environment* 29 (1): 124-144. doi:10.1177/1086026615592931.

- Geels, Frank et J. Jasper Deuten. 2006. « Local and Global Dynamics in Technological Development: A Socio-Cognitive Perspective on Knowledge Flows and Lessons from Reinforced Concrete. » *Science and Public Policy* 33 (4): 265-275. doi:10.3152/147154306781778984.
- Geels, Frank et René Kemp. 2000. « Transities vanuit sociotechnisch perspectief. » The Hague: Dutch Ministry of Environment.
- Geels, Frank et Rob Raven. 2006. « Non-linearity and Expectations in Niche-Development Trajectories: Ups and Downs in Dutch Biogas Development (1973–2003). » *Technology Analysis & Strategic Management* 18 (3-4): 375-392. doi:10.1080/09537320600777143.
- Geels, Frank W. 2002. « Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. » *Research Policy* 31 (8–9). NELSON + WINTER + 20: 1257-1274. doi:10.1016/S0048-7333(02)00062-8.
- . 2005. *Technological Transitions And System Innovations: A Co-Evolutionary And Socio-Technical Analysis*. s.l.: Edward Elgar Publishing.
- . 2010. « The role of cities in technological transitions: Analytical clarifications and historical examples. » In *Cities and Low Carbon Transitions*, 13-28. s.l.: Routledge.
- . 2011. « The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (1): 24-40. doi:10.1016/j.eist.2011.02.002.
- Geels, Frank W. et Johan Schot. 2007. « Typology of sociotechnical transition pathways. » *Research Policy* 36 (3): 399-417. doi:10.1016/j.respol.2007.01.003.
- Graham, Stephen et Simon Marvin. 2001. *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition*. s.l.: Routledge.
- Grudet, Isabelle. 2015a. « Le « moment écoquartier » en France. Expérimentations et labellisation. » In *Architecture et urbanisme durables. Modèles et savoirs*, Editions de la Villette, n°7:22-37. Cahiers RAMAU. s.l.: G. Debizet et P. Godier.
- . 2015b. « Le moment écoquartier en France. Expérimentations et labellisation. » In *Architecture et urbanisme durables Modèles et savoirs*, Edition de la Villette. Cahiers RAMAU 7. Paris, France: Debizet G., Godier P. <http://www.ramau.archi.fr/spip.php?rubrique12>.
- Gumuchian, Hervé et Bernard Pecqueur. 2007. *La ressource territoriale*, Anthropos. Economica. s.l.: s.n. <https://www.decitre.fr/livres/la-ressource-territoriale-9782717852530.html>.
- Guy, Simon et Andrew Karvonen. 2015. « District Heating Comes to Ecotown Zero Carbon Housing and the Rescaling of UK Energy Provision. » In *Beyond the Networked City: Infrastructure Reconfigurations and Urban Change in the North and South*, 204-226. s.l.: Routledge.
- Haller, Hélène. 2018. « Le désintérêt des concepteurs de bâtiments performants envers les comportements énergétiques des habitants : stratégie défensive de leurs savoirs ? » In *Atelier doctorants RT9 – AFS – “ Normes et usages de la ville : quand les pratiques sociales interrogent les modalités de production urbaine .”* Paris, France: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01743493>.
- Haller, Hélène, Gilles Debizet et Nicolas Buclet. 2017. « Le concepteur de bâtiments performants, entre prescriptions des autorités publiques et labellisation volontaire. » In *Ville durable : regards croisés France Colombie*. Lyon, France: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773349>.
- Hampikian, Zélia. 2015. « Recovering or sharing energy: towards new sociotechnical forms for urban energy supply? » In *Sciences sociales et transitions énergétiques*. Grenoble, France: PACTE and CIREC. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01223765>.
- . 2017a. « De la distribution aux synergies ? : Circulations locales d'énergie et transformations des processus de mise en réseau de la ville. » Phdthesis, Université Paris-Est. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01586025/document>.

- . 2017b. « Distribuer la chaleur fatale des entreprises : la construction dynamique d'un réseau d'énergie décarbonée, entre flux et infrastructure. » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* (Vol. 8, n°2). doi:10.4000/developpementdurable.11736. <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11736>.
- . 2017c. « Structuration urbaine d'un réseau de chaleur et énergie fatale : la proximité comme variable dynamique. » *Flux* (109-110): 9-22. doi:10.3917/flux1.109.0009.
- Hansen, Teis et Lars Coenen. 2015. « The geography of sustainability transitions: Review, synthesis and reflections on an emergent research field. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 17: 92-109. doi:10.1016/j.eist.2014.11.001.
- Henry, Eric. 2008. « L'expérience de Grenoble depuis 2006. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 15 diapos. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Atelier3_Grenoble_Eric_HENRY.pdf.
- Henry, Eric, Stéphanie Abrial, Julie Codet-Boisset, Gilles Debizet, Magali Paris et Marie Puybaraud. 2006. « Expertises, compétences et gestion de projets de construction durables. » Rapport de recherche CRISTO/PACTE (Grenoble) et UWE (Bristol) contrat BC 03 00 829. s.l.: METLTM PUCA.
- Hodson, Michael, Simon Marvin et Harriet Bulkeley. 2013. « The Intermediary Organisation of Low Carbon Cities: A Comparative Analysis of Transitions in Greater London and Greater Manchester. » *Urban Studies* 50 (7): 1403-1422. doi:10.1177/0042098013480967.
- Hodson, Mike et Simon Marvin. 2007. « Londres et la technologie de l'hydrogène. Les villes comme médiatrices dans la transition énergétique. » *Les Annales de la recherche urbaine* 103 (1): 180-188. doi:10.3406/aru.2007.2728.
- . 2010. « Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were? » *Research Policy* 39 (4). Special Section on Innovation and Sustainability Transitions: 477-485. doi:10.1016/j.respol.2010.01.020.
- . 2012. « Cities Mediating Technological Transitions. » In *Shaping Urban Infrastructures: Intermediaries and the Governance of Socio-Technical Networks*, 53-70. s.l.: Routledge.
- Hopkins, Terence K. et Immanuel Wallerstein. 1986. « Commodity Chains in the World-Economy Prior to 1800. » *Review (Fernand Braudel Center)* 10 (1): 157-170.
- Hugues, Thomas. 1983. *Electrification in Western Society 1880-1930*, John Hopkins University Press. Baltimore MD: s.n.
- Huré, Maxime. 2012. « Une action publique hybride ? Retour sur l'institutionnalisation d'un partenariat public-privé, JCDecaux à Lyon (1965–2005). » *Sociologie du Travail* 54 (2): 233-253. doi:10.1016/j.sotra.2012.03.022.
- Jørgensen, Ulrik. 2012. « Mapping and navigating transitions—The multi-level perspective compared with arenas of development. » *Research Policy* 41 (6). Special Section on Sustainability Transitions: 996-1010. doi:10.1016/j.respol.2012.03.001.
- Judd, Dennis R. et Dick W. Simpson. 2011. *The City, Revisited: Urban Theory from Chicago, Los Angeles, and New York*. s.l.: U of Minnesota Press.
- Kaika, Maria. 2005. *City of Flows: Modernity, Nature, and the City*. New York: Routledge.
- Karnøe, Peter. 1999. « When Low-Tech Becomes High-Tech: The Social Construction of Technological Learning Processes in the Danish and the American Wind Turbine Industry. » *Mobilizing Resources and Generating Competencies: The Remarkable Success of Small and Medium-Sized Enterprises in the Danish Business System*: 139-184.
- Katia Cristina, Garcia et Gilles Debizet. 2015. « Water and energy: thinking about adaptation to climate change in the electricity sector in Brasil. » In *XXI symposio brasileiro de recursos hidricos*. Brasilia, Brazil: ABRH. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773390>.

———. 2016. « What can Brazilian power companies learn from the French experience when developing their climate change adaptation strategy? » In *22nd International Sustainable Development Research Society Conference*. Lisboa, Portugal: s.n. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01773391>.

Kaufmann, Jean-Claude et François de Singly. 2007. *L'entretien compréhensif*. Paris: Armand Colin.

Kemp, René, Johan Schot et Remco Hoogma. 1998. « Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. » *Technology Analysis & Strategic Management* 10 (2): 175-198. doi:10.1080/09537329808524310.

Kim, Eunhye et Sabine Barles. 2012. « The Energy Consumption of Paris and Its Supply Areas from the Eighteenth Century to the Present. » *Regional Environmental Change* 12 (2): 295-310. doi:10.1007/s10113-011-0275-0.

Kleerekoper, Laura, Marjolein van Esch et Tadeo Baldiri Salcedo. 2012. « How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. » *Resources, Conservation and Recycling* 64: 30-38. doi:10.1016/j.resconrec.2011.06.004.

La Branche, Stéphane. 2013. « Gouvernance : Mobilisation Politique et Coordination des Acteurs. » In *Projet de recherche Ecoquartier Nexus Energie Rapport intermédiaire n°2*, sous la dir. de Gilles Debizet, Stéphane La Branche, et Fabrice Forest, (non publié), 58-71. Grenoble: s.n.

———. 2015a. « Innovations dans les écoquartiers : quelques leçons pour la gouvernance de la transition énergétique. » *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Volume 14 Numéro 3). doi:10.4000/vertigo.15683. <http://vertigo.revues.org/15683>.

———. 2015b. « Gouvernance et jeux d'acteurs dans les écoquartiers. » *Innovatio La revue pluridisciplinaire en innovation* (2). <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=138>.

Labussière, Olivier. 2013a. « La gouvernance énergétique au prisme du financement européen. » In *Debizet G. (dir) Rapport intermédiaire n°2 Projet de recherche Ecoquartier NEXUS Energie*, 72-88, non publié. Grenoble: s.n.

———. 2013b. « La performance énergétique au prisme du financement européen. » In *Projet de recherche Ecoquartier Nexus Energie Rapport intermédiaire n°2*, sous la dir. de Gilles Debizet, Stéphane La Branche, et Fabrice Forest, (non publié), 72-88. Grenoble: s.n.

———. 2015. « La performance énergétique des bâtiments à l'ère des politiques européennes de démonstration. Le cas du programme CONCERTO et du projet de la ZAC De Bonne (Grenoble, France). » *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Volume 14 Numéro 3). doi:10.4000/vertigo.15671. <http://vertigo.revues.org/15671>.

Landel Pierre-Antoine, Lucas Durand. 2015. Vers un opérateur territorial de l'énergie., <http://www.territoires-energie-positive.fr/opinions/vers-un-operateur-territorial-de-l-energie>. ([hal-01255150](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01255150))

Larrue, Corinne. 2018. « Chapitre 33. Politique d'aménagement du territoire et développement durable. » In *Développement durable et territoire : Nouvelle édition originale*, sous la dir. de Bertrand Zuindeau, 411-420. Environnement et société. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion. <http://books.openedition.org/septentrion/15445>.

Latour, Bruno. 2007a. *Reassembling the Social - An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford University Press. s.l.: s.n. <https://global.oup.com/academic/product/reassembling-the-social-9780199256051?q=latour&lang=en&cc=fr>.

———. 2007b. *Changer de société, refaire de la sociologie*. Poche/Sciences humaines et sociales. Paris: La Découverte. <https://www.cairn.info/changer-de-societe-refaire-de-la-sociologie--9782707153272.htm>.

Law, John et Michel Callon. 1992. « The Life and Death of an Aircraft: A Network Analysis of Technical Change. » In *Shaping Technology/ Building Society: Studies in sociotechnical changes*, MIT Press. Cambridge, Mass: s.n.

- Le Cardinal, G., J.F. Guyonnet, B. Pouzoullic et J. Rigby. 2001. « Theory and methodology. Intervention methodology for complex problems: The FACt-Mirror method. » *European Journal of Operational Research* (132): 694-702.
- van Lente, Harro, Marko Hekkert, Ruud Smits et Bas van Waveren. 2003. « Roles of Systemic Intermediaries in Transition Processes. » *International Journal of Innovation Management* 07 (03): 247-279. doi:10.1142/S1363919603000817.
- Levy, Jacques et Michel Lussault. 2013. *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, édition revue et augmentée. Paris: BELIN LITTÉRATURE ET REVUES.
- Liu, Karen et Baskaran. 2003. « Thermal performance of green roofs through field evaluation. » In *First annual greening Rooftops for sustainable communities conference*. Vol. Track 3.1. CD. Chicago, USA: Green roof for healthy Cities.
- Longhurst, Noel. 2015. « Towards an 'alternative' geography of innovation: Alternative milieu, socio-cognitive protection and sustainability experimentation. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 17: 183-198. doi:10.1016/j.eist.2014.12.001.
- Loorbach, Derk, Julia M. Wittmayer, Hideaki Shiroyama, Junichi Fujino et Satoru Mizuguchi. 2016. *Governance of Urban Sustainability Transitions: European and Asian Experiences*. s.l.: Springer.
- Lopez, Fanny. 2015. *Le Rêve d'une déconnexion*, La Villette Eds De. s.l.: s.n. <http://livre.fnac.com/a5916276/Fanny-Lopez-Le-Reve-d-une-deconnexion>.
- Lopez, Fanny et Bouton, Alexandre. 2015. « LES MICRO-SYSTÈMES TECHNIQUES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE. » *Urbanités*. <http://www.revue-urbanites.fr/6-les-micro-systemes-techniques-de-la-transition-energetique/>.
- Maitre, Julie, Nathalie Racineux, Florence Drouy et Olivier Bachelard. 2015. « 24 heures dans la vie d'un écoquartier en 2020. Récits des collectivités candidates à l'appel à projets EcoQuartier 2011. » In *Architecture et urbanisme durables. Modèles et savoirs*, Editions de la Villette, n°7:88-99. Cahiers RAMAU. s.l.: G. Debizet et P. Godier.
- Marcou, G., François-Mathieu Poupeau et C. Staropoli. 2013. « Collectivités territoriales et énergie : ambitions et contradictions. » <http://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-00942764>.
- Markard, Jochen, Rob Raven et Bernhard Truffer. 2012. « Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. » *Research Policy* 41 (6). Special Section on Sustainability Transitions: 955-967. doi:10.1016/j.respol.2012.02.013.
- McCormick, Kes, Stefan Anderberg, Lars Coenen et Lena Neij. 2013. « Advancing sustainable urban transformation. » *Journal of Cleaner Production* 50. Special Issue: Advancing sustainable urban transformation: 1-11. doi:10.1016/j.jclepro.2013.01.003.
- McFarlane, Colin et Ben Anderson. 2011. « Thinking with assemblage. » *Area* 43 (2): 162-164. doi:10.1111/j.1475-4762.2011.01012.x.
- Mees, Heleen L.P., Peter P.J. Driessen, Hens A.C. Runhaar et Jennifer Stamatelos. 2013a. « Who governs climate adaptation? Getting green roofs for stormwater retention off the ground. » *Journal of Environmental Planning and Management* 56 (6): 802-825. doi:10.1080/09640568.2012.706600.
- . 2013b. « Who governs climate adaptation? Getting green roofs for stormwater retention off the ground. » *Journal of Environmental Planning and Management* 56 (6): 802-825. doi:10.1080/09640568.2012.706600.
- Menanteau, Philippe et Odile Blanchard. 2014a. « Quels systèmes énergétiques pour les éco-quartiers ? Une première comparaison France-Europe. » *Revue de l'Energie* (n° 622).
- Mitchell, Ronald K., Bradley R. Agle et Donna J. Wood. 1997. « Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. » *Academy of Management Review* 22 (4): 853-886. doi:10.5465/AMR.1997.9711022105.

- Mongear, Laëtitia. 2017. « De la démolition à la production de graves recyclées : analyse des logiques de proximité d'une filière dans l'agglomération lyonnaise. » *Flux* (108): 64-79. doi:10.3917/flux1.108.0064.
- Moss, Timothy. 2012. « Intermediaries and the Governance of Urban Infrastructures in Transition. » In *Shaping Urban Infrastructures: Intermediaries and the Governance of Socio-Technical Networks*, 17-35. s.l.: Routledge.
- . 2014. « Socio-Technical Change and the Politics of Urban Infrastructure: Managing Energy in Berlin between Dictatorship and Democracy. » *Urban Studies* 51 (7): 1432-1448. doi:10.1177/0042098013500086.
- Moss, Timothy, Sören Becker et Ludger Gailing. 2016. « Energy Transitions and Materiality: Between Dispositives, Assemblages and Metabolisms. » In *Conceptualizing Germany's Energy Transition*, 43-68. s.l.: Palgrave Pivot, London. doi:10.1057/978-1-137-50593-4_4. https://link.springer.com/chapter/10.1057/978-1-137-50593-4_4.
- Moss, Timothy et Maria Francesch-Huidobro. 2016. « Realigning the electric city. Legacies of energy autarky in Berlin and Hong Kong. » *Energy Research & Social Science* 11: 225-236. doi:10.1016/j.erss.2015.10.002.
- Moss, Timothy, Simon Guy, Simon Marvin et Will Medd. 2012. « Intermediaries and the Reconfiguration of Urban Infrastructures: An Introduction. » In *Shaping Urban Infrastructures: Intermediaries and the Governance of Socio-Technical Networks*, 1-14. s.l.: Routledge.
- Moulaert, Frank et Farid Sekia. 2003. « Territorial Innovation Models: A Critical Survey. » *Regional Studies* 37 (3): 289-302. doi:10.1080/0034340032000065442.
- Mounet, Coralie. 2014. « Le social et le spatial Les humains et les non-humains, les dynamitent, les dispersent, les ventilent aux quatre coins du territoire. » In *L'effet Latour*, 105-136. Paris: Editions Glyphé.
- Müller, Martin. 2015. « Assemblages and Actor-Networks: Rethinking Socio-Material Power, Politics and Space. » *Geography Compass* 9 (1): 27-41. doi:10.1111/gec3.12192.
- Murphy, James T. 2015. « Human geography and socio-technical transition studies: Promising intersections. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 17: 73-91. https://drive.google.com/drive/folders/0Bz_0FQV51sVbMEpLTIN1X1QwN1k. doi:10.1016/j.eist.2015.03.002.
- Nadou, Fabien. 2013. « Intermédiation territoriale et spatialisation des activités économiques : cohérences et contradictions de l'action publique locale : investigation par la planification stratégique. » Université de Tours. <http://www.theses.fr/181148218>.
- Nelson, Richard R. et Sidney G. Winter. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press. Cambridge, Mass: s.n.
- Nevens, Frank, Niki Frantzeskaki, Leen Gorissen et Derk Loorbach. 2013. « Urban Transition Labs: co-creating transformative action for sustainable cities. » *Journal of Cleaner Production* 50. Special Issue: Advancing sustainable urban transformation: 111-122. doi:10.1016/j.jclepro.2012.12.001.
- Offner, Jean-Marc. 2006. *Les plans de déplacements urbains*. Le point sur. s.l.: La Documentation française. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00439043>.
- Ostrom, Elinor. 1990. *Governing the Commons The Evolution of Institutions for Collective Action*. s.l.: Cambridge University Press.
- Pecqueur, Bernard et Jean-Benoît Zimmermann. 2004. *Economie de proximités*, Hermès-Lavoisier. s.l.: s.n.
- Peng, Lilliana et C. Jim. 2013. « Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation. » *Energies* 6 (2): 598-618. doi:10.3390/en6020598.

- Pflieger, Géraldine. 2003. « Consommateur, client, citoyen : l'utilisateur dans les nouvelles réglementations des services de réseaux. Les cas de l'eau, de l'électricité et des télécommunications en France. » Phdthesis, Ecole des Ponts ParisTech. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00005758/document>.
- . 2008. « Les municipalités au cœur de la politique énergétique Suisse. Quel degré de politisation ? Entretien avec Daniel Brélaz. » *Flux* n° 72-73 (2): 126-133.
- Phillips, John. 2006. « Agencement/Assemblage. » *Theory, Culture & Society* 23 (2-3): 108-109. doi:10.1177/026327640602300219.
- Pinch, Trevor J et Wiebe E Bijker. 1987. « The social construction of facts and artifacts: Or how the sociology of. » *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology* 17.
- Plessis, Chrisna du. 2012. « Towards a regenerative paradigm for the built environment. » *Building Research & Information* 40 (1): 7-22. doi:10.1080/09613218.2012.628548.
- Poupeau, François-Mathieu. 2008. « Les entreprises locales d'énergie : la fin d'un levier d'action pour les villes françaises ? » *Annales de la Recherche Urbaine* (103): 153-158.
- . 2013. « Simples territoires ou actrices de la transition énergétique ? Les villes françaises dans la gouvernance multi-niveaux de l'énergie. » *URBIA* (n°15): 73-86.
- . 2017. *L'électricité et les pouvoirs locaux en France (1880-1980) : Une autre histoire du service public*, New. Bruxelles: Peter Lang.
- Pulido Barrera, Paola, Jesús Rosales Carreón et Hugo J. de Boer. 2018. « A multi-level framework for metabolism in urban energy systems from an ecological perspective. » *Resources, Conservation and Recycling* 132: 230-238. doi:10.1016/j.resconrec.2017.05.005.
- Quitau, Maj-Britt, Jens Stissing Jensen, Morten Elle et Birgitte Hoffmann. 2013a. « Sustainable urban regime adjustments. » *Journal of Cleaner Production* 50. Special Issue: Advancing sustainable urban transformation: 140-147. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.042.
- . 2013b. « Sustainable urban regime adjustments. » *Journal of Cleaner Production* 50. Special Issue: Advancing sustainable urban transformation: 140-147. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.042.
- Raffestin, Claude. 1986. « Ecogenèse territoriale et territorialité: » 175-185.
- Rallet, Alain et André Torre. 1995. *Economie industrielle et économie spatiale*. Paris: Economica.
- Raven, Rob, Johan Schot et Frans Berkhout. 2012. « Space and scale in socio-technical transitions. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 4: 63-78. doi:10.1016/j.eist.2012.08.001.
- Raven, Rob et Geert Verbong. 2007. « Multi-Regime Interactions in the Dutch Energy Sector: The Case of Combined Heat and Power Technologies in the Netherlands 1970–2000. » *Technology Analysis & Strategic Management* 19 (4): 491-507. doi:10.1080/09537320701403441.
- Reverdy, Thomas. 2015a. *La construction politique du prix de l'énergie: Sociologie d'une réforme libérale*. s.l.: Presses de Sciences Po.
- Rip, Arie. 1995. « Introduction of new technology: making use of recent insights from sociology and economics of technology. » *Technology Analysis & Strategic Management* 7 (4): 417-432. doi:10.1080/09537329508524223.
- Rip, Arie et René Kemp. 1997. « Technological change. » In *Human choice and climate change : an international assessment*, 327-399. s.l.: Rayner et Malone.
- Rocher, Laurence. 2013. « Le chauffage urbain dans la transition énergétique : des reconfigurations entre flux et réseau, District heating and energy transition: reconfigurations between flow and network. » *Flux* (92): 23-35. doi:10.3917/flux.092.0023.
- Rogers, Everett M. 2003. *Diffusion of innovations* /, 5th ed. New York : Free Press,.

- Rotmans, Jan, René Kemp et Marjolein van Asselt. 2001. « More Evolution than Revolution: Transition Management in Public Policy. » *Foresight* 3 (1): 15-31. doi:10.1108/14636680110803003.
- Roux, Jean-Michel. 2008. « Atelier 4: La Motte-Servolex Quels dispositifs de copilotage ville/constructeurs ? » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 21 diapos. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Atelier4_La_motte_servolex_JM_ROUX.pdf.
- Rowe, D. Bradley. 2011. « Green roofs as a means of pollution abatement. » *Environmental Pollution* 159 (8-9): 2100-2110. doi:10.1016/j.envpol.2010.10.029.
- Rumpala, Yannick. 2013. « Formes alternatives de production énergétique et reconfigurations politiques. La sociologie des énergies alternatives comme étude des potentialités de réorganisation du collectif. » *Flux* N° 92 (2): 47-61.
- Rutherford, Jonathan et Olivier Coutard. 2014. « Urban Energy Transitions: Places, Processes and Politics of Socio-Technical Change. » *Urban Studies* 51 (7): 1353-1377. doi:10.1177/0042098013500090.
- Rydin, Yvonne. 2014. « The challenges of the “material turn” for planning studies. » *Planning Theory & Practice* 15 (4): 590-595. doi:10.1080/14649357.2014.968007.
- Rydin, Yvonne et Laura Tate. 2016. *Actor Networks of Planning: Exploring the Influence of Actor Network Theory*. s.l.: Routledge.
- Saadatian, Omidreza, K. Sopian, E. Salleh, C.H. Lim, Safa Riffat, Elham Saadatian, Arash Toudeshki et M.Y. Sulaiman. 2013. « A review of energy aspects of green roofs. » *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 155-168. doi:10.1016/j.rser.2013.02.022.
- Salomon, Thierry, Christian Couturier, Marc Jedliczka, Thomas Letz et Benoit Lebot. 2005. « A Negawatt Scenario for 2005 - 2050. » *Energy Savings: What Works and Who Delivers? Eceee Summer Study Proceedings. V. 1-3*. http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:36110820.
- Santoyo-Castelazo, Edgar et Adisa Azapagic. 2014. « Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. » *Journal of Cleaner Production* 80: 119-138. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.061.
- Schneuwly, Patrice, Gilles Debizet Grenoble-Alpes, PACTE, F.-38000 Grenoble et France. s.d. « Technologies de mobilisation des énergies renouvelables et de coordination énergétique dans les écoquartiers. » *Innovatio* (2). Consulté le 17 janvier 2015. <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=141>.
- Schumpeter. 1939. *Business cycles: A theoretical, Historical, and Statistical Analysis the Capitalist Process*, Mc-Graw-Hill. New York: s.n.
- Smedby, Nora et Lena Neij. 2013. « Experiences in urban governance for sustainability: the Constructive Dialogue in Swedish municipalities. » *Journal of Cleaner Production* 50. Special Issue: Advancing sustainable urban transformation: 148-158. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.044.
- Souami, Taoufik. 2007. « L'intégration des technologies énergétiques dans l'action urbaine. Éclairages théoriques d'expériences européennes. » *Les Annales de la Recherche Urbaine* 103 (1): 6-17. doi:10.3406/aru.2007.2709.
- . 2008. « Synthèse de l'Atelier 3 Grenoble Copilotage de la qualité environnementale. » In *Villes et Constructeurs, vers un co-pilotage de la qualité environnementale des projets*, 7. Institut de Géographie Alpine et Institut d'urbanisme Grenoble: s.n. http://www.pacte-grenoble.fr/wp-content/uploads/pdf_Synthese_atelier_Grenoble_Souami.pdf.
- . 2009b. *Ecoquartiers : secrets de fabrication : Analyse critique d'exemples européens*. Paris: Carnets de l'Info.

- Speak, A.F., J.J. Rothwell, S.J. Lindley et C.L. Smith. 2013. « Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. » *Urban Climate* 3: 40-55. doi:10.1016/j.uclim.2013.01.001.
- Star, Susan Leigh et James R. Griesemer. 1989. « Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. » *Social Studies of Science* 19 (3): 387-420. doi:10.1177/030631289019003001.
- Stryi-hipp, Gerhard. 2015. « 100% Renewable Energy Scenario for Frankfurt Am Main. » présenté à Future of Cities Forum 2015 World Future Council, 14 septembre, Beijing/ Tianjin , China ., https://www.researchgate.net/publication/282947393_100_Renewable_Energy_Scenario_for_Frankfurt_am_Main.
- Susca, T., S.R. Gaffin et G.R. Dell'Osso. 2011. « Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. » *Environmental Pollution* 159 (8-9): 2119-2126. doi:10.1016/j.envpol.2011.03.007.
- Swilling, Mark, Blake Robinson, Simon Marvin et Mike Hodson. 2014. *City-Level Decoupling: Urban Resource Flows and the Governance of Infrastructure Transitions*. s.l.: United Nations Environment Programme.
- Tabourdeau, Antoine. 2014. « Entre forêt et énergie : composer la transition. Le cas du bois-énergie en Auvergne et Rhône-Alpes. » Université de Grenoble. <http://www.theses.fr/2014GRENH005>.
- Tabourdeau, Antoine et Gilles Debizet. 2017. « Concilier ressources in situ et grands réseaux : une lecture des proximités par la notion de nœud socio-énergétique. » *Flux* 109-110 (3-4): 87-101. Cairn.info. doi:10.3917/flux1.109.0087.
- Tardieu, Charlotte. 2015. « Conditions for the implementation of the energy transition in urban development projects: a case study analysis. » Theses, Université Lille 1 Sciences et technologies. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01182210>.
- . 2017. « Approvisionnement en énergie des projets urbains : échelles et acteurs. Analyse des cas Paris Rive Gauche, Clichy-Batignolles et Paris Nord Est. » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* (Vol. 8, n°2). doi:10.4000/developpementdurable.11819. <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11819>.
- Torre, A. et Jean-Eudes Beuret. 2011. *Proximités territoriales*. s.l.: Economica. <https://hal-agrocampus-ouest.archives-ouvertes.fr/hal-00840985>.
- Torre, Andre et Alain Rallet. 2005. « Proximity and Localization. » *Regional Studies* 39 (1): 47-59. doi:10.1080/0034340052000320842.
- Torre, André et Bertrand Zuindeau. 2006. « Editorial Dossier 7 : Proximité et environnement. » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* (Dossier 7). <http://journals.openedition.org/developpementdurable/2735>.
- Tribout, Silvère. 2014. « L'affirmation d'une approche systémique de la durabilité. La construction de compétences à l'épreuve des pratiques des concepteurs. » In *Colloque international - Les compétences : un atout pour la fabrique démocratique de la ville ?* Saint-Denis, France: s.n. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01697730>.
- . 2015. « Designers in architecture, urbanism and landscape agencies in the face of sustainable development. » Theses, Université Paris Ouest - Nanterre - la Défense. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01578678>.
- Truffer, Bernhard et Lars Coenen. 2012. « Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. » *Regional Studies* 46 (1): 1-21. doi:10.1080/00343404.2012.646164.
- Truffer, Bernhard, James T. Murphy et Rob Raven. 2015. « The geography of sustainability transitions: Contours of an emerging theme. » *Environmental Innovation and Societal Transitions* 17: 63-72. doi:10.1016/j.eist.2015.07.004.

- UN-Habitat. 2008. *State of the World's Cities 2010/2011- Cities for All*. s.l.: s.n. <https://unhabitat.org/books/state-of-the-worlds-cities-20102011-cities-for-all-bridging-the-urban-divide/>.
- United Nations. 2017. « World population prospects Key findings and advance tables 2017 Revision. » New York: s.n.
- Vanier, Martin. 2008. *Territoires, territorialité, territorialisation : controverses et perspectives*. s.l.: Presses Universitaires de Rennes. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00368265>.
- Veltz, Pierre. 2014. *Mondialisation, villes et territoires - L'économie d'archipel*, 2e édition. Paris: PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE - PUF.
- Vijayaraghavan, K., U.M. Joshi et R. Balasubramanian. 2012. « A field study to evaluate runoff quality from green roofs. » *Water Research* 46 (4): 1337-1345. doi:10.1016/j.watres.2011.12.050.
- Visier, Jean Christophe. 2008. « Vers des bâtiments à énergie positive, Toward buildings with a positive energy balance, Für Gebäude mit positiver Energie, En camino hacia construcciones con energía positiva. » *Annales des Mines - Réalités industrielles* Novembre 2008 (4): 22-26. doi:10.3917/rindu.084.0022.
- Webb, Janette. 2015. « Enabling Urban Energy Governance of Innovation in Two UK Cities. » In *Beyond the Networked City: Infrastructure Reconfigurations and Urban Change in the North and South*, 204-226. s.l.: Routledge.
- Williams, Robin et David Edge. 1996. « The social shaping of technology. » *Research Policy* 25 (6): 865-899. doi:10.1016/0048-7333(96)00885-2.
- Zhang, Biao, Gaodi Xie, Canqiang Zhang et Jing Zhang. 2012. « The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. » *Journal of Environmental Management* 100: 65-71. doi:10.1016/j.jenvman.2012.01.015.
- Zhang, Xiaoling, Bogachan Bayulken, Martin Skitmore, Weisheng Lu et Donald Huisingsh. 2018. « Sustainable urban transformations towards smarter, healthier cities: Theories, agendas and pathways. » *Journal of Cleaner Production* 173. Sustainable urban transformations towards smarter, healthier cities: theories, agendas and pathways: 1-10. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.345.

Plan détaillé

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	5
1 L'APPROCHE MULTI-NIVEAUX ET LES TRANSITIONS DURABLES	9
1.1 DEFINITION DE LA MLP	9
1.2 GENESE DE LA MLP.....	11
1.3 MISE AU POINT DE LA MLP	14
1.4 <i>SUSTAINABILITY TRANSITIONS STUDIES</i> : UN COURANT SCIENTIFIQUE EN ESSOR	18
ENSEIGNEMENTS DU CHAPITRE 1	23
2 APPROCHES SPATIALISEES DES TRANSITIONS DURABLES ET ENERGETIQUES	25
1.1 UNE GEOGRAPHIE DES TRANSITIONS ?	25
1.1.1 <i>Méthodologie de l'analyse des appels à explorer la géographie des sustainability transitions</i>	28
1.1.2 <i>Résultats : territorialité et relation niche-régime au cœur – attendu - de la géographie des transitions</i>	30
Poids de la territorialité → relativité de la distinction niche et régime	31
Imbrication entre socio-spatial et sociotechnique au cœur de la relation niche-régime	32
1.2 TRANSITIONS BAS-CARBONE OU DURABLES URBAINES.....	33
1.2.1 <i>Sustainability / sustainable / low carbon / energy transitions : des expressions plus ou moins stabilisées au sein de plusieurs courants de recherche</i>	34
1.2.2 <i>Les transitions énergétiques ou bas-carbone en ville</i>	38
1.2.3 <i>Les réseaux au cœur des transitions énergétiques</i>	39
1.2.4 <i>Des réseaux urbains remis en cause par l'approche métabolique</i>	41
1.2.5 <i>La ville bas-carbone : quel système et quelle marge de manœuvre ?</i>	43
SYNTHESE	46
<i>Sur la géographie des transitions</i>	46
<i>Sur les transitions durables ou énergétiques urbaines</i>	47
3 LES NOTIONS DE NŒUD SOCIO-ENERGETIQUE ET D'ASSEMBLAGE : PROPOSITIONS ET CONTEXTE D'EMERGENCE	51
3.1 ASSEMBLAGE DE NŒUDS SOCIO-ENERGETIQUES : DEFINITIONS ET EPISTEMOLOGIE	51
3.1.1 <i>Définition de nœud socio-énergétique</i>	52
3.1.2 <i>La notion d'assemblage : origine et définition</i>	53
3.2 LE SYSTEME ENERGETIQUE AU-DELA DU RESEAU PUBLIC	55
3.2.1 <i>Complémentarité réseau public et infrastructures énergétiques privées</i>	56
3.2.2 <i>Interconnexion entre réseaux</i>	59
3.3 CONTEXTE D'EMERGENCE DE LA NOTION DE NSE	67
3.3.1 <i>Les acteurs, ces oubliés des scénarios de transition énergétique</i>	68
3.3.2 <i>Défis scientifiques et de pilotage d'une recherche pluri- et interdisciplinaire</i>	71
3.3.3 <i>Les trois phases de la recherche</i>	73
3.3.4 <i>Construire et utiliser un corpus commun d'entretiens</i>	76
Fonctions de la grille d'entretien.....	76
Élaboration de la grille d'entretien.....	77
Résultats	78
4 NSE ET ASSEMBLAGE : APPLICATIONS AU NOUVEAU PARADIGME DE MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES	81

4.1	QUALIFIER DES PROCESSUS SCALAIRES ENTRE NICHES ET REGIMES	81
4.1.1	<i>Dissonance scalaire des régimes vue des innovations énergétiques urbaines</i>	82
4.1.2	<i>Composer (localement) avec les régimes (nationaux) de l'énergie</i>	86
	<i>Synthèse</i>	87
4.2	QUALIFIER LES ASSEMBLAGES EMERGENTS AU PRISME DES PROXIMITES	88
4.2.1	<i>Proximité, une notion pour ausculter les nouvelles circularités des flux urbains</i>	89
4.2.2	<i>Des NSE intermédiaires entre ressources in situ et approvisionnement exogènes</i>	91
	Réseau de chaleur de quartier	91
	Smart-grid inter-bâtiments	92
4.2.3	<i>Relations autour des NSE intermédiaires : une typologie selon les proximités</i>	93
	Les grands réseaux : des proximités organisées fortement encadrées par l'État	94
	Bâtiments et panneaux solaires : des proximités avant tout spatiales mais encadrées par des règles nationales ..	95
	Chaînes d'approvisionnement discontinues portées par des organisations spatialisées	95
	Géothermie et énergie fatale : des proximités spatiales fortes.....	96
	<i>Synthèse</i>	96
4.3	SCENARISATION PROSPECTIVE DES COORDINATIONS DE L'ENERGIE EN VILLE	97
4.3.1	<i>Enjeux de la relation entre systèmes énergétiques urbains et régimes de l'énergie</i>	98
4.3.2	<i>Modalités d'assemblage orientées par l'objectif principal de l'acteur-pivot</i>	101
4.3.3	<i>Deux régimes antagoniques pour les grands réseaux</i>	104
4.3.4	<i>Identifier des trajectoires plausibles</i>	105
	<i>Synthèse</i>	107
5	RELECTURE DE MES TRAVAUX SUR LA PLANIFICATION URBAINE AU PRISME DES ASSEMBLAGES SOCIO-METABOLIQUES	109
5.1	BOITE A OUTILS CLIMAT POUR LA PLANIFICATION URBAINE ET L'ACCOMPAGNEMENT DES PROJETS IMMOBILIERS (METROPOLE GRENOBLOISE - FRANCE)	111
5.1.1	<i>Notion de co-pilotage</i>	112
5.1.2	<i>Déclinaison de l'objectif bas-carbone dans l'urbanisme</i>	115
5.1.3	<i>Le bâtiment comme nœud socio-énergétique actif</i>	116
5.1.4	<i>Le poids du régime sociotechnique de la construction</i>	119
	<i>Synthèse 5.1 Action climatique des villes sur les projets immobiliers</i>	120
5.2	METHODE DE « PLANIFICATION ENERGETIQUE COMMUNALE » (SUISSE)	121
	<i>Un volet énergie dans la planification spatiale de la commune</i>	122
	<i>Synthèse 5.2 Une véritable planification spatiale et privilégiant des assemblages standardisés ?</i>	125
5.3	TRANSACTIONS ENERGETIQUES VILLE-CAMPAGNE VUES DES TEPOS-CV (REGION RHONE-ALPES)	126
5.3.1	<i>Assemblages rural-urbain dans et hors TEPOS</i>	128
	Bois-chaleur dans les TEPOS : un assemblage reliant bois de forêt rural au(x) réseau(x) ou infrastructure(s) privée(s) de chaleur en ville	129
	D'autres assemblages rural-urbain ignorés par les TEPOS	129
5.3.2	<i>Programmation trans-territoriale et régimes sociotechniques</i>	130
	<i>Synthèse 5.3 Marges d'action des institutions territoriales sur les réseaux</i>	130
5.4	LE BATIMENT ET SON TOIT COMME NŒUD SOCIO-HYDRIQUE (USA-CANADA)	131
5.4.1	<i>Concentration des toits végétalisés à Washington et Chicago aux USA et Toronto au Canada</i> ..	131
5.4.2	<i>La végétalisation des toits ; un élément clé de la gestion territoriale des eaux pluviales</i>	134
5.4.3	<i>De l'imaginaire de la nature à la fonction technique hydrique</i>	136
	<i>Synthèse 5.4 Ré-assemblage et re-socialisation de la gestion des eaux pluviales</i>	138
5.5	SYNTHESE : PLANIFICATION URBAINE/ TERRITORIALE ET ASSEMBLAGE SOCIO-METABOLIQUE ?.....	139
6	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	143
6.1	SYNTHESE	143
	<i>Le sujet des énergies renouvelables en ville vu depuis les STS et les études urbaines</i>	145

	<i>Réseaux, énergies renouvelables et assemblages socio-énergétiques</i>	146
	<i>Règles publiques influençant les assemblages socio-énergétiques</i>	149
	<i>Marge de manœuvre et préférence des collectivités locales</i>	151
6.2	TROIS QUESTIONS SOCIETALES CLES SOULEVEES PAR LES TRANSITIONS BAS CARBONE URBAINES	152
	<i>Régime local versus régime national et niches locales</i>	152
	<i>Autonomie et solidarité</i>	153
	<i>Effets de l'imaginaire et des crises</i>	153
6.3	TRAVAUX EN COURS	154
	<i>Territoire et assemblage socio-métabolique bas-carbone</i>	154
	<i>Intermédiaires cognitifs et intermédiaires socio-métaboliques</i>	155
	<i>Prémices et promesses de l'autoconsommation collective d'énergie</i>	156
	<i>Outils d'aide à la décision multi-vecteurs et multi acteurs</i>	157
	TABLE DES FIGURES	160
	TABLE DES TABLEAUX.....	161
	BIBLIOGRAPHIE	162
	PLAN DÉTAILLÉ	179