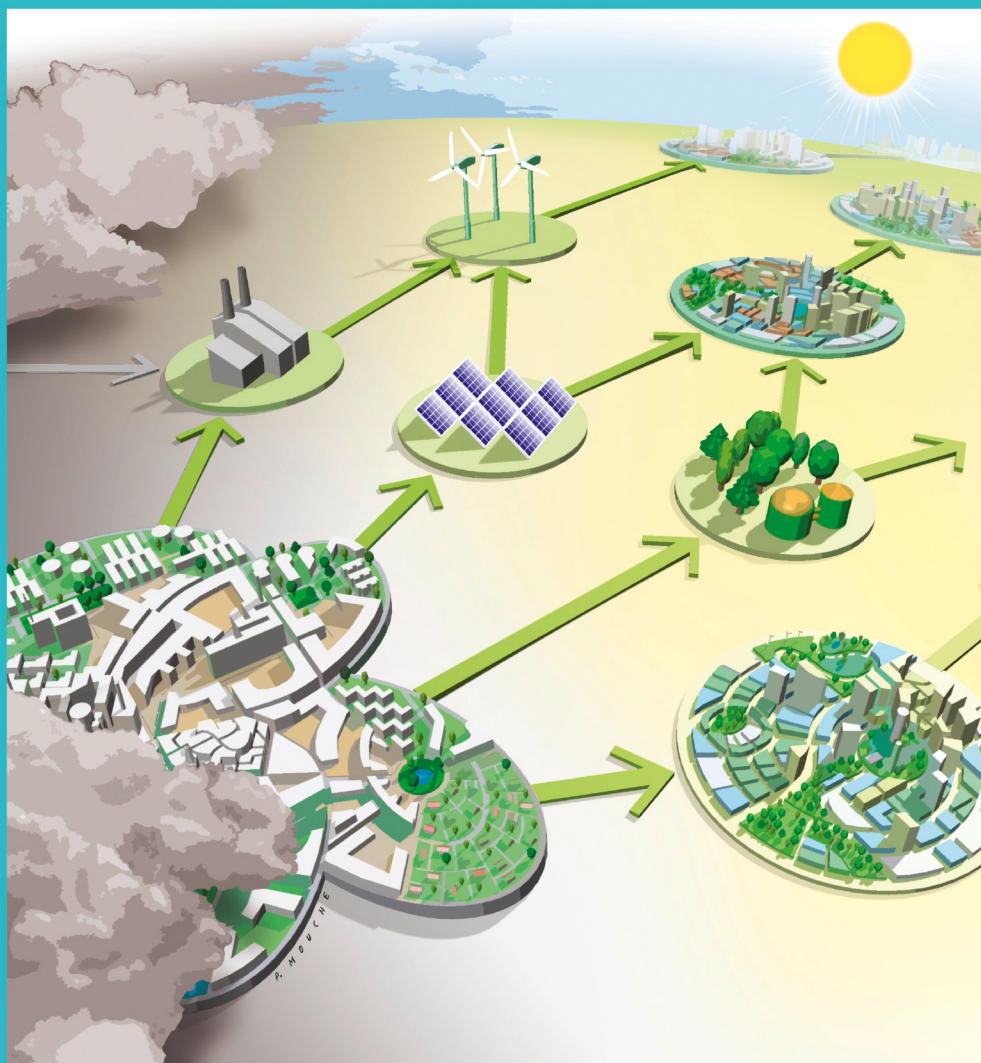


SCÉNARIOS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE EN VILLE

Acteurs, régulations, technologies

Sous la direction de Gilles Debizet

Préface de Gabriel Dupuy



SCÉNARIOS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE EN VILLE

Acteurs, régulations, technologies

Sous la direction de **Gilles Debizet**

Préface de **Gabriel Dupuy**

Sommaire

PRÉFACE DE GABRIEL DUPUY	5
INTRODUCTION	9
CHAPITRE 1	
Quatre scénarios de coordination de l'énergie en milieu urbain à l'horizon 2040 <i>Nicolas Buclet, Gilles Debizet, Caroline Gauthier, Fabrice Forest, Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Patrice Schneuwly, Antoine Tabourdeau</i>	13
CHAPITRE 2	
Transition énergétique dans les espaces urbanisés <i>Composer avec - ou recomposer - les régimes de l'énergie</i> <i>Gilles Debizet, Stéphane La Branche, Antoine Tabourdeau</i>	73
CHAPITRE 3	
Vers des villes ou des quartiers plus autonomes sur le plan énergétique <i>Le rôle des nouvelles technologies de l'énergie</i> <i>Philippe Menanteau, Patrice Schneuwly</i>	109
CHAPITRE 4	
Modèles d'affaires et innovations énergétiques urbaines <i>Caroline Gauthier, Sylvie Blanco, Gilles Debizet</i>	127
CONCLUSION GÉNÉRALE	139
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	161
ANNEXE MÉTHODOLOGIQUE	167
SIGLES	183
LES AUTEURS	185
PUBLICATIONS ISSUES DE LA RECHERCHE ÉCOQUARTIER NEXUS ÉNERGIE.....	189
REMERCIEMENTS	193
TABLE DES MATIÈRES	194

Préface

Gabriel Dupuy

Professeur émérite à l'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne¹

Où en sommes-nous, où allons-nous, en matière de transition énergétique ? Comment nos villes, dans lesquelles vit près de 80 % de la population française, seront-elles affectées ? Pléthore des discours, abondance des programmes, profusion des projets, multiplicité des institutions : dans cet environnement complexe il est bien difficile de cerner les tendances d'un avenir incertain.

Gilles Debizet et l'équipe qu'il a réunie parviennent heureusement à donner des clés de compréhension. Puissent les « décideurs » auxquels le livre s'adresse s'en inspirer. Puissent les « planners » en tirer profit afin de ne pas confondre, selon le trait d'humour de Ian Sacs, *Ecocity* et *Duplicity*².

La première qualité de cet ouvrage est sa clarté. Les acteurs sont multiples, les enjeux pluriels mais ceux qui comptent et compteront sont bien mis en lumière : l'État, les grands opérateurs de réseaux, les Collectivités locales, l'énergie sous toutes ses formes.

La deuxième qualité tient à l'approche interdisciplinaire adoptée. Les auteurs ont croisé leurs spécialités pour aborder la réalité non pas sous tel angle particulier ou comme un cas d'école mais comme une totalité.

Enfin l'on apprécie que l'équipe ait remis au goût du jour une méthode de scénarios un peu tombée en désuétude. Certains jugeront ces scénarios excessifs mais la situation ne l'exige-t-elle pas ? D'autres au contraire y voient une issue méthodologique dans l'impasse où conduit l'impératif transdisciplinaire pour les problèmes d'environnement et de climat³. Ici la mobilisation de nombreux experts autour de thématiques fortes a porté ses fruits. Les quatre scénarios

1 Laboratoire Géographie-Cités UMR CNRS 8504.

2 Sacs, I., « Ecocity versus Duplicity », *Planetizen*, 1^{er} mai 2014.

3 Klenk, N., Meehan, K., « Climate change and transdisciplinary science: Problematising the integration imperative », *Environmental Science & Policy*, vol. 54, décembre 2015, p. 160-167.

présentés et discutés sont très parlants. Certes il n'est pas sûr que les modèles d'affaires évoqués dans le livre soient pérennes. Le futur ne sera sans doute pas conforme à un seul scénario mais, à l'horizon 2040, il ne saurait guère s'écarter des lignes de force tracées dans les chapitres qui suivent.

D'ailleurs la réflexion des auteurs a une portée plus large encore que la transition dans les systèmes énergétiques urbains. La plupart des grands réseaux nés au XIX^e siècle, notamment les réseaux urbains, se trouvent aujourd'hui confrontés à des questions critiques. Le transport, l'eau, l'assainissement, et même les télécommunications pourtant plus récentes, n'y échappent pas. Le problème tient au fait que le modèle canonique de ces réseaux relève d'une croissance indispensable mais devenue insoutenable, d'où la nécessité de mettre en cause ce modèle. Dans les analyses qui suivent, c'est cette contradiction que l'on perçoit pour les réseaux d'énergie en ville mais qui s'étend au-delà.

Les scénarios du chapitre 1 dessinent de possibles sorties de crise. À cet égard le scénario « Acteurs coopératifs » fait particulièrement réfléchir. La remise en cause des réseaux énergétiques actuels pourrait s'appuyer non pas sur un rôle majeur (« pivot » selon les auteurs) de l'État, des Collectivités locales ou des opérateurs mais sur la coopération ou la collaboration des habitants. S'ouvre alors la possibilité de reconfigurer les réseaux de manière à rompre le cercle vicieux de la croissance du réseau, la spirale associée à la dépendance mais aussi à la fracture sociale et à l'insoutenabilité environnementale⁴.

Cependant, sauf à s'orienter vers des modèles autarciques⁵, la reconfiguration du réseau doit s'ancrer sur des affinités suffisamment fortes. Les auteurs imaginent des affinités idéologiques (écologisme, partage,...). Pourquoi pas ? Pourquoi pas aussi des affinités économiques ? C'est bien ce qui motive aujourd'hui beaucoup de co-voitureurs et de partageurs de parkings dont l'impératif se résume à « partager les frais ». Mais, puisqu'il s'agit de villes, la figure du quartier s'impose. Le terme est d'ailleurs souvent mobilisé dans le livre. Il est vrai que le quartier a été et peut encore être, dans sa dimension sociale de voisinage, un lieu de concentration d'affinités, propice à la reconfiguration des réseaux. Qu'en est-il vraiment aujourd'hui, qu'en sera-t-il demain ? Ces questions de nature sociologique restent à creuser. En effet, et particulièrement dans le domaine énergétique, il serait risqué d'en rester à une prospective technologique (fondée sur le *hard* ou sur le *soft* ?), même étayée par le rôle d'acteurs aussi importants que l'État,

4 Dupuy, G., « Fracture et dépendance : l'enfer des réseaux ? », *Flux*, 2011/1, n° 83, p. 6-23.

5 Lopez, F., *Le rêve d'une déconnexion*, Éditions de la Villette, 2014.

les Collectivités locales, les opérateurs. Les analyses rétrospectives sur l'expérience EJP (Effacement des jours de pointe) lancée par EDF dans les années 1980 montrent *a posteriori* et *a contrario* toute l'importance de l'acceptation sociale⁶. Mais aujourd'hui les analyses sociologiques en termes d'acceptabilité ont montré leurs limites. Il est désormais admis que les régulations sociales doivent être d'une tout autre nature, bien plus participative, sous peine d'invalidier les scénarios les mieux construits.

Faisons le pari que ce premier livre, très réussi, aura un prolongement sur ce thème.

6 Bonduelle, A., Discussion sur les tarifications de pointe, Comité de liaison des Énergies Renouvelables et Réseau Action Climat-France, février 2010.

Crédit d'impôt, prix d'achat garantis, appel d'offres pour les parcs éoliens en mer, réglementation thermique, certificats d'économie d'énergie, labels Territoires à énergie positive et Éco-quartier... autant d'initiatives qui témoignent de l'engagement de l'État dans la lutte contre le changement climatique et la volonté d'amorcer la nécessaire transition énergétique. Une large panoplie de leviers est utilisée : la régulation des marchés, la réglementation technique, les incitations économiques, les procédures administratives, la sensibilisation, etc. Les dispositions ciblent des acteurs aussi différents que les grands opérateurs d'énergie et les communes, les investisseurs financiers et les ménages, des promoteurs immobiliers et les forestiers. Dans ce maquis de dispositions plus ou moins pérennes, l'on peine à cerner les voies de la transition énergétique, cette succession cohérente de changements qui dessine un nouveau rapport de la société à l'énergie, en l'occurrence celle où les émissions de gaz à effet de serre seraient réduites d'un « Facteur 4 » en 2050 par rapport à aujourd'hui.

Des visions par filière technologique renouvelable (solaire, éolien, bois-énergie...) et, dans une moindre mesure, par vecteur énergétique (électricité, gaz, chaleur) sont élaborées, attribuant des rôles spécifiques aux producteurs, aux consommateurs et à des intermédiaires. Les territoires ruraux et les espaces maritimes sont implicitement mobilisés comme lieux d'accueil de productions solaire, éolienne, biomasse et hydroélectrique portées par des entreprises d'envergure nationale ou internationale et, de façon marginale, par des collectifs ancrés dans ces territoires. En revanche, dans les territoires urbains, il est bien difficile d'identifier clairement une coordination des actions, ni même une répartition des rôles. En effet, l'espace urbanisé ouvre un champ des possibles sans doute plus large qu'ailleurs car il concentre déjà la consommation d'énergie, la puissance financière et les savoir-faire de haut niveau ainsi que les réseaux et les expérimentations les plus variés. En outre, les *smart grids* ouvrent des perspectives de mutualisation, d'échanges d'énergie et de transactions financières complexes ; par conséquent, ils multiplient les modalités possibles de gestion énergétique, du logement à la métropole en passant par toutes les échelles intermédiaires sur les plans technique ou organisationnel.

La baisse visée de l'utilisation de combustibles fossiles (assez facilement stockables) et le recours croissant aux énergies renouvelables intermittentes accentueront les décalages temporels entre la consommation et la production d'énergie. Le stockage de l'énergie deviendra alors stratégique. Les logements (avec les chauffe-eau et l'inertie thermique par exemple) et les grands réservoirs hydroélectriques reliés par le réseau électrique remplissent déjà pour partie ce rôle, mais pour partie seulement. Plusieurs voies sont étudiées avec la plus grande attention. Elles concernent les grandes infrastructures, en particulier l'interconnexion des réseaux nationaux à l'échelle continentale, et les consommateurs finaux, appelés à réduire temporairement leur consommation. Entre les deux, un futur marché de capacités – combinant production, stockage et effacement – viserait à assurer les pointes de consommation simultanées à une faible production solaire et éolienne. Largement étudiées par les acteurs de l'électricité et poussées par la commande publique de recherche, ces voies ignorent les collectivités locales, les collectifs d'habitants et les intermédiaires économiques locaux qui jouent pourtant un rôle croissant en matière de déploiement des énergies renouvelables et de sobriété/efficacité énergétique. Plus complexes que les transactions marchandes, leurs interrelations sont sujettes à des divergences d'analyse selon les disciplines.

Cet ouvrage prospecte cet impensé de la transition énergétique : les échelles intermédiaires entre les grands réseaux d'énergie et les consommateurs finaux. Il décrypte le déploiement émergent des systèmes énergétiques urbains et esquisse des scénarios de coordination de l'énergie en ville à l'horizon 2040.

Cet ouvrage résulte de la recherche *Écoquartier Nexus Énergie*¹ financée par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (dans le cadre du programme « *Mettre l'innovation au service du Facteur 4* » et menée par le laboratoire PACTE (Centre national de la recherche scientifique et Université Grenoble Alpes [UGA]), Économie du développement durable et de l'énergie (EDDEN)², la structure fédérative de recherche INNOVACS (Université Grenoble

1 Cet ouvrage a été rédigé par les chercheurs impliqués dans la dernière phase de la recherche (cf. biographie des auteurs). Odile Blanchard (EDDEN, UGA), Olivier Labussière et Xavier Long (PACTE, UGA), Antoine Doré (PACTE, CNRS), Céline Jullien et Bettina Gilomen (Grenoble École de Management) ont contribué à des phases précédentes.

2 L'équipe de recherche EDDEN était rattachée au laboratoire LEPII (Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale) jusqu'en 2012 puis à l'UMR PACTE de 2013 à 2015 avant de rejoindre l'UMR GAEL (Grenoble Applied Economic Laboratory) (Institut national recherche agronomique [INRA], CNRS, UGA) à partir de 2016.

Alpes), Grenoble École de Management et le LITEN-INES³. Le principe directeur de cette recherche a été de croiser les regards de chercheurs en géographie et urbanisme, en gestion, en technologie, en sciences politiques et économiques autour d'objets communs : les systèmes énergétiques urbains. Ces systèmes sont considérés comme le résultat d'assemblages de nœuds socio-énergétiques (NSE) : un NSE est un groupe d'éléments portés par un acteur décisionnel (promoteurs, aménageurs, opérateurs d'énergie, collectivités...) en interaction avec des parties prenantes et des règles nationales et locales. Les objets étudiés ont ainsi pu être repérés en commun, que le chercheur s'intéresse au système technique, au modèle d'affaire, à une fonction urbaine ou à un périmètre de responsabilité. La méthodologie (cf. *Annexe méthodologique et Remerciements*) combine une revue bibliographique portant sur soixante écoquartiers européens, une enquête menée auprès de quarante professionnels dans quatre écoquartiers français et un atelier prospectif réunissant quinze grands témoins de l'énergie, de l'immobilier et de l'urbanisme.

Quatre scenarii de coordination de l'énergie en milieu urbain à l'horizon 2040 sont proposés au lecteur. Ils exposent des modalités de coordination de l'énergie dans les espaces bâtis et leurs effets sur les plans économique, territorial et technologique. Pour chaque scénario, les relations entre les systèmes énergétiques, les processus de fabrication/transformation de la ville et les régulations publiques sont hiérarchisées selon l'acteur jouant le rôle pivot :

- *Grandes entreprises* pourvoyeuses de systèmes énergétiques urbains ;
- *Collectivités locales* pilotes de la fabrique du territoire ;
- *État prescripteur* pouvoir central ordonnateur des réglementations et régulations ;
- *Acteurs Coopératifs* collectifs de consommateurs reprenant en main l'énergie.

Ensuite, trois chapitres thématiques analysent le déploiement en cours des systèmes énergétiques urbains et exposent des notions-clés permettant de penser leur futur : régime sociotechnique, approche technico-économique et modèle d'affaires. Ces chapitres fédèrent des résultats intermédiaires de la recherche partiellement publiés dans des revues⁴.

Le chapitre *Transition énergétique dans les espaces urbanisés : composer avec –ou recomposer – les régimes de l'énergie* explique comment les territorialités des

3 Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux-Institut national de l'énergie solaire, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

4 La liste des publications des membres de l'équipe Nexus est située à la fin de ce livre ; elle sera régulièrement mise à jour sur le site <www.nexus-energy.fr>.

énergies renouvelables – et les flexibilités entre production et consommation qu’elles induisent – composent avec les trois principaux régimes sociotechniques de l’énergie (électricité, gaz, chaleur...) ; un régime étant défini comme un ensemble cohérent de systèmes sociotechniques, d’organisations et de règles stables sur une longue période. Ce chapitre esquisse aussi des voies de recomposition de ces régimes dans le cadre d’une transition énergétique qui est loin d’être tracée : elle dépendra des choix politiques, et notamment des régulations nationales et locales des secteurs de l’énergie et de la construction.

Le chapitre *Vers des villes ou des quartiers plus autonomes sur le plan énergétique : le rôle des nouvelles technologies de l’énergie* analyse les opportunités économiques liées à l’émergence de systèmes énergétiques intermédiaires entre le bâtiment et le citoyen, d’un côté, et le système urbain (la ville ou la métropole) de l’autre. Considérant les progrès enregistrés ces dernières années en matière de technologies de production décentralisée et la baisse subséquente des coûts de production d’énergie renouvelable, il étudie les modalités d’accès aux ressources énergétiques renouvelables, le degré et l’échelle d’autonomie énergétique souhaitable et leurs conséquences, les possibilités d’interopérabilité entre les vecteurs électricité et chaleur et s’interroge *in fine* sur l’évolution du rôle des infrastructures de transport et de distribution.

Le chapitre *Modèles d’affaires et innovations énergétiques urbaines* mobilise la notion de modèle d’affaires pour qualifier les modalités de coordination de l’énergie dans les projets urbains novateurs. Il s’agit de mieux comprendre les conditions d’éclosion et de diffusion de systèmes innovants à l’échelle du quartier ou reliant des bâtiments gérés par des entités différentes. Ainsi, après avoir rappelé les fondamentaux des modèles d’affaires, ce chapitre présente leur application au cas des quartiers de Bonne à Grenoble et d’IssyGrid⁵. Il propose une typologie de modèles d’affaires pour la transition énergétique en ville et met en évidence les multiples dimensions de la valeur créée par et pour les acteurs de l’immobilier, de l’énergie et de l’urbanisme – bien au-delà de la valeur économique.

In fine, la conclusion synthétise les scénarios prospectifs et compare leurs impacts sur les grands réseaux et l’autonomie énergétique. Elle soulève des points essentiels pour penser et débattre de la transition énergétique en ville.

5 Nous utilisons le terme Issygrid pour désigner l’expérimentation et Issygrid® lorsqu’il s’agit de la marque déposée.

Quatre scénarios de coordination de l'énergie en milieu urbain à l'horizon 2040

Nicolas Buclet, Gilles Debizet, Caroline Gauthier, Fabrice Forest,
Stéphane La Branche, Philippe Menanteau, Patrice Schneuwly, Antoine Tabourdeau

Résumé

Dans ce chapitre nous avons pris comme parti le fait que le futur énergétique des villes dépend des acteurs qui prennent en main ce futur. Les quatre scénarios présentés représentent une évolution plausible de la façon de considérer l'énergie, les technologies nécessaires, les modes de coordination et l'échelle privilégiés, dès lors que l'un des acteurs suivants joue un rôle moteur : de grandes entreprises pourvoyeuses de solutions énergétiques ; les collectivités locales ; les pouvoirs publics centraux ; des coopératives. Dans chaque scénario, l'acteur pivot imprime à la ville une configuration en phase avec ses intérêts et sa vision politique du monde. Nous mettons en évidence combien l'articulation entre les divers acteurs, les relations de pouvoir qui s'instaurent, ont une influence déterminante sur le type de dispositif technique qui va se diffuser au sein d'une société, et singulièrement à l'échelle d'un ensemble urbain. Chaque catégorie d'acteurs se cale plus naturellement à une certaine échelle géographique de la question énergétique et cette échelle géographique a une influence certaine sur le type d'investissement nécessaire, la taille des équipements qu'il est possible de mettre en œuvre, et partant sur les technologies qui s'y adaptent. Aussi, ces scénarios mettent en évidence ce vers quoi pousserait une vision particulière dominante, avec ses caractéristiques mais aussi les excès auxquels elle pourrait mener.

Le projet de recherche Nexus a pour finalité d'alimenter la réflexion sur la façon dont pourrait s'organiser la ville à l'horizon 2040 sur le plan de la fonction énergétique (électricité et chaleur). Ce travail prospectif appelle de façon classique l'élaboration de scénarios qui puissent être proposés soit pour leur plausibilité, soit en tant que porteurs de tendances contrastées, notamment d'un point de vue sociotechnique. À partir du travail accompli au cours des premières phases du projet Nexus, de l'expertise engendrée par l'équipe de recherche, le choix des scénarios s'est effectué sur une base différente. Nous avons en effet pris comme parti le fait que le futur énergétique des villes dépend des acteurs qui prennent en main ce futur. Certes, le progrès technologique a une influence certaine sur l'univers des possibles, mais à condition que les technologies soient portées par des acteurs qui y voient une opportunité. De même, pensons-nous, le type de technologies développées dépend des configurations motrices d'acteurs, qu'il s'agisse du type de vecteur énergétique privilégié ou de l'échelle des équipements. En ce sens, nous avons émis l'hypothèse que le futur énergétique peut dépendre des catégories d'acteurs en position de force au sein d'une ville. Nous allons présenter quatre scénarios : le scénario modelé par les pouvoirs publics centraux (Scénario C), celui insistant sur la prévalence des collectivités locales (Scénario B), celui des grandes entreprises pourvoyeuses de systèmes énergétiques urbains (dont nous verrons qu'elles sont issues de secteurs aussi divers que le secteur du bâtiment, ou encore du secteur du numérique) (Scénario A) et enfin celui inspiré par l'émergence de mouvements collectifs de reprise en main de l'habitat par ses occupants (Scénario D).

Quatre scénarios ont été rédigés, mettant en scène une organisation énergétique de la ville sous l'influence d'un acteur pivot ou, tout du moins, d'un acteur ayant un poids déterminant dans le système d'acteurs en jeu.

L'acteur pivot est ici défini à l'instar de Sabrina Brulot (2009), qui s'est elle-même inspirée des travaux de Ronald K. Mitchell *et al.* (1997). Est pivot l'acteur capable de mobiliser d'autres acteurs en fonction de son intérêt pour les enjeux, de sa légitimité et de son pouvoir de coercition. La notion de pouvoir mérite d'être précisée en ce qu'elle renvoie à de nombreux débats et de nombreuses conceptions. Pour les besoins de notre discussion, nous distinguons deux volets du pouvoir : la légitimité et la coercition. Cette dernière renvoie à la capacité d'un acteur à forcer, contraindre, voire punir, d'autres acteurs à obéir à la règle : une collectivité locale en fonction de ses prérogatives, l'État bien entendu, mais également une entreprise dès lors qu'elle se trouve dans une situation de pouvoir fort (par exemple sa capacité de financer ou non un projet). Cette définition de pouvoir coercitif n'inclut pas la capacité d'influence d'un acteur (par exemple

de lobbying), qui correspond davantage à un pouvoir issu à la fois de l'intérêt d'un acteur et de sa légitimité. La légitimité renvoie plutôt à la capacité d'un acteur à convaincre d'autres acteurs que ses actions, ses idées, ses objectifs sont valables, vrais ou méritant en soi d'être respectés.

Nous voyons dans le schéma ci-dessous que des acteurs ne disposant pas des trois attributs peuvent néanmoins jouer un rôle déterminant, qu'il s'agisse de l'acteur moteur (intérêt et pouvoir coercitif), de l'acteur dominant (pouvoir coercitif et légitimité), ou de l'acteur dépendant (intérêt et légitimité). On peut d'ailleurs supposer des scénarios au sein desquels aucun acteur ne parvient à disposer d'un rôle pivot à lui seul et que des alliances entre acteurs sont nécessaires afin qu'émerge une ligne directrice cohérente avec les intérêts des uns et des autres, bénéficiant à la fois de suffisamment de légitimité et de pouvoir de coercition pour prendre forme. En d'autres termes, le rôle pivot peut être joué par une coalition d'acteurs portés par une même volonté d'action.

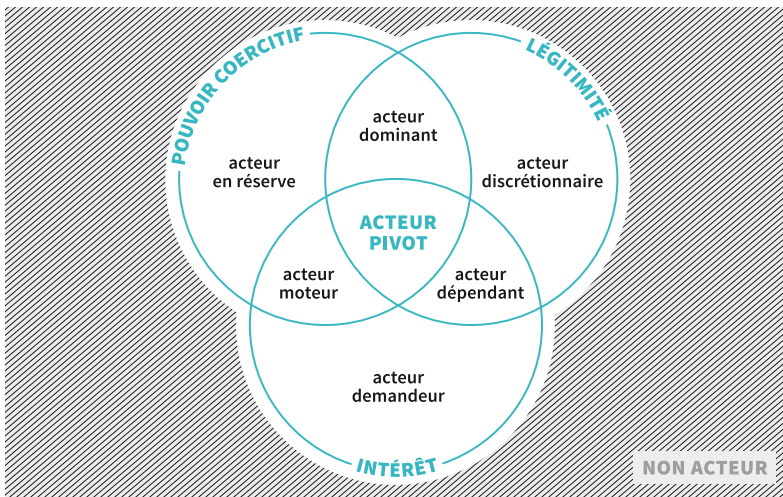


Schéma 1 – La notion d'acteur pivot

Des variables ont également été identifiées en tant qu'éléments discriminants entre les différents scénarios. Ces scénarios et ces variables ont ensuite été présentés à un panel d'experts (représentant les quatre catégories d'acteurs nous intéressant) réuni les 2 et 3 juin 2014 à Valence. Pour ce travail collectif, nous avons eu recours à la méthode PAT-Miroir, méthode explicitée en annexe, qui permet de faire ressortir des préconisations pour répondre à une question précise dans le cadre d'un projet. Il en ressort un corpus d'avis d'experts qualitativement important bien que statistiquement non significatif. Les experts se

sont réunis et leur avis a été recueilli quant à la question précise : « *Comment coordonner production, distribution et consommation d'énergie, aux différentes échelles de la ville (logement... métropole), en particulier la question de l'intermittence ?* », question qui a été reformulée par le groupe d'experts sollicités en : « *Comment coordonner production, distribution et consommation d'énergie, aux différentes échelles de la ville (du bâtiment [logement, bureau] à la métropole), en prenant en compte les différentes techniques, pour gérer la question de l'intermittence (saisonnière comme infra-horaire), dans un contexte d'évolution des usages et de sobriété ?* ».

Enfin, en mai 2015 le travail de scénarisation a été présenté au cours d'une demi-journée à Grenoble aux acteurs experts présents à Valence et disponibles pour cette nouvelle rencontre, ainsi qu'à d'autres experts mobilisés pour l'occasion. Cette dernière étape nous a permis d'obtenir des réactions précises de la part des uns et des autres sur le texte rédigé, sur son degré de crédibilité, de solidité, ou d'excessive abstraction.

Ces prolégomènes sont nécessaires afin d'établir le point suivant : les scénarios présentés ici correspondent avant tout à un travail d'expertise effectué à deux niveaux : un premier niveau représenté par les chercheurs du projet Nexus, chercheurs provenant d'horizons disciplinaires variés (très majoritairement en sciences sociales néanmoins) et, pour la plupart d'entre eux, reconnus pour leur connaissance des questions énergétiques (Debizet *et al.*, 2014). L'expertise est également issue du travail de terrain visant à identifier des tendances techniques, politiques et organisationnelles observables en Europe et plus précisément sur certains projets achevés ou en cours d'éco-quartiers français ; un deuxième niveau représenté par les invités à l'exercice PAT-Miroir organisé en juin 2014. La quinzaine d'experts a été choisie afin de « parler » au nom des entreprises, des collectivités locales, de l'administration centrale ou des habitants. L'avis de ces experts est subjectif et partiel pour deux raisons : l'exercice prospectif basé sur les peurs, attraites et tentations pour un horizon lointain (2040) mobilise bien davantage les représentations que des savoir-faire d'objectivation ; le fait que les personnes présentes ne pouvaient représenter la grande variété des acteurs concernés, dans les faits, par la question de l'énergie en ville. Cette subjectivité n'exclut pas une intersubjectivité puisque l'écoute mutuelle pendant les ateliers de ces deux journées développe une intercompréhension des mécanismes et des interactions entre les différentes dimensions de la question. La méthode ne permet cependant pas de différencier l'une et l'autre dans les affirmations recueillies.

Ces précautions prises, il nous paraît également important de rappeler ici les hypothèses d'évolutions exogènes, c'est-à-dire communes aux quatre scénarios :

- Le prix des énergies fossiles augmente plus que le coût des énergies renouvelables. Le tarif de rachat d'électricité renouvelable n'a cessé de baisser à partir de 2010. À tel point que la parité est atteinte en 2025 pour le tarif réglementé. Par conséquent, des contrats privés plus ou moins encadrés par des régulations publiques, régissent une part importante des transferts d'électricité entre le distributeur (ou fournisseur) électrique agréé et une entité quelconque (ménages, entreprises, administrations...) produisant et/ou consommant de l'électricité ;
- tout en établissant des objectifs ambitieux en matière d'énergies renouvelables et de lutte contre le changement climatique, l'Union européenne ne cesse de presser les États de libéraliser le marché de l'énergie ;
- la part des énergies renouvelables intermittentes dans le mix électrique augmente sensiblement (et ce indépendamment de leur localisation, variable endogène aux scénarios). On observe dans tous les cas une ample variation temporelle du prix de marché à court terme de l'électricité, tandis qu'une partie importante de la valeur produite se reverse vers les capacités de stockage ;
- la demande de chauffage des bâtiments baisse sous le double effet de la rénovation thermique et du changement climatique¹. Cette baisse hivernale est compensée par une augmentation estivale du besoin de rafraîchissement du fait du réchauffement climatique (surtout dans le tertiaire et le parc résidentiel non rénové) ;
- le potentiel d'autoproduction et d'autoconsommation (plus de bouclage des flux à l'échelle d'un bâtiment, d'un îlot ou d'un morceau de ville) augmente très substantiellement, *a fortiori* pour les bâtiments construits après 2020 ;
- la production d'électricité reposant sur un échange marchand est économiquement fragilisée du fait de longues périodes de très faible prix de l'énergie électrique (« excédent » de production d'énergie d'origine solaire et éolienne au coût marginal très faible).

L'ensemble de ces variables exogènes étant établies, il nous est possible de présenter le travail accompli en termes de scénarisation. Nous allons présenter puis analyser chaque scénario à la suite. Rappelons que ces scénarios sont structurés chacun en partant d'un acteur pivot ou, tout du moins, d'un acteur ayant un rôle moteur, dominant ou dépendant.

1 Dans nos scénarios, le coup d'arrêt annoncé du Gulf Stream ne s'est pas encore produit.

Scénario A – Grandes entreprises

Les progrès technologiques portés par de grands groupes de taille mondiale supposent de très lourds investissements que ne peuvent assurer les acteurs publics. Afin d'aboutir à des performances énergétiques en phase avec les enjeux globaux, les collectivités locales ont recours aux Partenariats Publics Privés et autres formes de délégation. Face à des entreprises source de solutions globales pour la ville, les collectivités locales délèguent la production de fonctions territoriales (à l'instar de l'énergie) aux grandes entreprises qui sont en mesure de coordonner et réaliser les investissements nécessaires, évitant ainsi la multiplicité des parties prenantes considérée comme un frein à l'innovation (Soshinskaya *et al.*, 2014). Parfois c'est la ville entière qui est gérée par les grandes entreprises, plus souvent il s'agit de contrats portant sur des quartiers, des morceaux de ville, ceci afin de continuer à faire jouer la concurrence et de donner à la ville l'assurance (le sentiment) de rester maîtresse chez elle.

Ces entreprises, et plus souvent ces consortiums d'entreprises, ne vendent pas des produits mais des solutions, des performances (Buclet et Bourg, 2005), dessinées en fonction de la demande exprimée. Certaines entreprises sont spécialisées dans la conception générale du système énergétique à l'échelle d'un quartier, de morceaux de villes, rarement d'une ville dans son ensemble (mais nous ne pouvons l'exclure) ; d'autres produisent les équipements matériels nécessaires, tandis que d'autres encore ont pour métier de traiter les données recueillies pour gérer le système. Le travail entre entreprises est important dès la conception du service, afin de mettre au point une compréhension systémique de la solution mise en œuvre et ainsi d'optimiser la récolte des données nécessaires au pilotage énergétique du ou des quartiers. Elles s'engagent à produire un certain résultat (par exemple un certain niveau de confort thermique) et décident, sans intervention des pouvoirs publics, des moyens à mettre en œuvre pour y parvenir. Elles mettent en place des modèles d'affaires qui leur assurent un certain niveau de rentabilité et cherchent de ce fait à développer des solutions reproductibles dans le cadre de contrats d'approvisionnement de long terme. Les consortiums d'entreprises mettent donc au point collectivement les briques technologiques qui leur permettent de produire les résultats vendus. C'est la généralisation de l'économie de fonctionnalité appliquée à l'échelle de la ville, même si les opérations ne sont qu'exceptionnellement gérées à l'échelle de l'ensemble d'une aire urbaine (ou alors de petites aires urbaines). De lourds investissements sont menés afin d'optimiser l'isolation de l'enveloppe des bâtiments, ce qui permet de réduire substantiellement la consommation d'énergie thermique. Différentes formes de