

# PROJET DEFI TE

## DESAMORCER LES FREINS DE L'INTEGRATION DE LA TRANSITION ENERGETIQUE DANS LE PROJET URBAIN

---

Influences des engagements  
européens sur l'évolution des  
choix technologiques visant la  
transition énergétique dans le  
projet urbain

---

**RAPPORT FINAL partie 1**

Novembre 2024



EXPERTISES

## REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier tous les acteurs de la production de la ville que nous avons rencontrés et avec qui nous nous sommes entretenues, ainsi que les membres du Comité de pilotage :*

Olivier COUTARD, Directeur de recherches CNRS au LATTS

Caroline GALLEZ, Directrice de recherches à l'Université Gustave Eiffel, Laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT).

Guillaume LACROIX, Directeur du programme national POPSU Transitions

François MÉNARD, Secrétaire permanent adjoint du Plan Urbanisme Construction Architecture (Puca).

## CITATION DE CE RAPPORT

NESSI Hélène, Coblenca Alena, 2024. **Projet DEFITE : Influences des engagements européens sur l'évolution des choix technologiques visant la transition énergétique dans le projet urbain**, 71 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

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

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : N°2204D0006

Étude réalisée par NESSI Hélène et COBLENCE Alena pour ce projet financé par l'ADEME

En partenariat avec Suez Consulting pour les ateliers

Projet de recherche coordonné par NESSI Hélène

Appel à projet de recherche : APR TEES - Transitions Ecologiques, Économiques et Sociales

Coordination technique - ADEME : GRACY Cécile

Direction/Service : Service Bâtiment

# SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	5
ABSTRACT .....	6
1. INTRODUCTION .....	7
.....	9
2. METHODOLOGIE .....	10
3. OBJECTIFS EUROPEENS : INDEPENDENCE ENERGETIQUE ET PRODUCTION D'ENR .....	13
3.1. Construction de l'Europe autour du marché énergétique commun.....	13
3.2. Concilier les engagements environnementaux et limitation de la dépendance énergétique.....	13
3.2.1. Efficacité énergétique : la RT2012 le durcissement des normes d'isolation.....	14
3.2.2. Limitation des émissions de GES : la RE2020 et l'impact carbone des énergies et de la construction sur le cycle de vie du bâtiment.....	15
3.3. Production d'EnR connectées au cœur de l'indépendance énergétique : le modèle énergétique décentralisé à l'échelle locale pour norme .....	20
4. PRODUCTION DE CHALEUR RENOUVELABLE ET PEU CARBONNEE : UNE PROBLEMATIQUE TERRITORIALE ?.....	23
4.1. Accent sur la production d'EnR : essor des réseaux de chaleur verts .....	23
4.2. Évolution de la mise en œuvre de réseau de chaleur : choix de la ressource, échelle d'intervention et gouvernance.....	24
4.2.1. Source de chaleur d'origine renouvelable : quel taux pour un prix compétitif ?.....	24
4.3. Chaudière collective biomasse : une solution de secours pour produire une EnR dans le cadre de microréseau ?.....	28
4.4. Échelle territoriale : vers la bonne densité et la bonne gouvernance.....	31
4.5. RE2020 et la production de chaleur : le réseau de chaleur en compétition avec la pompe à chaleur .....	32
5. PRODUIRE SON ELECTRICITE, GERER SON PARC ET AUTOCONSOMMER .....	37
5.1. Évolution de la production d'électricité : mise sur le solaire photovoltaïque .....	37
5.2. Panneaux photovoltaïques : à qui de les installer, à qui de les gérer ? .....	40
5.3. Réseau décentralisé de la production de l'électricité photovoltaïque : une piste encore problématique à mettre en place .....	42
5.4. Engagement des citoyens .....	45
5.5. Avenir du photovoltaïque : ACV une résurrection de la filière photovoltaïque en France ? .....	46
6. EAU CHAUDE SANITAIRE, UNE VOIX POUR LA PRODUCTION D'ENR A L'ECHELLE DU BATIMENT .....	51

6.1.	Échec des panneaux solaires thermiques, essor du ballon thermodynamique .....	51
<b>7.</b>	<b>NOUVELLE PROBLEMATIQUE : L'IMPACT CARBONE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION .....</b>	<b>53</b>
7.1.	Entamer un changement dans l'approche de la construction.....	53
7.2.	Décarbonation à partir des choix de matériaux.....	55
7.3.	Défi des calculs : comment et avec quelles données ?.....	61
7.4.	Conséquences de la décarbonation dans la production du projet d'aménagement urbain	63
<b>8.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>66</b>
8.1.	Résistance du modèle historique centralisé français dans la mise en œuvre d'un modèle énergétique européen décentralisé .....	66
8.2.	La question énergétique, un emboîtement d'échelle .....	66
8.3.	RE2020 : Décarbonation des énergies et de la construction .....	68
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERENCES LEGISLATIVES .....</b>	<b>72</b>
	<b>INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....</b>	<b>73</b>
	<b>SIGLES ET ACRONYMES .....</b>	

## RÉSUMÉ

Ce projet questionne les conditions d'avènement d'un processus de transition énergétique dans le cadre du projet d'aménagement urbain. Le projet urbain doit reposer sur un modèle économique équilibré. L'ajout de la mise en place de technologie favorisant la transition énergétique semble mettre en péril cet équilibre et rend frileux un certain nombre d'acteurs à s'engager dans sa mise en œuvre. Ce travail vise à une meilleure compréhension des verrous afin d'anticiper au mieux les dépenses, l'organisation du projet pour éviter de le dénaturer, limiter la perte de temps et d'inciter ainsi les acteurs à s'engager dans la transition énergétique. La transition énergétique interroge notamment les usages sociaux des technologies en ce qu'elles sont porteuses de bouleversements d'ampleur dans la division du travail. Comment fait-elle évoluer les métiers de la production urbaine ? Jusqu'à quel point exigera-t-elle de repenser les pratiques et les identités professionnelles ? Quelles sont les obstacles à la mise en œuvre de la transition énergétique ?

- Relever l'influence des engagements européens, des choix réglementaires et des aides financières sur l'évolution des choix technologiques visant la transition énergétique et la capacité des aménageurs publics et privés et des promoteurs à mettre en place ces technologies.
- Relever les freins des différents acteurs du projet d'aménagement urbain à s'engager dans la transition énergétique. L'originalité de ce projet sera de suivre les étapes du projets urbains : de la définition du projet urbain jusqu'à la phase de construction des bâtiments et des espaces publics.
- Détecter les obstacles concrets rencontrés au cours de quatre projets urbains portés par des aménageurs publics et/ privés, s'inscrivant dans le label écoquartier et proposer un retour d'expérimentation et des leviers pour dépasser ces obstacles.

La question du développement des énergies renouvelables et de la récupération d'énergie amène les acteurs à considérer le territoire non plus comme un lieu uniquement de consommation énergétique mais aussi potentiellement producteur d'énergies. Ce premier rapport présente l'analyse des transformations techniques et matérielles en prenant en compte les spécificités d'un territoire au cours de projets d'aménagement urbain d'envergures portés par la puissance publique ou par des aménageurs privés. A cette échelle, les actions publiques concernant la transition énergétique se matérialisent à travers deux volets d'actions : la planification d'un système de production énergétique à l'échelle du territoire d'intervention et la réglementation thermique et environnementale à l'échelle du bâtiment. Pour accompagner le premier volet, des outils opérationnels à l'échelle du projet d'aménagement voient le jour : l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables et la procédure de classement des réseaux de chaleur. Le second volet d'actions concerne la performance énergétique du bâtiment. La performance énergétique est intégrée à une procédure de qualité environnementale relativement classique. Elle fait l'objet d'une réglementation spécifique, la réglementation thermique dont les objectifs sont régulièrement renforcés. Des niveaux de performance sont également visés par différentes certifications environnementales et labels énergétiques. La production de l'énergie s'ajoute ainsi aux objectifs de performance énergétique imposés aux promoteurs et à tous les porteurs de projet de construction.

## ABSTRACT

This project questions the conditions for the advent of an energy transition process within the framework of the urban development project. The urban project must be based on a balanced economic model. The addition of the implementation of technology promoting the energy transition seems to jeopardize this balance and makes a certain number of actors reluctant to engage in its implementation. This work aims to better understand the obstacles to better anticipate expenses, the organization of the project to avoid distorting it, limit the loss of time and thus encourage actors to engage in the energy transition. The energy transition questions the social uses of technologies in that they bring about major upheavals in the division of labor. How does it change urban production professions? To what extent will it require rethinking professional practices and identities? What are the obstacles to the implementation of the energy transition?

1. Identify the influence of European commitments, regulatory choices and financial aid on the evolution of technological choices aimed at the energy transition and the capacity of public and private developers and promoters to implement these technologies.
2. Identify the obstacles faced by the various stakeholders in the urban development project to engage in the energy transition. The originality of this project will be to follow the stages of the urban projects: from the definition of the urban project to the construction phase of buildings and public spaces.
3. Detect the concrete obstacles encountered during four urban projects led by public and/or private developers, part of the eco-district label and propose feedback from the experiment and levers to overcome these obstacles.

The issue of developing renewable energies and energy recovery leads stakeholders to consider the territory not only as a place of energy consumption but also as a potential producer of energy. This first report presents the analysis of technical and material transformations by considering the specificities of a territory during large-scale urban development projects carried out by public authorities or private developers. At this scale, public actions concerning the energy transition materialized through two action components: planning an energy production system at the scale of the intervention territory and thermal and environmental regulations at the scale of the building. To support the first component, operational tools at the scale of the development project are emerging: the feasibility study on the potential for developing renewable energies and the classification procedure for heat networks. The second action component concerns the energy performance of the building. Energy performance is integrated into a relatively classic environmental quality procedure. It is subject to specific regulations, thermal regulations, the objectives of which are regularly strengthened. Performance levels are also targeted by various environmental certifications and energy labels. Energy production is thus added to the energy performance objectives imposed on developers and all construction project leaders.

# 1. Introduction

---

Malgré les efforts déjà engagés, le Haut Conseil pour le Climat (2020) souligne dans son rapport la - trop faible - réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de consommations énergétiques au regard des engagements pris à l'échelle européenne. Dans ce cadre, les efforts doivent être portés dans tous les secteurs et notamment celui du bâtiment et de la production urbaine. En vue d'une meilleure efficacité énergétique, les aménageurs et l'ensemble des acteurs sont ainsi amenés à porter des ambitions plus fortes en termes d'isolation et de transition technologique favorisant le remplacement d'investissements énergivores par des équipements plus frugaux, ou l'essor de parcs d'activités complémentaires fondés sur une économie circulaire moins consommatrice d'énergie et de matières premières (Gérardin, Damette, 2020). Ces démarches s'inscrivent dans un processus de transition énergétique plus large qui consiste à passer du mode de production et de consommation actuel à un nouveau modèle économique, social et environnemental impliquant de nouvelles formes de consommation, de production (Gérardin, Damette, 2020), mais également dans un processus de transition urbaine promouvant des villes durables. Un processus de territorialisation de la transition énergétique est en cours (Durand et al., 2015), les villes jouant un rôle croissant dans la transformation des systèmes d'énergie, dans un contexte jusque-là dominé par les acteurs nationaux. Les enjeux énergétiques en plus de concerner les citoyens et les consommateurs concernent également les organisations publiques et privées. Ces dernières s'adaptent aux lois européennes, traduites en lois nationales, en réglementations thermiques et environnementales. Ces transformations rapides et permanentes interrogent sur la capacité des acteurs à mettre en œuvre ces objectifs et ces réglementations.

L'Union Européenne (UE), historiquement construite autour de la question énergétique et de l'indépendance énergétique, engage ses pays membres à développer le mix énergétique et à limiter la production d'émissions de GES, reposant à la fois sur (1) la diminution de la consommation d'énergie et (2) le développement des énergies renouvelables (EnR). Pour promouvoir ces EnR, le modèle européen de transition énergétique repose sur la décentralisation énergétique à l'échelle territoriale (consommer des ressources locales et développer de l'autoconsommation). Pourtant, ce modèle entre en contradiction avec le modèle énergétique français centralisé, expliquant peut-être le retard de la production d'EnR dans les objectifs 2020 pris par la France, seul pays n'ayant pas atteint ces objectifs (Figure 1). Ce modèle européen nécessite une délégation de compétences énergétiques à l'échelle locale. Cette délégation va se concrétiser à l'échelle de l'intercommunalité suite à la loi NOTRe et la loi MAPTAM. Ces enjeux de transition se matérialisent notamment dans les projets urbains commandés par les collectivités aux aménageurs publics ou privés.

Un certain nombre d'outils stratégiques sont à disposition des collectivités locales et des aménageurs pour mettre en œuvre la transition énergétique au sein des villes. Les objectifs des documents de planification urbaine ont été progressivement enrichis par le législateur vers une meilleure prise en compte des enjeux énergétiques et climatiques, notamment à travers les lois Grenelle. En plus de ces nouveaux dispositifs, les lois Grenelle ont abouti à la création de documents de planification spécifiques aux enjeux énergétiques et climatiques : les bilans d'émissions de GES, les Plans Climat-Air-Energie Territoriaux (PCAET), les Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE), les Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables. Une partie des déclinaisons de ces stratégies descendantes sont traduites à l'échelle du projet d'aménagement urbain. A cette échelle, les actions publiques concernant la transition énergétique se matérialisent à travers deux volets d'actions : la planification d'un système de production énergétique à l'échelle du territoire d'intervention et la réglementation thermique et environnementale à l'échelle du bâtiment. Pour accompagner le premier volet, des outils opérationnels à l'échelle du projet d'aménagement voient le jour : l'étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables et la procédure de classement des réseaux de chaleur<sup>1</sup>. La question du développement des énergies renouvelables et de la récupération d'énergie amène les acteurs à considérer le territoire non plus comme un lieu uniquement de consommation énergétique mais aussi potentiellement producteur d'énergies.

Le second volet d'actions concerne la performance énergétique du bâtiment. La performance énergétique est intégrée à une procédure de qualité environnementale relativement classique. Elle fait l'objet d'une réglementation spécifique, la réglementation thermique dont les objectifs sont régulièrement renforcés. Des niveaux de performance sont également visés par différentes certifications environnementales et labels énergétiques. La production de l'énergie s'ajoute ainsi aux objectifs de performance énergétique imposés aux promoteurs et à tous les porteurs de projet de construction.

---

<sup>1</sup> Le classement d'un réseau de chaleur ou de froid est la procédure qui permet à une collectivité de rendre obligatoire le raccordement au réseau, existant ou en projet, dans certaines zones, pour les nouvelles installations de bâtiments.

Si la difficile concrétisation des objectifs et des orientations stratégiques à l'échelle territoriale a été démontrée dans plusieurs recherches (Coutard et Gallez, 2023 ; De Sartre, 2021 ; La Branche et Bosboeuf, 2017 ; Poupeau, 2013, 2017 ; Bertrand et Richard, 2014), peu de recherches se sont intéressées aux phases plus opérationnelles (Colombert, 2018). Pourtant, le temps long de mise en œuvre des projets expose particulièrement les acteurs aux changements de normes. Ce constat nous amène à observer comment les métiers de la production urbaine sont bousculés par la mise en œuvre de la transition énergétique et se reconfigurent. Cette phase questionne les conditions d'avènement d'un processus de transition énergétique en analysant l'articulation entre l'échelle du projet urbain et celle du bâtiment, en d'autres termes l'opérationnalité de la transition écologique (Colombert, 2018).

Pourquoi partir de l'échelle du projet d'aménagement urbain ? Ces projets, portés par des aménageurs publics ou privés, sont souvent l'opportunité d'introduire de nouvelles pratiques, de nouveaux outils, d'intégrer de nouveaux acteurs en enclenchant une inflexion vers une approche plus transversale et urbaine (Souami, 2008). Nous assistons ainsi progressivement à un rapprochement entre expertise de l'aménagement et l'énergie (Colombert, 2018). Les modèles véhiculés à l'échelle internationale tels que l'autonomie énergétique des territoires et la consommation de ressources énergétiques locales (Lopez, 2019 ; Nessi, 2019 ; Rifkin, 2013 ; Chanard, 2011) sont souvent mobilisés dans les orientations des PCAET. Dans les faits, l'utilisation des ressources énergétiques locales semble plus compliquée à mettre en place qu'il n'y paraît. Les aménageurs doivent désormais organiser des solutions urbanistiques et des dispositifs technologiques. Les orientations de l'aménageur sont traduites dans un cahier des charges et à travers un plan guide. Une fois ce plan guide défini, des promoteurs, chargés de la réalisation du bâtiment, seront retenus pour les différents lots définis dans le plan guide.

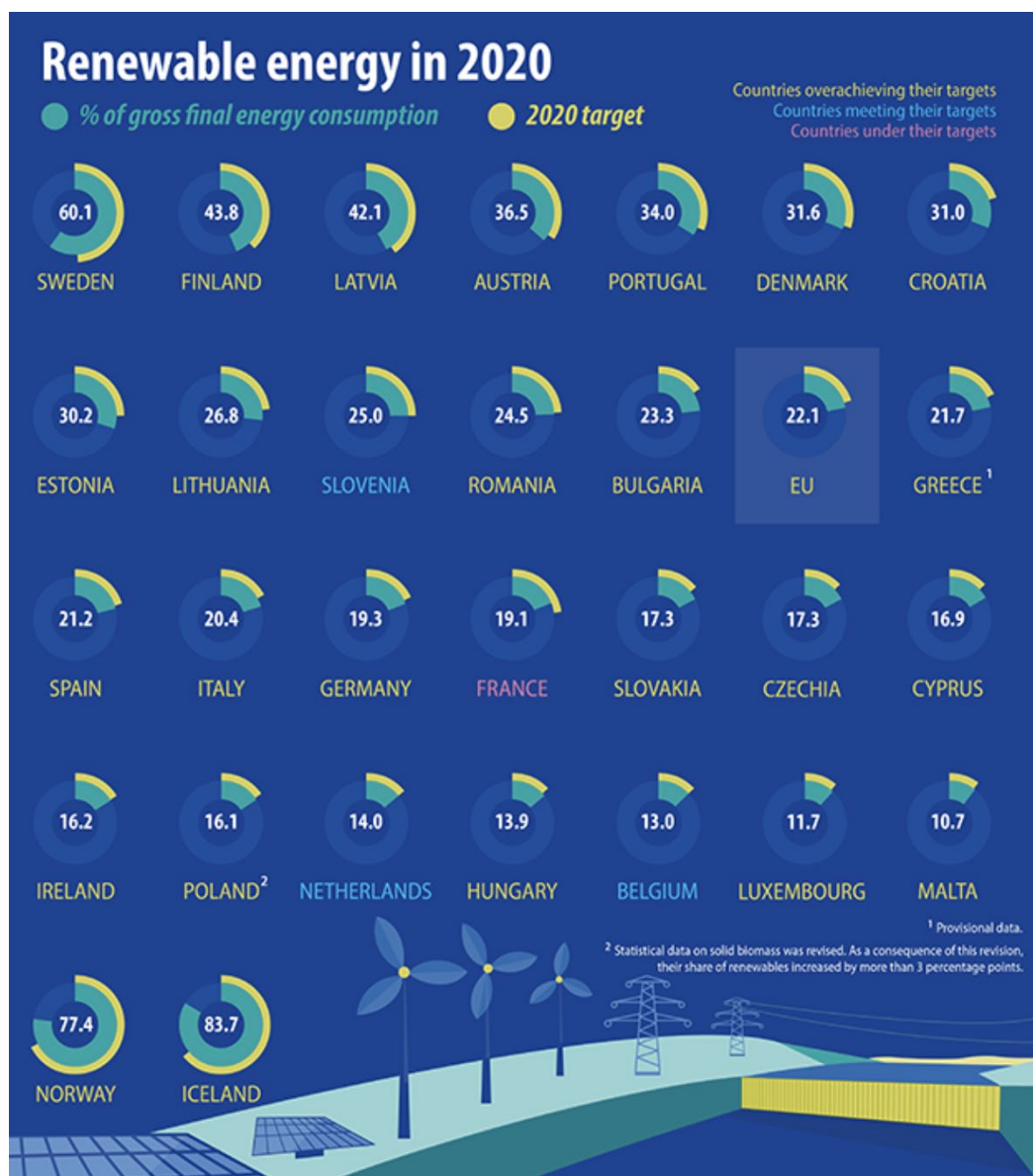
Cette première phase vise à analyser les transformations techniques et matérielles en prenant en compte les spécificités d'un territoire au cours de projets d'aménagement urbain d'envergures portés par la puissance publique ou par des aménageurs privés. Si certaines recherches se sont intéressées à la façon dont le développement durable est saisi par les professionnels de la conception architecturale et urbaine (Renauld, 2012 ; Grudet, 2015 ; Tribout, 2015 ; Adam, 2016 ; Lacroix, 2019) et les conséquences de cette injonction au développement durable pour le métier d'urbaniste (Souami, 2008) et pour les promoteurs (Taburet, 2012), les freins lors de la mise en œuvre de la transition énergétique dans des projets d'aménagement de la définition du projet urbain à sa construction sont assez peu analysés.

Nous nous appuyons sur une approche sociotechnique du changement, qui considère comme indissociables les dimensions sociales et techniques dans la compréhension des choix retenus des solutions énergétiques. L'idée sous-jacente étant que le changement ne se produit pas uniquement parce qu'il est techniquement possible, mais aussi parce qu'il est « socialement désiré » par des coalitions d'acteurs susceptibles de faire prévaloir leurs intérêts. A ces deux dimensions, technique et sociale, nous en ajoutons une troisième, celle de la dimension spatiale. Les caractéristiques spatiales de chaque territoire diffèrent. Comme nous l'avons précisé précédemment, les territoires accueillent en leur sein des potentiels énergétiques très variables. Si les outils sont les mêmes en ville centre qu'en périphérie, en revanche, le potentiel énergétique sur les territoires, la volonté de la part des acteurs de porter des projets de transition énergétique et le prix de vente de l'immobilier ont un fort impact sur les marges de manœuvre possibles pour concrétiser la mise en œuvre de la transition.

Le chapitre 3 réinscrit les besoins énergétiques dans le projet urbain dans un contexte politique européen et national. Au vu du contexte et une fois la question de l'enveloppe, de l'isolation des bâtiments traitée, trois pistes de besoins énergétiques sont hiérarchisées par les acteurs de la manière suivante. (1) La chaleur, coût énergétique le plus élevé pour l'utilisateur, peut reposer sur différents types de ressources : fioul, gaz, électricité ou réseau de chaleur (provenant de l'incinération de déchets ou de bois de pellets, de récupération d'énergie fatale ou encore de la géothermie). Dans ce contexte de mix énergétique et de dépendance, en particulier au gaz et au fioul, le développement de ressources locales semble être la piste prioritaire pour les acteurs de la production urbaine. Dans le chapitre 4, nous verrons comment les différentes solutions technologiques ont évolué et se sont adaptées aux évolutions réglementaires, en particulier suite à la RT2012 et la RE2020. (2) Le chapitre 5 montre que l'électricité reste une ressource privilégiée en France compte tenu de sa production conséquente avec le nucléaire. L'objectif de production d'EnR dans le mix énergétique fait de la production de l'électricité à partir du photovoltaïque une alternative complémentaire à la production nucléaire. Compte tenu du modèle très centralisé du réseau français d'électricité et de sa gouvernance, la mise en place de l'autoconsommation est encore un sujet majeur. Cette production locale d'électricité est également à mettre en regard avec les objectifs de développement des véhicules électriques. (3) Enfin, le chapitre 6 détaille la troisième piste à l'échelle du logement, celle de l'énergie nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire (ECS). Les ressources utilisées pendant longtemps pour chauffer l'eau ont été l'électricité et le gaz. Avec la RT2012 et l'obligation de produire l'ECS à partir d'une production d'EnR, ce secteur a été investi et des innovations technologiques ont permis de proposer de nouvelles solutions permettant une moindre consommation d'énergie non renouvelable. Par ailleurs, c'est une dynamique qui est aujourd'hui inévitable pour arriver à respecter la RE2020. Suite à la RE2020, la problématique la plus actuelle est désormais celle de la décarbonation. Jamais abordée jusqu'à l'arrivée de la RE2020, elle devient désormais le sujet central concernant notamment l'impact carbone du bâtiment calculé à partir de la ressource d'énergie et du choix de la

technologie de sa production et du choix des matériaux. Le sujet de la décarbonation des énergies est abordé dans les chapitres 4 et 5, le dernier chapitre 7 concerne, en revanche, la décarbonation de la construction.

Figure 1 - Part des EnR dans la consommation finale brute d'énergie en 2020 par Etat membre au regard de son objectif national pour 2020. Source : Eurostat, 23/01/2020



## 2. Méthodologie

---

Au regard de l'évolution des engagements européens et de leur déclinaison à travers le volet d'actions de la réglementation thermique et environnementale (RT et RE) et d'aides financières publiques et de lois, nous relèverons les tendances de l'évolution des choix technologiques dans les projets urbains publics et privés. Nous nous intéressons à l'influence de ces engagements sur les choix de ressources énergétiques et donc des technologies et l'adaptation de la gouvernance de ces technologies et l'évolution de leur échelle de mise en œuvre.

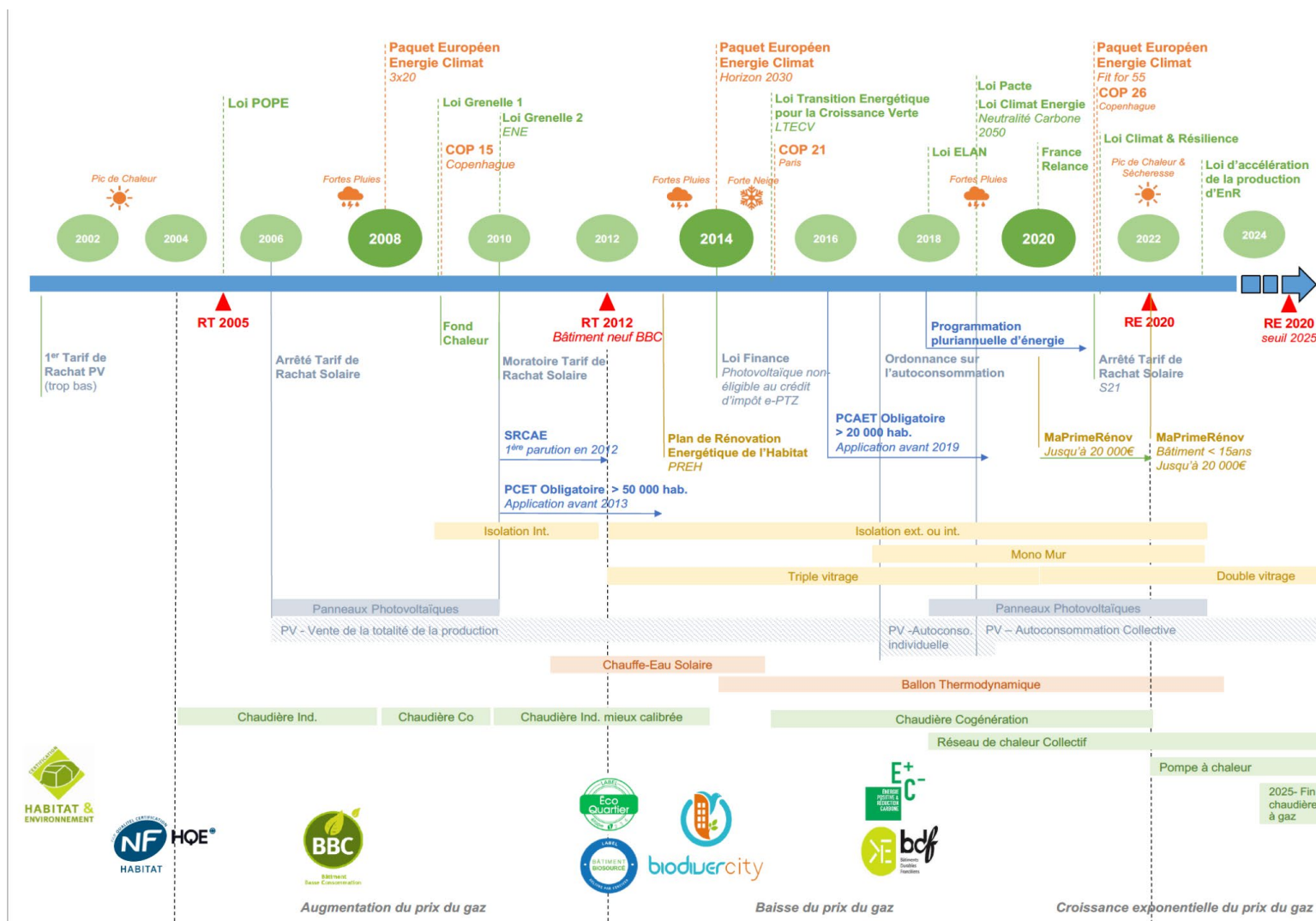
Pour cette phase, deux méthodologies complémentaires ont été mobilisées :

**(A)** Nous avons recensé les engagements européens et leur traduction par la mise en œuvre des RT, puis de la RE et les aides financières publiques depuis 2005 (année de la loi POPE et de la RT2005) jusqu'à 2022.

**(B)** Nous avons complété ce premier travail par une approche qualitative à partir d'un total de 47 entretiens semi-directifs et 5 discussions sous format de table ronde avec des industriels, des bureaux d'étude, des promoteurs, des énergéticiens, des urbanistes, l'association Ville durable, le CSTB. (1) Lors de la première phase on a fait 26 entretiens semi-directifs auprès d'aménageurs (publics ou privés), d'urbanistes, d'architectes, de promoteurs, de bailleurs, d'assistant à maîtrise d'ouvrage développement durable (AMO DD), de bureaux d'études en bâtiment (BET) et d'énergéticiens porteurs d'infrastructure (Dalkia et Cofely) afin de restituer à travers leurs récits l'évolution des choix technologiques dans le temps depuis 2005 et les raisons de ces évolutions. Nous avons notamment retracé avec eux les évolutions des choix technologiques dans leurs projets et leur capacité à les mettre en œuvre. (2) Enfin, dans cette deuxième version du rapport, pour mieux comprendre les enjeux de la mise en place des panneaux photovoltaïques et des réseaux de chaleur ainsi que des nouveaux sujets apparus avec la mise en œuvre de la RE2020, nous avons ajouté 21 nouveaux entretiens. Nous avons interrogé et incorporé des récits des nouveaux acteurs : opérateurs du photovoltaïque privés et citoyens, opérateurs des réseaux de chaleur (des réseaux privés et des réseaux public en délégation de services publiques), associations de photovoltaïque / de réseaux de chaleur et froid, un facilitateur d'autoconsommation collective, un bureau d'étude VRD / de suivi de consommation / en AMO pour le photovoltaïque, un consultant en environnement et énergie, un constructeur et un industriel. Nous avons également interrogé d'autres représentants des promoteurs tels que les chefs des projets mais aussi les pôles d'innovations d'entreprise de constructeurs ou de promoteurs.

La mise en regard des lois, des réglementations, des labels et des aides financières avec l'évolution des solutions technologiques installées au quotidien dans la production neuve montre les changements normatifs fréquents imposés par les engagements européens et leurs effets sur les pratiques concrètes des acteurs de la production urbaine dans le cadre d'opérations d'aménagement de quartiers neufs. Nous avons, ainsi, reconstitué dans une frise chronologique [Figure 2] l'évolution des lois européennes, leur traduction en lois nationales, les réglementations thermiques et environnementales, la création des différents labels énergétiques, les aides financières incitatives comme le Fonds Chaleur, les dates d'obligation de production des documents de planification stratégique, ainsi que l'évolution du type de solutions technologiques mises en œuvre dans les projets selon nos acteurs enquêtés. Les informations concernant les solutions technologiques ont été obtenues auprès des différents acteurs cités précédemment. Cette frise traduit les propos des acteurs interviewés quant à l'évolution des choix technologiques au regard des lois, des réglementations et des aides financières, ainsi que celle de la valeur des énergies fossiles, sur les choix technologiques en fonction de la ressource énergétique nécessaire pour leur fonctionnement. Nous ne considérons évidemment pas ces évolutions législatives comme l'unique explication de l'évolution des choix technologiques, mais cette mise en perspective permet d'éclairer certaines transformations de gouvernance ou d'échelle d'intervention afin de faciliter leur mise en œuvre, mais surtout leur gestion par la suite. Comme en témoigne l'ensemble des promoteurs rencontrés, cette abondante production normative a certes permis de progresser en termes d'efficacité thermique, mais la surenchère pourrait se révéler parfois contre-productive et nécessite en tout cas un temps d'adaptation à chaque changement. Cette marche forcée des objectifs de performance énergétique se traduit notamment par le durcissement des normes d'isolation, le développement parfois contrarié des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) et la course à la chaudière performante.

Figure 2 - Transposition des engagements énergétiques européens en France et vision des acteurs enquêtés sur l'évolution des technologies mises en oeuvre dans le projet d'aménagement urbain. Auteur : Hélène NESSI





### 3. Objectifs européens : Indépendance énergétique et production d'EnR

---

L'énergie, domaine de coopération de l'Europe, a toujours été au cœur de la construction de l'UE. À partir des années 2000, les enjeux environnementaux impliquent l'intégration de ces préoccupations à l'échelle européenne et en cascade des changements dans les choix de production et de consommation énergétique. L'UE, afin de limiter sa dépendance mais également de répondre à ses engagements environnementaux, mène une réflexion sur le mix énergétique. Dans cette perspective, elle promeut, la production d'EnR connectées formant un modèle énergétique décentralisé à l'échelle locale.

#### 3.1. Construction de l'Europe autour du marché énergétique commun

Aux premières heures de la construction européenne, dès les années 1950, l'énergie fait partie des secteurs de coopération privilégiés en Europe. La construction de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA), en 1952, vise à empêcher l'émergence de nouveaux conflits armés en Europe. Puis, la construction de la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique (CEEa ou Euratom), en 1958, en même temps que le traité de Rome, vise l'amélioration de l'autosuffisance énergétique en Europe. L'énergie est un instrument de souveraineté pour les pays de l'UE, sa compétence est désormais partagée entre l'Union et les États membres. L'UE agit pour assurer l'approvisionnement énergétique du continent, maintenir des prix abordables et réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais les États maintiennent toujours un certain pouvoir de décision.

La constitution d'une Union de l'énergie impliquant l'intégration totale des marchés nationaux de l'énergie a longtemps été l'un des enjeux historiques au niveau européen. Cette union s'est concrétisée avec l'ouverture progressive à la concurrence des marchés nationaux de l'électricité et du gaz, à partir de 2004 pour les entreprises et collectivités et de 2007 pour les particuliers<sup>2</sup>. La Commission européenne relance cette perspective d'Union de l'énergie en février 2015 en raison de la crise ukrainienne, l'augmentation des tensions entre l'Europe et la Russie, ainsi que le conflit en Syrie. L'approvisionnement énergétique de l'UE menacé, l'UE oriente les pays membres vers une diversification de leurs importations d'énergie afin d'atténuer ces effets. Des mesures ont alors été adoptées depuis la fin des années 2000, à la suite notamment de ruptures de livraison de gaz russe, dans le cadre des paquets Énergies (CE, 2008 ; 2014 ; 2019). Pour faciliter les flux d'énergie au sein du marché européen, l'UE développe les corridors énergétiques sur le continent<sup>3</sup> (Olivier, 2023).

Derrière la Chine et les États-Unis, l'UE est le troisième plus gros consommateur d'énergie du monde en volume. Le continent ne dispose que de faibles ressources en hydrocarbures et produit peu d'énergie primaire. Afin de satisfaire la demande énergétique du continent, l'Union Européenne importe l'essentiel de son énergie, 57 % (Eurostat, 2020). Dans ce contexte, la dépendance énergétique de l'Union Européenne vis-à-vis du reste du monde est forte, et plus particulièrement à l'égard de la Russie et du Moyen-Orient en ce qui concerne le gaz et le pétrole. Au sein de l'UE, chaque pays est plus ou moins dépendant des importations d'énergie, y compris vis-à-vis de ses voisins intra et extra-européens (Norvège, Suisse et ses STEP). La dépendance énergétique, qui correspond à la part d'importations nettes (les importations moins les exportations) dans la consommation globale d'un pays, dépasse 60 % dans 15 des 27 États membres, se situe aux alentours de 30 % en Suède, et descend à 10 % en Estonie (Eurostat, 2020). La France limite sa dépendance à 44 %, compte tenu de la prévalence du nucléaire. En revanche, l'Italie, atteint 73 % et doit importer les trois quarts de son énergie environ. En termes de production, en 2020, plus de 70 % de l'énergie disponible européenne est d'origine fossile. Le pétrole (36 %), le gaz (22 %) et le charbon (12 %) (Eurostat, 2020) dominent ainsi les autres sources d'énergie, même si leur part dans le mix en Europe a diminué de 11 points depuis 1990.

#### 3.2. Concilier les engagements environnementaux et limitation de la dépendance énergétique

Afin de concilier ces engagements environnementaux et la limitation de la dépendance énergétique les acteurs de la production urbaine sont unanimes dans la hiérarchisation des actions à mettre en place :

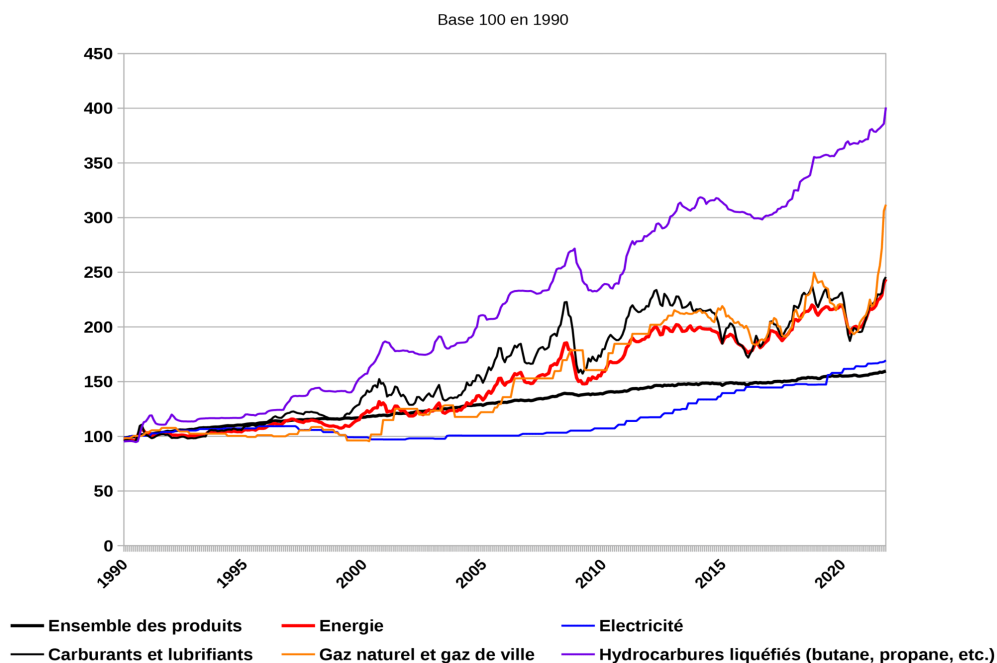
---

<sup>2</sup> Cette concrétisation se fait à travers le choix d'un "marché" dans une Europe de libre-échange (Jacques Delors) plutôt qu'une mise en commun, une coordination. Cette dérégulation a pu avoir des effets positifs sur la coopération notamment entre opérateurs des services publics du transport (TSO) et distributeurs de l'énergie.

<sup>3</sup> Le mécanisme pour l'interconnexion en Europe (MIE) est un programme de financement qui investit dans des infrastructures améliorant l'intégration du système énergétique et les réseaux transeuropéens. Par ce biais, l'Union européenne finance les corridors énergétiques sur le continent dans le cadre de projets d'intérêt commun (PIC) (<https://www.touteleurope.eu/environnement/l-energie-dans-l-union-europeenne/> et <https://www.touteleurope.eu/economie-et-social/electricite-comment-les-pays-europeens-sont-ils-connectes-entre-eux/>)

l'action prioritaire est l'efficacité énergétique<sup>4</sup>, puis vient l'objectif de limitation de la consommation d'énergie, enfin la piste du mix énergétique avec une part importante d'EnR. Si ces réflexions ont débuté avec la réglementation thermique de 2012 (RT2012), l'arrivée de la nouvelle réglementation environnementale en 2022 (la RE2020) élargit le sujet de l'énergie déjà accueilli par les acteurs du projet urbain à de nouveaux sujets le « carbone » et le « confort d'été ». Par ailleurs, dans ce contexte actuel de réduction des émissions de GES et de flambée du prix de gaz (multiplié par cinq sans le gel des tarifs annoncé par le Premier ministre Jean Castex en octobre 2021) et du fioul (multiplié par cinq en 17 ans), l'électricité nucléaire est revalorisée. Le graphique 1 présente l'évolution des prix des énergies depuis 1990 soulignant l'extrême volatilité du gaz naturel et du fioul avec l'augmentation de 3,2 points par rapport à l'électricité qui a augmenté de 1,7 point.

Graphique 1 - Prix à la consommation d'ensemble et prix des énergies, Source : Daubaire, Pujol, 2021



### 3.2.1. Efficacité énergétique : la RT2012 le durcissement des normes d'isolation

La RT2012 mise en place à la suite des engagements pris dans la loi du Grenelle 2 de 2010, a imposé à tous les bâtiments neufs de répondre à la norme BBC (Bâtiment Basse Consommation). C'est-à-dire, le plafond de consommation énergétique des constructions neuves est normalisé à 50 kWhEP/m<sup>2</sup>an (calcul en énergie primaire<sup>5</sup>). Pour y parvenir, la réglementation vise deux volets d'action, (1) limiter les besoins énergétiques du bâtiment par une conception bioclimatique et (2) mise en place des équipements performants pour une consommation énergétique réduite. Si le premier signifie que la construction doit désormais tenir compte des impacts environnementaux, cf. exposition au soleil, au vent, le dernier exige de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire pour les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs) et impose le recours à des équipements énergétiques performants.

Ces objectifs se traduisent notamment par un niveau d'isolation plus important. Ceci a eu comme répercussion le développement de l'isolation extérieure à partir des années 2010. Cette solution a pour vertu de diminuer les ponts thermiques, mais en raison du coût élevé des matériaux de bonne qualité et du manque de savoir-faire des entreprises de bâtiment, les promoteurs sont partagés sur l'apport de l'isolation par l'extérieur. Plus récemment, suite à la loi de transition énergétique de 2015, les briques monomur<sup>6</sup> se sont développées. La performance de ces isolations limite la déperdition énergétique et donc le besoin de chauffage.

<sup>4</sup> De manière générale, l'efficacité énergétique (ou efficacité énergétique) désigne l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d'énergie est minimisée pour un service rendu identique. Elle concerne notamment les métiers du bâtiment et de l'industrie.

<sup>5</sup> L'énergie primaire (kWhEP) est la consommation nécessaire à la production d'énergie finale (kWhEF) disponible pour l'utilisateur final.

<sup>6</sup> La brique monomur est en terre cuite, elle est à la fois porteuse et isolante. Cette brique présente une résistance thermique élevée : jusqu'à  $R = 3,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , conforme à la RT2012. Le monomur construit à partir de ces briques est auto-isolant et ses performances restent stables dans le temps. Le monomur équivaut à une maçonnerie traditionnelle doublée de 10 cm d'isolant.

*« Ça a été très éphémère en ce qui nous concerne, la problématique d'isolation par l'extérieur ; ça a été schématiquement six mois où il y a eu un mouvement de panique un peu, alors que je ne dise pas de bêtise, c'était passage, ça c'était le BBC voilà, [...] Donc nous, l'isolation thermique par l'extérieur, un, on ne souhaite pas en faire, parce que nos architectes ne sont pas habitués à raisonner avec l'isolation thermique par l'extérieur ; deux, il ne faut pas se leurrer c'est quand même une question de coût, c'est plus cher ; et trois, on a des solutions alternatives qui nous permettent d'arriver au même résultat. » - (Entretien, promoteur 2, 02/07/2018)*

Dans les discours actuels des acteurs une certaine performativité de la RT2012 est relevable. La question énergétique se pense tout d'abord à partir de l'enveloppe et sa capacité à diminuer le besoin d'énergie. Cette diminution de consommation s'explique également par la nette amélioration de l'isolation du vitrage grâce à la mise en œuvre de double ou triple vitrage. Si les réglementations thermiques antérieures à la RT2012 avaient mené à diminuer en moyenne l'espace vitré, soit 13 % de la façade, la RT2012 a fait augmenter de nouveau sa surface<sup>7</sup> afin de faire bénéficier le maximum de pièce de la lumière naturelle et de limiter ainsi la consommation d'électricité et d'inciter à la prise en compte lors de la conception des orientations bioclimatiques favorisant la transmission de chaleur solaire à l'intérieur du bâtiment.

*« Après c'est ce que je disais, c'est qu'il y a eu une période enfin une première période en France qu'on a été très techno, parce que c'est la première réponse de l'ingénierie et en tout cas pour moi c'est un écueil. Je pense qu'il ne faut pas miser que sur la technologie, il faut revenir à l'architecture à des choses simples parce qu'encore une fois si on veut que ce soit pérenne dans le temps il faut que ce soit simple. C'est en anglicisme c'est low cost Easy tech, il faut revenir à ces choses-là ... Quand on parle de l'architecture bioclimatique, que tout le monde en soit bien conscient, ce n'est pas toujours le cas. (...) La question aujourd'hui, c'est, est-ce que donc ça reste d'abord une question de conception et d'architecture, c'est à dire que c'est d'abord un sujet d'urbanisme et d'architecture bioclimatique, de bon sens, d'orientation, d'aération naturel. » - (Entretien, aménageur privé 1, 24/05/22)*

Cette amélioration de l'efficacité énergétique passe également par l'amélioration des huisseries de fenêtre avec l'utilisation massive du PVC et du bois. L'aluminium est quant à lui moins performant thermiquement que les deux premiers matériaux mentionnés, malgré la généralisation des rupteurs de ponts thermiques. De ces trois matériaux, les huisseries PVC sont les plus accessibles économiquement et demandent le moins d'entretiens. Cependant, la mise en œuvre de la RE2020 accentuant leur impact carbone plus important que celui des huisseries bois et le fait que le PVC soit un matériau non renouvelable ayant un impact écologique fort, risque de propulser les huisseries bois en premier plan.

Dans cette quête d'efficacité énergétique, différents acteurs partagent leur crainte de produire des bâtiments, limitant certes au maximum les ponts thermiques, mais dotés *in fine* d'une faible qualité architecturale, dénués de toute modénature, menant à des formes de bâtiment très simples, associés à « la boîte à chaussure », sans balcon et sans décrocher.

*« Ensuite, on doit être compact pour atteindre une meilleure efficacité énergétique, sinon on n'arrive pas à atteindre les objectifs. Donc à la fin, notre objectif n'est pas de faire une boîte à chaussure, c'est d'arriver à faire quelque chose qui ait quand même de la gueule quoi, voilà. Et donc ce qui est compliqué des fois c'est de maintenir cette qualité architecturale, voilà. » - (Entretien, bailleur 2, 11/07/22)*

*« En fait, ça a guidé et ça a influencé la conception architecturale. Nos études allaient influencer la façon dont l'architecte allait concevoir son bâtiment, sa façade. Il fallait réfléchir sur l'aspect thermique, sur la taille des fenêtres, l'orientation des fenêtres, les protections solaires etc. Ce sont des discussions qu'on a commencé à avoir avec la RT2012. » - (Entretien, bureau d'étude fluide et environnementale, 09/03/23)*

### **3.2.2. Limitation des émissions de GES : la RE2020 et l'impact carbone des énergies et de la construction sur le cycle de vie du bâtiment**

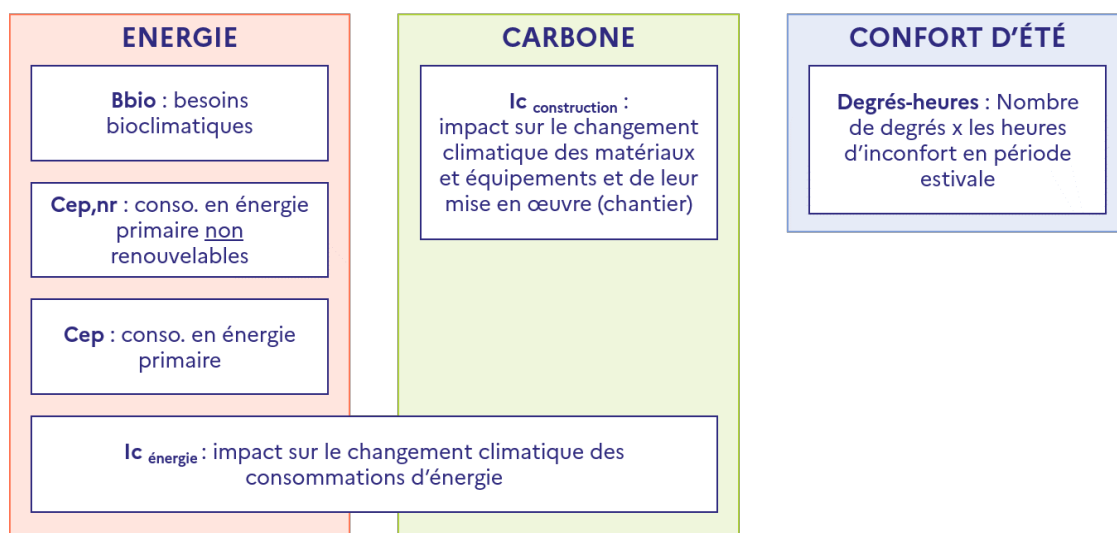
La RE2020 est la plus récente réglementation concernant le secteur de bâtiment. En 2017, afin de préparer l'arrivée de cette nouvelle réglementation, un label expérimental E+C- a été introduit. Celui-ci a eu pour objectif de préparer les acteurs du projet urbain, pour qu'ils prennent en compte des indicateurs carbone.

<sup>7</sup> Avec la RT2012, la surface de vitrage devra être supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable (1 m<sup>2</sup> de surface vitrée pour 6 m<sup>2</sup> de surface habitable)

La RE2020 entre ensuite en vigueur à partir de 1er janvier 2022 pour les bâtiments à usage d'habitation, à partir de 1er juillet 2022 pour les bureaux et bâtiments d'enseignement et à partir de 1er janvier 2023 pour les autres usages. Contrairement aux réglementations précédentes, la RE2020 est conçue autour de seuils progressifs ce qui en fait une réglementation évolutive dans le temps. Actuellement, dans la première phase jusqu'au seuil 2025, la RE2020 impose l'assimilation de la méthode de calcul des émissions de GES sur tout le cycle de vie du bâtiment, c'est-à-dire 50 ans depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la démolition (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23). Ensuite à partir de 2025 les exigences sur la réduction des émissions se renforcent à chaque échéance 2025, 2028 et 2031.

La RE2020 se base sur six indicateurs (Figure 3) qui présentent les seuils réglementaires pour les trois domaines qui sont touchés, à savoir : l'énergie, le carbone et le confort d'été. Dans la continuité des réglementations thermiques antérieures, elle souhaite tout d'abord encourager la sobriété et l'efficacité énergétique à travers la performance de l'enveloppe du bâtiment, la ventilation de l'air et la valorisation des apports gratuits en chaleur et en éclairage naturel (conception bioclimatique). Concrètement, elle vise à réduire les consommations d'énergie primaire, d'environ 15% à 20% par rapport à la RT2012. Elle impose également des exigences plus ambitieuses sur le besoin bioclimatique du bâtiment (Bbio), qui était introduit avec la RT2012 et qui concerne le chauffage, le froid et l'éclairage, afin de réduire leurs besoins d'environ 30% par rapport à la RT2012.

Figure 3 - Les six indicateurs de la RE2020 par domaine, Source : Cerema (2022, p.2)



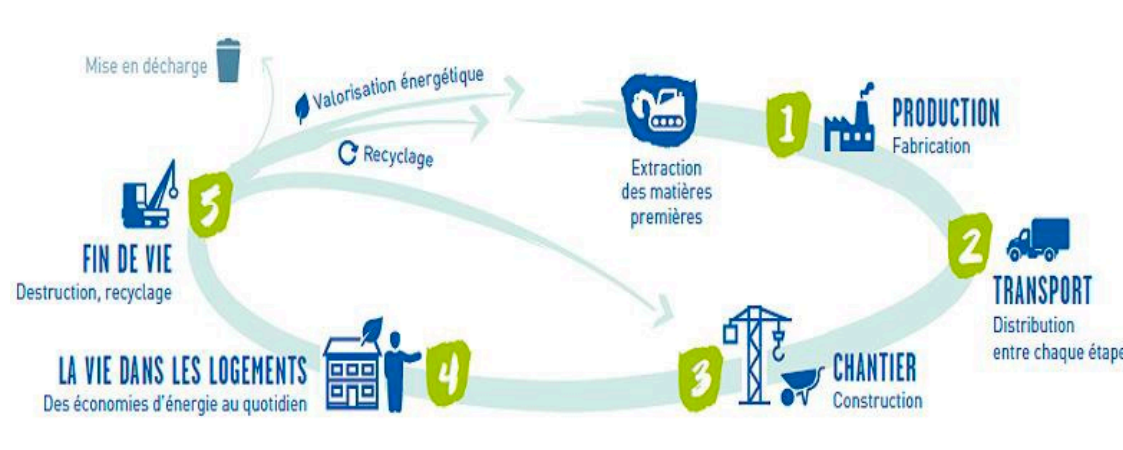
Si la RE2020 continue d'imposer une conception architecturale efficace énergétiquement déjà standardisée depuis la RT2012, cette réglementation propose un second volet d'actions nouvelles plus perturbantes pour les acteurs de la construction. Elle introduit des exigences fortes de limitation des émissions de GES sur l'ensemble des émissions du bâtiment et sur son cycle de vie. L'impact environnemental représente la somme des émissions GES de catégories relatives aux composants, à l'énergie, à l'eau, au chantier et à la parcelle (Figure 4). Tandis que la RE2020 évalue l'impact sur tous ces aspects, elle réglemente uniquement les émissions de GES relatives à l'énergie, aux composants et au chantier. Ainsi, les indicateurs *Ic énergie* et *Ic construction* calculent l'impact du projet de la construction neuve sur le changement climatique et soumis à des seuils progressifs.

En ce qui concerne l'indicateur *Ic énergie*, il s'agit des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie dans le bâtiment, donc par les technologies employées. Selon le rapport de Cerema (2022), l'objectif est double, (1) préférer les énergies moins carbonées avec une sortie des énergies fossiles ultérieure et (2) systématiser la chaleur renouvelable afin de limiter les solutions au gaz et à l'effet Joule en dehors de l'appoint (cf. chapitre 2.2). Dans le cas de l'indicateur *Ic construction*, ce sont les émissions liées aux matériaux de construction et d'équipements (les composants) durant leur cycle de vie et les émissions liées au chantier. Une approche en Analyse de Cycle de Vie (ACV) dynamique<sup>8</sup> a été

<sup>8</sup> L'ACV dynamique, contrairement à l'ACV statique utilisée pour la RT2012, prend en compte le moment de l'émission des GES (ou de la captation). Ainsi, en fonction de l'année d'émission, les émissions de GES sont pondérées. C'est-à-dire, plus une émission a lieu tôt, plus on considère que son impact est dommageable. L'ACV statique les considère comme si les émissions de GES avaient lieu simultanément.

retenue par l'État pour valoriser les modes constructifs peu émissifs de GES, la mixité des matériaux et le recours aux matériaux biosourcés permettant le stockage temporaire du carbone comme le bois. L'ACV mesure l'impact environnemental du bâtiment sur l'ensemble de sa durée de vie, depuis l'extraction des matériaux jusqu'à la fin de sa vie, *i.e.* sur la durée de vie de référence du bâtiment (estimé en moyenne à 50 ans). Elle inclut également le renouvellement des produits à l'identique.

Figure 4 - Principe de l'analyse de cycle de vie, Source : Cerema (2022, p.14)



« J'ai vu les changements de manière très nette. Quand je suis arrivé, on parlait de BBC à l'époque de 2005. Pendant très longtemps, on a eu d'abord à traiter les sujets de très haute performance énergétique qui ont été traités et réglés par le label BBC et après par la RT2012, qui a été la généralisation des bâtiments très performants. Et à partir de 2016, avec mon équipe, on a appris un nouveau métier puisqu'on a commencé à s'intéresser au carbone avec le précurseur du label E+C-, qui était le référentiel PEB. Et oui, ça a tout changé et donc nos sujets d'il y a quinze ans, c'était l'étanchéité à l'air, le traitement des ponts thermiques. Et notre sujet d'aujourd'hui, c'est l'impact carbone. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)

« La RT2012 est venue en fait inscrire le niveau BBC comme la règle, c'est un peu la philosophie. Donc, on sait qu'il faut taper fort sur l'enveloppe thermique qui est d'avoir des consommations finalement réglementaires optimisées. Finalement, la RE2020 vient un peu renforcer ça, mais pas tant avec le gap énergétique, il n'est pas énorme. Donc en fait, on est sur une continuité parce qu'on est sur des bâtiments qui sont neufs, qui sont foncièrement peu consommateurs d'énergie. Donc le vrai changement, c'est le carbone, les matériaux. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/2022)

La question de l'impact carbone risque de changer le regard porté sur l'efficacité de certaines technologies qui jusqu'alors étaient considérées comme des solutions pertinentes au regard de leur efficacité énergétique. Par exemple, le triple vitrage limitant les ponts thermiques, d'un point de vue carbone n'est plus compétitif comparé au double vitrage devenu la norme suite à la RT2012. Tandis que le triple vitrage, dans le contexte de la RE2020, sera fragilisé, d'autres solutions technologiques seront au contraire mises en avant. À savoir, la pompe à chaleur économe en énergie et qui peut triplement contribuer à la décarbonation du bâtiment via la décarbonation de la production du chauffage, de l'eau chaude sanitaire et de la climatisation.

« Le double vitrage très performant a été valorisé dans le cadre de la réglementation purement thermique. Le triple vitrage est plus performant qu'un double assez nettement mais aussi beaucoup plus cher. Au niveau acoustique, il peut être très bon mais au niveau carbone, je ne vous le dis pas. Et donc là, sous la force de l'énergie, le triple vitrage pouvait être un matériau d'avenir. Avec l'avènement du carbone, je pense que le triple vitrage ne va pas se développer en France ou très peu. Il va se développer de façon marginale. Ce n'est pas simplement une question de coût, c'est effectivement une question de carbone qui fait que le triple vitrage sera rarement pertinent. Il sera pertinent dans certaines situations, dans certains bâtiments mais ça ne va pas du tout être standardisé. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)

« Les réseaux chaleur vertueux, et puis le bois. Effectivement ce sont deux filières énergétiques qui sont mises en avant puisqu'on va abandonner le gaz, de toute façon à très court terme. Il ne restera plus que ça. Mais il ne faut pas oublier l'électricité, c'est-à-dire la pompe à chaleur. Et très clairement, la pompe à chaleur va être la reine de la RE 2020. C'est déjà un produit relativement courant, qui est déjà le produit standard en maison individuelle neuve depuis pas loin de 10 ans. Et

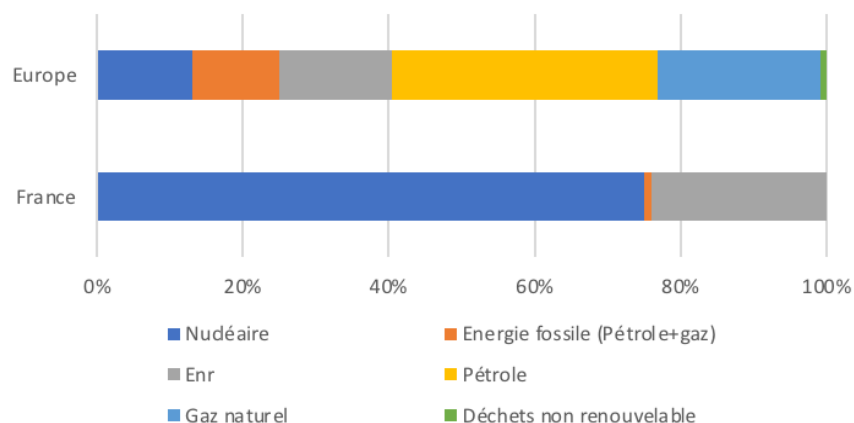
*qui va devenir un produit standard en immeuble collectif et dans beaucoup de tertiaire. On a déroulé le tapis rouge devant la pompe à chaleur. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

Le dernier sujet soulevé par la RE2020 est la problématique du confort d'été et le rafraîchissement des bâtiments. Pour la première fois, la conception du bâtiment doit questionner les besoins en froid et travailler cette problématique en mobilisant davantage la conception bioclimatique et d'autres solutions passives ou peu consommatrices en énergie (cf. chapitre 2.5). Ainsi la priorité est donnée à la réduction des consommations du froid. Un nouvel indicateur, le nombre de Degrés-Heures (DH) d'inconfort estival, est introduit afin de limiter l'inconfort en période de forte chaleur. Il exprime la durée et l'intensité des périodes d'inconfort dans le bâtiment perçu par les occupants.

### 3.2.3. Piste du mix énergétique et de la production d'EnR

La crise environnementale et les événements récurrents rappelant la forte dépendance énergétique au pays situés à l'Est du continent font de la provenance et du type de ressource en énergie des enjeux environnemental et géopolitique. Ces deux objectifs sont étroitement imbriqués du fait de la forte émission de GES provenant de la production et de la consommation d'énergie (Graphique 2 et 3), soit les trois quarts des émissions de GES à l'échelle européenne (Eurostat, 2020). En matière énergétique, depuis le traité sur le fonctionnement de l'UE (TFUE, 2012), l'UE s'engage à garantir le fonctionnement du libre marché de l'énergie, à assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique en imposant le mix énergétique, à promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie, à encourager le développement des énergies renouvelables et à assurer l'interconnexion des réseaux énergétiques.

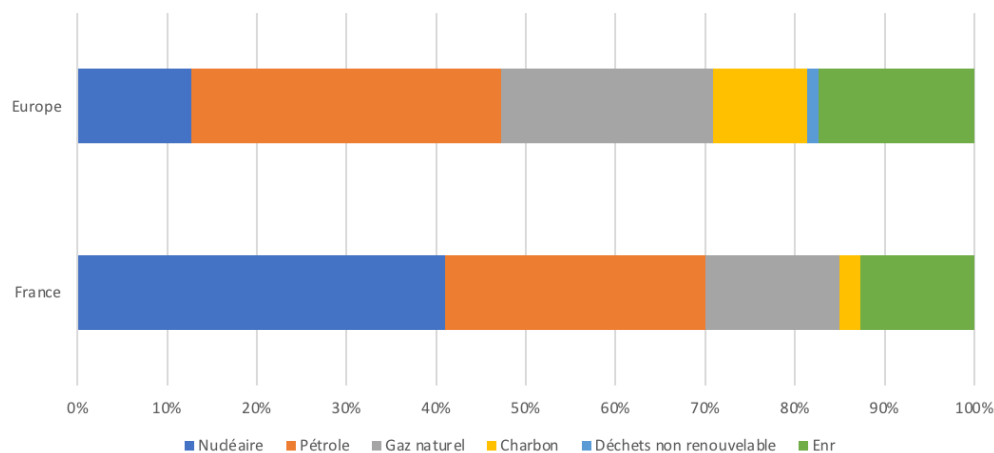
Graphique 2 - Mix de production énergétique européenne et en France en 2020, Source : Eurostat- Données 2020, Auteur : Hélène NESSI



Les objectifs environnementaux sont traduits à travers un certain nombre d'engagements pris par les différents pays membres de la communauté Européennes (Tableau 1). Après le Paquet Européen Énergie Climat 3\*20 (CE, 2008), celui de 2014 (CE, 2014) engage les pays dans des engagements plus contraignants de réduction des émissions de GES de 55 % par rapport aux niveaux de 1990, de 32 % d'EnR dans la consommation énergétique finale d'ici 2030 et de l'objectif indicatif d'améliorer d'au moins 32,5 % l'efficacité énergétique<sup>9</sup> par rapport aux projections faites en 2008. Enfin, en 2019, la Commission européenne a souhaité rehausser ces ambitions avec le Pacte Vert pour l'Europe (CE, 2019). Dans le but d'atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050, l'exécutif européen a notamment réalisé en 2021 une révision de la directive sur les énergies renouvelables, fixant à 40 % l'objectif d'énergies propres dans le mix énergétique de l'UE d'ici 2030.

<sup>9</sup> L'efficacité énergétique correspond au rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet.

Graphique 3 - Mix énergétique utilisé pour la consommation européenne et en France en 2020, Source : Eurostat-Données 2020, Auteur : Hélène NESSI



Chacun des pays européens possède son propre mix énergétique, c'est-à-dire le choix et la proportion des sources d'énergie consommées au sein de son territoire, qu'elles soient nucléaires, fossiles ou renouvelables. Comment concilier indépendance énergétique, politique commune et neutralité carbone d'ici 2050 ?

Ainsi, l'UE doit répondre à deux enjeux fondamentaux : les ressources énergétiques doivent limiter les émissions de GES et permettre une indépendance énergétique de l'Europe et des pays membres. Lancés à l'initiative de l'UE, des premiers engagements suite aux COP (conférences des parties) se formalisent, introduisant, telle une norme, la territorialisation urbaine du système énergétique à l'échelle locale. L'UE promeut, alors, un changement de modèle énergétique reposant sur un modèle décentralisé, autonome en plus des objectifs de baisse de la consommation. La mise en place de ce modèle décentralisé suggère des investissements mais également son appropriation par des territoires locaux. La question énergétique en touchant finalement à de nombreux secteurs à savoir l'urbanisme, les transports, les services en réseaux, fait émerger un nouveau registre de l'action publique celui de la transition énergétique (Poupeau, Boutaud, 2021). Ce registre d'action bouscule l'organisation du réseau électrique centralisé, en particulier en France, modèle érigé comme un modèle de réseau sociotechnique, permettant l'accès aux réseaux pour tous (Dupuy, 1991, 2011 ; Naumann et Bernt, 2009 ; Coutard, 2010), reflétant certaines doctrines philosophiques saint-simonienne (Picon, 2002).

Tableau 1 - Les objectifs des Paquets Climat air et énergie 2008, 2014, 2019, Source : CE, 2008 ; 2014 ; 2019, Auteur : Hélène NESSI

	2008 Horizon 2020	2014 Horizon 2030	2019 Horizon 2059
Diminution de CO2 (par rapport à 1990)	-20%	-40% à -55%	-80% à -95%
Production d'EnR dans la consommation d'énergies	-20%	32%	40%
Efficacité énergétique	-20%	32,5% (par rapport à 2008)	X

### 3.2.4. Retour du nucléaire à la suite des engagements de réduction de GES et à la flambée des prix du gaz

L'engagement de réduction des émissions de GES de 55 % par rapport aux niveaux de 1990 valorise les sources d'énergies non émettrices de GES en intégrant la dimension de la qualité de l'air à ses priorités (CE, 2014). C'est ainsi que de manière inattendue, alors même que certains pays ont tranché en faveur d'une sortie du nucléaire, comme l'Allemagne avec la fermeture de ses dernières centrales en 2022, la source d'énergie nucléaire est alors mise sur le devant de la scène en raison de sa faible émission de GES par rapport au charbon<sup>10</sup>. La production énergétique nucléaire française est de loin la plus importante, en 2019, 70 % de la production d'électricité y est assurée. Si le débat sur le nucléaire reste vif, l'intérêt porté à la qualité de l'air à l'échelle européenne a finalement revalorisé ce mode de production de l'électricité.

La flambée des prix de l'énergie depuis l'automne 2021 et l'invasion de l'Ukraine par la Russie n'ont fait qu'accentuer la mise en évidence de la dépendance énergétique et revaloriser en termes de prix et d'estime le nucléaire en France. La conscientisation du rôle de l'énergie dans le fonctionnement de nos sociétés et de notre vie quotidienne a été amorcée aussi bien par les acteurs de la production urbaine que par les usagers. Elle se traduit par l'urgence d'accélérer le développement d'EnR dans le mix énergétique afin de gagner en autonomie énergétique.

### 3.3. Production d'EnR connectées au cœur de l'indépendance énergétique : le modèle énergétique décentralisé à l'échelle locale pour norme

Afin de diminuer à la fois la dépendance énergétique et les émissions de GES tout en développant une économie verte, la Commission européenne propose un cadre de référence qui vise à fournir des lignes directrices, des prescriptions techniques ou qualitatives en vue d'atteindre des objectifs environnementaux. L'une d'elle s'incarne notamment dans le modèle énergétique décentralisé. Ce système vise à mettre en réseau la production d'EnR à l'échelle locale. La multiplication de sources de production énergétique, par petites unités, proches des points de consommation vise à mutualiser dans un réseau à l'échelle territoriale les flux en vue d'un développement de l'autoconsommation avec le moins de perte possible de la production. Ce système est rendu possible grâce aux *microgrids* locaux. Le principe repose sur une décentralisation de la chaîne de valeur énergétique sans recherche d'autarcie. Toutefois, ce système soulève évidemment le problème du stockage lorsque l'énergie est électrique.

J. Rifkin, économiste, consultant sur les questions liées à l'économie, au changement climatique et à la sécurité énergétique, conseiller de la Commission européenne et du Parlement européen, a assisté de nombreux élus à la présidence de l'UE et au Conseil de l'Europe. Influent à l'échelle européenne, J. Rifkin parvient en 2007 à faire adopter une déclaration écrite au Parlement européen pour un engagement des 27 États membres de l'Union en faveur d'un plan à long terme pour une économie durable de la troisième révolution industrielle en Europe (Nessi, 2018). Cette troisième révolution industrielle est présentée dans son ouvrage publié en 2011, traduit en 35 langues, et paru en France en 2012. Il y propose un nouveau modèle de production énergétique qui s'instaure comme une référence incontournable en raison de son intégration dans les instances européennes. Cette proposition fait alors consensus entre les différents membres de la Commission européenne et le système énergétique décentralisé est ainsi décliné telle une norme<sup>11</sup> (Lascoumes, 1990). Toutefois, nous verrons dans les parties suivantes que la mise en œuvre de ce modèle n'est pas toujours évidente et les résultats soulignent la dépendance au réseau centralisé.

*« La décentralisation énergétique, ce n'est pas évident. On le voit par exemple avec la Métropole de Lyon, ils ont récupéré toute la compétence énergie, ce n'est pas simple. Ils ont de très gros réseaux de chaleur à l'échelle de la métropole et ils ont lancé un schéma directeur d'énergie. Ils sont encore en retard sur le sujet de scénarisation de la stratégie énergétique etc. C'est encore très compliqué. Après il y a des réflexions qui émergent sur des sujets de réseaux privés ou pas, de stockage. Sur le triangle de Gonesse, il y a une réflexion mais elle ne va pas émerger maintenant. Nous on a rencontré ENEDIS c'est compliqué. Donc on va essayer de rencontrer plutôt RTE, qui sont plus ouverts. (...) De toute façon, on reste dépendant du réseau centralisé qui permet la garantie du service à l'utilisateur et la solidarité du coût de l'énergie sur le territoire. » - (Entretien, AMO DD 2, 04/08/2018)*

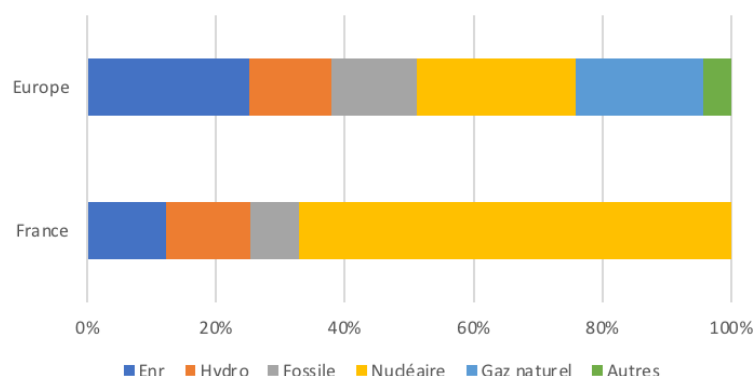
Dans cette perspective, la production d'EnR a globalement augmenté en Europe. Elle représentait, en 2020, plus de 36,5 % de la production d'énergie primaire de l'UE et 19,1 % de la consommation finale

<sup>10</sup> Afin d'améliorer la qualité de l'air, l'Allemagne, qui a recours principalement au charbon, prévoit d'y mettre fin d'ici à 2038 et de développer les énergies renouvelables, qui comptent déjà aujourd'hui pour 40 % de la production électrique.

<sup>11</sup> Selon Lascoumes, les normes volontaires reposent sur l'obtention du consensus entre les acteurs.

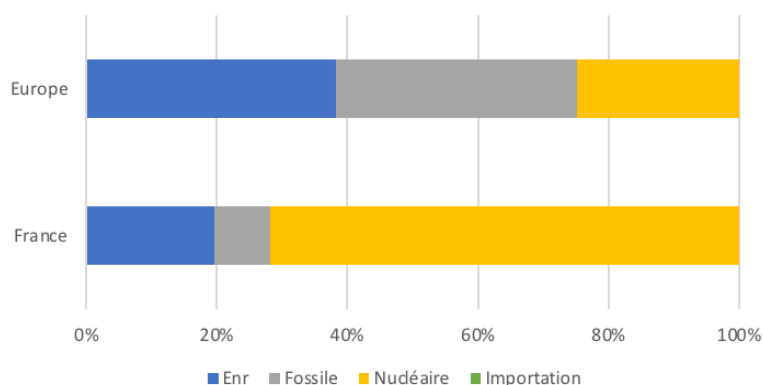
d'énergie (Graphique 4 et 5). Mais les pays européens sont à des niveaux sensiblement différents. En 2008, ces derniers s'étaient engagés à atteindre des objectifs nationaux en 2020. Tous sont parvenus à tenir leurs engagements, à l'exception de la France avec 19,1 % d'énergies renouvelables dans sa consommation finale en 2020 au lieu des 23 % sur lesquelles elle s'était engagée<sup>12</sup>. Afin d'atteindre les objectifs de l'UE à l'horizon 2030, chaque État membre a dû établir un plan national intégré en matière d'énergie et de climat (PNEC) sur la période 2021-2030. Celui-ci décrit la manière avec laquelle chaque pays entend agir dans cinq domaines jugés prioritaires : l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, la réduction des émissions de GES, la recherche et l'innovation, les interconnexions des réseaux d'énergie nationaux, ainsi que la mise en œuvre d'un système énergétique décentralisé.

*Graphique 4 - Production de l'électricité en 2020 au niveau de l'UE et France, Source : Source : Eurostat- Données 2020, Auteur : Hélène NESSI*



En France, 77 % de la production électrique provient de centrales nucléaires implantées sur seulement une vingtaine de sites. Dans les années, 2000, le modèle énergétique français est fortement centralisé en raison de son réseau électrique particulièrement centralisé. Les Grenelles de l'Environnement 1 (2009) et 2 (2010) constituent un précédent en matière de gouvernance énergétique. De nombreuses mesures apportent ainsi des modifications substantielles à l'organisation du secteur électrique et traduisent également dans le droit français les objectifs de la directive 2009/28/CE (Halpern, 2017). La programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'énergie détaille ainsi les mesures à prendre. L'article 4 de la directive 2009/28/CE rend obligatoire le plan d'action national en faveur des EnR. Ce document pour la période 2009-2020 complète ainsi le PPI. La loi Grenelle 2 instaure quant à elle le SRCAE et l'intégration des zones de développement éolien à l'intérieur de ces plans.

*Graphique 5 - Consommation d'électricité en 2020 au niveau de l'UE et France, Source : Eurostat- Données 2020, Auteur : Hélène NESSI*



<sup>12</sup> À l'inverse, d'autres États ont dépassé leurs ambitions, comme la Suède (60,1 % en 2020 avec une cible de 49 %), la Croatie (31 %, objectif de 20 %) et la Bulgarie (23,3 %, objectif de 16 %) (Eurostat, 2020, Dépendance énergétique (code des données en ligne : T2020\_RD320)).

Le modèle énergétique décentralisé, distribué sur le territoire, diffusé par l'UE s'accompagne d'une décentralisation des compétences énergétiques. Cette décentralisation s'inscrit en France dans une tendance nationale plus large de décentralisation des compétences qui débute au milieu des années 1980. Outre la loi NoTRe de 2015 qui fusionne certaines régions, plusieurs textes législatifs intervenus depuis 2014 ont changé la gouvernance de l'énergie. Les communes, les départements et les régions sont potentiellement compétents sur ce sujet, ce qui devrait accompagner le processus de décentralisation énergétique à l'échelle locale. La loi de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles (MAPTAM) met en place des dispositions majeures concernant les compétences énergétiques. Les principales dispositions de ce texte sur les questions d'énergie et de climat portent sur le rôle de chef de file des collectivités. Ces dernières organisent les modalités d'actions des autres collectivités. Cependant, cela leur confère un rôle d'impulsion et non un pouvoir de décision pour déterminer les actions communes. La région est chef de file en matière de transport, biodiversité, développement durable et énergie. Le département est, de son côté, chef de file de la lutte contre la précarité énergétique.

Ces différentes lois montrent la façon dont s'articulent, d'un côté, la définition d'un cadre d'action européen, décidant de l'architecture globale du système, et de l'autre l'action de l'État. Chacune d'entre elles représente une étape, voire une rupture, dans l'évolution de l'organisation institutionnelle et économique, et ce particulièrement, du système français : création du Gestionnaire du Réseau de Transport (GRT) et du Gestionnaire du Réseau de Distribution (GRD), de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), le changement de statut d'EDF, l'introduction progressive de la concurrence pour les phases de production et de fourniture, le dispositif de l'accès régulé à l'électricité nucléaire historique (ARENH), les engagements en termes d'émissions de GES et de niveau de consommation, etc. Si, ces lois ont marqué, au moment de leur vote, avec des changements fondamentaux qui ont démantelé la configuration de monopole de l'électricité et du gaz, ouvrant au libre marché la phase de production et de commercialisation de ces énergies, elles soulignent aussi combien les régulations européennes et nationales sont articulées. Cette articulation ne remet pourtant pas en cause l'idée selon laquelle l'État dispose toujours de prérogatives importantes détenant le monopole des réseaux de transport de l'énergie (RTE) et de la distribution (Enedis). Malgré cette montée en puissance de l'UE, certains pays, comme la France, font preuve de résistance, illustrée par la renationalisation récente d'EDF en janvier 2023.

## 4. Production de chaleur renouvelable et peu carbonée : une problématique territoriale ?

### 4.1. Accent sur la production d'EnR : essor des réseaux de chaleur verts

Le chauffage représente le principal poste de consommation d'énergie d'un foyer, ainsi la production de la chaleur est une première piste pour mettre en place la production d'EnR et encourager une consommation plus locale. Cela est rendu possible notamment avec (1) le Fonds Chaleur créé en 2009, géré par l'ADEME, qui finance des projets de production de chaleur à partir d'EnR ainsi que les réseaux de chaleur liés à ces installations destinées à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises. (2) La loi Grenelle 2, en 2010, qui impose de faire une étude de faisabilité de la solution de réseau de chaleur. (3) Puis, la RT2012 qui, à son tour, impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants, à haut rendement<sup>13</sup>. Ces trois engagements politiques ouvrent la voie au développement de nouvelles solutions technologiques comme la chaudière biomasse et la pompe à chaleur pour le chauffage, les chaudières thermodynamiques pour l'ECS ou encore le poêle à bois.

Malgré ces évolutions techniques, les promoteurs, les sociétés de services énergétiques et les bureaux d'études pointent de manière unanime un obstacle persistant : celui du maintien de la compétitivité du prix de la chaleur d'origine renouvelable face au prix très volatil du gaz. En effet, la facture énergétique est calculée par la société de service énergétique, deux ou trois ans avant la vente des logements, à partir du prix du gaz. Certains clients peuvent se retrouver quelques années plus tard avec une facture énergétique plus élevée que s'ils étaient raccordés au gaz, alors même que la diminution de cette facture est censée amortir, à terme, le coût d'achat plus élevé de leur logement « responsable ».

*« C'est là, où moi, quand je vois un aménageur et qu'il m'explique son programme je peux être extrêmement perturbant car je dis « densifiez à mort vos logements ou vos bâtiments tertiaires, pour limiter les distances de réseau et optimiser le coût de l'énergie. Si vous avez un coût final de l'énergie qui est franchement au-dessus du coût de l'électricité, ça n'a pas de sens. Que vous soyez plus cher que le gaz, ça a du sens car vous passez en énergie renouvelable, ça peut se concevoir, mais si vous êtes plus cher que l'électricité ça n'a pas de sens, donc ça, c'est important de comprendre ça. » - (Entretien, énergéticien, 02/07/18)*

*« Le prix du bois, vous le maîtrisez à-peu-près, on sait qu'il va évoluer dans des proportions qui sont raisonnables et puis vous pouvez avoir des contrats à long termes au moment où vous lancez le projet avec des producteurs. Par contre, le prix du gaz, personne n'est capable de le stabiliser au-delà de deux ans. On est sur un marché mondial très volatil. Et quand on a calculé, au Mureaux, le prix de la chaleur gaz et le prix de la chaleur bois et donc on a demandé des subventions pour être là. Mais entre-temps, le gaz, il s'est cassé la gueule et on s'est retrouvé au-dessus. Alors qu'est-ce que disent les clients finaux qui achètent de la chaleur ? Ils disent 'maintenant vous êtes gentils, vous nous aviez dit qu'on paierait moins chère notre facture en passant au bois et finalement non !'. Et ça c'est un problème, qui est un petit peu insoluble. » - (Entretien, AMO DD 1, 03/08/18)*

Si cette crainte était avancée régulièrement dans les entretiens de 2018. Les entretiens de 2022 laissent entrevoir un changement de positionnement. L'insécurité du prix de l'énergie actuelle semble être un contexte favorable au développement d'énergie au prix stable sur une vingtaine d'années, issue de ressources locales non-sujette à l'inflation.

*« ... compétitif par rapport au gaz et abordable pour le tiers du logement social et/ou encore pour le tiers de logement abordable. Et c'est vrai que c'était le travail qu'on avait fait en 2018, 2019. Et c'est sûr qu'aujourd'hui, avec ce qui se passe sur les coûts d'énergie et le coût de l'énergie biomasse, il est beaucoup plus stable. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

*« On a passé deux ans à essayer de convaincre la ville que le réseau de chaleur vertueux, c'était la solution. Il ne voulait pas entendre, on se comparait à des prix du gaz à 30 € du mégawattheure forcément, ou 40 € du mégawattheure à l'époque. Pendant deux ans, on a essayé de les convaincre parce que pour nous, ça semblait inconcevable de sortir un écoquartier sans réseau de chaleur. On a passé deux ans à faire tous les calculs, des courbes. Je leur avais prouvé que les courbes se*

<sup>13</sup> Par convention, du fait des pertes liées à la production, la transformation, le transport et le stockage de l'énergie 1kWh d'énergie finale fournie par le gaz, réseau de chaleur ou bois correspond à 1 kWh d'énergie primaire. Quant à l'électricité 1 kWh d'énergie finale correspond à 2, 58 kWh d'énergie primaire (<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-thermique-rt2012>).

*croisaient avec des solutions au gaz à l'îlot au bout de douze, treize ans. Et à la fin de ces deux ans, ils disent ah ben finalement c'est une très bonne idée votre géothermie. Nous, on va le faire à l'échelle de la ville.... Oui, sauf qu'aujourd'hui, j'aimerais bien les revoir, parce que je suis sûre qu'on a déjà croisé les courbes. » - (Entretien, constructeur 1, service réseau de chaleur, 14/03/23)*

Dans le contexte géopolitique, économique et climatique actuel, la dépendance aux livraisons du gaz aux prix croissants provenant de l'étranger se montre finalement un argument majeur incitant à la mise en œuvre de réseaux de chaleur. Cette instabilité du prix de l'énergie est actuellement un argument facilitant le travail des aménageurs et des AMO DD pour convaincre les acteurs de la promotion immobilière et les bailleurs à la production d'EnR.

*« Sur quinze ans, au fur et à mesure, on va forcer entre guillemets soit par le PLU, soit par incitation un peu musclée des changements de chauffage, de production de chaleur notamment. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

*« Moi, je suis convaincu que les réseaux de chaleur, c'est une bonne solution. D'une part, on mutualise les productions, donc on peut réduire les puissances, réduire finalement les besoins thermiques et puis les équipements qu'on va installer. On ne multiplie pas les équipements dans tous les bâtiments. C'est le premier point. Et le deuxième point, on maîtrise l'énergie qui serait in fine consommée par les bâtiments. Parce que si on laisse à la main de chaque promoteur ou de chaque bailleur, le rôle de son choix énergétique, même si la RE2020 va bouleverser les choses (...) pour éviter que le gaz soit la solution systématique, on n'a quand même pas la main dessus. Et il y a aussi une logique d'équité énergétique qui est importante. » - (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/22)*

*« Effectivement, le réseau de chaleur, ça reste quand même une solution très bien, surtout maintenant. Pendant 25 ans, à chaque fois qu'on est arrivé sur un réseau de chaleur, le promoteur faisait la tronche. Maintenant, c'est comme si c'était le Messie. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

## **4.2. Évolution de la mise en œuvre de réseau de chaleur : choix de la ressource, échelle d'intervention et gouvernance**

En France, les réseaux de chaleur ne sont pas nouveaux. Déjà dans les années 1930 les premiers réseaux voient le jour souvent au gaz ou au fioul et plus tard dans les années 1970, en réponse de la crise pétrolière. Plus récemment, la géothermie se développe et ce particulièrement en Île-de-France. Les premiers réseaux étaient fortement carbonés et leur performance moins maîtrisée qu'aujourd'hui, cependant ils ont permis le développement de connaissances et de savoir-faire et surtout d'hériter d'une infrastructure. Les ingénieurs de la construction ont ainsi élaboré un moyen de rendre ces réseaux de chaleur polluants plus écologiques en utilisant des énergies renouvelables. La source de ces réseaux de chaleur peut varier : déchets, récupération de chaleur fatale ou géothermie, ou encore utilisation de matériaux biosourcés.

### **4.2.1. Source de chaleur d'origine renouvelable : quel taux pour un prix compétitif ?**

La reconversion des réseaux existant vers des EnR, visant leur verdissement, se fait progressivement, souvent à la suite du renouvellement du marché de concession. Toutefois, afin d'accélérer le processus et de limiter la consommation d'énergies fossiles, les collectivités modifient désormais leur contrat au cours de la concession.

*« En dix ans, le taux d'énergies renouvelables dans les réseaux a été multiplié par deux, donc il est passé de 30 à 60 %. Donc voilà, il reste encore quelques réseaux à décarboner, mais de moins en moins quoi, chaque jour. C'est toujours la collectivité qui est compétente, et donc qui demande et qui organise et qui est d'accord éventuellement pour que ce nouvel investissement soit réalisé par son concessionnaire en contrepartie d'adaptation contractuelle. Donc adaptation du tarif ou adaptation de la durée restant du contrat ou d'autres adaptations contractuelles. » - (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23)*

Aujourd'hui, l'ADEME impose des réseaux de chaleur avec au moins 65 % d'EnR pour être éligible au Fonds Chaleur. Selon l'association des réseaux de chaleur, la tendance actuelle est d'en produire environ 80 %. Ceci, permet d'avoir un réseau encore plus vertueux tout en garantissant un prix de chaleur optimal pour l'abonné.

*« Et évidemment, la tendance aujourd'hui, c'est de toujours chercher 80 % qui doit être à peu près l'optimum entre 75 et 80 % entre l'optimum d'un prix de la chaleur. Parce que si vous faites du 100 % EnR, vous devez évidemment investir dans 100 % de la puissance appelée sur une production puissance installée EnR. Donc les derniers mégawatts coûtent très cher. Et tournent très peu, ce que les EnR n'aiment pas trop. Les EnR thermiques en tous les cas, ils aiment bien tourner en continu. » - (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23)*

*« On est sur 80 et 85 % d'énergies renouvelables. On pourrait peut-être faire mieux, mais on se limite pour être compétitif parce que les productions d'EnR sont souvent beaucoup plus chères en investissement, donc il faut les rentabiliser en les utilisant au maximum. Et en fait, si on prend toute la puissance, elles servent en fait quelques jours dans l'année, les jours les plus froids et du coup on ne rentabilise pas l'excès de puissance et on a du mal à le rentabiliser. » - (Entretien, syndicat départemental d'énergie, 20/04/23)*

Alors que les réseaux de chaleur se verdissent, il est difficile d'avoir la totalité de la chaleur d'origine EnR pour des raisons de prix de l'appoint de secours. Comme l'expliquent nos interlocuteurs, aujourd'hui, le réseau est dimensionné pour pouvoir fournir tous les abonnés avec des EnR, dimensionnement en base load. Ce dimensionnement assure la livraison de chauffage et de l'eau chaude sanitaire la plupart de l'année. En parallèle, le réseau doit être dimensionné pour des moments de grand froid, dites le pic load, et pour l'appoint de secours, imposé afin de répondre à l'obligation de continuité du service public. Pour ce deuxième dimensionnement, qui présente les derniers pourcentages complémentaires au taux des EnR dans le réseau (de 20 à 30 % environ), les énergies fossiles sont aujourd'hui utilisées car le prix d'installation des chaudières à gaz en comparaison à celles à bois coûte nettement moins cher. Ces chaudières à gaz ne servent que quelques fois dans l'année, impactant finalement assez peu la virtuosité de la solution globale retenue.

*« En fait, comme dans tous les systèmes énergétiques, l'appoint coûte très cher. Et aujourd'hui, ce qui coûte le moins cher en secours, puisque l'investissement est faible, c'est des chaudières fossiles. Elles vont très peu fonctionner dans l'année mais elles doivent être disponibles au moment où on en aurait besoin s'il y a un problème sur les sources renouvelables. Donc voilà, donc il y a systématiquement ce qu'on appelle de l'appoint du secours pour pouvoir garantir la continuité de fourniture. Par exemple, une chaudière bois vous coûtera 1 000 € du MW. Et une chaudière gaz, ça vous coûtera 150 € du MW. Donc, c'est une puissance d'appoint de secours, si vous installez des énergies renouvelables, à un prix d'installation qui est cher, vous allez devoir investir beaucoup plus pour finalement très peu de différence dans le taux d'utilisation. » - (Entretien, opérateur des réseaux de chaleur publics, 13/04/23)*

#### **4.2.2. Changement d'échelle de déploiement du réseau de chaleur**

Historiquement, les réseaux de chaleur se sont développés dans des grandes opérations urbaines avec une grande densité de construction. À savoir, dans les années 1960, les zones d'urbanisation prioritaires avec les nouveaux quartiers ou les villes nouvelles. Après une période d'abandon, les réseaux de chaleur se retrouvent réinvestis dans les années 2010 à la suite de l'instauration des lois Grenelle par l'État français. Ces lois ont permis de réunir et mobiliser l'État, les collectivités locales, la BPI (caisse des dépôts), les partenaires sociaux (Anah, RARE...) et les ONG (RAC, FNE...) afin de définir les objectifs environnementaux du territoire. Ses ambitions se traduisent dans la RT2012 avec une obligation de haute performance énergétique. En plus des lois Grenelle, ces rassemblements sont également à l'origine de la loi de la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (TECV) instaurée en 2015.

Depuis la création du Fonds Chaleur, les aménageurs ont constaté une forte demande de projets durables et de labélisations écologiques de la part des collectivités. Image de marque pour la collectivité ou convictions personnelles de certains acteurs leaders, cette attente plus pressante des collectivités a permis aux réseaux de chaleur centralisés de s'imposer comme une solution de référence pour les projets urbains éco-responsables, comme les éco-quartiers, permettant notamment d'atteindre facilement les production d'EnR imposés par les aménageurs. Un énergéticien le pointe clairement :

*« L'imposition de regarder si la solution réseau de chaleur était réalisable, ça a mis un gros coup de booster sur ce genre de solution, mais vraiment un très gros coup de booster du côté des aménageurs. Si bien que tout le monde voulait faire du réseau et bien sûr avec de l'énergie renouvelable. » - (Entretien, énergéticien, 02/07/18).*

Alors que l'encouragement par la loi Grenelle 2 attirait l'attention des aménageurs sur cette technologie, une forte amélioration de l'isolation à la suite de la RT2012 a mis un coup de frein au développement des gros réseaux de chaleur. En effet, une meilleure performance énergétique du bâtiment a pour effet une

baisse considérable du besoin de chaleur. Les aménageurs questionnent alors la performance économique des gros réseaux de chaleur avec géothermie comme source de chaleur EnR qui n'est désormais plus rentable à l'échelle d'une ZAC. Face au besoin décroissant de chaleur, ce type de production demande un déploiement du réseau à une plus large échelle que celle du projet urbain.

*« Il y a 10 ans j'aurais dit qu'il y a 750 logements c'était pertinent. Maintenant, il faut dépasser les 1 500 logements pour avoir une stratégie énergétique centralisée. C'est-à-dire que quand on parlait des réseaux de chaleur par exemple, je sais qu'aujourd'hui au-dessous de 1 000 logements ce n'est même pas la peine de réfléchir à une solution centralisée de production d'EnR. » - (Entretien, aménageur privé 1, 24/05/2022)*

Ce changement se montre décisif pour les projets urbains pour lesquels la collectivité a décidé de lancer un projet de nouveau réseau de chaleur et dont le permis de construire des premières phases avait été déposé avant la RT2012. Partant au départ sur une solution de réseau de chaleur avec de la géothermie, les aménageurs ont dû renoncer à cette solution en cours de route et trouver une autre manière de produire une EnR. Or, pour amortir le coût d'un forage il faut raccorder de quatre à cinq mille logements ancienne génération, c'est-à-dire construits avant RT2012. Mais dans le cas de logements RT2012, il faut augmenter quatre à cinq fois le nombre de logements (Entretien énergétique, 02/07/18).

À titre d'exemple, dans la ZAC de Bois-Colombes la ville avait décidé d'investir dans un réseau de chaleur géothermie mais en raison d'une multitude de problèmes (expropriations, un certain nombre d'opposants locaux et opposition politique), le projet a pris un retard conséquent et a été alors sujet à la RT2012. La solution technologique initialement retenue n'était alors plus rentable et n'a finalement pas été mise en œuvre.

*« Au début de projet, on était encore en RT2005... mais au moment des premières études après la reprise on est passé en RT2012, et en fait on se rend compte que la rentabilité a complètement plongé. Malgré tout, la ville décide d'aller au bout de la chose, mais finalement il n'y a pas eu de réseau de chaleur parce qu'il y avait plus de rentabilité. » - (Entretien, aménageur privé 1, 24/05/2022)*

Aujourd'hui, selon un opérateur rencontré ce type de problème n'est plus très courant, les acteurs s'engagent ainsi sur des objectifs plus ambitieux pour ne pas être contraint avec les changements de réglementation futurs. Par exemple, concernant la RE 2020, ils tentent de répondre déjà au seuil suivant de 2025 et ont désormais une meilleure connaissance du dimensionnement du réseau.

*« Enfin, on a imposé l'étude du réseau de chaleur et là on s'est un peu rapidement rendu compte que si les bâtiments étaient mieux isolés, ils allaient moins consommer et que le réseau n'allait pas être rentable. Mais tant que vous le dimensionner pour cette consommation, vous n'avez pas ce risque-là. » - (Entretien, opérateur des réseaux de chaleur publics, 13/04/23)*

En pratique, à l'échelle d'un projet urbain, la contrainte financière, liée à la question de la bonne densité et du bon dimensionnement, s'impose encore plus fortement dans le montage d'un nouveau projet de réseau de chaleur et le choix d'EnR. Si le montage financier de réseau de chaleur doit garantir un prix de sortie d'énergie compétitif pour l'abonné, il est crucial pour l'opérateur de ce réseau d'avoir la garantie des abonnés dès la mise en œuvre du réseau. Souvent, le montage prévoit alors le raccordement de bâtiments neufs ainsi que de bâtiments déjà existants. Or, le projet urbain, avec les phases de livraison des logements échelonnées dans le temps et avec des délais de livraison toujours plus longs que prévus, peut mettre en péril cette équation économique de départ.

*« La mise en place de réseau se fait en amont de la livraison des nouvelles constructions. Donc tout l'investissement est fait avant que vous ayez des abonnés. Et s'il y a des délais, vous n'aurez pas votre retour d'investissement dans 20 ans mais encore plus tard. Donc ça pèse lourd. » - (Entretien, opérateur des réseaux chaleur privés, 29/03/23).*

*« Les deux communes concernées par ce réseau de chaleur ont délégué leurs compétences réseau de chaleur au syndicat départemental. Et il porte tous les investissements du réseau de chaleur en sachant que nous, la ZAC, on y participe en partie, ce qui permet l'équilibre économique du projet. Pourquoi on y participe ? Parce que nous, on assure, il y a nos actes de cession. Il y a des clients, tous les bâtiments qui sont obligés de se raccorder au réseau de chaleur. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

*« Typiquement, ce qui a lancé le projet, c'est la ZAC. En fait, ils se sont posés la question de la source d'énergie pour l'éco quartier. Et puis ça nous a aidés parce qu'on a eu un volume de clients qui est venu d'un coup, tous les bâtiments de la ZAC. Donc ça fait un noyau autour duquel on peut*

*construire un projet. Mais que des bâtiments neufs, ce n'est pas non plus très intéressant puisque la ZAC nous avait dit : 'en 2022 il y aura les premiers clients, en 2029 ça sera fini'. Et là, on est en 2023 et on n'a pas les premiers clients de la ZAC. Donc les bâtiments neufs c'est très bien. C'est intéressant pour eux parce qu'ils n'ont pas de problème de cheminée, de construction, de chaufferie, etc. Donc les bâtiments neufs en général sont très intéressés à se raccorder. Mais on ne peut pas avoir que des bâtiments neufs qui arrivent de façon échelonnée. Sinon le modèle économique tombe. Donc on a volontairement élargi en dehors de la ZAC pour aller chercher des copropriétés existantes qui pouvaient se raccorder dès le premier jour où on démarrait de la chaudière. » - (Entretien, syndicat départemental d'énergie, 20/04/23)*

Pour ce montage financier, la bonne densité et les aides publiques, notamment du Fonds Chaleur, sont indispensables pour proposer un prix de sortie compétitif et pour permettre à l'opérateur de trouver son équilibre économique.

*« Jusqu'à maintenant, on s'alignait sur la densité minimum qui était demandée par l'ADEME qui, pour moi, correspond à quelque chose d'assez bien. Alors là, ils l'ont baissé, donc c'est 1,5 MWh livré chaque année pour chaque mètre linéaire de tranchées. Et quand on est sur ce ratio-là, on est sur une densité plutôt faible et du coup on a besoin d'un coût de la chaleur qui est plutôt élevé pour descendre en dessous. Après, le problème, c'est qu'on n'est pas compétitif. Et du coup on vend de la chaleur à des prix où les gens ne sont pas forcément prêts à payer pour. Et du coup, notre modèle économique en fait, on prend tous les investissements qu'on a à faire, on déduit les aides de l'ADEME parce que sans ces aides on n'arrive pas forcément à être compétitifs. Et puis, on compte les coûts de maintenance, les comptes, les coûts de combustible. Et du coup, on regarde à quel prix faut vendre la chaleur pour que ça s'équilibre et qu'on arrive à rembourser les emprunts, etc. » - (Entretien, syndicat départemental d'énergie, 20/04/23)*

Ainsi, la question de la performance économique de gros réseaux, liée à la meilleure performance thermique de bâtiments, est résolue, premièrement, par un changement d'échelle de mise en œuvre du réseau de chaleur. Le déploiement des réseaux à grande échelle par les intercommunalités connectant les quartiers populaires en cours de réhabilitation très consommateurs et les projets neufs peu consommateurs permet d'atteindre une densité de consommation permettant l'amortissement de l'extension du réseau. Selon les AMO DD et les aménageurs rencontrés, les études d'extension de réseau existant avec une vision long terme d'exclusion de gaz sont de plus en plus courantes.

*« Ce sont des sujets qui sont pris pour que dans les quinze, vingt ans avec la restructuration ... Votre chaudière gaz au bout d'un certain temps, elle est morte et on peut se connecter. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

*« La construction d'un nouveau réseau pour la partie nord va alimenter 60% de bâtiments hors ZAC. Il s'agit de bâtiments publics comme les écoles mais aussi de copropriétés existantes, souvent avec une chaufferie collective à gaz, qui ont été convaincues par le gestionnaire du réseau. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

Deuxièmement, une des solutions alternatives au réseau de chaleur pour les projets urbains, va être l'installation d'une chaudière collective adaptée à l'échelle de quelques îlots plutôt que du quartier. Cette opération demande un certain niveau de compétences techniques et est compliquée à intégrer au projet si elle n'est pas pensée en amont de la conception du plan guide (cf. chapitre 2.3). Les montages juridiques entre les parties prenantes sont différents pour chaque projet et particulièrement chronophages.

Troisièmement, on observe une ouverture d'un nouveau marché : des petits réseaux de chaleur ruraux ou périurbains. Ce sont des projets de petite envergure qui peuvent être potentiellement intéressants pour « les villes de 2000 à 30 000 habitants qui raccordent les grands bâtiments de la collectivité comme l'école, la mairie, le gymnase, trois logements sociaux » (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23). Si aujourd'hui la marche est un peu haute pour que ce montage soit viable financièrement, ces petits réseaux seront davantage alimentés par la biomasse. Si la densité de consommation d'énergie est favorable, la géothermie de surface peut être envisagée également. À titre d'exemple, la commune de Lucinges, à la suite d'un audit des chaufferies relativement anciennes des bâtiments communaux, a décidé de lancer un projet de mini-réseau de chaleur à partir de la biomasse locale. Le réseau a été inauguré en 2018 et alimente à la fois les bâtiments communaux, un bailleur social et des petits logements collectifs dans le centre du village (Entretien, représentant politique locale, 13/01/23).

Si avant l'aide du Fonds chaleur les grandes sociétés de services énergétiques ne s'intéressaient qu'aux gros réseaux (Entretien, énergéticien, 02/07/18), aujourd'hui ces mêmes acteurs réalisent (1) une forme de plafonnement de ce marché; (2) que finalement le renouvellement, le verdissement et les extensions des

infrastructures existantes font face aux mêmes problématiques que les plus petits réseaux des éco-quartiers (comme les aspects techniques, commerciaux, tarifaires, ou le mix énergétique) et (3) que pour arriver aux objectifs de la loi d'accélération de la production des EnR et aux ambitions de la filière des réseaux de chaleur, intervenir uniquement sur la mise en oeuvre de grosses infrastructures empêchait de répondre aux ambitions de production d'EnR dans de nombreux contextes (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23).

Aujourd'hui, le réseau de chaleur centralisé est une solution quasi incontournable pour atteindre les objectifs liés à la production d'EnR fixées par la RE2020. En comparaison à des entretiens réalisés en 2018, la stratégie des aménageurs a évolué. Les interlocuteurs mettent en avant le fait que c'est l'unique manière d'apporter de l'énergie de manière massive pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ainsi, les projets urbains les plus récents sont en majorité connectés à un réseau de chaleur (Entretien, AMO DD 4, 23/06/22). Porté par la collectivité ou l'intercommunalité et son syndicat d'énergie, ce réseau de chaleur s'étend à une échelle territoriale, dépassant l'emprise du projet urbain et bien souvent de la commune, connectant plusieurs quartiers et bien souvent ceux concernés par la politique de la ville. Dans d'autres cas de figure où le raccordement est impossible, un projet privé de réseau de chaleur à l'échelle de la ZAC avec l'accord de la collectivité peut être prévu par l'aménageur (cf. ZAC Le Parc d'affaires à Asnières sur Seine). Cependant, selon l'opérateur de ce réseau privé, le montage le plus simple est le cas de figure où la collectivité lance le projet. Premièrement, il n'y a pas de négociation avec la collectivité sur le prix de sortie d'énergie. Deuxièmement, le réseau ne sera pas juste à l'échelle d'un quartier, la collectivité peut, dès le départ, prévoir un développement plus large pour améliorer le montage financier et le prix de sortie de l'énergie. En connectant le nouveau réseau à des bâtiments publics déjà existants, le montage financier sera moins fragilisé par les modifications du projet urbain et les retards de dates de livraisons des nouvelles constructions (Entretien, opérateur des réseaux de chaleur privés, 29/03/23).

### **4.3. Chaudière collective biomasse : une solution de secours pour produire une EnR dans le cadre de microréseau ?**

En raison des difficultés de mise en oeuvre des gros réseaux de chaleur évoqués précédemment à la suite de la RT2012, des projets moins importants se développent à partir de 2016. Le développement de la cogénération en France repose sur le développement de chaudières à micro-cogénération (appelées également chaudières « électrogènes » ou « éco générateurs ») à l'échelle du logement individuel ou collectif. Cette technologie, assez récente en France, commence à se développer réellement à partir de 2015/2016. Elle a pour avantage de diminuer les émissions de GES ce qui explique sa valorisation par la loi TECV de 2015. Enfin, pour atteindre les objectifs ambitieux de cette loi, la chaudière à micro-cogénération à granulés bois est commercialisée en France. Cette technologie répond avantageusement aux critères de production d'EnR, avec des taux de l'ordre de 60 à 70 % de l'énergie consommée dans les logements.

Selon nos répondants, le choix d'un plus petit réseau avec la chaudière collective biomasse est devenu courant. Contrairement au réseau avec la géothermie profonde, la chaudière biomasse ne dépend pas de la localisation précise des ressources de chaleur et les investissements dans l'infrastructure se rentabilisent avec de plus petits projets. Pour ces derniers la géothermie basse température<sup>14</sup> peut être une solution mais en réalité les coûts restent trop élevés. Malgré les bénéfices, la solution de géothermie est étudiée mais finalement pas toujours appliquée. La chaudière collective biomasse d'aujourd'hui permet de mieux maîtriser la consommation par rapport à l'énergie produite, les filtres et l'équipement sont d'une meilleure qualité. Soutenues par le Fonds Chaleur, ces chaudières collectives biomasse sont une solution supplémentaire pour produire des EnR attendus dans le mix énergétique.

Les bureaux d'études excluent ainsi progressivement les solutions possibles selon leur rentabilité, leur viabilité économique et selon l'ambition de la collectivité et de l'aménageur. Fragilisées, à la suite de la RT2012, les grosses infrastructures de réseau de chaleur sont remplacées par cette solution moins coûteuse, présentée comme la solution de secours : le réseau de chaleur collectif privé à chaudière collective biomasse. Un promoteur l'explique ainsi :

*« Les seules solutions qui ont été apportées par l'aménageur et par tout le monde, c'est de dire "ça ne fonctionne pas, la seule chose qui fonctionne, c'est la biomasse, mais économiquement, ce n'est pas viable". Donc, la troisième étape, ça a été de dire "à ce moment-là, ce qui pourrait être viable à l'échelle peut-être d'un quartier, c'est si on faisait une chaufferie biomasse. Cela permettrait peut-*

<sup>14</sup> La géothermie basse température aussi appelée la géothermie « très basse énergie » est basée sur la récupération de la chaleur tempérée moins de 30 °C à des profondeurs allant jusqu'à 200 mètres. Cette chaleur est ensuite utilisée soit pour réchauffer soit pour refroidir la température à l'aide d'une pompe à chaleur. Cette technologie a développé trois méthodes de récupération de la chaleur : un réseau horizontal, des sondes verticales en circuit fermé ou trouver une nappe phréatique. Ainsi la géothermie basse température est accessible pour les maisons individuelles, les immeubles collectifs ou les bâtiments commerciaux.

*être d'absorber le différentiel par rapport au fait d'en faire quatre". » - (Entretien, promoteur 1, 03/07/18)*

Proposant la production d'EnR, cette solution soulève deux enjeux majeurs à anticiper en amont du projet : son **montage juridique** ainsi que **technique**. Prenons l'exemple de l'aménagement du quartier Beauregard dans le ZAC Carrières Centralité coordonné par l'EPAMSA aménageur et effectué par quatre promoteurs Arc Promotions, Nexity, Promogim et Semiic Promotion. Celui-ci montre les négociations parfois complexes entre les promoteurs, bailleurs et l'opérateur d'énergie sur le montage juridique en ASL<sup>15</sup> (Association syndicale libre) ainsi que les enjeux et les problèmes techniques si une solution de chaudière collective n'est pas pensée en amont du projet.

Dans le quartier Beauregard, la simple mise en place de panneaux photovoltaïques sur toutes les constructions, ne permettant pas d'atteindre les ambitions affichées du projet d'atteindre une production de 60 % d'EnR, a finalement amené à une solution complémentaire. L'aménageur, aguerri aux enjeux de transition énergétique, a donc entamé une négociation avec les promoteurs un à un. Il note d'ailleurs à ce propos que ses quelques années d'expérience professionnelle dans la promotion immobilière lui ont permis d'acquérir les clefs de négociation pour convaincre les promoteurs.

Il décide de se faire accompagner par une société de services énergétiques pour atteindre ses objectifs. Faute de pouvoir réaliser un réseau de chauffage urbain sur l'ensemble du quartier en raison du coût de l'infrastructure, l'entreprise conseille la réalisation d'une chaudière collective biomasse privée pour l'ensemble des lots présents sur l'îlot le plus dense de l'éco quartier. Elle propose de prendre une partie de ce projet à sa charge, bénéficiant par ailleurs du Fonds Chaleur. L'intérêt pour elle est de rémunérer cet investissement grâce à l'obtention d'une concession de la gestion des équipements de chauffage.

#### 4.3.1. Montage juridique

Sur les conseils de la société de services énergétiques, la maîtrise d'ouvrage propose alors une solution de gestion collective. C'est dans ce cadre que l'EPAMSA aménageur, Dalkia et les quatre promoteurs montent une ASL. Le « réseau de chaleur biomasse privé » évoqué dans les brochures doit alimenter les 700 premiers logements du quartier Beauregard représentant 7 copropriétés, 4 bailleurs sociaux et un groupe scolaire. L'ASL produira entre 70 % et 80 % d'énergies renouvelables. Dalkia finance ainsi la chaudière collective et en détient sa concession durant 25 ans. Période durant laquelle, l'opérateur perçoit les factures mensuelles pour chaque bien immobilier. Après ces 25 ans, l'ASL peut changer de gestionnaire.

*« Oui, Dalkia a mis en place un contrat avant la construction des immeubles, liant Dalkia, l'aménageur, la ville, et nous les promoteurs [...] et juridiquement, on a assuré un montage dans lequel on a intégré chaque copropriétaire dans une ASL (association syndicale libre) générale et dans lequel on a déterminé un représentant pour l'ensemble des copropriétés... l'ASL est l'interlocuteur de Dalkia, parce que Dalkia ne pouvait pas s'amuser à avoir 12 immeubles et 12 syndics. » - (Entretien, promoteur 2, 02/07/2018)*

Au cours de ce projet, les promoteurs dénoncent le type de contrat qui unit Dalkia et l'ASL regroupant les différents syndicats de copropriétés. Sensibilisés par leurs avocats sur le risque de recours pour vente forcée, les promoteurs ont ainsi intégré une clause dans le contrat liant l'ASL à la copropriété permettant à l'ASL de quitter son opérateur tous les cinq ans si elle trouve une offre plus avantageuse.

*« C'est-à-dire tous les 5 ans, si l'ASL le souhaite, elle peut faire un appel d'offres. Il y a un tableau d'amortissement linéaire de l'ensemble de l'investissement. Je dis n'importe quoi, à la livraison, il y en avait pour 1 500 000€, on va dire que dans 5 ans, il y en aura peut-être plus que pour 1 300 000€. Il y aura peut-être 200 000 € d'amorti, ce qui veut dire que la remise en cause, pour obliger Dalkia à maintenir des prix corrects pour nos clients, on a mis en place un système disant que s'il le souhaite, l'ASL peut refaire un appel d'offres. Si l'ASL trouve un autre opérateur, cet opérateur, à ce moment-là, remboursera 1 300 000€ à Dalkia, elle ne peut pas être perdante, et l'opérateur reprendra l'amortissement linéaire. Donc sur la part variable il a été intégré la possibilité d'éviter que Dalkia se retrouve un peu en situation de monopole. Il a fallu qu'on réfléchisse à un système qui fasse en sorte que les copropriétaires puissent sortir. » - (Entretien, promoteur 1, 03/07/18)*

<sup>15</sup> L'association Syndicale Libre est un organisme qui a pour mission la gestion d'espaces communs dans les ensembles d'habitations collectives. Elle est autorisée à exercer une action en justice destinée à faire entrer un bien dans son patrimoine, une telle action ne pouvant être menée par un syndicat de copropriétaires. L'association syndicale libre est mise en place pour gérer, mais également entretenir les biens et ouvrages d'intérêt commun (réseaux, voirie, chaudière collective, etc.) dans les lotissements ou ensemble immobiliers.

Comme le maître d'ouvrage a maintenu ces objectifs, les promoteurs ont donc respecté les prescriptions, mais le coût de production du logement a finalement augmenté de 10 %. Or la détention d'un logement durant en moyenne quatre ans, il est très difficile, selon les promoteurs, de convaincre des futurs acquéreurs.

*« Ce n'est pas que le promoteur qui le paye, ça se retrouve dans le prix de vente du logement. Donc, nous, on a des coûts, des recettes et des dépenses, et puis une ligne de marge. Bon, la ligne de marge, elle n'a pas besoin d'exploser, mais elle est à un niveau, donc, si la dépense est plus importante, le prix de vente sera plus important. Drastiquement, non, mais on est finalement de l'ordre d'un peu plus de 10 % par rapport à ce que... donc, c'est beaucoup en termes de prix de vente, on va être contraint d'absorber une partie des coûts. » - (Entretien, promoteur 2, 02/07/2018)*

En 2018, les promoteurs partagent également leur scepticisme quant à ces solutions de mix énergétique, soulignant l'incertitude de son maintien dans le temps long et l'inexistence d'enquête de contrôle sur ce mix. Le réseau de chaleur biomasse à Beauregard utilise deux chaudières à gaz et une à bois de pellets. Le risque, selon eux, est que la société de service opte pour une utilisation plus importante que prévue du gaz (solution moins onéreuse lors de la réalisation de l'entretien) au détriment des pellets de bois (plus onéreux). Cependant, aujourd'hui en 2022, cette crainte disparaît avec le contexte géopolitique, les problèmes de livraison du gaz et l'envol de ces tarifs. Dans la ZAC Annemasse, le réseau collectif biomasse, complémentaire au réseau de chaleur, est composé de trois chaudières : deux à biomasse et l'autre à gaz. La dernière, plus performante, n'est prévue que comme appoint de secours pour les forts pics de froid ou le maintien de la chaleur si d'autres chaudières sont en panne. En raison du prix élevé du gaz, les interlocuteurs n'expriment pas la crainte partagée en 2018 par les acteurs de la Zac Centralité sur la Boucle de Chanteloup. Au contraire, ils soulignent l'avantage de ce choix de la biomasse au prix stable et moins dépendant des énergies fossiles.

#### **4.3.2. Enjeux techniques**

À Carrière Centralité, à la suite d'un certain nombre de négociations et de changements, la chaufferie biomasse est finalement installée dans les sous-sols d'un des immeubles. La négociation n'a pas été simple à mener et l'ensemble des acteurs a dû faire face à des difficultés multiples pour la réalisation de cette chaudière. Cette solution n'avait pas été anticipée, il ne restait donc pas de foncier libre pour accueillir le bâtiment de la chaudière. Composée de trois chaudières, deux à gaz et une à bois de pellets, cette solution implique de réaliser deux locaux. Les caractéristiques du terrain, inondable et pollué, ont par ailleurs induit des coûts supplémentaires avec la dépollution des terres extraites et le cuvelage des locaux.

*« Il a fallu qu'on trouve une solution, parce qu'on n'a pas eu d'autre système pour arriver aux 60 % d'EnR. On s'est dit qu'on va essayer d'être un peu plus intelligent et on va le prendre. Mais à l'origine, ça devait être un local qui était situé en rez-de-chaussée du bâtiment, comme une coque commerciale. Cela ne coûtait pas très cher. Le problème c'était, quand ça a dépassé 2 MW et qu'il a fallu le sortir à l'extérieur du bâtiment. Mais il n'y avait pas d'espace foncier pour le mettre. On a dit 'ben, il faut le mettre sous une sente, puisqu'on ne peut pas être sous un bâtiment'. Donc, sous une sente, le terrain est pollué, et on est en zone de PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondations) ce qui veut dire que le coût de ce local est juste monstrueux. » - (Entretien, promoteur 2, 02/07/2018)*

Ces surcoûts liés au local auraient pu être évités grâce à une meilleure anticipation de la solution énergétique, dès l'amont du projet. La société de services énergétiques finance l'infrastructure et son installation à hauteur de 1 500 000 €. Ce dernier a bénéficié d'un fonds chaleur de 540 000 €. En revanche, le coût du local pour accueillir l'infrastructure est à la charge des promoteurs. Celui-ci aurait coûté autour de 200 000 € si la solution avait été retenue en amont de la définition du plan guide, mais a finalement atteint près de 700 000 €. Ce travail de recherche de solutions et de négociation a été mené avant tout par Dalkia, plutôt que par le maître d'ouvrage. Après plusieurs mois de discussions, l'un des quatre promoteurs a accepté d'accueillir la chaudière collective sur son lot. Après quatre ans de négociations de la convention, les quatre promoteurs ont accepté de la signer déclarant ainsi leur participation au financement de la construction du local.

De plus, la réflexion de la fréquence d'approvisionnement et de son origine doit se faire en amont également. Ainsi les points faibles comme les livraisons routières du bois de pellets accompagnées de nuisances sonores et visuelles mais aussi les émissions de GES peuvent être limitées grâce à une bonne conception des silos et un ravitaillement privilégiant les fournisseurs locaux. La proximité des filières du bois, leur maturité et le potentiel de la région en bois devrait être décisive dans la réflexion de ce choix, explique le bureau d'étude rencontré en évoquant une nécessité de cohérence avec les PCAET (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/22). Le réseau de chaleur dans la commune de Lucinges est un bon exemple, la biomasse est sourcée chez un petit forestier, qui travaille tout seul et qui est à 30 km de la commune (Entretien, représentant politique locale, 13/01/23).

*« C'est toujours pareil s'il faut aller chercher le bois, et s'il n'y a pas de filière locale... En gros, l'hiver ils font un semi-remorque toutes les semaines pour approvisionner. Je trouve que ce n'est pas terrible. » - (Entretien, aménageur privé 1, 24/05/22)*

*« Donc cela étant, une chaufferie de bois, ça génère des trafics routiers parce qu'il faut pouvoir alimenter les silos en bois. Soit, on a des petits silos et donc il faut des camions fréquents. Ce sont des nuisances sonores et nuisances visuelles. Ce sont des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution. Ça, c'est un fait. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/22)*

*« L'arrivée des plans climat-air-énergie, l'intégration de l'air dans les plans climat à commencer à limiter un peu le bois. Mais là, c'est assez récent, ça fait deux, trois ans qu'on commence à avoir la RAE qui nous dit à chaque fois que si on met dans un lot une chaufferie bois du coup les gens n'auront pas assez d'argent pour l'entretenir... notamment pour changer les filtres régulièrement et donc du coup ils n'aiment pas trop. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

#### **4.4. Échelle territoriale : vers la bonne densité et la bonne gouvernance**

Les deux types de solutions technologiques, le gros réseau chaleur et le micro-réseau avec la chaudière collective, nécessitant chacune un niveau de densité de consommation élevée présentée en 2.2 et 2.3 dessine deux voies de gouvernances distinctes dans lesquelles on retrouve les mêmes acteurs historiques d'énergie en France. Si le marché des petits réseaux a été investi davantage par des petits acteurs, comme des sociétés citoyennes bois-énergie, récemment, les acteurs historiques commencent

(1) Ainsi, les grandes infrastructures à récupération d'énergie comme l'incinération de déchets, la chaleur fatale ou la géothermie représentent des investissements importants. La densité de consommation et le phasage du projet sont fondamentaux pour la viabilité d'une grande infrastructure et depuis la RT2012 leur coût financier ne peut être amorti qu'en augmentant le périmètre des consommateurs. Ainsi, lorsque la contrainte financière par rapport au budget disponible se montre décisif pour les choix plus vertueux, il semble nécessaire d'approcher la réflexion sur le choix de réseau de chaleur à une plus grande échelle.

*« Les réseaux sont alimentés pour 40 % dans la ZAC et 60 % de l'extérieur. Le côté vertueux exemplaire du quartier se diffuse à l'extérieur et tant mieux. Cependant, la chaufferie est permise notamment par la ZAC, vu que c'est nous qui leur donnons le foncier à l'euro symbolique. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

Rendue possible depuis la délégation de compétence énergétique à l'échelle de l'intercommunalité à la suite des lois NOTRe et MAPTAM, on observe une tendance forte à déployer en priorité le réseau de chauffage existant. Après un temps de structuration de ce nouvel échelon institutionnel, se développe, sur les projets urbains les plus récents, le réseau de chaleur porté par l'intercommunalité. L'intercommunalité procède à une délégation de service public auprès de l'un des deux acteurs principaux, encore une fois Dalkia et Cofely, pour le déploiement et la gestion avec notamment la distribution de la chaleur et l'entretien. Toutefois, les syndicats départementaux d'énergie se sont positionnés sur ce marché récemment. Le déploiement de ce réseau est généralement inscrit dans le PCAET. Ainsi, la collectivité dans sa commande auprès de l'aménageur partage sa volonté à travers ses prescriptions à se raccorder au réseau présent sur le territoire. Si ce n'est pas le cas, ça sera parfois l'aménageur accompagné par une AMO DD qui en fera la proposition.

Le portage à l'échelle de l'intercommunalité se montre efficace pour la rentabilité des coûts. Selon les aménageurs et des bureaux d'étude, pour que l'investissement soit rentable et le coût de l'énergie compétitif, il faut prévoir le réseau en dehors de la zone d'aménagement avec une vue plus globale. Cela se fait souvent avec plusieurs communes contrairement à la pratique qui est de proposer une solution pour chaque parcelle séparément. Ainsi, le réseau peut être conçu pour desservir plusieurs quartiers ou communes, les phases de livraisons seront adaptées pour s'y accorder tout en permettant un équilibre financier.

*« Le réseau de chaleur biomasse, pourquoi pas s'il est justement raisonné d'un point de vue global. Par contre, la chaufferie biomasse avec le local de stockage derrière chaque bâtiment, ça n'a aucun sens. Enfin, économiquement, ça ne peut pas jouer. ... Mais on demande à chaque porteur de projet d'amener sa solution positive en énergie quoi. Pas de raisonnement collectif, pas de raisonnement global. Et là, ça devient compliqué d'être positif en énergie sans avoir à aucun moment envisagé la logique d'autoconsommation collective, la logique du smart grid, les approches collectives, voilà. On le voit régulièrement quand même, il y a des très gros programmes, des plans guides, où on continue de raisonner parcelle par parcelle. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/2022)*

(2) En cas d'impossibilité à déployer un réseau existant ou en cas de lancement de projet d'un nouveau réseau de chaleur, la solution de chaufferie collective alternative est portée par les acteurs comme le documente la ZAC Centralité de la boucle de Chanteloup où la chaudière est la source de chaleur unique. Comme déjà décrit dans le cas de montage juridique en ASL dans les cas des réseaux collectifs privés, les aménageurs accompagnent les promoteurs et/ou bailleurs à réaliser un montage juridique facilitant l'exploitation de la chaufferie biomasse pour les futurs acquéreurs. Ces acteurs vont accompagner les futurs acquéreurs à se constituer en ASL et lancent un appel d'offres auprès d'opérateurs pour la construction et la gestion de cette chaufferie sur plusieurs années. Encore une fois, nous retrouvons les acteurs historiques de l'énergie en France (EDF avec sa filiale Dalkia, ENGIE avec sa filiale Cofely). Une fois l'opérateur sélectionné, il est chargé de la construction de l'infrastructure, de son exploitation et de sa maintenance pour alimenter les différentes copropriétés du secteur. Ainsi, l'aménageur, pouvant souscrire un contrat d'installation et d'exploitation d'un réseau de chaleur auprès d'un énergéticien sous forme de délégation de service public décharge économiquement les promoteurs de cette prestation. Ces derniers pourront ainsi absorber l'augmentation des prix des matériaux et réinvestir le reste dans des matériaux plus performants et écologiques. Cette opération est donc bénéfique pour l'aménageur, les promoteurs et les futurs acquéreurs.

#### **4.5. RE2020 et la production de chaleur : le réseau de chaleur en compétition avec la pompe à chaleur**

La généralisation de la RE2020 soulève un certain nombre de questionnements sur les réseaux de chaleur et les chaudières collectives. Quelle place pour les chaudières collectives émettrices de GES avec l'incinération des pellets bois et toujours accompagnée d'une chaufferie gaz de sécurité dans une perspective de limitation d'utilisation du gaz et de performance carbone ? Si, selon l'un de nos interlocuteurs, il demeure préférable de brûler du bois dans les chaudières collectives beaucoup plus performantes en rendement d'énergie et dans leur capacité à filtrer leurs émissions, que de brûler du bois individuellement dans les cheminées ou les poêle à bois, il partage sa crainte vis-à-vis des réseaux de chaleur concurrencés par les pompes à chaleur en raison de la performance carbone qui leur est appliquée suite à la Programmation pluriannuelle d'énergie (PPE) et l'ACV dynamique.

*« On nous à rajouter du carbone en passant en ACV de manière assez arbitraire, où le contenu du chauffage électrique est passé de 180 grammes de CO2 par kilowattheure à 79 lors de la PPE. Donc, le contenu carbone dans les indicateurs fait qu'aujourd'hui on est moins performant qu'une pompe à chaleur. Même un réseau à 80 % EnR. » - (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23).*

##### **4.5.1. Exigences énergétiques de la RE2020**

Tandis que la RE2020 renforce les exigences sur la sobriété et la performance énergétique, elle incite à privilégier les énergies moins carbonées et la chaleur renouvelable. Selon l'étude du Cerema (2022) le réseau de chaleur vertueux, c'est-à-dire avec un taux d'EnR élevé, reste une solution d'approvisionnement de la chaleur et de l'eau chaude sanitaire (ECS) importante pour parvenir à respecter cette nouvelle réglementation. Notamment, par rapport aux deux indicateurs qui sont le Cep nr - la consommation en énergie primaire non renouvelable et non issue de récupération, et le Ic énergie - l'impact sur le changement climatique des consommations d'énergie du bâtiment durant les 50 années de son cycle de vie.

Le premier indicateur Cep nr prend en compte seulement les énergies non renouvelables ou non issues de récupération qui sont utilisées pour la couverture des besoins énergétiques du bâtiment (à savoir le chauffage, la production d'ECS, l'éclairage, le refroidissement, les auxiliaires, l'éclairage des parties communes et des parkings et les consommations nécessaires au déplacement des occupants à l'intérieur du bâtiment). Un coefficient de conversion d'énergie finale en énergie primaire non renouvelable - Coefficient Cep nr - est alors identifié par la RE2020 (cf. troisième colonne du Tableau 2). Alors que l'indicateur Cep (la consommation en énergie primaire totale) avec son coefficient (cf. deuxième colonne du Tableau 2) applique la même valeur : 1, aux consommations d'énergies renouvelables (comme le bois ou la part renouvelable des réseaux de chaleur) qu'aux ressources fossiles, une distinction est faite dans l'indicateur Cep nr. En appliquant un indicateur nul aux ressources renouvelables, ce dernier devient l'indicateur principal et le plus contraignant dans la réglementation de la RE2020 concernant les consommations d'énergie. Son objectif est de maximiser la mise en place des solutions technologiques produisant l'énergie primaire d'origine renouvelable et de récupération et par conséquent pénaliser le recours aux autres sources d'énergie.

Si les EnR captées sur la parcelle ou le bâtiment et la biomasse comptent pour zéro dans le calcul de Cep nr, le réseau de chaleur vertueux devient ensuite la solution énergétique la moins contraignante pour cet indicateur : plus le taux d'EnR est élevé, plus le coefficient est proche de zéro. L'information sur les taux d'EnR des réseaux de chaleur est affichée dans l'arrêté du 21 octobre 2021. À titre d'exemple, si un

bâtiment est raccordé à un réseau de chaleur avec un taux d'EnR de 75 %, l'indicateur Cep nr comptera que la partie non renouvelable de ce réseau, soit 25 %. Ainsi, le réseau de chaleur vertueux assurant les besoins de chauffage et d'ECS reste une des pistes principales pour parvenir à respecter les seuils de cet indicateur. D'autres pistes seront le solaire thermique, la géothermie ou le photovoltaïque pour l'autoconsommation. Au contraire, le coefficient pour l'électricité du réseau, qui est le plus haut parmi tous, rend le choix de cette ressource pénalisante pour parvenir à respecter le seuil maximal. Si ces indicateurs visent d'abord à limiter les systèmes électriques à effet Joule (par exemple les radiateurs électriques ou plancher chauffant électrique), les systèmes à haut rendement comme les pompes à chaleur sont pourtant mieux valorisés que dans la RT2012<sup>16</sup>.

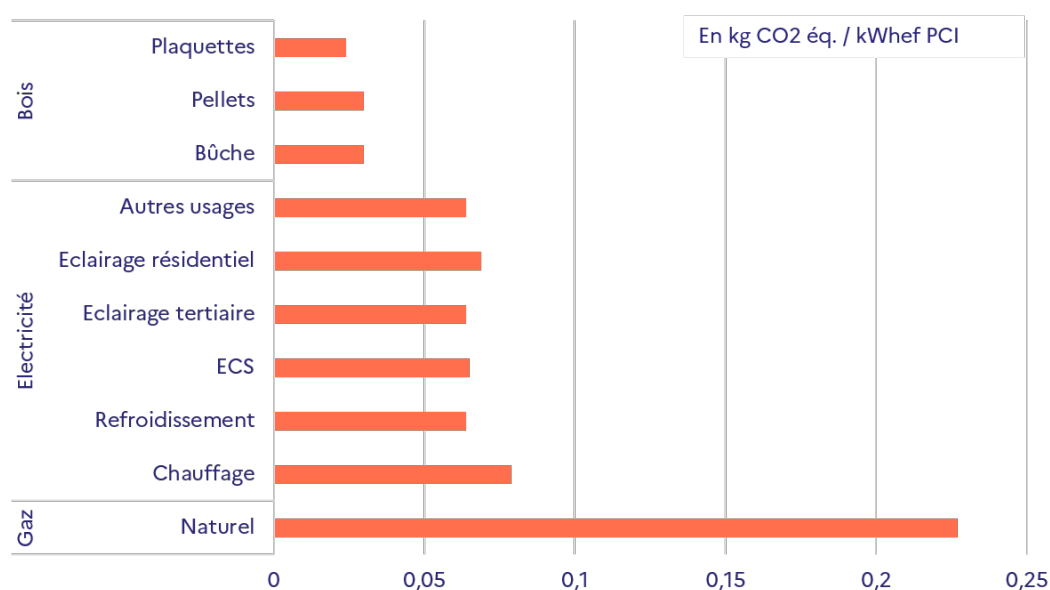
Tableau 2 - Les coefficients de conversion, Source : Cerema (2022, p.6)

Vecteur énergétique	Coefficient Cep	Coefficient Cep nr
Électricité du réseau	2,3	2,3
Gaz, charbon, produit pétroliers	1	1
Réseau de chaleur	1	1 - %EnR
Réseau de froid	1	1
Biomasse	1	0
EnR captée sur la parcelle ou le bâtiment	0	0

Le deuxième indicateur, *Ic énergie*, donne une référence des émissions de GES générées par l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment pendant son exploitation, une durée de 50 ans. Son calcul consiste à multiplier les consommations d'énergie par le taux d'émissions de chaque énergie utilisée pour les mêmes usages que le Cep nr (Graphique 6). Dans le cas du réseau de chaleur, la valeur de taux d'émissions<sup>17</sup> est calculée en utilisant le contenu de CO<sub>2</sub> du réseau de chaleur qui est attribué à chaque réseau par l'arrêté du 21 octobre 2021 (nommé « contenu CO<sub>2</sub> ACV »). Il est possible d'obtenir une dérogation au titre de la procédure sur le contenu de CO<sub>2</sub>, si les travaux de verdissement sont prévus par la collectivité afin de décarboner le réseau dans une période inférieure à 5 ans. Dans ce cas, l'indicateur sera évalué sur la base de contenu carbone anticipé.

<sup>16</sup> La RT2012 prenait en compte la valeur de 2,58 pour le coefficient de conversion énergie primaire / énergie finale pour le vecteur électrique. En RE2020 celui-ci fut modifié pour une valeur de 2,3.

<sup>17</sup> Pour la RE2020, ce taux est obtenu avec l'ACV dynamique qui prend en compte 3 composantes : 1) les émissions liées à la combustion dans la chaufferie, 2) les émissions liées aux pertes en lignes liées au transport et à la distribution et 3) les émissions en amont liées à l'extraction du combustible, son transport, sa transformation et sa distribution. La RT2012 dans l'analyse ACV prenait en compte que les deux premières composantes.



Graphique 6 - Facteurs d'émissions de GES pour l'usage logements, Source : Cerema (2022, p.8)

Tandis que le premier indicateur permet de valoriser les réseaux de chaleur vertueux, ce deuxième indicateur avec les seuils progressifs incite la filière de réseau de chaleur à poursuivre son verdissement. D'après le Cerema (2022, p. 9), en 2020, 76 % des réseaux de chaleur existants étaient compatibles avec le seuil de 2025 de la RE2020 soit 8 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an et 65 % des réseaux de chaleur parvenaient à respecter le seuil de 2028 soit 6,5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an. Quant au gaz, source d'énergie émettrice de GES, à partir de 2025 le chauffage exclusivement au gaz sera exclu de la construction neuve de logement collectif et individuel. Si le verdissement des réseaux continue, le déploiement des réseaux de chaleur vertueux en logements collectifs sera un atout pour atteindre le seuil 2025 et 2028.

#### 4.5.1. Essor de la pompe à chaleur ?

Cependant, nos interlocuteurs expriment une crainte, celle de la concurrence des réseaux de chaleur avec les pompes à chaleur qui est mise en avant par la RE2020. Afin de préparer l'arrivée de la nouvelle réglementation, la Programmation pluriannuelle d'énergie (PPE) a publié en 2018 une actualisation des facteurs de conversion en énergie primaire de l'électricité et du coefficient d'émission de l'électricité de chauffage de la façon suivante :

*« Le facteur de conversion de l'énergie finale en énergie primaire de l'électricité sera fixé à 2,3, valeur résultant d'un calcul en moyenne sur 50 ans, en prenant en compte les objectifs de diversification du mix électrique fixés dans la loi. Le facteur d'émission de l'électricité sera déterminé par la méthode mensualisée par usage, qui conduit à une valeur de 79 gCO<sub>2</sub>/kWh pour le chauffage électrique. » (PPE, 2018, p.12)*

La RE2020 prenant en compte cette valeur dans les indicateurs pour les calculs de l'impact carbone de projets de construction neuve, peut se lire comme une réglementation « pro électrique ». En valorisant ainsi les solutions de production de chaleur et d'ECS à basse consommation d'électricité, comme la pompe à chaleur et l'ECS thermodynamique, elle met ainsi en concurrence ces solutions avec le réseau de chaleur urbain avec un taux d'EnR et de récupération moins importante. Ce changement risque de fragiliser une approche collective de la transition énergétique. Soit « vous essayez de mettre en place des infrastructures collectives mutualisées », ce qui se construit avec la gouvernance de réseau de chaleur, ou « vous laissez chacun se débrouiller à installer de manière très individuelle son équipement pour décarboner » (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23), comme la mise en place de la pompe à chaleur à l'échelle de bâtiment voir du logement.

*« C'est une réglementation pro électrique, à un point quasiment caricatural. Les règles de jeu ont radicalement changé avec les règles de jeu précédentes. Dans le cas de la PPE, la nouvelle équivalence qui est sortie en 2018 pour la RE 2020 est, pour moi, très favorable à l'électricité. Ce sont des raisons politiques, ce ne sont pas des raisons physiques. Des explications données, à posteriori, pour faire passer 1 kWh de chauffage électrique de 210g à 79g du jour au lendemain. Sachant que le 210g, il a été calculé et formalisé par l'EDF. ... À partir de là, politiquement, c'est très*

*clairement ce que veulent les décideurs publics aujourd'hui. Et on va passer à des chauffages électriques massivement, via les pompes à chaleur très clairement. Il y aura beaucoup de bâtiments avec des pompes à chaleur. Et puis, de temps en temps, des bâtiments reliés à un réseau de chaleur.*

*» - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

*« Je pense que la RE2020 fait un gros coup d'arrêt. Puisqu'en fait, vous devez obtenir des performances carbone et c'est plus simple avec des pompes à chaleur. Et donc vous laissez chaque bâtiment se débrouiller et vous n'organisez pas un service central de production, de distribution d'énergie renouvelable. Donc, je pense que la RE2020 va freiner la dynamique précédente. » - (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23)*

De la même manière, si la problématique du confort d'été ouvre le sujet de la production du froid, le réseau centralisé se retrouve à nouveau confronté à la concurrence d'une production individuelle à l'échelle du bâtiment. Tandis que la réglementation priorise la conception du bâtiment bioclimatique pour répondre à la problématique du confort d'été, certains projets seront tout de même amenés à être approvisionnés en froid. Ainsi, le rafraîchissement apporté par un réseau de froid ou par des boucles d'eau tempérées représente une solution mutualisée à l'échelle d'un quartier. Si le choix d'adopter une approche collective, commence à apparaître dans les projets de quartiers neufs (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23), il nécessite le même montage que le réseau de chaleur (cf. Chapitre 2.2) et le promoteur doit prévoir deux coûts de raccordement, un pour l'approvisionnement en chaleur et ECS et l'autre pour le rafraîchissement via le réseau de froid. Les pompes à chaleur réversibles, qui peuvent servir à la climatisation, représentent en revanche pour le promoteur un coût unique. Par ailleurs, certains promoteurs orientent déjà leur politique RSE vers la généralisation de la pompe à chaleur. Dans ce sens, la RE2020 risque de rendre le choix des réseaux de chaleur pour la production de chaleur et d'ECS moins systématique et par conséquent remettre en question la pertinence de l'échelle territoriale pour appréhender cette problématique : une dynamique instaurée par la RT2012.

*« On a le projet global qui nous pousse à mettre des pompes à chaleur quasiment sur l'intégralité de nos projets sauf dans les projets en ZAC où on utilise le chauffage urbain. Mais le réseau de chauffage, ça dépend de ce que vous avez au bout. Nous, on ne le maîtrise pas. On subit un réseau de chauffage qu'on nous amène. Par exemple, celui de Cergy n'est pas hyper performant et on sait très bien que s'il n'augmente pas le nombre d'énergies renouvelables il ne permettra jamais de passer les seuils RE2020 aux termes de l'énergie. L'avantage de la pompe à chaleur c'est qu'on maîtrise au titre de notre projet. Pour nous c'est plus sécurisé. » - (Entretien, promoteur 6, 17/04/23).*

Désormais, les demandes de la construction neuve s'ajoutent à la généralisation de pompe à chaleur poussée par la rénovation grâce aux aides publiques. À savoir, les ventes des pompes à chaleur (air-eau) augmentent significativement ces dernières années. En 2022, avec 346 313 unités vendues, elles ont fait une hausse de 30 % par rapport à 2021, 267 221 unités vendues, et par rapport à 2020 une hausse de presque 50 %, avec le cap des ventes à 175 222 unités (Wast, 2023). Cette rapide croissance risque, cependant, d'engendrer des effets secondaires. Bien que productrice économe de chaleur, et dans le cas d'un modèle réversible aussi du froid, la pompe à chaleur émet lors de son fonctionnement des nuisances sonores et visuelles et rejette, dans le cas de la production du froid, la chaleur à l'extérieur. Ces nuisances s'avèrent problématiques en particulier en milieu urbain dense, où les rejets de chaleur participent à la création d'effet d'îlot chaleur urbain. D'autre part, si la pompe à chaleur nécessite peu d'électricité pour son fonctionnement, avantage principale de cette technologie, l'efficacité énergétique diminue une fois que les températures extérieures s'approchent de zéro<sup>18</sup>. La performance étant alors dégradée en hiver, le réseau électrique risque de se retrouver avec une pointe de consommation importante pour produire de la chaleur et de l'ECS. Ce qui nous amène à l'une des problématiques majeures de la transition énergétique, celle du bon vecteur énergétique pour le bon usage.

*« Ce qu'il faut c'est se poser la question quelle est la bonne énergie pour le bon usage, pour chauffer et refroidir un bâtiment ? Il y a des solutions un peu low tech. Donc prenons ces solutions low tech que sont le bois énergie, la géothermie et gardons les solutions qui sont high tech et dur à décarboner, donc l'électricité, et gardons le pour la croissance économique, l'industrie, la mobilité puisqu'il y a moins de solutions pour décarboner. Pas besoin d'une centrale nucléaire, on peut faire*

<sup>18</sup> Une solution peut être les pompes à chaleur hybride qui couplent un équipement de pompe à chaleur avec une chaudière thermique (soit gaz ou bois), qui est prévu comme un appoint pour les pics du froid ou la pompe à chaleur montre une faible efficacité. Éligible aux aides publiques de l'État et aussi intéressante sur le point de la décarbonation, une pompe à chaleur hybride peut réduire la pointe électrique hivernale. Autrement, les pompes à chaleur eau-eau, c'est-à-dire à base de géothermie, sont moins sensibles au changement saisonnier. Cependant, leur part de marché est moins importante à cause du coût d'investissement plus élevé et des conditions d'installation plus complexe que pour les pompes à chaleur type air-eau ou air-air.

*ça en bas carbone avec des solutions beaucoup plus simples et locales. » - (Entretien, association des réseaux de chaleur et de froid, 13/04/23)*

*« Le problème c'est que, quand on produit du froid, on produit forcément du chaud. Et donc une pompe à chaleur qui produit du froid à l'intérieur, rejette la chaleur à l'extérieur du bâtiment ce qui réchauffe l'ambiance extérieure et donc il faut climatiser encore plus. Si on n'a pas conçu quelque chose à l'échelle de la ville, sur la question du confort de l'été, on va tout droit vers ce genre de catastrophe. ... La pompe à chaleur c'est pas une mauvaise solution, même généralisée, mais on voit bien que c'est quand même une solution qui peut dériver. Aujourd'hui, lorsqu'une maison ou un logement neuf est équipé d'une pompe à chaleur, 3 fois sur 4 la pompe est réversible. Et les gens finalement ne demandaient pas la clim au départ, et finalement on leur offre. Du coup, avec le changement climatique d'une part et avec la banalisation des pompes à chaleur réversibles, la clim va devenir aussi fréquente que le chauffage dans 10 ans. Alors sur les maisons individuelles, ce n'est pas grave, mais alors dans un site urbain dense, là ça peut être vraiment problématique. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

Les réseaux de chaleur et de froid représentent des solutions qui s'opèrent à une plus grande échelle ce qui s'avèrent plus pertinentes pour les milieux urbains denses qui font face à l'effet d'îlot de chaleur urbaine. De plus, l'abonnement au réseau de chaleur ou froid apporte à l'abonné aussi d'autres services comme la maintenance du réseau et l'obligation de service continu qui est prise en charge par l'opérateur. Si l'abonnement au réseau garantit ce service, la pompe à chaleur individuelle ou collective laisse à chaque propriétaire/locataire ou copropriété la charge de son entretien, de sa gestion et de son coût.

## 5. Produire son électricité, gérer son parc et autoconsommer

### 5.1. Évolution de la production d'électricité : mise sur le solaire photovoltaïque

La production de l'électricité est une deuxième piste pour mettre en place la production de l'EnR. Historiquement étant réservé pour le domaine spatial, le photovoltaïque arrive à se développer à une plus grande échelle à la suite de crise pétrolière dans les années 1970. En France, l'industrie photovoltaïque (PV) se développe depuis 1979 avec Photowatt pour le marché spatial tout comme le nouveau marché des pays s'engageant dans le solaire PV. Cependant, un premier raccordement au réseau électrique est fait seulement en 1992 par l'association Hespul. La réticence de la France à se lancer dans cette démarche de raccordement au réseau centralisé, freinait la poursuite du développement des installations photovoltaïques. Un premier tarif d'achat est mis en place en 2001. Fixé trop bas, il nécessitait alors des subventions de l'ADEME et limitait ainsi le développement du photovoltaïque (Bal, 2023). C'est avec la Loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique (loi POPE), promulguée le 13 juillet 2005, que la dynamique change. Cette loi conduit à la mise en place d'un tarif de rachat très avantageux de l'électricité photovoltaïque en 2006 (Cointe, 2015, 2016)

#### 5.1.1. Vente de la totalité de la production : engouement pour le PV à l'échelle du bâtiment

La garantie du prix d'achat et les subventions ont identifié le panneau photovoltaïque comme la solution favorisant son essor à l'échelle du bâtiment et la filière photovoltaïque se construit en France. Les personnes interrogées parlent d'un « boom du photovoltaïque » à partir de 2008 jusqu'en 2010, date à laquelle le moratoire sur le tarif d'achat ralentit ce développement.

*« À une époque, je me souviens quand le kWh électrique photovoltaïque était vendu le double du tarif où EDF vendait le sien. Donc, il y a plein de gens qui se sont dit, c'est une manne financière extraordinaire, je vais faire du business avec du photovoltaïque. Ils ont couvert les toitures en vendant tout à EDF. C'est hallucinant. Il y a eu toute une industrie du photovoltaïque qui s'est créée en Europe, en particulier en France. Et le jour où EDF a changé les tarifs, tout s'est effondré. Du jour au lendemain, on est allé chercher du photovoltaïque en Chine. » - (Entretien, consultant énergie environnement, 06/03/2023)*

*« Alors, il y a eu un tarif d'achat qui a été lancé en 2006 qui a généré une spéculation énorme. C'était tellement intéressant, ça a été le goinfrage par tous les acteurs avec des abus qui ont été faits etc. Et donc il y a eu un moratoire. » - (Entretien, AMO DD 1, 03/08/18)*

D'après Jean-Louis Bal (2023, p.10), ancien président de Syndicat des EnR, « l'attrait de ce tarif été à l'origine d'un emballement du marché et d'une file d'attente de 6 GW auxquels le gouvernement a répondu de manière sanglante en suspendant le dispositif tarifaire via un moratoire dévastateur ». Selon lui, c'est la cause principale de la perte de la filière photovoltaïque française qui en deux ans rétrécit de 30 000 à 10 000 emplois.

À cette époque, l'investissement et l'installation des panneaux photovoltaïques dans le projet d'aménagement urbain reposaient sur les promoteurs et les bailleurs. La totalité de la production d'électricité photovoltaïque allait en revente ce qui détournait l'attention des aménageurs et leur évitait de se poser la question de l'organisation des micro-réseaux à l'échelle du quartier. De plus, à cause de l'absence de professionnel pour leur installation et exploitation (cf. chapitre 3.2) il n'est pas rare que les panneaux photovoltaïques soient mal installés ou finalement débranchés notamment sur les immeubles en copropriétés.

*« Finalement sans suivi, on se rend compte que c'est des panneaux photovoltaïques qui ont été mis en œuvre mais qui sont complètement déconnectés aujourd'hui, qui ne servent plus à rien. Ça nous a permis de se rendre compte qu'il fallait qu'il y ait un professionnel qui suive et qui entretienne ces panneaux photovoltaïques. S'ils sont mis en œuvre par un promoteur et puis redonnés à une copropriété, mais même un bailleur social qui le gèrait en direct, ce n'est pas leur métier. Ils ne savent pas faire. Donc rapidement, ce n'est pas entretenu, ou mal entretenu, et puis déconnecté en raison d'une mauvaise connaissance du sujet. » - (Entretien, aménageur public 2, 28/06/22)*

*« Si vous saviez le nombre d'installations de PV qui s'est posé. Ils sont juste là pour l'image. Après, ça s'est un peu arrêté, les installations, parce que le tarif a changé. Quand tu vois les installations*

*qui ne sont pas entretenues, que ce n'est même pas raccordées. Les panneaux ne sont pas branchés. Ou alors ils l'ont branché mais il n'y a pas de compteur. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

Les panneaux photovoltaïques étaient à la charge de copropriétés ou de bailleurs sociaux ne disposant pas toujours des connaissances techniques, ni de moyens financiers pour répondre aux problèmes. Résultat, une mauvaise image du photovoltaïque se propage alors parmi les promoteurs et les bailleurs. L'accumulation de ces obstacles ajoutée au moratoire ont mené à une forte baisse d'installation des panneaux.

*« Concernant le photovoltaïque, j'ai toujours en tête cette image où la cellule photovoltaïque, à la produire ça consomme plus d'énergie que toute la vie de la cellule elle ne pourra en restituer, donc... » - (Entretien, promoteur 2, 02/07/18)*

*« Donc oui il y a eu un moment d'engouement pour le photovoltaïque et puis un moment où ça a été un peu 'la gueule de bois' pour tout le monde parce que ça a été trop loin. » - (Entretien, AMO DD 1, 03/08/18)*

Dans le contexte législatif et géopolitique d'autoconsommation défavorable au développement des micro-réseaux, l'utilisation du photovoltaïque a été peu à peu mise à l'écart par les acteurs du projet urbain. Si on en trouvait, elle était motivée par l'obligation de production d'EnR imposé par aménageur (cf. ZAC Carrière Centralité). Le choix du photovoltaïque, dans ces cas, était fait par opportunisme et simplicité de la mise en œuvre, en particulier, sur des projets où la densité n'était pas assez élevée pour rentabiliser un réseau de chaleur ou une chaudière collective. Ou dans quelques rares projets urbains visant le label bâtiment à énergie positive (BEPOS)<sup>19</sup> où les panneaux photovoltaïques étaient mis massivement plutôt en complément d'un réseau de chaleur afin d'atteindre les objectifs ambitieux de productions d'EnR. Concrètement, il n'était pas rare que ce label BEPOS-Effinergie 2013<sup>20</sup> soit souvent décroché avec l'utilisation massive du photovoltaïque (Entretien, AMO DD 2, 04/08/2018).

### **5.1.2. Autoconsommation : retour du photovoltaïque à l'échelle du quartier comme à l'échelle du bâtiment**

Le retour du photovoltaïque survient avec l'avancée des dispositifs d'autoconsommation individuelle et d'autoconsommation collective. Pour avoir quelques ordres de grandeur, à la fin d'année 2022 Enedis accumule 1 325 GW de capacité installée dans le dispositif d'autoconsommation individuelle et 8,23 MW pour l'autoconsommation collective ce qui correspond à 240 000 installations pour l'autoconsommation individuelle et environ 150 opérations en autoconsommation collective (Madoui, 2023).

(1) Entamé depuis la loi TECV en 2015, le contexte législatif de l'autoconsommation évolue avec un objectif de relance de la filière du photovoltaïque. Cette nouvelle période de son développement est fondée sur l'attractivité sociale de l'idée de production collaborative de l'énergie (Fonteneau, 2021). D'abord, le dispositif d'autoconsommation individuelle est envisagé. Contrairement au modèle de la revente de la totalité de la production, il se base sur un nouveau modèle économique, celui d'une économie de facture. Cette économie est assurée par l'autoconsommation sous forme d'alimentation des parties communes ou de consommation à titre individuel permise par des branchements connectant directement le lieu de production aux lieux de consommation sans passer par le réseau distribution centralisé. Ces flux autoconsommés sont ainsi exonérés des taxes et du Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Électricité (TURPE). Le surplus de la production est ensuite injecté dans le réseau avec un tarif de rachat fixé et garanti durant 20 ans (Obligation d'achat) le valorisant comme une production. Tandis que ce modèle propose une possibilité d'autoconsommation locale pour des logements collectifs et même si la consommation par les parties communes est importante, on reste proche du modèle de la revente de totalité de la production<sup>21</sup>. Pour des logements collectifs, ce modèle reste intéressant avant tout en raison d'un prix de rachat fixe. Or, si les copropriétaires consomment à titre individuel, le raccordement séparé pour chaque logement rend l'installation plus complexe et donc le coût d'investissement plus élevé.

Alors que l'autoconsommation est perçue comme une opportunité dans les années 2015, elle est appréhendée par l'État avec précaution. Cette attitude vis-à-vis du développement d'une production électrique décentralisée trop importante était générée par des craintes des effets sur le réseau de distribution (Fonteneau, 2021), mais également de la fragilisation du principe d'universalisation et de péréquation des coûts du réseau centralisé (Nessi, 2023). Lorsque l'arrêté du 9 mai 2017 modifie les tarifs

<sup>19</sup> Il s'agit d'un bâtiment dont la production d'énergies renouvelables est supérieure à sa consommation d'énergie primaire. La conception demande un bâtiment à faible consommation et des installations d'équipements de production d'EnR.

<sup>20</sup> Ce label est alors mis en place comme expérimentation pour définir la RE2020 et permettre la généralisation des bâtiments BEPOS.

<sup>21</sup> Ce modèle est plus bénéfique pour les installations industrielles avec une demande de consommation plus importante.

d'achat de l'électricité, seules les plus petites installations d'autoconsommation avec vente du surplus bénéficient désormais d'une aide publique. Si l'auto-consommation individuelle se développe de plus en plus chez les particuliers à l'échelle du bâtiment, la conception des réseaux décentralisés à l'échelle du quartier n'est, quant à elle, pas envisagée par les aménageurs compte tenu du tarif de rachat en constante baisse depuis 2011.

(2) Dans un deuxième temps, à partir de 2019 (La loi PACTE du 22 mai 2019, loi Énergie-Climat du 9 novembre 2019 et le S21 - l'arrêté tarifaire photovoltaïque du 6 octobre 2021), le dispositif de l'autoconsommation collective introduit un schéma favorable à la consommation à l'échelle du quartier<sup>22</sup> signifiant un potentiel retour dans les projets urbains.

*« C'est à la fois une piste intéressante économiquement pour réussir à valoriser les coûts de l'électricité produite. Et puis c'est très intéressant pour nous aussi sur le fond. Ça nous permet d'aller un peu plus loin dans la logique d'implication des citoyens dans les projets. Avec l'autoconsommation collective, on pourrait proposer aux gens d'acheter l'électricité produite par la centrale. » - (Entretien, association des opérateurs PV citoyens, 06/02/23)*

*« L'État a favorisé depuis 2017 l'autoconsommation individuelle, donc le producteur et le consommateur. Mais l'autoconsommation collective est encore assez contraignante. L'état a libéré un peu la solution en élargissant le périmètre des consommateurs possibles. Aujourd'hui, il y a une distance réglementaire à respecter entre le site de production dans la centrale et les personnes qui peuvent auto consommer cette énergie. Ils ont élargi le cercle dans un rayon géographique. Mais il y a toujours besoin de PMO, une personne morale organisatrice. Il y a toujours besoin de piloter les clés de comptage, donc ça reste assez lourd à monter quand même. » - (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23)*

L'autoconsommation collective regroupe des consommateurs et des producteurs qui organisent entre eux un partage de l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques grâce à des moyens de production mis en commun. Ce dispositif nécessite des démarches supplémentaires aux démarches d'installation des panneaux photovoltaïques pour la revente de la production parmi lesquelles la création d'une personne morale organisatrice (PMO). Cette PMO représente juridiquement ces producteurs et consommateurs et a à sa charge la convention avec Enedis indiquant les modalités de la répartition de la production ainsi que l'organisation des clés de comptage et les clés de répartition pour facturer les consommations de chaque consommateur. Cet avancement législatif a donc permis d'imaginer des projets portés par des collectivités, des bailleurs sociaux et des groupements de promoteurs et opérateurs. Ce que décrit ainsi Fonteneau (2021, p.60) : *« collectivités territoriales, qui veulent autoconsommer leur production sur l'ensemble des bâtiments municipaux et en partager le surplus avec les consommateurs locaux (commerces, petites entreprises, lieux culturels et ménages plus rarement) ; par des bailleurs sociaux souhaitant donner accès à une électricité verte à leurs bénéficiaires ; par des promoteurs en milieu urbain, qui voient l'autoconsommation collective comme un cadre juridique intéressant à appliquer aux micro-grid »* est également confirmé par un facilitateur d'autoconsommation collective rencontré :

*« Actuellement, 40 % de nos clients sont des collectivités à différents niveaux. Il y a des opérations patrimoniales, il y a des opérations ouvertes. Il y a également des collectivités qui veulent initier des projets qui peuvent être intéressants tout simplement pour la résilience énergétique de leur entreprise. ... Ensuite, on a des bailleurs sociaux. C'est une bonne manière, pour eux, de faire baisser les charges de leurs locataires et d'avoir une utilisation utile et intelligente des panneaux qui sont de toute façon installés dans le cadre soit des programmes neufs ou soit des programmes de rénovation. Souvent, jusqu'ici, les bailleurs ne savaient pas trop quoi faire de ces panneaux qui étaient installés là juste pour atteindre tel ou tel label. ... Et après, avec la crise énergétique, on a tous les développeurs qui se sont dit 'tiens, mais c'est peut-être un modèle de valorisation qu'on peut ajouter à notre portefeuille. Il y a les coûts liés pour les très grosses centrales, mais pour les petites centrales, ça peut être intéressant'. Surtout que de plus en plus de propriétaires de foncier le demandent dans leur cahier des charges. » - (Entretien, facilitateur d'autoconsommation collective, 21/04/23)*

Pour réaliser ces projets, un nouveau modèle est mis en place : l'électricité issue des panneaux photovoltaïques est injectée dans le réseau de distribution pour être ensuite autoconsommée. Passant par le réseau de distribution, ce modèle ne valorise pas cette électricité comme une production mais comme une consommation soumise à la TVA, à la contribution au service public de l'électricité (CSPE) et

<sup>22</sup> Cette dimension géographique évolue dans Le code de l'énergie également. En partant par défaut sur l'échelle du bâtiment, le périmètre s'est élargi progressivement à 2 km en 2019, et ensuite à 20 km en 2020.

au TURPE. Si le prix final d'électricité trop élevé a soulevé de vives réactions quant à la tarification pour l'autoconsommation trop élevée, sa modification a abouti à une réduction tarifaire limitée - un TURPE optionnel abaissé pour les flux autoconsommés, mais qui majore le paiement sur les flux soutirés du réseau de distribution. Selon les retours d'expériences, ce micro TURPE est très rarement mis en place finalement (Entretien, facilitateur d'autoconsommation collective, 21/04/23). Cette décision a montré davantage la volonté de l'État de protéger un réseau universel, centralisé qui distribue de l'électricité à une communauté nationale et la crainte d'une mise en péril de ce système par de nouvelles communautés énergétiques locales (Fonteneau, 2021). Cependant, le contexte actuel favorable à l'autoconsommation collective est le résultat de la hausse des prix de l'électricité, d'une part, et de l'évolution du contexte législatif, d'autre part. Ainsi, l'étendue du périmètre géographique sous dérogation ministérielle à 20 km a facilité l'implantation de projets en zone rurale. Plus récemment, en mars 2023, la loi d'accélération de la production d'EnR a acté qu'il était possible pour les collectivités de s'approvisionner en électricité en gré à gré, soit via un contrat de PPA (*power purchase agreement*), soit via de l'autoconsommation collective. Cependant, contrairement aux attentes de la filière, cette loi n'a pas élargi le périmètre géographique de 2 km ni relevé la puissance maximale de 3 MW qui peut être autoconsommée dans le cadre d'une opération d'autoconsommation collective.

Si on constate un nouvel engouement, du point de vue des acteurs du projet urbain, des barrières sont encore à dépasser. Le modèle d'autoconsommation collective appliqué par les promoteurs et par les bailleurs sociaux ne se déroule pas de la même façon. Alors que le promoteur vend le schéma de l'autoconsommation collective aux acquéreurs, qui achètent en connaissance de cause, les bailleurs sociaux doivent convaincre leurs locataires d'y souscrire. En réalité, l'usage de l'autoconsommation n'est pas garanti, tant que l'ensemble des locataires ne souhaitent pas y souscrire. Pourtant, pour le partage des charges des panneaux et enfin pour bénéficier de la capacité de l'infrastructure, il faut idéalement la totalité des résidents.

*« Le problème de l'autoconsommation c'est qu'on ne peut pas forcer nos locataires à y souscrire. Donc si on part en autoconsommation et qu'on a par exemple 50 % qui ne comprennent pas ou qui ne veulent pas s'y intéresser, les 50 autres doivent payer toutes les charges des panneaux. Et donc ça ne peut être intéressant que si tout le monde y adhère. S'il n'y a que la moitié qui y souscrit et bien on se retrouve piégé. Donc après il n'y a plus personne qui y souscrit et nous on se retrouve avec un truc énorme pour alimenter juste les parties communes. » - (Entretien, bailleur 1, 04/07/22)*

Si ces contraintes génèrent de nouveaux doutes auprès des bailleurs, l'arrêté tarifaire S21 en vigueur depuis 9 octobre 2021 impose des contraintes financières aux opérateurs. Notamment pour retrouver une optimisation entre « *les installations urbaines de petite taille et de rendement pas si grand que ça, même s'il existe, versus des gros projets de fermes solaires dans le sud de la France hyper rentables* » (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23). L'arrêté modifie les conditions pour bénéficier de l'Obligation d'achat, abaisse les tarifs, et interdit l'accumulation des aides financières pour l'installation du photovoltaïque. Si au départ le modèle économique était basé sur le tarif d'achat réglementé et fixe établi pour une durée de 20 ans, aujourd'hui, l'interdiction d'accumulation des subventions et le tarif d'achat modifié sont une des causes de la perte de sa rentabilité pour de nouveaux projets. Les opérateurs (cf. chapitre 3.2) sont amenés à développer un nouveau modèle économique rentable avec l'autoconsommation collective permettant des économies de facture mais qui réserve également une partie de la production pour la revente avec l'Obligation d'achat dont la rémunération est toujours fixée pour une durée de 20 ans (Entretien, facilitateur d'autoconsommation collective, 21/04/23).

## **5.2. Panneaux photovoltaïques : à qui de les installer, à qui de les gérer ?**

Le choix du photovoltaïque pour la production d'EnR était avant tout incité par l'intervention publique dans les années 2010. La garantie du prix de rachat et les subventions ont tout de suite identifié le photovoltaïque comme « la » solution. Les AMO DD rencontrés le résument ainsi :

*« C'est une bonne solution mais ce n'est pas forcément LA solution. Mais, à un moment, on a peut-être cru que c'était LA solution et c'était une erreur, c'est une solution. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

*« C'est sûr que ça joue, je pense que la partie subvention ça joue. Le photovoltaïque, ça a beaucoup joué à un moment donné. » - (Entretien, AMO DD 2, 04/08/2018).*

Les panneaux photovoltaïques représentent un moyen facile pour assurer la production d'EnR. Toutefois, le manque de capacité financière et de connaissance de la part des bailleurs, des promoteurs et des copropriétaires sur qui reposait l'installation, l'entretien et la gestion des panneaux dans un premier temps et l'absence de professionnels spécialisés dans la gestion des panneaux sont les causes principales des panneaux débranchés. Plus récemment, à partir des années 2020, un nouvel acteur entre en scène, le tiers investisseur ou opérateur unique (opérateur). Accompagné de sous-traitants, qui s'occupent de la partie

technique, ce sont des investisseurs qui portent des projets financiers et pour qui les projets photovoltaïques sont de bons investissements. Son entrée dans la chaîne de production du projet d'aménagement urbain présente un certain apport, il connaît les montages des modèles économiques et juridiques et décharge les promoteurs et les bailleurs de la responsabilité financière de l'installation et du branchement des PV et les copropriétés et les bailleurs de la responsabilité de leur gestion et de l'exploitation de l'installation.

*« La puissance publique s'arrête au premier stade, c'est-à-dire production, installation, construction. En revanche, tout ce qui est derrière, la filière entretien, gestion, formation des entreprises, etc., alors là, ça pêche à mort. » - (Entretien, bailleur 2, 11/07/22)*

*« On a certains bâtiments qui ont des panneaux photovoltaïques, on les a mis en place mais on tâtonnait. C'est-à-dire que c'est mis en place et géré par les copros, mais on se rend compte que finalement c'est vite abandonné. Donc il fallait qu'on trouve la solution pour que ce soit entretenu et géré par un tiers extérieur. Et donc, ce qui nous a intéressés dans la proposition faite par les promoteurs, c'est que ces panneaux photovoltaïques qui vont être mis en place sur les toitures ne sont pas mis en place uniquement par les promoteurs. Ils se sont associés à un tiers énergétique qui va les mettre en place et payer ces panneaux photovoltaïques sur l'ensemble des toitures des bâtiments. Il va les gérer pendant 20 ans, il va revendre l'électricité à des fournisseurs d'électricité, il va les entretenir et va assurer le fonctionnement et la pérennité de ces panneaux sur 20 ans. Donc y'a des conventions qui sont passées, de mise à disposition des toitures à ce tiers énergétique, et c'est ça qui nous assure la pérennité de ces panneaux. Ce n'est pas uniquement la copropriété à terme, ou le bailleur social, qui va gérer, parce que déjà (1) ce n'est pas leur métier, et (2) rapidement c'est un coût pour la copropriété, des charges supplémentaires. » - (Entretien, aménageur public 2, 28/06/22)*

Ce nouvel acteur peut être incarné par deux figures très différentes les sociétés privées ou par les sociétés citoyennes participatives, comme des sociétés « Centrale villageoise » (cf. chapitre 3.4). Il apparaît dans le cadre de réponses de groupement promoteurs à l'aménageur, évolution récente de l'organisation de la production urbaine. Le tiers-investisseur détient les compétences et les responsabilités pour déployer les panneaux, assurer leur gestion et leur entretien, y compris le rachat et la revente d'électricité pendant une durée déterminée, souvent entre 20 à 30 ans d'exploitation. À la fin de contrat selon la convention signée il peut y avoir deux possibilités, *« chaque convention peut être spécifique, mais, soit, ils démantèlent et remettent la toiture en état ce que ne nous recommandons pas, parce que les panneaux sont amortis, ils continuent à produire. Donc en fait il y a de l'énergie gratuite. Donc normalement il y a un transfert de propriété au bailleur ou à la copro ou à un autre opérateur, éventuellement, »* explique le bureau d'étude (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/22). L'arrivée de tiers investisseurs facilite donc la gestion et fait également évoluer le portage financier. L'intégration de ces acteurs dans l'équipe du groupement de promoteurs permet aux promoteurs de se déresponsabiliser (financièrement et techniquement) de la production de l'électricité photovoltaïque tout en dotant leur bâtiment d'une production d'EnR.

*« Quand c'est un promoteur qui réalise, c'est lui qui porte. Mais quand c'est un tiers, le tiers demande un droit de raccordement au réseau. Il devra donc supporter ces frais, qui correspondent généralement au montant qu'il aurait dû investir, s'il avait dû mettre en place une installation autonome. Et voilà, et ça vient en déduction. Comme ça on arrive à un prix de l'énergie qui est équilibré pour l'utilisateur final. Donc ça c'est important. » - (Entretien, énergétique, 02/07/18).*

*« Après c'est une enveloppe pour un constructeur promoteur et s'il ne l'a pas prévu dès le départ, voilà 100 000 € en plus à investir pour les centrales solaires PV quand tout le budget du bâtiment est bouclé, c'est compliqué quoi. Il est préférable de faire appel à un tiers. » - (Entretien, opérateur PV privé 1, 21/03/23)*

Si son périmètre d'intervention est aussi bien à l'échelle du bâtiment que celle du quartier, il est un des acteurs clefs de la territorialisation énergétique permettant de passer d'une simple installation de panneaux photovoltaïques isolée à un réseau décentralisé. Les projets portés par un tiers-investisseur présentent l'intérêt de produire plus massivement l'énergie dans le quartier (par exemple l'ensemble des toitures dans toute la ZAC Étoile à Annemasse ou dans la ZAC de Linandes à Cergy) et d'avoir un unique propriétaire de l'électricité. De l'avis des AMO DD groupement promoteurs, des promoteurs, mais également des aménageurs eux-mêmes, ce positionnement engagé sur la production d'énergie, proposant un autre type de gouvernance de production d'électricité photovoltaïque a plus de sens. L'énergie est produite à l'échelle du quartier et ce modèle de gouvernance permet de résoudre les problèmes d'exploitation pour les propriétaires des lieux. Ces réponses permettent aux équipes de groupement promoteurs de se démarquer. Elles séduisent d'ailleurs les aménageurs pour qui cette proposition a été décisive dans le choix du groupement retenu.

### **5.3. Réseau décentralisé de la production de l'électricité photovoltaïque : une piste encore problématique à mettre en place**

Avec les dernières évolutions législatives et opérationnelles (la charge de financement et la gestion des installations), le photovoltaïque est en plein essor ces dernières années. Son retour dans les projets urbains se formalise par une évolution de l'échelle d'implantation et de la gouvernance. Auparavant, l'installation photovoltaïque était la solution complémentaire au réseau de chaleur porté par chacun des promoteurs à l'échelle de son bâtiment. Aujourd'hui, la production se fait à l'échelle du quartier par un opérateur. Cette innovation semble cependant fragile et présente encore des difficultés à s'inscrire dans la perspective de temporalité relativement longue des projets urbains. Les exemples de la ZAC Étoile à Annemasse, de la ZAC des Linandes à Cergy et du quartier République à l'Île de Nantes illustrent ce constat.

La mise en place d'un réseau décentralisé de la production d'électricité photovoltaïque se base sur l'idée d'installations des nombreuses centrales photovoltaïques sur les toitures des bâtiments de la ZAC où d'une partie de la ZAC afin de produire de l'électricité locale qui couvrira une partie des consommations électrique de la ZAC. Ce type de montage est fait à la demande de la collectivité ou par une proposition de l'aménageur à la collectivité incline aux panneaux photovoltaïques et à la mutualisation des énergies. Ensuite, selon les ambitions, l'opérateur installera un volume important de panneaux photovoltaïques, sur plusieurs interventions étalées dans le temps selon les phases de livraison, afin de limiter les consommations d'énergie et permettre une autoconsommation locale aux futurs habitants et usagers.

*« C'est typiquement un élu qui a envie que ça bouge et qui missionne un aménageur qui est plutôt engagé sur le développement durable et qui lâche un macro-lot d'une dizaine de lots. L'idée première c'était de se dire 'ne réagissons pas comme un promoteur, prenons le macro-lots comme étant ce qu'il est, c'est-à-dire, un morceau de ville'. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

*« Nous on a pris la décision d'être un quartier producteur d'énergie. Donc par le biais de panneaux photovoltaïques. Ce qui est prévu sur le quartier, c'est la mise en place de panneaux photovoltaïques sur l'ensemble des toitures qui correspond à une production qui équivaut à 50 % des besoins des habitants du quartier. » - (Entretien, aménageur public 2, 28/06/22)*

*« C'est un sujet qui est assez nouveau au sein d'Annemasse Agglomération. Ils n'ont pas beaucoup de retour d'expérience et ce sont des sujets qu'ils souhaitent développer. Mais ils n'avaient pas encore eu ni l'opportunité ou alors très ponctuellement, ni les projets pour pouvoir vraiment monter en puissance sur le sujet du photovoltaïque. Donc ils étaient au contraire très intéressés de voir comment la ZAC allait pouvoir impulser la chose. Donc lors des rendez-vous, que ce soit des comités de pilotage ou avec les élus ou avec les services de l'agglo ou des différentes villes, puisqu'on a trois communes qui sont couvertes par la ZAC, on sentait une volonté de comprendre et de voir où ça pouvait nous mener. Et ce qui a motivé la collectivité à retenir le choix qu'on leur a proposé, c'est le fait d'avoir une maîtrise globale du projet photovoltaïque sur le long terme dans l'objectif de produire la quantité d'énergie qu'on est censé produire parce qu'on avait un objectif chiffré, d'avoir une cohérence d'ensemble sur les installations, c'est-à-dire qu'on est une unité de technologie, une unité de mise en œuvre d'intégration architecturale, on est une garantie dans le temps aussi en termes de suivi, d'exploitation d'entretien parce qu'en fait un opérateur une fois qu'il est retenu, il se limite pas qu'à investir et installer les panneaux, il les entretient pendant au moins vingt ans. » - (Entretien, bureau d'étude en AMO de la mission photovoltaïque, 17/04/23)*

*« Ça va dépendre un peu d'où l'aménageur met le curseur sur la couverture des besoins. Et puis après je dirais qu'on va aussi chercher l'optimum économique en fonction de la puissance qui est installée. Dans le projet dont on a parlé, il n'y avait pas une très forte demande en termes de puissance de photovoltaïque installée dans le quartier avec le mix de logements bureaux. Du coup, on a plutôt ciblé de faire en sorte que le maximum de PV puisse être en autoconsommation individuelle sur des immeubles tertiaires priorités. Et puis, on n'avait pas la surface pour que l'autoconsommation collective soit intéressante, donc on ne l'a pas poussé. » - (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23)*

Tandis que l'aménageur impose ses conditions aux promoteurs, lors de l'achat du foncier, afin d'assurer les conditions d'installation des PV, l'opérateur, en groupement avec un fournisseur d'énergie

renouvelable<sup>23</sup> ou facilitateur d'autoconsommation<sup>24</sup>, à son tour répond à la consultation avec une proposition du montage de projet qui assure à la fois la faisabilité de l'ambition de la collectivité et la rentabilité de son engagement.

*« La démarche se fait sur le quartier, ça a été mutualisé et négocié à grande échelle. Les économies d'échelle permettent à l'opérateur photovoltaïque ou à l'opérateur du réseau de chaleur, de pouvoir assumer un modèle seul, sans forcément de financement trop important pour les promoteurs. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

*« On parle d'environ 55 toitures à équiper. De l'ordre entre 200 et 300 m<sup>2</sup> par toiture sur 55 bâtiments à l'échelle de l'opération avec plusieurs contraintes dont une contrainte importante qui est celle du calendrier parce qu'évidemment on est sur une ZAC qui se construit en phase. Aujourd'hui, on a les premières opérations immobilières qui sont en chantier. On en a quelques-unes livrées, mais on est en démarrage des premiers lots, des premiers lots importants dont les chantiers démarrent, donc ça c'est des livraisons 2024-2025 et les dernières opérations sortiront de terre et seront construites en 2032. Donc on a presque une dizaine d'années d'étalement des constructions, avec la volonté de ne pas attendre que tous les bâtiments soient construits pour pouvoir équiper les toitures, mais de le faire au fil de l'eau. » - (Entretien, bureau d'étude en AMO de la mission photovoltaïque, 17/04/23)*

Alors que le nombre d'acteurs qu'il faut réunir puis orchestrer peut vite devenir important (l'aménageur, l'ensemble des promoteurs et bailleurs, l'opérateur photovoltaïque, les architectes et les bureaux d'études et même les copropriétés), le travail de concertation devient clé pour la réussite du projet, tout d'abord pour assurer les préconisations à la fois techniques et juridiques mais également pour faciliter la mise en relations des nombreux acteurs et le suivi d'avancement.

*« À Cergy, on a proposé aux promoteurs une liste de tiers investisseurs potentiels à solliciter. On a participé à tous les échanges. On a rédigé le cahier des charges pour les réponses à tiers-investisseur. On a écrit avec eux les engagements financiers puisque le tiers-investisseur ne fera pas forcément 100 % d'investissement mais y contribue. Donc on a déterminé avec eux le bon pourcentage de contribution versus un prix de sortie, l'électricité, etc. Donc on a ficelé tout le modèle économique pour permettre aux promoteurs de ne pas se faire entuber par le tiers-investisseur, pour sécuriser un peu le business model de tout le monde. Parce que pour que ça fonctionne, il faut que ce soit rentable pour les occupants, pour le promoteur et pour le tiers-investisseur. Et après, il y a des discussions avec chacun où il y a des crispations. » - (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23)*

(1) Le retour d'expériences pointe que la bonne prévision du cadre technique en amont du projet par le commanditaire, la collectivité et ses accompagnateurs, facilite le montage et la mise en place par l'opérateur.

Si le volume total de panneaux photovoltaïques à installer est conséquent, de l'ordre d'une dizaine de milliers de mètres carrés, le fractionnement de ce volume par petites surfaces de toitures induit une livraison échelonnée. Cette perspective sur le temps long complexifie le montage financier de l'opérateur. Lorsque l'opérateur s'engage à financer les installations, il cherche la rentabilité et une pertinence économique soit dans la revente au réseau, soit dans la revente à un fournisseur avec qui il est en partenariat et qui propose ensuite un contrat de fourniture d'électricité locale aux propriétaires occupants de la ZAC sur  $n$  années avec un tarif fixe. Les petites superficies exploitables des façades et des toitures dans les bâtiments collectifs, diminuées davantage à cause de la présence des équipements techniques, expliquent la raison pour laquelle les opérateurs photovoltaïques ne sont pas très enclins à ce type d'intervention.

*« Ça fait finalement que quelques kilowatts crête. Ça ne vaut pas le coup de faire. » - (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23).*

*« Ils m'ont dit sur un autre projet récemment qu'ils ne se positionnent pas sur des toitures de moins de mille mètres carrés de panneaux. C'est maintenant devenu... Ils ont augmenté en fait leur seuil*

<sup>23</sup> Généralement, il s'agit d'un fournisseur qui propose de l'électricité renouvelable. L'opérateur, producteur d'électricité, vend sa production photovoltaïque au fournisseur selon leur contrat et le fournisseur, ensuite, revend cette production aux consommateurs locaux à un prix fixe négocié.

<sup>24</sup> Un nouvel acteur qui est apparu à la suite des avancées législatives sur l'autoconsommation collective. Au sein d'un cabinet de conseils et d'études, sa mission est de développer les solutions et les outils innovants afin de rendre l'autoconsommation collective accessible à tous. Dans le cadre de groupement, il propose des services de formation, d'étude, d'accompagnement et de suivi d'autoconsommation collective uniquement.

*d'intervention parce qu'ils rentrent plus dans leurs frais typiquement pour des petites installations comme les nôtres en fait. Même si on en a cinquante. Ça reste cinquante petites installations et aujourd'hui on trouve de moins en moins d'opérateurs qui se positionnent là-dessus. » - (Entretien, bureau d'étude en AMO de la mission photovoltaïque, 17/04/23)*

Tandis qu'un réseau photovoltaïque sur la ZAC propose une économie d'échelle pour surpasser cette crainte, la rentabilité n'est pas évidente. Lors de préparation du montage de projet l'opérateur travaille uniquement les préconisations destinées à la conception architecturale des bâtiments et les plans initiaux. C'est-à-dire, l'opérateur base son montage sur une superficie exploitable théorique qui, s'elle était surestimée, pourra être une cause de fragilité pour la rentabilité. Par exemple à Annemasse, la couverture de 60 % de la toiture initialement prévue dans le montage a finalement été impossible à réaliser selon l'opérateur qui a vu son ambition d'installation chuter d'une fourchette de 50 à 100 kWc à celle de 10 à 20 kWc. L'alignement des acteurs jusqu'à l'architecte est alors indispensable. Deuxièmement, une mutualisation des frais d'installation est peu probable pour des raisons de livraisons espacées dans le temps.

*« Sur le montage, il y a un investissement initial propre qui est assez fort. C'est un capital intensif à investir et ensuite, vu que ça demande assez peu de frais de maintenance et d'entretien de manière générale surtout quand c'est mutualisé par effet de la ZAC, la rentabilité se retrouve lorsque année après année l'énergie est revendue est valorisée. Les courbes se croisent et il y a une rentabilité à quinze ans environ pour chaque installation. Donc après c'est du gain, donc le business modèle du photovoltaïque c'est essentiellement l'investissement sur du long terme. » - (Entretien, bureau d'étude en AMO de la mission photovoltaïque, 17/04/23)*

*« Le problème principal qui s'est passé, c'est que sur une centrale qui devait pouvoir installer 50 à 100 kWc, au final il restait seulement de la place pour installer entre 10 et 20 kWc. La différence était trop importante et le business plan, il tournait plus. On n'était plus à l'étude initiale parce qu'on n'avait pas suffisamment de place, parce que les préconisations techniques des équipements techniques en toiture ne tenaient pas forcément compte de la nécessité d'avoir des places. Un maximum. » - (Entretien, opérateur PV privé 1, 21/03/23)*

(2) La concertation du cadre juridique est également importante à faire en amont pour cadrer au mieux les questions sur ce « *qui allaient récupérer la production, quelle structure juridique va accompagner ou comment faire en sorte que les engagements de performance soient maintenus et comment on faisait pour répartir toutes les charges et les gains* » (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23). La collectivité et l'aménageur à l'Île de Nantes ont bien anticipé dans le cadre juridique les engagements des promoteurs. Les promoteurs ont été amenés à l'accord avec la mise à disposition des toitures pour l'installation des panneaux à l'opérateur et ils devaient également s'engager contractuellement pour une durée déterminée sur le rachat de la production d'électricité photovoltaïque au fournisseur à qui l'opérateur vendait la production. Ainsi, l'opérateur a été facilité dans la démarche des conventions avec chaque promoteur et bailleur pour valider la durée de la location de la toiture pour l'installation de la centrale mais aussi pour des garanties pour son montage financier avec l'obligation de s'engager dans le rachat de la production locale. In fine, les futures copropriétés achètent leur électricité avec cette obligation de rachat de la production locale à prix fixe pour une durée déterminée. Dans le cas de la ZAC des Linandes à Cergy, les promoteurs se sont engagés financièrement pendant plusieurs années afin d'optimiser le montage financier des installations, de protéger les copropriétés qui in fine signent le contrat avec l'opérateur et également avec l'idée de tester cette démarche d'autoconsommation collective. Contrairement à la ZAC Étoile à Annemasse, cette dernière obligation n'était pas prévue par l'aménageur en amont ce qui a eu pour conséquence des négociations individuelles pour l'opérateur à mener avec chaque promoteur et bailleur dont la toiture était prévue pour l'installation des panneaux. Sans accompagnement de l'AMO qui n'était pas missionné pour le suivi d'avancement, l'opérateur et le promoteur / bailleur ont dû convenir pour chaque installation leurs engagements et leurs responsabilités et les inscrire dans une convention. Ces démarches peuvent être très chronophages et difficiles à accomplir, comme le témoigne le cas de la ZAC de Linandes à Cergy où les négociations à la fois techniques, juridiques et financières ont duré trois ans. Dans le cas de la ZAC à Annemasse, le nombre conséquent d'opérateurs immobiliers sur la ZAC, entre dix et vingt, et le fait que pour le fournisseur d'énergie renouvelable, il est difficile d'obliger, d'un point de vue réglementaire, l'acheteur à s'engager pour une longue durée ont complexifié cette démarche à l'opérateur.

*« À l'île de Nantes, la seule différence, c'est que la collectivité, en plus de dire qu'il faut des panneaux solaires partout a dit que chaque promoteur doit s'engager sur une durée de temps limitée, de minimum dix ou quinze ans à nous racheter de l'énergie solaire photovoltaïque à un tarif négocié. Une chose que sur Annemasse n'était pas imposée. Et c'est ça qui a rendu complexe la chose, on devait traiter avec chaque promoteur. Alors que sur l'île de Nantes, dans le cahier de*

*règlement à l'acquisition du terrain, c'était convenu dès le départ que la condition c'était d'avoir obligatoirement des panneaux solaires et de s'engager dans une démarche de rachat de l'énergie solaire photovoltaïque. » - (Entretien, opérateur PV privé 1, 21/03/2023)*

*« Aussi sur le montage compliqué notamment comme à Cergy, on a un protocole d'accord qui a été discuté pendant un an, qui a mis deux ans à être signé entre le tiers-investisseur, les promoteurs, etc. Donc deux ans de travail avec les juristes et tout. Et la mise à disposition de panneaux photovoltaïques, c'est la copropriété qui a signé. Là, on est beaucoup intervenu pour être sûr qu'il y avait bien les objectifs de production dans le contrat, que le loyer de mise à disposition serait diminué si la production était plus basse et aussi il y avait des plans de sortie. Par exemple, si on voit que les coûts de maintenance explosent et puis que vous faites des ventes d'électricité très peu chères dans l'avenir, la copro peut sortir. » - (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23)*

Dans le cas de la ZAC à Annemasse, malgré la réflexion en amont du projet, les problèmes rencontrés dans le cadre technique et juridique et en raison d'un calendrier de projet défini lors du premier semestre 2020, avant la crise du Covid, obligent l'opérateur à revoir son montage économique et l'amènent finalement à se retirer du projet. Les projets de réseau décentralisé à Cergy et à l'Île de Nantes, quant à eux, en revanche, avancent dans leur mise en place.

Pour en conclure, aujourd'hui, il semble d'y être un contexte favorable pour l'essor des réseaux d'électricité photovoltaïque à l'échelle du quartier. Si l'augmentation des coûts dans la filière du photovoltaïque depuis la crise du Covid déséquilibre le montage financier, la guerre en Ukraine engendre également des surcoûts d'énergie par effet rebond. Les panneaux coûtent plus cher, en revanche, ils produisent une électricité dont le prix du kilowattheure a aussi augmenté et ne va pas baisser dans les années à venir. Tandis que les avancées législatives sur l'autoconsommation collective augmentent l'attractivité de la mise en place des panneaux notamment de la part des collectivités, les retours d'expériences les amèneront à mieux anticiper la concertation des cadres techniques et juridiques. Enfin, malgré ces évolutions la volonté des opérateurs à se lancer dans ce type de projet est moins évidente en raison de la complexité technique, juridique et financière en comparaison des installations sur de grandes surfaces.

## **5.4. Engagement des citoyens**

Depuis les années 2000 et plus largement dans le contexte de la loi TECV, l'opérateur du photovoltaïque est également incarné par les sociétés citoyennes participatives, comme les « Centrale Villageoise ». La loi TECV a défini un cadre quant à la participation des citoyens et des collectivités au capital des sociétés qui portent des projets d'énergies renouvelables. Depuis, une nouvelle démarche sociétale commence à s'établir, celle des engagements citoyens. Ils prennent la forme d'investissements financiers, de locations de terrains ou de toitures favorables à l'installation des panneaux photovoltaïques ou d'investissements en tant que bénévoles dans les sociétés locales. Dans certains cas, les citoyens participent seulement au financement de la dette ou au capital de la société, par exemple sur une plateforme de crowdfunding ou via un fond d'investisseur, dans d'autres cas, les citoyens ont aussi accès, direct ou indirect, à la gouvernance, la prise de décisions, etc. Les citoyens deviennent ainsi des acteurs de la transition énergétique leur permettant une meilleure appropriation du sujet (Entretien, opérateur PV citoyens, 13/01/2023).

L'opérateur citoyen représente les citoyens, les collectivités, les entreprises locales et d'autres investisseurs qui apportent les financements. Ils peuvent apparaître comme des producteurs d'électricité vendant la production à EDF avec Obligation d'achat ou plus récemment, avec les évolutions tarifaires, comme un opérateur pour les projets de bâtiment avec autoconsommation collective. Enfin, contrairement à l'opérateur privé, il s'engage dans des projets à échelle locale en coopérant, idéalement, avec des entreprises locales.

*« Nous ne faisons pas trop de promotion. On n'est pas proactif pour développer notre modèle. On en parle et on essaye de convaincre. On prend des initiatives qui aboutissent. ... Aujourd'hui, on est en pleine mutation. Jusqu'à récemment, on s'appuyait sur les contrats d'Obligation d'achat qui sont sur 20 ans. Donc, c'est très rassurant d'avoir ces tarifs d'achat garantis pour monter le modèle économique. Pour les banques, le financement, c'est une vraie visibilité. La difficulté, aujourd'hui, c'est que l'Obligation d'achat ne permet pas toujours d'amortir l'installation dans le temps parce qu'on a des frais de structure, mais on est des sociétés, donc il faut avoir un expert-comptable. Et donc ça devenait compliqué avec les derniers tarifs d'amortir les installations. On est en train de travailler beaucoup sur l'autoconsommation collective, parce qu'il y a un contexte favorable vu la montée des prix de l'énergie. On a des prix des coûts de production de notre côté, qui deviennent compétitifs par rapport au prix du marché et au prix des abonnements des fournisseurs.*

*Aujourd'hui, on a 440 installations en service dont 99 % en Obligation d'achat. Mais pour celles qu'on est en train de développer, on est en train de voir autre chose. » - (Entretien, association des opérateurs PV citoyens, 06/02/23)*

Ainsi, un autre moyen de mise en œuvre des PV se développe surtout en milieu rural ou périurbain et pénètre même la production du projet urbain. À titre d'exemple, à Annemasse dans la ZAC Étoile, l'aménageur a prévu une installation photovoltaïque par un opérateur citoyen pour le logement participatif afin de compléter le montage financier et pour impliquer les citoyens locaux.

*« C'est-à-dire qu'on ouvre le financement citoyen. On ouvre un projet EnR aux citoyens, au public qui peut du coup investir dedans et puis, être acteur d'énergie. Ça, c'est un sujet qui a quand même le vent en poupe donc, il y a pas mal de plateformes en ligne. Il permet de participer au financement d'une centrale. C'est plus un portage de projet en termes d'investissements. » - (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/22)*

Une porte d'entrée des citoyens peut se faire par les Centrales villageoises<sup>25</sup>. Initialement un réseau animé par l'AURA-EE (Agence Régionale de l'Energie et de l'Environnement en Auvergne-Rhône-Alpes) s'est structuré en Association nationale en 2018. Les Centrales villageoises sont des sociétés locales qui portent des projets comme la production d'EnR et qui s'implantent localement. Fonctionnant en réseau avec le même modèle<sup>26</sup>, elles sont mises en œuvre dans plusieurs régions en France. Les sociétés locales des Centrales villageoises prennent la forme juridique du SAS (Société par Actions Simplifiée) ou du SCIC / SAS (Société Coopérative d'Intérêt Collectif adossée à un format SAS) et leurs actionnaires sont des citoyens, des collectivités, des entreprises locales et d'autres investisseurs qui apportent les financements et qui donc maîtrisent leur gouvernance. La revente de l'électricité, qui est la recette principale, permet tout d'abord de payer les charges d'exploitation. S'il y a des bénéfices, elles peuvent être reversées aux actionnaires sous forme de dividendes ou elles peuvent financer des futurs investissements. Cette question est démocratiquement évaluée lorsqu'un tel surplus est produit (Opérateur PV citoyen, 13/01/22). Alors que la démarche non spéculative met ces projets en opposition aux projets portés par un opérateur privé cherchant la rentabilisation financière, la nécessité de parvenir à mobiliser des investisseurs et en même temps tenir à des valeurs environnementales et non spéculatives, est un équilibre délicat.

## **5.5. Avenir du photovoltaïque : ACV une résurrection de la filière photovoltaïque en France ?**

À l'heure où nous rédigeons ce rapport, le contexte de prix d'énergie élevé et la généralisation de l'autoconsommation collective maintiennent finalement le développement de la mise en œuvre des panneaux photovoltaïques à l'échelle du bâtiment et à l'échelle du quartier. Du point de vue législatif et réglementaire, le photovoltaïque semble avoir toujours sa place dans les engagements pris concernant le mix énergétique.

*« Disons que EDF n'est pas contre le photovoltaïque. Enfin je ne sais pas. En tout cas, les pouvoirs publics ne le sont pas. Quand ils affichent quelque chose, ils disent 'le mix énergétique' c'est nucléaire plus EnR ou EnR plus nucléaire. Donc il y a bien EnR de toute façon, quelque soit la priorité. Ce sont des décisions politiques en amont, pousser telle ou telle filière, plutôt que telle l'autre, voilà. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

Bien que la stratégie de l'État vise des installations d'une plus grande puissance que celle du projet urbain (avec des centrales au sol, l'agro voltaïsme), la mise en œuvre des panneaux à l'échelle du bâtiment ou à l'échelle du quartier n'est pas mise de côté. Premièrement, depuis la loi 2019-1147 du 8 novembre 2019, il y a une obligation d'installation d panneaux photovoltaïques sur les constructions de bâtiments à usage commercial, industriel ou artisanal, entrepôts, hangars, ainsi que les parcs couverts de places de stationnements publics de plus de 1000 m<sup>2</sup> d'emprise au sol. Les panneaux photovoltaïques ou les toits végétalisés doivent couvrir 30 % de la surface. La loi Climat du 22 août 2021 renforce à partir de juillet 2023 cette obligation. Concrètement, l'obligation concerne désormais les constructions de plus de 500 m<sup>2</sup> pour les bâtiments à l'usage nommé par la loi 2019-1147 et désormais aussi les constructions de bureaux d'emprise au sol supérieure à 1000 m<sup>2</sup>. Plus récemment encore, la Loi relative à l'accélération de la production des EnR publiée le 13 mars 2023 incite, entre autres, à une augmentation des installations photovoltaïques afin de rattraper le retard pris par la France. En priorité, elle oblige à l'installation du

<sup>25</sup> Pour plus d'informations <https://www.centralesvillageoises.fr/index.php/>

<sup>26</sup> Le modèle de fonctionnement a été précisé et ajusté suite à de nombreuses expériences. Aujourd'hui, il propose des caractéristiques de mise en œuvre, des outils et des services partagés pour les porteurs de projets. Toutefois, il laisse une marge de manœuvre pour les adaptations au contexte local.

photovoltaïque dans les terrains déjà artificialisés. Ainsi elle étend l'obligation déjà modifiée par la loi Climat du 22 août 2021 sur les bâtiments à usage « artisanal ou administratif, aux constructions de bâtiments ou parties de bâtiments à usage de bureaux ou d'entrepôt, aux constructions de hangars non ouverts au public faisant l'objet d'une exploitation commerciale, aux hôpitaux, aux équipements sportifs, récréatifs et de loisirs, aux bâtiments ou parties de bâtiments scolaires et universitaires » (Article 41). Cette loi modifie également la proportion de la surface d'installation des panneaux, d'au moins 30 % à compter du 1er juillet 2023, puis de 40 % à compter du 1er juillet 2026, puis de 50 % à compter du 1er juillet 2027.

Si la loi relative à l'accélération de la production des EnR vise également à planifier avec les élus locaux le déploiement des projets d'EnR dans chaque territoire, ce sont les élus locaux qui identifient les projets territoriaux de l'accélération de la production des EnR. Si ce dernier avancement positionne les élus locaux comme des partenaires prioritaires de la transition énergétique, les rôles centraux de la collectivité ainsi que celui de l'aménageur dans la promotion des projets de l'installation du photovoltaïque à l'échelle du quartier (cf. chapitre 3.3) ou pour le dispositif de l'autoconsommation collective (cf. chapitre 3.1) restent toutefois prégnants. Dans le contexte de la crise énergétique actuelle et des objectifs de production d'EnR de l'État, ces projets territoriaux semblent devenir courants. À titre d'exemple, la ville d'Orléans et Orléans Métropole ciblent depuis novembre 2022 plusieurs sites dont des bâtiments, parkings et zones à construire pour les installations photovoltaïques (le volume total de puissance installée est évalué à 8,8 MWc). Afin d'arriver à un objectif de réduction de 50 % d'émissions de GES d'ici à 2030 et de multiplier par deux sa production d'EnR, la métropole envisage une puissance solaire photovoltaïque finale de 180 MWc (Gorbatko, 2023).

Lorsque la collectivité est favorable à la mise en place des panneaux photovoltaïques, l'aménageur, à son tour, est amené à faire des choix concernant l'usage des toitures des bâtiments collectifs :

*« Nous on a pris la décision d'être un quartier producteur d'énergie. Donc par le biais de panneaux photovoltaïques. Ce qui est prévu sur le quartier, c'est la mise en place de panneaux photovoltaïques sur l'ensemble des toitures qui correspond à une production qui équivaut à 50 % des besoins des habitants du quartier. » - (Entretien, aménageur public 2, 28/06/22)*

*« On aurait dû doubler, voire tripler, je crois, notre surface de panneaux photovoltaïques pour pouvoir atteindre ce niveau-là. Ça aurait été en dépit des autres usages. Notamment la biodiversité avec des toitures végétalisées, mais également support de liens sociaux avec des toitures parfois accessibles. Donc c'est vrai que sur la ZAC, on a cette ambition énergétique, mais pas seulement. On ne peut pas pousser parfois les curseurs au max parce qu'on souhaite qu'elle soit innovante sur plusieurs volets, dont l'énergie, mais pas seulement. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

*« Ça ne sert à rien d'ajouter du système. Soit on choisit une géothermie et ça suffit et on ne rajoute pas des panneaux. Moi, je ne suis pas du tout fan des panneaux parce qu'il faut les construire. Je ne suis pas sûr qu'en cycle de vie ça soit très bon et en plus ils viennent de Chine. Enfin bref, moi le photovoltaïque je n'adhère pas trop. Donc j'étais plutôt contente d'avoir une solution de géothermie et en plus on a voulu raisonner à l'échelle du quartier, c'est-à-dire en mutualisant l'énergie et non pas à l'échelle de l'îlot. » - (Entretien, aménageur privé 4, 07/03/23)*

Si les toitures peuvent être utilisées comme lieu de sociabilité, toiture végétalisée ou pour produire de l'électricité, les façades peuvent être également investies par le photovoltaïque afin de produire plus d'énergie que la consommation du bâtiment. En ce qui concerne les innovations dans le secteur du photovoltaïque intégré aux bâtiments (BIPV), comme en façade, pour le moment ces solutions restent un marché de niche à des prix élevés. Si cette option est envisagée par le promoteur, elle demande des réflexions très en amont pour faire des évaluations des productions d'électricité photovoltaïque possibles sur des projets<sup>27</sup>. En revanche, les panneaux photovoltaïques en ombrières se sont étendus dans des projets d'aménagement pavillonnaire et sur les parkings. Ceux-ci peuvent être complémentaires aux panneaux installés en toiture pour maximiser l'effet de l'échelle et/ou pour obtenir les puissances demandées par les consommateurs. Selon un opérateur rencontré, à l'échelle d'un bâtiment de logement collectif, il faut compter 3 kWc par logement ce qui peut faire une puissance finale conséquente pour la surface de la toiture disponible. À savoir, il faut 500 m<sup>2</sup> exploitables pour une puissance de 100 kWc (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23). De ces faits, les panneaux en ombrières sont le premier choix des opérateurs quand les toitures ne sont pas exploitables.

*« Le bâtiment de logement est vertical avec une petite toiture qui n'est pas ou peu exploitable. Il y aurait trop d'appartements à alimenter avec une petite centrale donc ce n'est pas possible. »*

<sup>27</sup> La conception architecturale doit être évaluée par des logiciels de simulation de la production photovoltaïque. Si pour les maisons individuelles ces logiciels existent déjà, pour les bâtiments collectifs ou tertiaires ils ne sont pas nombreux, par exemple BIMsolar développé par EnerBIM.

*Regardez un immeuble récent. Les toitures sont très techniques, très chargées en CVC<sup>28</sup>. J'ai étudié plusieurs cas avec des promoteurs qui nous avaient approchés pour le faire et à chaque fois ça s'est fini en non. C'est pas possible, c'est pas faisable. Jusqu'à ce qu'on ait, puisque c'est des solutions d'immeubles verticaux, jusqu'à ce qu'on ait un jour une solution en façade. Oui, là ça se fait. Il y a des immeubles à Montpellier où il y a des panneaux photovoltaïques en façade, mais c'est vraiment une niche parce que ce sont des systèmes d'intégration qui sont très coûteux. Il faut que ce soit intégré à la conception du bâtiment dès le début. C'est très, très contraignant. » - (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23)*

*« Alors on a fait une solution d'autoconsommation collective dans le Vaucluse et on en a plusieurs à l'étude qui consiste cette fois-ci à équiper en ombrière plusieurs maisons individuelles. C'est tout un éco-quartier, où on va équiper en ombrière de parkings puisque les toitures ne sont pas favorables au photovoltaïque. » - (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23)*

Deuxièmement, le contexte de la RE2020 n'exclut pas les panneaux photovoltaïques des constructions neuves. La RE2020 pousse vers l'objectif de bâtiments qui consomment moins d'énergie et utilisent des énergies moins carbonées au travers des indicateurs *Cep*, *Cep nr* et *Ic énergie* (cf. chapitre 2.5). Concernant les panneaux photovoltaïques qui permettent de produire de l'énergie sur le bâtiment ou la parcelle, ils s'avèrent être un atout pour arriver à respecter les seuils des indicateurs *Cep* et *Cep nr*. Ils produisent de l'énergie qui n'est pas compté dans leur calcul - les coefficients de conversion sont égal zéro (Tableau 2). Tandis que le réseau de chaleur est contraint par ces indicateurs, le panneau photovoltaïque n'en est pas pénalisé. Cependant, il faut noter que l'utilisation de panneaux photovoltaïques seuls ne permettra pas de respecter les seuils de ces indicateurs ainsi que ceux de l'indicateur *Ic énergie*. Pour cela, il faut d'abord passer par le renforcement de la performance de l'enveloppe avec la conception bioclimatique. Cela permet d'abaisser les besoins en énergie et donc les émissions de GES liées aux énergies. D'autre part, il faut repenser les consommations d'énergie des équipements, c'est-à-dire leur performance et leur vecteur énergétique. Ainsi, un recours à la chaleur renouvelable pour le chauffage et l'ECS, qui permet d'abaisser les émissions de GES de manière conséquente, sera indispensable et deviendra systématique à partir du seuil 2025. Néanmoins, pour atteindre les seuils 2025 et 2028 visant l'augmentation du taux d'EnR, les panneaux photovoltaïques, imaginés comme une solution complémentaire, peuvent rester une piste intéressante et en particulier dans le contexte de la crise énergétique actuelle qui fait augmenter les prix d'électricité du réseau et qui favorise la démocratisation et généralisation de l'autoconsommation collective.

*« Est-ce que la RE2020 met en danger les panneaux ? Pas vraiment parce qu'on aura du mal à s'en passer. Il y a plein d'avantages et un nouveau super important puisqu'économiquement, ça devient très intéressant. On a vu que les prix du réseau, par le passé, on avait l'impression que c'était super pérenne, à terme on avait des prix bas. On se rend compte qu'en fait, l'électricité, les prix peuvent s'envoler. Alors que les prix de l'électricité photovoltaïque ne bougent pas. Ils payent les panneaux qui produisent de l'électricité pendant 20, 30, 40 ans. Le prix est fixé d'avance. Donc autant que par le passé, lorsqu'on incitait les promoteurs à mettre des panneaux, on leur a expliqué que c'était bien pour l'environnement, que c'était innovant. Aujourd'hui, c'est devenu hyper facile parce que ça donne de l'électricité beaucoup moins cher que le réseau. Donc sur le plan économique, vaut mieux mettre des panneaux. Donc ça a complètement renversé notre argumentaire. Mais bon, la RE2020 n'a pas aidé, c'est la crise économique, c'était les prix de l'électricité. Après, c'est clairement l'engagement posé par l'aménageur sur les charges énergétiques qui justifie les panneaux. » - (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23)*

### 5.5.1. ACV vers une décarbonation de panneau photovoltaïque ?

Là où la RE2020 s'avère d'être contraignante pour le panneau photovoltaïque, c'est son approche ACV dynamique qui comptabilise l'impact carbone de la construction - *Ic construction* - qui regroupe l'impact carbone des composants et l'impact carbone du chantier. Comme dans le cas des autres filières de construction (cf. chapitre 5), la RE2020 incite à décarboner la chaîne de valeur de la filière afin de réduire des émissions de GES de la construction. Tandis que l'installation des panneaux photovoltaïques complémentaires au réseau de chaleur est devenue une solution de référence pour construire des bâtiments BEPOS chez les acteurs du projet urbain, l'impact carbone de la filière pourrait de son côté amener à une potentielle rupture de leur développement dans le projet urbain. Dans ce sens, la RE2020 peut impulser un renouveau de la filière photovoltaïque en France, écroulée après le moratoire sur le tarif d'achat avantageux en 2010, afin de diminuer son impact carbone.

<sup>28</sup> CVC: Chauffage, Ventilation et Climatisation

*« Lors des échanges avec des promoteurs, parfois on peut avoir des réactions qui sont un peu à l'envers de ce qu'on attend. Donc ils vont chercher à ne pas le mettre. Je pense à Jérôme qui nous avait raconté qu'on lui avait dit 'ah non pas de panneaux photovoltaïques parce que trop gros poids carbone'. C'est fréquent ces questions sur 'on a fait le bilan carbone avec les panneaux, c'est moins bon, on comprend pas'. Il y a vraiment des sujets d'hypothèses de calculs. Souvent les bureaux d'études ne prennent pas tout en compte, donc ils se retrouvent avec un résultat assez négatif. Alors qu'en réalité, si on fait le calcul correctement, il n'est pas si négatif que ça. Bon, en France, on a un réseau électrique très peu carboné, donc on est hyper incités à passer par un réseau. Donc oui, je trouve que la RE2020 partiellement met en danger finalement tous les systèmes de production locale d'électricité. Après, je pense que ça va peut-être favoriser des filières photovoltaïques plus locales. Et pour en avoir discuté avec certains bureaux d'études, les panneaux photovoltaïques ont un impact dans les autres domaines, mais ils sont conscients qu'ils ont aussi un impact plutôt positif sur l'indicateur énergie. Alors, là c'est une hypothèse, je ne sais pas si ça se réalisera, mais ça peut pousser à avoir les panneaux plus vertueux ou être plus exigeants sur les autres postes. » - (Entretien, bureau d'étude de suivi des consommations, 25/04/23)*

À l'échelle mondiale, selon le rapport de l'Agence internationale d'énergies, les émissions de CO<sub>2</sub> de la filière photovoltaïque ont presque quadruplé pour atteindre plus de 51 900 kt CO<sub>2</sub> au cours de la dernière décennie. Si cela correspond seulement à près de 0,15 % des émissions mondiales totales liées à l'énergie en 2021 (IEA, 2022, p.36), des hausses sont à prévoir avec la transition vers le scénario de zéro émission nette (ZEN) en 2050. Ce scénario demande notamment une forte augmentation des ajouts annuels de puissance photovoltaïque qui nécessite d'approvisionnement en panneaux et donc en matière première - 4 000 kt par an d'ici 2030, contre 1 000 kt en 2021 (IEA, 2022). Si le retour énergétique sur investissement financier (EROI) des panneaux photovoltaïques est relativement rapide, l'indicateur de rendement énergétique de l'énergie investie (EROEI) le positionne comme une des solutions de la production d'EnR le plus critique concernant la consommation d'énergie et l'impact environnemental qui lui est associé (Fthenakis et Leccisi, 2021). À savoir, une filière est d'autant moins durable que son EROEI est faible. Notamment, à cause des énergies fossiles utilisées lors de la fabrication, les panneaux et les composants provenant de la Chine s'avèrent parmi les plus polluants en termes de carbone. Or, la filière photovoltaïque est dominée par la Chine, plus de 80 % dans toutes les étapes de fabrication tels que le polysilicium, les lingots, les plaquettes, les cellules et les modules (IEA, 2022). Ainsi, la filière doit faire face au paradoxe d'une consommation carbonée conséquente dans la production et le déplacement des panneaux tout en visant une production énergétique décarbonée. Si l'ACV calcule l'impact carbone dans l'intégralité de cycle de vie et prend en compte le transport entre le lieu de fabrication et d'utilisation, la chaîne de valeur du photovoltaïque dominée par la Chine suscite un impact carbone supplémentaire lié au transport entre des lieux d'extraction, de production et d'installation.

La pratique aujourd'hui chez les opérateurs qu'on a rencontrés (étant privé ou citoyen) est de s'adapter au marché. Bien que conscient de l'aspect environnemental, l'ambition d'acheter des panneaux français ou européens n'est toujours pas possible. La filière française n'a pas les capacités de fournir les panneaux à tout le marché français. Deuxièmement, le coût financier des panneaux asiatiques moins élevé est évidemment plus favorable pour le montage financier du projet d'installations. Toutefois, les projets des opérateurs citoyens, comme des centrales villageoises, affirment la volonté d'acheter les panneaux locaux le plus possible. Alors que l'opérateur privé suit la volonté des clients.

*« Tous les collectifs ont l'ambition d'essayer d'acheter du plus local possible. Après il faut savoir que le photovoltaïque c'est un marché où la plupart des composants sont fabriqués en Asie. Même quand il y a du made in France en fait, ça veut dire qu'il y a une étape de fabrication en France. Et donc les collectifs essaient d'acheter des panneaux assemblés en France ou en Europe, mais en fait ce n'est pas toujours possible sur les modèles économiques. » - (Entretien, association des opérateurs PV citoyens, 06/02/23)*

*« Alors nous, on s'adapte au marché. On aimerait bien acheter que des panneaux français, mais sauf que ça n'existe pas. En tout cas, ce n'est pas possible parce qu'il y a des constructeurs français mais qui n'ont pas capacité à livrer tout le marché français. Et évidemment aussi l'argument des prix est important. Aujourd'hui, un panneau français est plus cher qu'un panneau asiatique. On est aussi contraint de s'adapter au marché pour répondre aux prix que demandent nos clients. Évidemment, on est sensible au fait qu'on achète des panneaux à des constructeurs premium qui respectent toutes les directives en termes de travail clandestin et on essaie aussi de choisir des fournisseurs qui apportent des garanties en termes d'éco-conception, en termes de durabilité et évidemment en termes de garantie. Après, on a des clients qui ne veulent pas entendre parler de panneaux asiatiques ou chinois par exemple. A ces clients-là, on sait leur proposer des alternatives. Par exemple en leur proposant des panneaux d'origine européenne. C'est souvent ce qu'ils nous demandent. Donc on a vendu récemment des panneaux italiens pour un gros projet, mais on sait*

*aussi proposer des panneaux allemands. On a différentes alternatives. » - (Entretien, opérateur PV privé 2, 22/03/23)*

Toutefois, les progrès techniques depuis 2015 ont permis une forte diminution du coût énergétique de la fabrication des panneaux photovoltaïques en raison de l'amincissement de la couche photosensible en silicium. Récemment, la décarbonation des panneaux photovoltaïques a été testée en France par l'Institut de l'énergie solaire (Ines) (Gouty, 2023). En janvier 2023 les chercheurs de cet institut ont présenté un démonstrateur de panneau photovoltaïque bas carbone. Tout en gardant les composants conventionnels à part un, ils ont réussi à fabriquer un panneau avec un bilan de 317 kgCO<sub>2</sub>eq/kWc contre le bilan entre 700 et 800 kgCO<sub>2</sub>eq/kWc pour les panneaux chinois disponibles sur le marché. Pour y parvenir, les chercheurs ont mobilisé trois leviers d'actions : 1) ils ont utilisé les composants provenant de l'Europe où le mix énergétique est moins émetteur des émissions de GES, 2) ils ont optimisé les épaisseurs des plaquettes de silicium et de la dalle en verre et 3) ils ont remplacé le cadre en aluminium par un cadre en matière végétale - bois. Selon le chercheur en tête de l'Ines, l'objectif n'était pas de bouleverser la chaîne d'approvisionnement mais de montrer à la filière qu'il est possible d'améliorer le bilan carbone. Ce panneau démonstrateur doit passer encore des tests normatifs, pour vérifier sa résistance à des hautes températures ou à des irradiations aux ultraviolets en enceintes climatiques, avant de pouvoir passer à l'échelle industrielle. Cependant, cet examen dessine des pistes à prendre pour la filière afin de diminuer son impact environnemental.

*« Voilà par rapport justement aux énergies renouvelables photovoltaïques, moi je pense qu'on va pouvoir sortir de la contrainte chinoise. On peut le faire en 10 ans et j'en suis absolument convaincu. Parce que ce n'est pas de la haute technologie, c'est juste une décision politique, une aide et une organisation au niveau de l'Europe. Construire un Airbus c'est beaucoup plus compliqué que de fabriquer des PV européens. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

Enfin, l'impact environnemental des panneaux s'allège aussi avec le développement de leur recyclage rendu obligatoire en France et le développement d'économie circulaire. En France, l'éco-organisme Soren<sup>29</sup> est agréé par les pouvoirs publics pour la collecte et le traitement des panneaux photovoltaïques usagés. Il assure une coordination entre tous les acteurs de la filière photovoltaïque : détenteurs, metteurs sur le marché, institutionnels, collectivités, acteurs et opérateurs de l'économie circulaire, dans une démarche collective, solidaire et de proximité afin de construire une filière photovoltaïque circulaire. Selon l'opérateur citoyen, même si le contrat d'exploitation fini au bout de 20 ans, les panneaux peuvent servir une trentaine d'années à 80 % de leur puissance initiale. Quant au recyclage, il s'agit tout d'abord de faire du tri et des vérifications des puissances des panneaux récupérés afin de distinguer ceux qui peuvent être revendus et ceux qui passeront dans les processus de recyclage. Le processus de recyclage est double. Pour les panneaux avec la dalle en verre intacte il s'agit d'abord de récupérer le cadre et cette dalle en verre pour leur réutilisation et ensuite broyer le reste. Pour les panneaux avec la dalle en verre endommagées il s'agit de récupérer le cadre et au travers le broyage récupérer les autres composants.

*« On signe des contrats sur 20 ans pour amortir nos installations. Mais en fait des panneaux photovoltaïques, ça dure une trentaine d'années. Et donc l'idée c'est qu'au bout de 20 ans, le propriétaire du bâtiment peut récupérer, s'il le souhaite, l'installation à sa valeur comptable qui est nulle si on a pas changé de pièce récemment. Donc disons que, la fin de vie, ce ne sera pas forcément nous qui allons la gérer ou très peu. S'il ne veut pas le récupérer, c'est prévu dans le contrat, il y a cette option là. Et si c'est le cas, soit les panneaux peuvent être réutilisés autre part parce que normalement au bout de 20 ans il fonctionne encore à 80 % de leur puissance ce qui est garanti par les constructeurs. Et puis sinon, il y a une obligation de recyclage. » - (Entretien, association des opérateurs PV citoyens, 06/02/23)*

<sup>29</sup> Pour plus d'informations consultez <https://www.soren.eco>

## 6. Eau chaude sanitaire, une voix pour la production d'EnR à l'échelle du bâtiment

---

La dernière piste de production d'EnR est l'eau chaude sanitaire (ECS). Si l'eau chaude sanitaire n'est pas fournie par un réseau de chaleur, cette piste est devenue récurrente aujourd'hui parmi les promoteurs à l'échelle du bâtiment.

### 6.1. Échec des panneaux solaires thermiques, essor du ballon thermodynamique

Les panneaux solaires thermiques ont été très à la mode, couplés aux chaudières sur les maisons individuelles entre 2005 et 2014. À ce moment-là, les panneaux photovoltaïques n'étaient pas disponibles pour les demandes des particuliers ce qui a favorisé le développement des panneaux thermiques. Victimes de leur popularité, les panneaux solaires thermiques subissent cependant l'impact des mauvaises expériences liées à l'absence des professionnels d'entretien et d'installation et le coût de maintien d'une installation en copropriété.

*« Bah ils ont eu beaucoup, beaucoup de contre exemples et effectivement à un moment, comme c'était très, très demandé, il y avait vraiment des margoulines installateurs qui faisaient vraiment n'importe quoi. » - (Entretien, aménageur privé 3, 06/07/22)*

*« J'ai constaté que, par exemple, on a eu des problématiques de capteurs solaires. J'ai rencontré des présidents de copro qui m'ont dit que finalement ils ne les utilisent pas parce que ça nous coûte trop cher en entretien, puis on ne trouve pas d'entreprise. » - (Entretien, aménageur public 1, 30/05/22)*

Nos interlocuteurs constatent une résistance des exploitants, en particulier des bailleurs sociaux qui avaient une obligation d'installation des panneaux thermiques pour pouvoir être subventionnés. Mais en réalité, ces installations n'ont pas été raccordées, comme le décrit un AMO DD :

*« ...essentiellement parce qu'ils étaient hyper subventionnés notamment par les régions. Les bailleurs sociaux étaient obligés d'en mettre. Pour dire les choses très simplement, quitte à ne pas les raccorder d'ailleurs. Donc, j'ai vu des opérations aux retours d'exploitation où les panneaux solaires thermiques n'étaient juste pas raccordés. Donc, aujourd'hui, c'est très compliqué d'aller voir un bailleur social en lui proposant un truc super évident, de faire du solaire thermique. Ça devient un peu plus compliqué. En tout cas, je pense qu'il faut attendre une fin de génération de ceux qui ont connu cette époque-là où on installait un peu n'importe comment ces choses-là. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

En conséquence, le panneau solaire thermique ne s'est pas répandu dans les logements collectifs, malgré une meilleure adéquation de la taille des panneaux en fonction des besoins en énergie ainsi que l'amélioration du produit qui ont permis d'en diminuer son coût. Toutefois, pour le marché des particuliers, il est toujours accessible dans plusieurs modèles techniques et soutenu par les aides financières (ADEME, 2019). De plus, à la fois éligible aux aides à la rénovation, qui tire essentiellement ce marché, mais également un atout pour les seuils réglementaires de la RE2020 pour la maison individuelle, le marché des panneaux solaires thermiques reprend du souffle. En 2022, les ventes de chauffe-eau solaire ont monté de 55 % et les systèmes solaires combinés ont triplé par rapport à l'année 2021 (Wast, 2023).

Dans les projets collectifs, le solaire est supplanté dans les années 2014/2015 par les ballons thermodynamiques. Le fonctionnement du ballon thermodynamique est similaire à celui d'une pompe à chaleur. Il va capturer l'énergie présente dans l'air ambiant et se servir de cette chaleur pour chauffer l'eau du ballon. Il tire donc profit d'une énergie propre et inépuisable et ne rejette aucun gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il permet de consommer jusqu'à trois fois moins d'énergie qu'avec un chauffe-eau électrique. Toutefois, il ne peut pas fonctionner à 100 % en énergie renouvelable et consomme donc de l'électricité. Il répondait à la RT2012 et il continue à répondre à la RE2020. Son prix d'achat est désormais accessible, aux alentours de 2 000€ et est éligible au crédit d'impôt transition énergétique ainsi qu'à « Ma prime renov' » depuis 2022 dans le cadre d'une rénovation. La mise en place massive de cette technologie grâce à sa stabilité et à l'efficacité énergétique explique la diminution d'un tiers de son prix ce qui le rend très attractif pour les promoteurs.

*« Par exemple, dans toutes nos opérations, on intègre en base aujourd'hui des ballons d'eau chaude thermodynamiques. C'est à nous qu'il coûte très cher, mais sauf que, comme ça s'est bien*

*développé, ça coûte un peu moins cher. Du coup, nous, aujourd'hui, on le met en base. Il y a 30 % d'énergies renouvelables dans un ballon d'eau chaude thermodynamiques. Rien qu'avec ça, vous avez divisé par deux la consommation électrique d'un bâtiment, ou d'une maison. » - (Entretien, promoteur 1, 03/07/18)*

## 7. Nouvelle problématique : l'impact carbone des matériaux de construction

En amont de la COP21 à Paris en 2015, la loi TECV ouvre la discussion sur deux volets de la décarbonation jusqu'alors jamais abordés. En premier temps, elle évoque l'économie bas-carbone avec un levier important de la transition énergétique : le prix du carbone<sup>30</sup>. Le deuxième volet concerne directement le secteur de la construction. Sans attendre la nouvelle réglementation (RE2020), la loi incite les maîtres d'ouvrage à construire les bâtiments BEPOS ou à haute performance environnementale en échange d'un bonus de constructibilité. Ce bonus devrait équilibrer le coût de la construction en absorbant une partie du surcoût lié aux choix des technologies et / ou des matériaux alternatifs.

Malgré ces incitations, c'est l'arrivée de la RE2020 et le label « E+C- » avant sa préfiguration qui bouleversent la façon générale de penser la décarbonation dans le secteur du bâtiment. Bien que la RE2020 assure la montée continue d'EnR dans le mix énergétique (cf. chapitre 3.2, 4.5, 5.5), elle intègre pour la première fois aussi la performance environnementale du bâtiment en considérant l'intégralité de son cycle de vie : depuis l'extraction des matières pour les produits de construction et des équipements, jusqu'à la fin de vie au moment de sa destruction et le traitement des déchets. Le transport entre chaque étape est également pris en compte. Lorsque la RE2020 régleme les émissions GES relatives à l'énergie, aux composants et au chantier, elle va grandement influencer sur les choix de systèmes et modes constructifs. À savoir, les matériaux de construction représentent 60 à 90 % de l'empreinte carbone d'un bâtiment. L'objectif est une réduction de ces émissions d'environ 35 % à l'horizon 2030. Si la RE2020 incite aux matériaux biosourcés et limite les matériaux à fort impact carbone, elle pousse davantage les industriels à développer les nouveaux procédés de fabrication des matériaux tels que le béton et rend les matériaux locaux biosourcés potentiellement plus compétitifs sur le marché.

Comme le montrent les résultats de l'opération OBEC<sup>31</sup>, les bâtiments RT2012 sont déjà performants sur l'efficacité énergétique et la production d'EnR. Le problème est désormais d'atteindre une performance au niveau carbone (Entretien, bureau d'étude, 07/10/22). Nos enquêtes auprès des acteurs du projet urbain nous informent sur la future mise en œuvre de la RE2020. Il en ressort quatre grands résultats : (1) un changement d'approche dans la construction, (2) une décarbonation à partir des choix des matériaux et la mixité des matériaux, (3) la variabilité des calculs, des données et la première intégration des filières industrielles et (4) les conséquences sur la production du projet d'aménagement urbain.

### 7.1. Entamer un changement dans l'approche de la construction

Si le sujet de l'efficacité énergétique est devenu une norme chez les acteurs du projet urbain, aujourd'hui ce sont les sujets du carbone et des matériaux qui perturbent et mobilisent ces mêmes acteurs. Alors que l'analyse ACV et le choix des matériaux jouent un rôle majeur dans la conception, c'est l'ensemble des postes, que questionne le maître d'ouvrage lorsqu'il pense au bâtiment, qui sont interpellés par la RE2020. Notamment les promoteurs, les bailleurs, les architectes, les constructeurs mais aussi le secteur industriel. L'application de cette réglementation impacte toute la chaîne de la production y compris les filières d'industrie qui ont un impact carbone important.

*« On traite l'énergie forcément depuis des années. C'est le sujet qui a guidé tous les autres. Après ce qu'on voit de plus en plus apparaître depuis quelques années avec la RE2020, ce sont des sujets carbone, matériaux biosourcés, réemploi et biodiversité. Aujourd'hui, c'est l'essentiel de nos interventions sur la partie environnementale. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)*

*« Ils ont agi là où ils ont dû agir, au niveau de la production des matériaux. Avant, il n'y avait rien là-dessus. On a imposé des choses, mais il n'y avait aucun engagement chez le producteur. En fait, ce qui est fondamental dans cette RE2020, c'est qu'il y a un levier sur l'industriel et c'est ça qui est intéressant. Ils agissent parce que c'est eux qui polluent quand même beaucoup. Quand tu prends les pourcentages, l'impact de la construction par rapport à l'impact de l'industrie, ce n'est rien. Avec ça, ils obligent les industriels à changer d'attitude. » - (Entretien, architecte 1, 09/10/22)*

<sup>30</sup> Aussi dite fiscalité carbone. La loi estime une augmentation progressive de la composante carbone, aussi nommée taxe carbone ou la contribution climat-énergie instaurée en 2014. Elle prévoit des hausses annuelles jusqu'en 2030 ou elle devrait atteindre 100€ par tonne de CO<sub>2</sub>. Cette taxe est intégrée aux taxes sur les énergies fossiles, comme les produits pétroliers, le charbon et le gaz naturel. Dans les secteurs du bâtiment, ce sont donc les consommateurs du chauffage au gaz ou d'électricité d'origine fossile qui sont touchés. Toutefois, suite de mouvement Gilets Jaunes, la hausse a été gelée au niveau de 44,6 € par tonne de CO<sub>2</sub>, niveau de l'année 2018.

<sup>31</sup> Programme OBEC (Objectif Bâtiment Énergie Carbone) est lancé par l'Ademe en 2017 en préparation de la RE2020 avec l'objectif d'analyser sa faisabilité et de tester son référentiel.

Cette approche plus englobante vis-à-vis de la performance environnementale accentue la dimension du comportement du bâtiment sur son cycle de vie. Selon les architectes et bureaux d'études, ceci est un changement important dans leur milieu professionnel et qui marque un début de renversement de la logique. Désormais, il ne faut pas seulement réfléchir à comment arriver à faire un bâtiment BBC, il faut d'abord penser au contexte régional des ressources disponibles, le climat et ensuite réfléchir ensemble au choix des matériaux et des technologies selon leur lieu de production, leur performance carbone et le savoir-faire. Ces changements de pratiques, cependant, ne sont pas simples à mettre en œuvre.

*« On en revient à nos préconisations territoires. Étudions nos gisements, étudions nos différents potentiels, implantons-nous là où les potentiels existent et puis mobilisons les énergies qui sont disponibles et qu'on est capable de fournir. Alors ça, c'est dans un cas idéal. Dans d'autres cas de figure, bah, je m'implante dans une zone d'aménagement qui est déjà définie. On va évidemment regarder ce que les bâtiments vont pouvoir produire, quels sont les formats de consommation possibles ? Quels sont les appoints ? Est-ce qu'on a les réseaux de chaleur ? Est-ce qu'il y a de l'énergie de récupération qui est mobilisable au plus près ? Est-ce qu'il faut aller sur la géothermie ? On va coucher l'ensemble de nos abaques et des énergies alternatives. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/2022)*

*« C'est-à-dire qu'ils demandaient de l'isolant bois qu'ils avaient prévu de l'isolant bois et il n'y avait juste plus rien et du coup il se pose la question 'On arrête le chantier le temps qu'on retrouve une source ou est-ce qu'on laisse passer comme ça ?' Et il n'y a pas toujours des solutions équivalentes. Ou quand on se dit 'tiens il faut poser l'isolant la semaine prochaine', ce n'est pas le moment de réfléchir à trouver une autre solution. Donc oui, ça a un impact à l'évidence. » - (Entretien, AMO DD 5, 13/07/22)*

*« La conception en amont et devoir travailler en amont des projets ensemble pour pouvoir composer un bâtiment avec sa localisation et les matériaux qui le composent, c'est un constat commun. Par exemple, il va falloir mettre différents éléments de bâtiment et si je dois mettre des éléments bois ou béton-bois, il faut que ce soit prévu bien en avance. On ne peut plus intervenir au tout dernier moment en disant 'ah je fais avec un autre système si ça marche mieux'. Il faut mettre tout le monde autour de la table jusqu'au préfabricant industriel pour trouver une façon de comment faire. Il faut vraiment penser le système dans sa globalité à la fois pour la partie produit et à la fois pour la partie mise en œuvre qui est de plus en plus impactante avec des impacts économiques. » - (Table ronde mixité constructive, constructeur, 21/03/23)*

*« On accompagne bien considérablement les architectes, des bureaux d'étude, des maîtres d'œuvre. Et on s'aperçoit que la mixité de matériaux nécessite beaucoup d'informations et d'accompagnement, de savoir-faire dont vous devez disposer pour que le chantier se passe au mieux. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 2, 21/03/23)*

Si la réflexion sur les matériaux en amont devient importante pour la construction moins carbonée, elle s'avère être un atout passif pour traiter la question du confort d'été à travers l'inertie thermique, le phasage et la régulation hygrométrique. Dans le contexte du changement climatique, la RE2020 mobilise un nouvel indicateur de confort d'été, *degrés-heures d'inconfort (DH)*. Basé sur la donnée de la température caniculaire, il indique le nombre d'heures de dépassement d'une température maximale sans climatisation. Cela complète la façon dont le confort d'usager du bâtiment pendant toute l'année est pensé. Tandis que la RT2012 a mis l'accent sur le confort d'hiver, la RE2020 y ajoute aussi le confort d'été en comptant systématiquement le besoin de froid<sup>32</sup> dès le permis de construire.

*« La réglementation thermique vise essentiellement à générer des économies d'énergie par limitation des déperditions. Mais finalement, si on améliore le confort de l'habitation, on va aussi générer des économies à la source puisqu'on aura un ressenti de confort équivalent à une température inférieure et donc on aura moins besoin de chauffer son logement. Et puis une notion qu'on va obtenir avec la régulation hygrométrique, le déphasage et l'inertie c'est le pouvoir d'améliorer le confort d'été. Donc lors des périodes de réchauffement sans forcément être obligé de climatiser et donc de consommer de l'énergie pour le confort d'été dans l'habitation. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 3, 21/03/23)*

*« Au niveau de la conception, ça veut dire que ça impose aux maîtres d'œuvre, je trouve ça très bien, dès le permis de construire de prendre en compte ce confort d'été. C'est-à-dire qu'il faut qu'il soit naturellement massif, naturellement protégé du soleil. Donc, ça garantit finalement un*

<sup>32</sup> Cela se projette dans l'évolution de l'indicateur Bbio (Besoin Bioclimatique). La RT2012 calcule les besoins énergétiques à partir de la conception architecturale du bâtiment sans le système de chauffage. La RE2020 demande la prise en compte de l'énergie nécessaire au refroidissement et d'une diminution de 20 à 30% des besoins par rapport à RT2012.

*certain respect sur des systèmes de protection qui sont si possible intégrés aux bâtiments et qui ne sont pas des trucs rapportés. » - (Entretien, architecte, 09/10/2022)*

*« Et là, on va attaquer un projet qui est pour Grand Lyon Habitat et on va utiliser du béton bas carbone en fondation, en contreventement et en superstructure et également de la brique de terre crue pour tout ce qui est refend intérieur en fonction du traitement acoustique, conditions d'hygrométrie, de la gestion de l'inertie vis à vis de confort d'été. On va utiliser du bloc de béton chanvre en façade. Donc là effectivement, on est sur une caractéristique d'isolation intégration biosourcés et confort d'été. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

Dernier point évoqué par nos interlocuteurs, ce sont les objectifs carbone et la notion évolutive de ces paramètres représentés par les seuils progressifs. En même temps, contrairement au confort d'été, les objectifs carbone ne sont pas imposés dans le permis de construire, elles viennent et sont prises en compte dans le calcul final. De plus, les valeurs de base qui doivent être appliquées aujourd'hui ne sont pas très différentes de celles d'avant. La différence va se faire ressentir plus fortement avec les seuils 2025 ou 2028. Toutefois, les projets urbains se réalisant sur une dizaine d'années, certains acteurs visent des seuils plus ambitieux que ceux demandés au moment de la conception pour ne pas se retrouver bloqués et devoir tout réadapter en cours de projet.

*« Ils sont partis du principe qu'on ne pouvait pas être à moins de ce qu'on fait aujourd'hui. Mais, ils ont conscience qu'ils ne peuvent pas demander des choses impossibles aux constructeurs. Donc c'est le calcul qui est aujourd'hui applicable. Il l'appelait la voiture balai, c'est le minima du milieu. Donc les maisons individuelles, c'est par principe isolation par intérieur. Les collectifs, c'est béton et isolation par intérieur et le tertiaire, pour le coup, c'est déjà autre chose. C'est pour ça que les évolutions des paramètres carbone pour les maisons individuelles et les logements sont exponentielles. En 5 ans, ça devient très très difficile. » - (Entretien, architecte, 09/10/2022)*

*« On a mis à jour les objectifs de la ZAC à moins 20 % pour être encore plus performant que la RE2020. On a travaillé avec le bureau d'étude pour voir ce qui était réellement possible à faire par les promoteurs. Et certains des curseurs, on les pousse jusqu'au seuil 2028. En tant que performance énergétique, on en est là pour l'instant. On se rend compte que les permis de construire en conception sont bien plus performants que ce qu'on demandait. Après à voir en réalisation ce que ça va donner. Les premiers bâtiments qu'on a réalisés sont conformes à nos objectifs. On n'a pas encore les niveaux précis parce qu'il n'y a pas encore la vie du bâtiment. Mais dans les essais qui ont été faits, on est bon. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

Cependant, certains de nos interlocuteurs pointent qu'il sera difficile d'arriver à respecter les seuils réglementaires à partir de 2025 seulement en se concentrant sur le lot du gros œuvre. C'est-à-dire, en vue des échelons 2025, 2028 et 2031, il sera autant important de limiter les émissions de GES pour les lots secondaires que pour le lot du gros œuvre. Notamment le lot technique va nécessiter une baisse importante pour arriver à baisser les émissions de GES global de la construction en particulier pour l'usage tertiaire.

*« Il y a le logement et le tertiaire. Le logement, on sait atteindre des seuils 2028 en structure bois. Avec les surcoûts que je vous ai annoncé tout à l'heure, voir supplémentaires encore quand il y a à nouveau des phases de tension sur le bois. Notre sujet, c'est plus les autres usages, notamment le tertiaire. Donc au-delà de 2025, j'ai pas de solution. Les lots techniques pèsent beaucoup plus lourd que la structure donc on a moins d'effet de levier. Mais on a beaucoup de second œuvre aussi et donc à voir. Après la trajectoire elle est bonne, c'est entre moins 35 et moins 45 % entre 2022 et 2031. Nous, lorsqu'on a fait notre trajectoire entre 2019 et 2030, ça doit être moins 30 % sur des bâtiments qu'on construit, donc c'est à peu près la même trajectoire. Donc, je pense que la trajectoire est dans la bonne cible pour viser des objectifs à 2050. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

*« Et effectivement, ces valeurs seuils tout le monde compte sur un truc. Ces valeurs sont fortement pénalisantes et avec l'évolution des seuils, on pourra arriver à les passer grâce à l'effort de tous. Si tout le monde gagne 10 %, on va arriver à passer le seuil. Par contre, pour passer le seuil de 2028, le seuil de l'individuel, c'est aussi pour le gros œuvre, il est de l'ordre de 30%, ça, on n'arrivera pas tous seuls. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

## **7.2. Décarbonation à partir des choix de matériaux**

Alors que dans la première phase de la RE2020 n'interdit aucun procédé constructif, à partir de 2025 les acteurs du projet urbain seront obligés de construire avec des nouveaux procédés. En mettant l'accent sur l'impact environnemental de la construction, la réglementation oriente l'attention des acteurs du

projet urbain sur le choix des matériaux en pointant sur deux leviers : (1) les matériaux biosourcés et géosourcés et (2) le recyclage et le réemploi.

*« Aujourd'hui, il y a le seuil 2022 et quels que soient les matériaux, on arrive à être réglementaire. La première étape, elle n'est pas destructive, elle est dans la sensibilisation, l'accompagnement, en se disant 'on rend réglementaire quelque chose qui est faisable'. Dès 2025, on va avoir un prochain renforcement et durcissement. Et là, ça va être un peu plus costaud. » - (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/22)*

### 7.2.1. Matériaux biosourcés et géosourcés

La préférence réglementaire pour des matériaux biosourcés est liée au fait qu'ils permettent de stocker le carbone. Comme l'explique un bureau d'étude, la méthode de calcul de l'ACV dynamique de la RE2020 prend en compte des émissions de CO<sub>2</sub> différées. C'est-à-dire qu'une tonne de CO<sub>2</sub> évitée aujourd'hui représente plus de valeur pour lutter contre le réchauffement climatique. Avec la progression des valeurs dans les années à venir, c'est à partir du seuil 2028 qu'il y aura un fort besoin des matériaux biosourcés car ils stockent le carbone à la croissance, comme le chanvre, la paille, le bois. C'est d'ailleurs pour cette raison que le bois est valorisé par la RE2020. D'autre part, les matériaux géosourcés comme la terre crue ou la pierre sèche sont une autre option proposant un levier pour construire bas-carbone avec des matériaux locaux produits par des filières locales. Si le coût de ces matériaux peut être plus important, sa rentabilité et l'impact environnemental sont à sa faveur. Quant aux doutes sur la durabilité d'une telle construction, la bonne mise en œuvre et l'entretien seront indispensables.

*« Si on prend un isolant, des plumes de canard. Oui, il va être plus cher que la laine de verre. C'est évident à l'investissement c'est plus cher. Mais il y a plein de fois où on montre qu'il existe un bon retour d'investissement. On dit oui, ça coûte plus cher maintenant. Mais en fait, dans cinq ans, vous aurez remboursé le carbone et le prix. Et même ce discours-là, il ne passe pas partout. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)*

*« Quand on parle de biosourcé, on voit le végétal, on voit la sensibilité au pourrissement. Mais finalement, ces matériaux-là ont les a sous les yeux dans des bâtiments qui existent depuis des années, des décennies, voire des siècles. Avec des linteaux en bois, des planchers bois qui existent depuis très, très longtemps. Si ces matériaux sont bien mis en œuvre, bien protégés et bien entretenus, comme les maisons du moyen âge, les bâtiments construits à l'heure actuelle pourront vivre très, très longtemps. Donc, la durabilité est aussi sur l'adaptation de matériaux à son endroit, à son emploi et la maintenance du bâtiment en général. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 1, 21/03/23)*

Si la RE2020 valorise le bois, en pratique son utilisation n'est pas si facile à mettre en place. Tandis qu'elle nécessite d'adapter le mode de construction aux propriétés du bois et de gérer la question de la sécurité d'incendie, elle représente un coût supplémentaire pour le promoteur. De plus, l'augmentation conséquente et inédite de la demande de bois pour la construction a montré la mauvaise organisation de la filière, submergée par les demandes et in fine rallongent les délais de livraisons.

*« Le corpus scientifique est beaucoup moins solide que celui des autres matériaux comme le béton, voire le métal. Il est en train de se construire et en plus ils ne sont pas d'accord entre eux. Par exemple, les pompiers de la BSPP ne sont pas d'accord avec les pompiers qui travaillent avec ADV bois sur les règles de sécurité incendie à appliquer. Après, il y a aussi les sujets de durabilité, de mise en œuvre parce que le bois a beaucoup de qualités, mais il ne supporte pas d'être exposé simultanément à l'eau et à l'air. Quand il est complètement immergé dans l'eau ou complètement à l'air, ça marche bien. Quand il est alternativement dans l'eau ou dans l'air, ça marche beaucoup moins bien et il pourrait très, très vite. Et puis, le bois reste plus cher pour le moment. En CLT et surtout en bois massif c'est 15 % de surcoût. Nous, plus souvent on est sur la structure mixte, poteaux poutres ou planchers. Au village des athlètes on est parmi les seuls à ne pas avoir fait de CLT. Mais on est aussi les seuls qui livreront des logements où on verra du bois apparent. On a une structure poteau-poutre et on a mis par-dessus une pré dalle de béton de 14 cm parce que ça nous permet de gérer le feu et l'acoustique. On n'est pas obligé de les engouffrer parce qu'on a fait des essais au feu. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

*« Pour nous ce sont des pertes financières parce qu'on est obligés de rajouter du bois. Là où on était en toiture terrasse, il a fallu rajouter des toitures avec de la charpente pour pouvoir rajouter du bois. La RE2020 de toute façon a un impact financier, ça c'est sûr. L'utilisation du bois va vraiment être obligatoire en termes de construction et c'est hyper difficile. Je pense qu'il y a des régions pour lesquelles construire en bois a de la facilité. En Île-de-France ce n'était pas utilisé. La*

*filère bois en France aujourd'hui n'est pas dimensionnée pour prendre 150 000 opérations, il y a une réalité. Aujourd'hui il faut savoir que nos charpentiers ne nous répondent plus tellement ils sont submergés de travail. Parce que là où vous faisiez des toitures terrasses, aujourd'hui, vous rajoutez un toit comme ça vous rajoutez du bois dans votre opération et l'ACV tourne. J'ai des opérations qui sont en cours et je n'ai pas de charpentier. C'est pareil pour les menuisiers, on fait des menuiseries bois partout maintenant. C'est un vrai sujet, les délais de fabrication augmentent. On est en train de saturer la filière bois qui n'était pas prête à prendre la masse. » - (Entretien, promoteur 6, 17/04/23)*

Enfin, si la généralisation de la construction en bois s'affiche avec le seuil 2025 et 2028, le label biosourcé de son côté incite à l'utilisation du bois également. Évalué sur le poids (kg) de matériaux biosourcés par mètre carré construit, les retours d'expérience montre qu'il est difficile de l'obtenir sans avoir inclus du bois massif dans le projet. Ainsi, lorsqu'une massification des prélèvements du bois sera nécessaire vis-à-vis des ambitions des seuils de la RE 2020 et de la demande croissante, une maîtrise des potentiels risques pour les écosystèmes passant par une planification de cette ressource au niveau de l'État devra se mettre en place (Vial et al., 2022).

*« Le maire n'aime pas le bois en façade, parce que ça vieillit mal. Et donc on a un peu de bois de temps en temps en structure. Mais pour pouvoir atteindre le label biosourcé. C'est un choix. En fait, sur la phase 2 on a demandé le niveau 1 du label qui impose 18 kilos par mètre carré de matériaux biosourcés. Mais c'était un gros effort. C'était compliqué pour les promoteurs. Ils sont plutôt à 16 kilos. C'est beaucoup 18 kilos parce que l'isolant c'est très léger, donc pour trouver ces 18 kilos, il faut vraiment mettre des planchers, une fourchette sur la terrasse, du massif. » - (Entretien, aménageur privé 4, 07/03/23)*

*« Ce qu'on nous demande très souvent d'étudier, c'est des isolants biosourcés. L'isolant par nature c'est léger. Et donc l'impact carbone d'un isolant, qu'il soit biosourcé ou d'origine fossile, l'impact est marginal. Ça représente un très petit pourcentage d'impacts carbone. C'est plus un sujet d'économie circulaire locale puisque ça donne des ressources à l'agriculture. D'accord, effectivement avec un biosourcé, on va avoir un impact carbone réduit par rapport à la laine minérale ou du PSE, mais quand ça ne pèse presque rien, ce n'est pas pour l'impact carbone qu'il faut le faire. Voilà 18 kilos, c'est pas sur les isolants qu'on va jouer. Parce que le label biosourcé s'obtient soit par de la structure biosourcée, donc du bois, soit par les matériaux de second œuvre, donc du parquet, du linoléum mais très peu avec les isolants. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

### 7.2.2. Recyclage et réemploi

L'autre axe d'effort est la récupération et le réemploi des matériaux et des équipements techniques. Le réemploi des matériaux permet de ne pas produire d'émissions de GES pour l'extraction et la production de nouveaux matériaux. Dans le calcul RE2020, ce réemploi compte zéro en carbone. Aujourd'hui, le développement de l'économie circulaire reste à l'échelle locale ou régionale accessible surtout pour les petits chantiers (contrairement à l'organisation de la filière de récupération et de réemploi des panneaux photovoltaïques cf. chapitre 3.5). Pour parvenir à changer d'échelle, un véritable changement de pratiques des acteurs de la production urbaine tout comme une réorientation des industriels doit se mettre en place. Pour l'instant, ce sujet d'usage des matériaux ou des produits en réemploi n'est pas encore très bien intégré dans les projets par les maîtres d'ouvrage pour des raisons d'assurance. Quant à la récupération avant la démolition ou la rénovation, cela risque de prolonger la phase de déconstruction et in fine peser sur le budget. Si l'intégration de la récupération et du réemploi dans les projets est pour l'instant compliqué, il en est ainsi, aussi, pour la structuration des filières. Ces dernières sont pour le moment très locales et proposent seulement de petites quantités incompatibles avec les besoins de grands projets. Cependant, certains industriels (petits et gros) se positionnent petit à petit sur ce marché afin de garder leurs parts. Enfin, la mise en place de récupération et de réemploi doit passer par un changement de perception à la fois des acteurs, mais surtout des usagers.

*« On a développé une activité autour de l'économie circulaire et le but c'est de réussir à faire de l'économie circulaire, du réemploi pour de vrai, en focalisant sur les équipements techniques, vu que c'est au cœur de notre métier. (...) des grosses pompes à chaleur d'un chantier à un autre, les mettre en place, les activer et les faire fonctionner. Et aujourd'hui, ça marche. Et donc ça, ce sont plusieurs dizaines de tonnes de matériaux évités. Ceux-ci seront des leviers pour la RE2020 quand la filière de l'économie circulaire sera là. Parce qu'un matériau réemployé compte zéro en carbone. » - (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/22)*

*« Aujourd'hui, nous sommes en contact avec Leroy-Merlin qui détruit environ de 6 000 à 7 000 tonnes par an de bois de particules. Actuellement, nous sommes en plein développement, nous*

*avons façonné de nouveaux produits qui sont totalement dans le réemploi des matériaux. Là, au lieu de partir en déchetterie pour une destruction, c'est de le réintroduire, de lui donner une bonne communication. Donc on est sur le réemploi de matériaux, on est sur l'économie circulaire. Ce qui est intéressant, c'est que le matériau aura un coût très bas, puisque la matière nous est offerte. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 4, 21/03/23)*

*« Aujourd'hui, concrètement, c'est pas très intégré. À part si le fournisseur de matériel, lui, il intègre dans son process de fabrication. Mais de la part des maîtres d'ouvrage, aujourd'hui c'est trop compliqué. Parce que ça demande du temps de chercher à intégrer dans le planning d'opérations et ça pose des problématiques de garantie et d'assurance. Il y a des maîtres d'ouvrage qui n'arrivent pas à s'assurer si les produits n'ont pas tel ou tel certificat. Et quand on parle de produits réemployés, par exemple, ils ne les ont pas. Donc si le maître d'ouvrage n'arrive pas à s'assurer, ça ne passe pas. ... Alors ça c'est plutôt dans l'autre sens, quand on a un projet en rénovation et qu'on veut faire attention à récupérer les radiateurs qui sont dans le bâtiment pour les réutiliser ailleurs, ben ça veut dire que la déconstruction du bâtiment est plus longue et plus chère que la démolition. Et puis ça reste encore très local. On a une collègue qui est allée visiter une plateforme de réemploi récemment autour de Lyon. En fait, le réseau d'acteurs, il est régional, il n'y a pas d'acteurs nationaux. C'est à chaque fois des petites structures qui sont à contacter pour étudier, selon le projet, en fonction de la localisation. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)*

*« Bien, le réemploi, c'est une des pistes, mais il faut changer les mentalités. Les maîtres d'ouvrage et les clients pensent que le réemploi est moins cher. Je précise toujours que le réemploi ce n'est pas une variante financière, c'est une variante carbone. Ça ne coûte pas moins cher, il y a plus de travail et les ressources naturelles ne sont toujours pas assez chères. Si tout va continuer de prendre de l'inflation, ça deviendra compétitif. Mais historiquement, le réemploi c'est pas du low cost, c'est du haut de gamme. Pareil, les gens ont oublié que quand ils achètent un logement neuf, ils considèrent que c'est pas faisable d'acheter un logement avec des éléments non neufs. Autant quand ils achètent un logement ancien, on ne change pas tous les équipements. Quand on passe d'un locataire à l'autre, on ne change pas les toilettes. Alors pourquoi on ne pourrait pas utiliser dans du neuf des toilettes de réemploi s'ils ont été remis à neuf? Et puis, la filière n'est pas prête. Bon, pour des petits chantiers, chez les particuliers ça marche. Mais nous, on a besoin de nos fournisseurs, on a besoin de garanties de volume et de disponibilité. Les initiatives locales actuellement, c'est très bien, c'est autour de l'économie sociale et solidaire. Mais c'est un marché de niche qui ne s'adresse pas à nous, mais aux petits chantiers. Nous, il faut que ce soit les fabricants qui s'en occupent qui mettent en place toute une filière de récupération, retraitement, stockage, de mise à disposition pour qu'on puisse garantir la disponibilité des matériaux, ce qui n'est pas le cas actuellement. Parfois, on a beau avoir des partenaires mais quand on creuse un peu, ils ne savent pas nous garantir les quantités au moment où on en a besoin. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

Malgré quelques exemples, le développement de l'économie circulaire et la réflexion sur la performance carbone des matériaux n'en sont qu'à leurs prémises. Toutefois les acteurs sont unanimes sur le fait que la décarbonation de la construction passera par des mixités de matériaux. Les promoteurs, architectes, bureaux d'études mais désormais aussi les aménageurs doivent penser aux matériaux avec la prémisse « *le bon matériau au bon endroit* » car ce seront précisément « *les matériaux disponibles et les conditions économiques admissibles qui dessineront en creux une partie de la ville* » (Vial et al., 2022).

*« Les solutions sont multiples et je ne veux pas réduire la réponse à béton versus bois. Ça va être beaucoup plus complexe que ça. On se rend compte que le bilan carbone du bâtiment sur sa partie matériaux, il y en a un quart qui est porté par le béton et sa structure. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/22)*

*« Alors au fur et à mesure qu'on avance dans l'analyse des constructions, on se rend bien compte que la vraie réponse ne sera pas un matériau. La vraie réponse aujourd'hui à la construction, ce sera des matériaux. Alors on avait l'habitude de dire dans le monde du béton : "le bon béton au bon endroit". Je pense qu'aujourd'hui, il faut élargir le discours en disant "le bon matériau au bon endroit". C'est-à-dire le tout bois, le tout béton, le tout acier, il faut dépasser cette idée et se dire que c'est la mixité. » - (Table ronde mixité constructive, CERIB, 21/03/23)*

*« Et c'est ça la vraie nouveauté, je pense, dans le domaine du bâtiment. Il ne faut pas avoir de dogme. Il faut prendre le matériau le plus adapté à l'endroit où on en a besoin. Chaque matériau a ses avantages et ses inconvénients et il faut l'utiliser pour ce qu'il est bon. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

### 7.2.3. Nouvelles pratiques en vue de l'intégration des (nouvelles) filières industrielles

Avec la RE2020, les filières industrielles existantes sont enfin amenées à intégrer cette notion de performance carbone. Mais ces nouveaux besoins nécessitent aussi la structuration de nouvelles filières de matériaux à la fois dans leur organisation mais également dans leurs méthodes de fabrication afin d'arriver à produire des matériaux alternatifs répondant aux normes et accessibles en termes de coût, de carbone et de distance. La bonne gestion de la ressource ainsi que la chaîne de valeur, du producteur à la mise en œuvre, sont au cœur de cette structuration (Vial et al., 2022). Ces auteurs pointent aussi le principe du sourcing des ressources locales disponibles étant un préalable des projets d'aménagement. Dans ce contexte, les résultats montrent que, pour l'instant, combiner un produit performant en carbone et limiter les distances est souvent complexe.

*« C'est un mythe aussi les filières hein. C'est-à-dire que ce n'est pas parce qu'on est en Haute Savoie qu'on a une super filière bois. Pour l'instant, les filières qu'on constate sur la production de bois, ce sont des bois qui viennent de l'Est par exemple. Donc ce n'est pas la région Rhône-Alpes. Jusqu'à présent, par exemple, le bois douglas venait de France, parce qu'on avait des forêts en douglas. Mais quand je dis de France, ça peut être d'Alsace, ça peut être des Alpes, ça peut être des Landes. Nous, dans les Alpes, on a des montagnes, on a du bois, mais il n'est pas forcément très facile d'accès et donc ce n'est pas forcément la filière la plus développée. Ou alors c'est pour faire du bois granulé pour mettre dans les poêles. » - (Entretien, bailleur 1, 04/07/22)*

*« Il faut aussi parler de la filière. Par exemple, on n'a pas à proximité des stations des centrales de béton bas-carbone, pas vraiment dans un rayon très proche. Donc parfois, il faut chercher du béton bas-carbone à plusieurs centaines de kilomètres. Et ben ça tue un peu la démarche vertueuse. » - (Entretien, aménageur privé 2, 10/06/22)*

*« Le bois paille est en train de s'organiser localement. Les façades sont fabriquées en usine, sont montées sur place très rapidement, ont des bilans carbones extrêmement vertueux et des performances énergétiques assez intéressantes. Et du point de vue du coût, ce sont des filières qui, si elles se développent, vont être extrêmement intéressantes en termes de coût d'investissement. Je vois typiquement une filière comme le bois paille, qui était encore très marginale et qui va pouvoir se développer. Ils ne vont pas ramasser la mise au béton ou d'autres technologies plus anciennes mais ils vont prendre une part du marché non négligeable dans ce secteur. » - (Entretien, consultant en énergie et environnement, 06/03/23)*

Les nouveaux matériaux biosourcés nécessitent de nouvelles pratiques au sein des différents corps de métiers et font appel à des savoir-faire artisanaux. Ainsi, les entreprises de construction devront aussi développer et apprendre de nouveaux procédés de construction pour les mettre en œuvre. En passant par des formations concernant les nouveaux produits et matériaux ou par les retours d'expériences de leur mise en œuvre, les acteurs de la construction et les industriels se mettent à travailler ensemble pour proposer leur propre conception bas carbone et garantir une meilleure maîtrise de leur mise en œuvre. De plus, ces acteurs devront apprendre des nouveaux modes opératoires pour anticiper, par exemple, la disponibilité des ressources en amont des projets.

*« Donc notre ADN c'est de tester sur nous-mêmes. C'est pour ça qu'on a beaucoup anticipé et d'ailleurs on n'a pas reproduit ce modèle là parce qu'il a de gros inconvénients de coût. On a fait beaucoup de CLT au début, on n'en fait pratiquement plus, ou enfin beaucoup, beaucoup moins pour des questions de prix hein, On est beaucoup plus sur la structure poteau poutre. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

*« Et en fait, là où il y a eu besoin de formations, c'est que c'est un nouveau matériau. Chez nous comme ailleurs, cela fait 40 ans qu'ils posent telle et telle marque comme ça. On leur dit, par exemple, de changer le béton. On ne leur dirait pas bas carbone, ça ne se verrait pas. Mais du moment où on leur dit 'ça va être du bas carbone'... Du coup, on entendait dire 'si ça ne prenait pas correctement', 'dès qu'il faisait froid, ça ne marchait pas'. Après, ça c'était vrai à une époque. Donc, quand on a décidé effectivement de faire toute cette opération, il y a eu un gros doute. Et les poseurs ont commencé à se questionner, ils ne s'écartaient pas, mais ils avaient un petit peu peur. Mais ils ont été très vite rassurés et après sont repartis très vite. Et après on est sur plusieurs prototypes pour montrer justement le produit et ses performances. Une fois qu'on a fait les prototypes, c'était bon. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

*« La formation c'est primordial. On a constaté, que quand on a des entreprises qui maîtrisent les savoir-faire, forcément le matériau et l'ouvrage ne va que mieux se comporter. Et on en arrive au constat aussi que plus les matériaux sont de nature basique et simple, plus le savoir-faire doit être maîtrisé par l'opérateur, par le concepteur. Et c'est pour ça qu'on a mis en place un centre de*

*formation qui permet en formation continue de monter en compétence aussi bien les maîtres d'œuvre, les architectes que les artisans afin de connaître tout ce que concerne la nature des matériaux, leur mise en œuvre, les modes opératoires. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 3, 21/03/23)*

*« D'autant qu'il s'agit d'un nouveau matériau, il faut bien expliquer comment l'appréhender, quels sont les isolants qu'on va mettre en complément pour préserver la respiration de ce matériau. La coopération va aussi se jouer au niveau de la mise en œuvre. Le nouveau matériau, il faut expliquer aux sociétés qui vont le poser. Il y a une formation en amont et il y a quelqu'un sur place pour s'assurer que tout se passe bien. On est sur un nouveau matériau, donc ça passe effectivement par une anticipation très importante. » - (Table ronde mixité constructive, industriel 4, 21/03/23)*

*« Bon pour l'instant, on n'a pas eu beaucoup de problèmes de disponibilité parce que ces matériaux-là, on les met en petites quantités. Le béton bas carbone, il n'est pas limité, il y a ce qu'il faut. Après les autres matériaux, comme la laine de chanvre ou la brique de terre crue. Ça c'est particulier dans la région. Donc, on en fera que des petites quantités. On ne fera pas des bâtiments complets. Par contre, si demain, il y a un besoin, on sait qu'on peut faire monter une machine et monter en moins de six mois et avoir une sécurité de production. On a déjà regardé, on anticipe les problèmes. On n'attend pas de les avoir. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

Du point de vue des prescriptions des matériaux, les bureaux d'études ont rencontré des difficultés et un manque de pouvoir d'imposer un matériel. En particulier pour les constructions du marché public, la législation ne permet pas d'imposer un matériel concret. La clause de non-concurrence garde le marché ouvert et si on spécifie un matériel, par exemple, avec son poids carbone ou sa provenance géographique, on se retrouve en conflit avec la clause. En revanche, le marché privé n'en impose pas ce qui permet aux bureaux d'étude de définir librement des prescriptions pour assurer le calcul et la conception des projets. Cette opposition public/privé est particulièrement intéressante, notamment dans notre perspective d'analyse réglementaire.

*« Sur un projet public en région Centre on a fait un sourcing de matériaux pour étudier la provenance de tous les matériels techniques. On a fait ça sur les lots techniques, ce qui est assez rare. C'est-à-dire tel ou tel radiateur, tel ou tel ventilo, convecteur. Il est produit à tel ou tel endroit à telle distance du chantier. On a le choix entre ça et ça et voilà leurs impacts. Est-ce qu'on peut les intégrer ou pas dans le cahier des charges? Et là, en privé, ça peut marcher, en public, on se heurte à l'appel d'offres. Ah oui la réticence d'appels d'offres publics où de toute façon, on n'a pas le droit de mettre de marque, on n'a pas le droit de distordre la concurrence. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)*

Les bureaux d'études soulignent également la difficulté des promoteurs à changer leurs habitudes. Chaque constructeur a sa manière de faire, ses contacts. Modifier cette routine rend difficile le changement. À titre d'illustration, passer une commande de matériaux groupés pour plusieurs projets dans une zone d'aménagement permettrait une économie d'échelle, ainsi qu'une diminution des déplacements logistiques. Pourtant, cette pratique est peu envisageable, les constructeurs y semblent assez résistants car chaque entreprise à ses fournisseurs et ses contrats. Cependant, certains constructeurs se positionnent avec l'ambition de devenir leader de la construction durable et bas carbone en changeant leurs pratiques habituelles.

*« On leur a demandé, entre promoteurs, de faire des commandes groupées de matériaux, de privilégier le plus possible des matériaux, soit du même fournisseur, ou du même type de matériaux. Ça permet de diminuer, par exemple, la consommation d'énergie en transport, les émissions de CO<sub>2</sub>, les coûts, parce que plus on commande en volume, plus le prix diminue, etc. C'était vraiment une vision globale plus large. Les promoteurs, donc, aujourd'hui, eux ils passent des accords avec des prestataires avec qui ils ont l'habitude de travailler. Donc, ça les embête, ce type d'approche, parce qu'ils ont déjà des coûts négociés. » - (Entretien, AMO DD 4, 23/06/22)*

*« Le terme leader ça fait sourire mais le but c'est de montrer qu'on sait faire autrement. C'est dans l'ADN de notre entreprise. La présidente veut développer une entreprise pour passer le virage de la construction durable. C'est-à-dire, c'est nous qui le proposons sur cette opération. Sur l'opération du béton bois, c'est nous qui l'avons proposée parce que le client, il m'a dit 'Oui, le PC n'est pas validé parce que les élus, ce n'est pas assez vert'. En fait, on est les sachants et on est les poseurs. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

Enfin, la décarbonation des matériaux implique aussi un véritable changement de conception des équipements techniques des bâtiments, impactant fortement la performance carbone du bâtiment

actuel (cf. chapitre 2.5, 3.5). L'intégration de la distance des matériaux et de leur coût de production et de recyclage risque également de fragiliser les technologies productrices d'EnR que sont les panneaux photovoltaïques. Ceux-ci provenant de, pour la majorité, de Chine et ayant un taux de retour énergétique ou EROI (Energy Returned On Investment) extrêmement faible.

*« Bah on n'a pas de solution pour le moment, avec quelques rares fois où on travaille sur la saisie détail des lots techniques, on se rend compte que l'impact carbone, par rapport aux valeurs forfaitaires, peut aller jusqu'à un facteur fois deux. Donc lorsque vous faites une saisie détaillée et que vous êtes au double du forfait, là vous restez au forfait. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*  
*« La structure béton, c'est qu'un quart du problème. Donc on a les trois quarts restants qui ne dépendent pas de si on fait du bois ou du béton ou peu. Je vous caricature un peu le trait. Donc les leviers, ils sont dans tous les corps d'œuvre et ils sont à tous les niveaux. Et je prends l'exemple des lots techniques qui sont les systèmes énergétiques que nous installons. Tout ce qu'on voit dans les locaux techniques, c'est environ un tiers du bilan carbone. Donc c'est plus que le béton. C'est-à-dire qu'on a un énorme levier à faire là-dessus pour mettre moins de systèmes techniques, moins de gaines, moins de tuyaux, moins de gros équipements, autant qu'il faut travailler sur la structure du bâtiment. C'est pour ça que la réponse n'est pas triviale. Après, il y a la façade, l'enveloppe extérieure qui touche immédiatement à l'architecture. Et donc, ce n'est pas juste remplacer un matériau par un autre pour être meilleur en carbone. Là, c'est l'image du bâtiment, c'est son intégration dans la ville. » - (Entretien, bureau d'études techniques et environnementales, 07/10/2022)*

### **7.3. Défi des calculs : comment et avec quelles données ?**

La performance environnementale à l'échelle du bâtiment selon la RE2020 est évaluée à partir de calculs et nécessite d'avoir des bases de données. La difficulté actuelle rencontrée est l'absence et le manque de qualité des données sur les matériaux de construction et les équipements. Cependant, selon les interlocuteurs, cette situation s'améliore peu à peu. Les données disponibles, utilisées pour les calculs aujourd'hui, sont celles de la database FDES (Fiche de Données Environnementales et Sanitaires)<sup>33</sup>. Alors que la donnée FDES existe pour chaque matériel, leurs précisions ne sont pas identiques. Les valeurs sont définies soit par les fabricants, soit par les syndicats de fabricants ou par défaut. Et c'est précisément là, où les filières industrielles sont concernées et impactées par la réglementation. Comme l'explique une architecte, soit l'entreprise a suffisamment de moyens pour financer sa propre FDES (FDES individuelle), soit elle n'en a pas les moyens et se groupe avec d'autres. Dans cette dernière configuration, la valeur appliquée au matériel le moins performant au sein du groupement deviendra la valeur de référence (FDES collective). Enfin, dernière configuration, l'entreprise ne fait rien et le matériel se voit appliquer une valeur par défaut.

*« Alors la situation est loin d'être parfaite. Mais, on est quand même bien meilleur aujourd'hui qu'il y a quelques années et même encore qu'il y a deux ou trois ans en arrière. Actuellement, notre manque de données se concentre plutôt sur les lots techniques ou sur certaines parties de second œuvre où c'est plus compliqué. Mais la RE2020 a eu le mérite au moins de cette prise de conscience. Du coup la DHV à minima fait développer beaucoup de valeurs par défaut au CSTB. C'est pas génial d'utiliser la valeur par défaut, mais au moins on a de la valeur. Donc objectivement, le sujet du manque de données commence à être moins prégnant qu'il y a trois ans en arrière. Sauf sur les lots techniques. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

*« Par exemple, Saint-Gobain. Il a les meilleurs FDES qui existent sur le marché avec ses produits en laine de roche, laine de verre. Ce n'est pas polluant mais la laine de mouton ? Ils n'ont rien. Une FDES coûte énormément d'argent. Alors certains se mettent en collectif et essaient de sortir une fiche par collectif. Donc il y a les FDES qui sont propres à un matériau. Et il y a les FDES collectives qui n'ont pas un type de matériel. Par exemple : la laine de mouton. Et dans ce cas-là, ils se mettent en groupement et y prennent la plus défavorable du groupement. Mais du coup, ils sont un peu défavorisés. L'avantage c'est qu'ils ont tous intérêt à ce que le moins bon devienne plus performant. Mais en même temps, ils se tirent une balle dans le pied au niveau commercial. Donc c'est un peu compliqué, mais ça leur permet d'être compétitifs sur le marché. Et puis après, il y a ceux qui n'ont rien du tout et n'ont pas les moyens. Ils prennent alors celle du CSTB qui alors est hyper contraignante parce que c'est la valeur balai. » - (Entretien, architecte, 09/10/22)*

<sup>33</sup> La FDES un document qui apporte les informations environnementales sur un produit dans l'ensemble de son cycle de vie et qui permet quantifier son impact environnemental. <https://www.inies.fr/inies-et-ses-donnees/fdes-produits-de-construction/>

Cette restructuration des filières propose un levier important d'amélioration pour les industriels qui pourra permettre de faire évoluer l'ensemble de la chaîne de la production urbaine grâce à une meilleure connaissance des matériaux employés, de faciliter la mise en œuvre de la mixité des matériaux dans la construction et de rationaliser leur provenance. Tandis que le calcul ACV dans la FDES a un paramètre qui est la distance entre la production et la consommation, la FDES devrait favoriser la production et l'utilisation locale. Cependant, dans un système de marché mondialisé, cette idée n'est pas toujours facile à mettre en place.

*« Aujourd'hui, on commence à en avoir de plus en plus des FDES. Donc, on arrive à comparer les impacts d'un matériau par rapport à tel autre. Mais toujours avec un regard critique aussi. Par exemple, un bardage en terre cuite, on sait qu'il est fabriqué dans l'usine qui est voisine de notre projet. Mais si on met la FDES dans le calcul, la valeur de la FDES est importante même si c'est l'usine d'à côté. C'est généralisé, la terre cuite, globalement en France, est produite à 500 kilomètres. Donc c'est ça la valeur. Alors que sur notre projet, c'est beaucoup moins impactant et ça ne se retrouve pas dans le calcul. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)*

Par ailleurs, la mauvaise qualité des données est responsable de la discordance entre la conception et le calcul. Pour le moment, le calcul ne reflète pas la conception pour deux raisons : la qualité des données et la division du bâtiment en différents lots. En effet, il faut calculer le nombre de mètres carrés FDES pour la façade, la structure et pour les systèmes techniques séparément. Si des fiches FDES sont inexistantes, on prend alors les valeurs par défaut proposées par le CSTB et le calcul est faussé. Les retours d'expériences permettront certainement au CSTB de mieux évaluer ces valeurs et de les faire évoluer.

*« Mais aujourd'hui, comme on n'a pas forcément les données précises sur toutes les FDES et sur tous les systèmes, on sait très bien que les valeurs de calcul, elles sont un peu faussées. On est à moins de ce que le bâtiment est réellement. Le calcul ne reflète pas la conception du projet, c'est ça qu'il faut avoir en tête. Donc aujourd'hui, les programmes ne disent pas je voudrais viser RE2020 mais 2028 parce qu'en fait, c'est ça qui devrait dire aujourd'hui. Mais aujourd'hui, on ne le vise pas parce qu'on sait qu'au niveau des calculs, on n'arrive pas à le justifier. C'est juste une histoire de calcul. Il faut distinguer en fait. La conception du bâtiment tel qu'il est réellement des calculs qui sont générés sur ce bâtiment. La RE2020 pour nous, c'est une vérification de calcul, mais ce n'est pas un outil de conception. » - (Entretien, architecte, 09/10/22)*

*« On a eu des problèmes avec des FDES sur le choix de peinture. Peinture c'est une petite couche, mais par mètre carré ça peut être considérable. Ou les revêtements de sol parce qu'en revêtement de sol, il y a une durée de vie. Donc, le lino par exemple, quand on regarde la valeur de fiche, c'est bon, il est nickel. Mais le lino, ça dure 20 ans. Donc on prend de la valeur et il faut la doubler. Le carrelage, c'est seulement une fois. Donc effectivement on les regarde les données environnementales, parce qu'au niveau de la rentrée ça fait de 17 à 30 % de la valeur. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

Enfin, le calcul et les estimations de l'impact environnemental et du prix d'un projet à partir des matériaux s'avèrent particulièrement complexes pour les acteurs du projet urbain. Ces derniers soulignent l'exigence d'aborder les différents postes de la construction lors des formations concernant la problématique du carbone.

*« Aujourd'hui, la RE2020 est hyper difficile, il y a de la subjectivité. On a fait tourner des ACV avec deux bureaux d'études différents et ils n'avaient pas les mêmes résultats, c'était quand même assez incroyable. On a passé beaucoup de temps. Après, il faut l'appréhender, c'est comme toute chose nouvelle. L'appréhension de la RE2020 n'est franchement pas facile. » - (Entretien, promoteur 6, 17/04/23)*

*« Quand on est en conception-réalisation ou toutes les autres formes qui lui ressemblent, on doit s'engager très tôt avec des projets qui sont sur le long terme. On met des fiches des FDES et des PEP qui ont une durée de vie limitée. C'est plus ça notre sujet que la disponibilité de la donnée. Et c'est pour ça qu'on développe en interne des outils qui permettent en même temps qu'on fait le prix, de faire une approximation du carbone. On a mis à disposition aussi nos études de prix des outils qui permettent de comparer des fiches. Le carbone c'est pas un sujet d'experts, enfin faut quelques experts qui viennent en support, mais le carbone doit devenir le sujet de tous, notamment au niveau des études de prix. Et notre grand enjeu c'est de mettre à disposition des études et de former dans chaque établissement des gens d'études suffisamment sachants pour*

*pouvoir faire de la variante carbone et pour pouvoir faire de l'approche carbone sur leur prix. » - (Entretien, constructeur 1, 14/03/23)*

Si à l'échelle du bâtiment la façon de mesurer l'impact carbone se met en place malgré les difficultés, à l'échelle du projet d'aménagement urbain cette question n'est pas encore résolue. Elle reste pourtant cruciale pour questionner la trajectoire d'une zone concernée en termes de carbone. Comme le souligne Dupont (2022), les aménageurs cherchent comment quantifier l'impact carbone à l'échelle du projet urbain : par opération, par mètres carrés construits, par habitants ou encore comment évaluer la cohérence des opérations immobilières avec le PCAET. Un autre problème concerne le référentiel des seuils carbone. Alors qu'à l'échelle du bâtiment les référentiels se précisent de plus en plus avec le temps et les expériences, à l'échelle du projet d'aménagement cette production semble problématique en raison de la spécificité des contextes d'intervention : les seuils carbonés de référence pour les quartiers centraux ou périphériques ne peuvent servir de valeurs absolues pour d'autres quartiers situés dans un contexte territorial différent. Un référentiel théorique avec les réglementations minimales est alors utilisé lors de l'étude de projet. Plus l'impact carbone est réfléchi en amont dans le projet d'aménagement, plus les décisions ont de l'influence sur les futurs usages. L'application d'expérimentations permettrait de produire de nouvelles références et d'accompagner ainsi les changements de réglementations (Dupont, 2022).

#### **7.4. Conséquences de la décarbonation dans la production du projet d'aménagement urbain**

Si la RE2020 prend en compte les choix de matériaux en estimant l'impact environnemental du bâtiment, il faut désormais réfléchir à ce choix en amont de la conception. Cela va se réaliser de deux manières. Premièrement, ça implique un changement d'ordre dans lequel les différents acteurs interviennent au cours du projet. Pour illustration, les bureaux d'études, les architectes et les promoteurs doivent réaliser un calcul carbone des matériaux et définir un coût estimatif de ces travaux pour le montage de dossier de permis de construire. Cependant, ce sont des discussions longues à faire au sein de la maîtrise d'œuvre qui rallongent cette phase de la conception qui ensuite est en discussions avec les constructeurs.

*« Les choix, il faut les faire le plus tôt possible. Mais plus on est tôt dans le projet, moins on a la capacité de compter puisqu'on n'a pas de quantitatif par définition. Or, c'est à ce moment-là que tout se joue. Au moment où on sait compter, c'est-à-dire en fin de l'atelier, qu'on fasse pro et tous les choix sont établis en fait. On ne peut plus changer la conception. » - (Entretien, bureau d'études de l'ingénierie et de l'environnement, 07/10/22)*

*« On conclut un accord, c'est des discussions. Avant, on traitait un chantier en deux mois. Maintenant on traite pendant quatre cinq mois. C'est long. C'est des phases de négociation sur le travail en bureau d'études. Avant, on mettait deux offres, maintenant on en met six. Parce qu'eux, leur budget n'est pas extensible, donc il faut trouver des optimisations de ce qu'on fait. En fait, avant ces optimisations on a eu tendance à les faire en chantier. Là, on est obligé de se mettre au plus juste parce que tout est fait avant le chantier. Et c'est pourquoi les ... et par ailleurs, la clôture va se produire. On travaille les fondations une fois, deux fois, trois fois des quantités d'acier jusqu'à que ça rentre. À la fin ça se fait. Si on arrive à trouver un compromis, ça se passe. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)*

*« Non, en fait ça nous oblige juste à travailler très en amont avec les AMO et faire tourner les ACV. On se rend vite compte que c'est le bordel. En gros, la phase de montage de permis de construire dure beaucoup plus longtemps qu'avant parce qu'on appréhende très mal le sujet parce qu'on ne sait pas en fait, tout le monde tâtonne, les fiches techniques, les machins, qu'est-ce qu'on met, du coup les prix ne sont pas figés, on ne connaît pas, on ne sait pas. C'est donc moins automatique que cela ne l'était mais cela va le devenir. » - (Entretien, promoteur 6, 17/04/23)*

Deuxièmement, pour arriver à cette réflexion, les rôles des postes vont devoir évoluer dans leur fondamentaux. Comme l'évoquent Vial et al. (2022) cette préoccupation de l'origine des matériaux doit se faire depuis le poste d'aménageur qui jusqu'à là portait l'attention qu'à la forme et au contenu. Cette prise de conscience de l'impact carbone des matériaux pousse alors les aménageurs à « *se positionner comme l'avant-garde de l'évolution des modes de construire* » (2022 : 12). Ces évolutions mèneront certainement l'aménageur et les maîtres d'ouvrage à prendre le rôle d'arbitre sur les moyens en opérant des discussions avec les promoteurs ainsi qu'à agir sur les filières industrielles et leur structuration, la sécurisation et la massification des nouvelles filières bas-carbone. Toutefois, ce rôle de l'aménageur n'empêche par les autres acteurs de participer à la prise de décisions quant aux choix des matériaux. En effet, le retour d'expériences chantier de certains constructeurs, portés par des valeurs environnementales, peut être une véritable valeur ajoutée et aider les aménageurs à trouver des solutions adaptées.

« En l'occurrence, ce n'est pas une mairie hyper riche. Ils n'auraient pas validé le budget si l'école élémentaire était hors de prix. Donc non, c'est pas hors de prix, mais ça demande un peu plus d'attention. Ça demande d'y croire parce que ce sont des choses pas forcément conventionnelles qu'on va mettre en œuvre. Donc ça veut dire que le maître d'ouvrage sera conscient de certains risques et sera prêt à les porter. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)

« C'est dans l'ADN de notre entreprise. La présidente veut développer une entreprise pour passer le virage de la construction durable. C'est-à-dire, c'est nous qui le proposons sur cette opération. Sur l'opération du béton bois, c'est nous qui l'avons proposée. Parce que le client, il m'a dit 'Oui, le PC n'est pas validé parce que les élus, ce n'est pas assez vert'. En fait, nous, on est les sachants et on est les poseurs. Du coup, on a proposé cette solution-là. Donc, le bâtiment est en béton bas carbone et le dernier niveau est en béton bois. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)

En ce qui concerne l'architecte, après la RT2012 et son impact sur la forme du bâtiment, la RE2020 ajoute d'autres contraintes à la conception architecturale avec l'impact carbone des matériaux. Tandis que la toiture avec une charpente bois devient plus courante au détriment de la toiture terrasse, certains matériaux de façade à la valeur carbone importante, comme l'inox, risquent d'être abandonnés pour maintenir la faisabilité du projet.

« Là il y a un projet sur lequel on est coincé. On n'est pas loin de 20, 30 kilogrammes de CO<sub>2</sub> par mètre carré. Mais on n'y est pas. Et pourtant il est en bois. Il y a aussi du béton sur la superstructure, il y a du bois de partout. Simplement les archis se sont un peu lâchés. Il y a du bardage métallique, il y a de la qualité sur la façade, il y a de l'inox. Et ça, ça pose problème. Parce que bon, une fois qu'on vient à l'inox, qu'on remplace par de l'acier et on fait des garde-corps un peu plus respectueux avec les façades, après tout ça va. Mais là, on ne peut pas, il a été vendu comme ça. Oui, l'architecture peut tout gâcher. Les architectes ont un gros rôle à jouer. » - (Entretien, constructeur 2, 21/03/23)

« Alors oui, sur la partie carbone, c'est aujourd'hui la structure et l'isolation. C'est des sujets très importants par le choix du matériau. On est face à des solutions qu'il faut trouver avec les industriels. On parlait de carbone tout à l'heure. L'architecte va construire en bois ou en béton. C'est complètement différent. » - (Entretien, bureau d'études de l'énergie et de l'environnement, 09/03/23)

Si la question du carbone devient centrale avec la RE2020, ces objectifs, pour l'instant, ne sont pris en compte que tardivement dans le chantier au moment du calcul final. L'incompatibilité entre la conception et la réalisation peut être encore plus marquante surtout dans le cadre de réalisations hors loi MOP<sup>34</sup>. Selon une architecte, dans le cas de « la conception réalisation<sup>35</sup> », le choix des matériaux appartient au promoteur et la qualité de construction est souvent dégradée en raison du budget. Ces ajustements concernent surtout l'intérieur du bâtiment, avec actuellement une tendance à la baisse des surfaces des logements et l'ajustement des corps d'état de second œuvre moins coûteux plutôt que des modifications sur la façade et la structure du bâtiment. Les corps d'état de second œuvre sont encore assez mal définis du point de vue carbone et c'est une raison pour laquelle ils font souvent l'objet de compromis. Si face à l'augmentation des coûts des matériaux les promoteurs recherchent un équilibre financier au détriment d'autres éléments innovants du projet, les bailleurs ont, quant à eux, un autre positionnement du fait d'être propriétaires et d'en avoir la gestion. Ainsi, ils semblent plus engagés et investissent dans leur bâtiment en ayant une vision à long terme.

« Moi ce que je vois aujourd'hui, ce sont les promoteurs qui disent ça va coûter beaucoup plus cher. C'est l'argument du prix de cette RE2020 qui est tout de suite mise en avant. Et ce que je trouve assez malhonnête, c'est qu'ils la prennent pour excuse pour en fait, dégrader d'autres sujets. En disant 'ça va nous coûter plus de répondre à la RE2020, notamment pour des choix d'approvisionnement en énergie, ou des choix de matériaux, etc. donc on compense'. Par exemple, il y a des impacts sur la qualité d'aménagement des espaces communs. » - (Entretien, AMO DD 4, 23/06/22)

<sup>34</sup> Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage public et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. En mettant en relation la maîtrise d'ouvrage publique avec la maîtrise d'œuvre privée, cette loi s'applique dans les marchés publics en cas de construction ordonnée par une entité publique. Elle encadre notamment les relations entre les intervenants publics et privés du marché.

<sup>35</sup> Sur le marché public, une situation où des entreprises répondent aux appels d'institutions publiques. C'est un groupement constitué d'une entreprise et d'une maîtrise d'œuvre : les architectes répondent de manière groupée avec des promoteurs et des énergéticiens, AMO DD promoteurs, bureaux d'études, ainsi l'institution publique signe un contrat pour un budget concret et le groupement assure la conception, la réalisation et la maîtrise d'œuvre.

*« En fait, tu passes tout le temps à te battre sur des arbitrages conceptuels et de matériaux tout au long du projet. C'est-à-dire ce qui est arrêté au moment de l'étude, au moment du concours, ne reflète pas forcément ce qui va être construit à la fin. Je dirais que la qualité de construction est dégradée par la conception de réalisation. C'est-à-dire que la partie de la maîtrise d'œuvre n'est pas du tout la même. On est à la merci des choix du mandataire qui est toujours le promoteur donc on doit se plier à certains choix. ... Ça se dégrade souvent sur des corps d'État secondaires. Après, en général, tout ce qui est structure, façade, ça reste assez fin. Il y a une pérennité sur le choix, sur la partie étude et réalisation c'est assez constant. Par contre, les corps d'États secondaires c'est plus aléatoire. Tout dépend du budget. » - (Entretien, architecte, 09/10/22)*

De l'autre côté, le choix final du projet par le maître d'ouvrage ne repose pas que sur la RE2020. D'autres paramètres sont souvent plus importants comme les paramètres politiques et économiques.

*« Dans la pratique de la conception, nous ça a un impact. Par contre, au niveau du choix de la part des maîtres d'ouvrage, ce n'est pas complètement intégré. Il y a des paramètres politiques et des paramètres économiques. Ce sont toujours les paramètres économiques qui changent la donne. Là, le paramètre c'était parce qu'il y avait un preneur de la boucle, c'était un groupement, donc ils étaient sûrs d'avoir un preneur. Et donc c'est ça qui a tranché. Donc on parle de transition. Mais la transition n'est possible que si l'ensemble des intervenants autour de la table veulent bien jouer le jeu. » - (Entretien, architecte, 09/10/22)*

## 8. Conclusion

---

### 8.1. Résistance du modèle historique centralisé français dans la mise en œuvre d'un modèle énergétique européen décentralisé

L'UE et les différents pays membres font de l'indépendance énergétique un enjeu majeur. « Vaisseau sanguin » du fonctionnement de notre société, de la production, des déplacements des individus, des marchandises et des emplois, ainsi que de la viabilité de notre organisation urbaine, la question énergétique est centrale à la fois politiquement, économiquement, socialement et d'un point de vue environnemental. Afin de concilier les enjeux environnementaux et de dépendance énergétique, outre le fait de diminuer la consommation d'énergie, la voie majeure que propose l'UE est celle du développement des EnR.

La configuration du système énergétique résulte de tensions entre, d'une part des innovations porteuses d'importants changements à commencer par le système énergétique en soi et de l'autre des mécanismes de centralisation politico-administrative et de concentration technico-économique. En France, si l'État a perdu son hégémonie il est néanmoins parvenu à préserver sa centralité. Ni la montée en compétence de l'UE, ni l'émergence des collectivités sur cette problématique n'ont totalement remis en cause la capacité de l'État à rester au centre de la régulation du secteur en particulier en France.

La diffusion du modèle décentralisé, promu par l'UE, prend, en termes d'action publique, la forme d'une territorialisation de la politique publique de l'énergie dans le cadre de laquelle les collectivités s'imposent progressivement d'un point de vue opérationnel selon une logique à la fois descendante (délégation de compétences) et ascendante (appropriation), mais doivent toujours tenir compte d'une régulation nationale. De nouveaux ajustements se tissent ainsi entre État et collectivités, fondés sur le partenariat mais aussi sur d'autres ressorts comme la mise en concurrence pour l'accès aux financements (cf. les territoires à énergies positives).

Dans un contexte libéral, l'État s'adapte par l'intégration différenciée des innovations techniques et organisationnelles. Son action est toute à la fois sélective (focalisation sur le grand éolien), intégratrice (EnR, revendications des collectivités, participation citoyenne), diffuse (financements, R&D, législation) et sous certains aspects encore interventionniste (actionnariat, tarification). Ce faisant, l'échelle nationale reste prépondérante dans la régulation d'un système qui conserve son unité mais dont l'organisation se reconfigure, comme l'illustrent le nouveau rôle des préfectures de région ou l'autonomisation énergétique et juridique des collectivités.

En France, si le système décentralisé ne se substitue pas complètement à la vision réticulaire classique, qui perdure également à travers les infrastructures existantes, il vient compléter le système centralisé et apporter une alternative dans la façon de concevoir les services urbains dans lequel le consommateur devient acteur. En France, ces éléments laissent percevoir une forte interdépendance (Caillaud, Nessi, Rulleau, 2022) entre la production d'électricité renouvelable et nucléaire. Si la production d'électricité en EnR fragilise le système centralisé, la disparition de ce dernier viendrait à son tour fragiliser le système de production d'EnR distribuée (perte de la production non consommée). Finalement, le modèle énergétique décentralisé à l'échelle locale semble plus pertinent dans le cadre de la production d'EnR spécifique à la production d'énergie thermique, au réseau de chaleur, à la géothermie et au panneau solaire plutôt qu'aux EnR productrices d'électricité (panneaux photovoltaïques et éolien). On peut d'ailleurs souligner dans le SRCAE d'Ile-de-France une contradiction forte entre l'effort fait dans le développement de l'éolien, plutôt que dans les EnR thermiques et les réseaux de chaleur.

### 8.2. La question énergétique, un emboîtement d'échelle

Notre analyse montre la réadaptation permanente des technologies en fonction des RT et RE. La RT2012 a eu un fort impact sur la hiérarchisation des actions de transition énergétique dans le projet. Si certaines solutions sont perçues différemment, selon les acteurs, ils sont en revanche unanimes sur la priorité à limiter la consommation énergétique. Cet effort, certainement le moins coûteux, ainsi que l'évolution du prix du gaz et du fioul, ont une influence considérable sur le choix des technologies à mettre en œuvre en fonction de la ressource énergétique nécessaire. Depuis la RE2020, la ressource énergétique et son impact carbone ainsi que de l'impact carbone de la construction sont les deux nouvelles priorités des acteurs de la production urbaine. Si les réglementations RT et RE permettent de massifier l'effort, les bureaux d'études AMO DD et bureaux d'étude alertent sur l'effet parfois négatif des réglementations et certifications qui focalisent les efforts uniquement sur certains critères, réduisant ainsi la capacité des acteurs à s'engager et à innover. Ces mêmes acteurs témoignent également de confusions de la part des acteurs qu'ils accompagnent (aménageurs, promoteurs, architectes) entre les normes réglementaires et non réglementaires comme l'amalgame souvent fréquent entre le bilan d'émission de gaz à effet de serre et le bilan carbone.

Alors que les aménageurs vont avant tout investir le champ de la production d'EnR, renvoyant à des infrastructures collectives, les promoteurs vont quant à eux porter leurs efforts sur la performance énergétique à l'échelle du bâtiment pour répondre aux réglementations thermiques. Les efforts dans ces deux secteurs ne se trouvent pourtant pas toujours alignés. Leur articulation n'est pas toujours évidente compte-tenu notamment de la temporalité des projets urbains. Par ailleurs, le passage de l'échelle du projet d'aménagement urbain à celle du bâtiment amènent de nombreux acteurs à participer à ce processus abordant différemment l'intégration de la transition énergétique.

Au moment où le modèle de décentralisation énergétique commence véritablement à se diffuser dans l'UE, la RT2012 ayant une implication forte sur la diminution de la consommation fragilise alors le déploiement de réseaux de chaleur dans les projets urbains rendant caduc un certain nombre de projets en cours devenus non rentables. Par ailleurs, à cette même période la compétence énergétique n'est pas encore déléguée aux intercommunalités, rendant plus complexe le développement de réseaux décentralisés à l'échelle locale. Face à cette fragilisation, certains aménageurs ont alors appliqué ce modèle à une échelle plus restreinte, à celle de quelques îlots, en développant des chaufferies collectives biomasse. La délégation de compétences à l'échelle intercommunale amène ensuite les intercommunalités à se saisir de la question énergétique et à développer des réseaux de chaleur sur leur territoire et surtout à les étendre sur les communes de l'intercommunalité. Le réseau n'est alors plus pensé à l'échelle du projet urbain, mais à une échelle territoriale bien plus vaste. Le nouveau projet n'est qu'une connexion supplémentaire au réseau de chaleur, le rendant toujours plus rentable s'il est bien dimensionné. Si le prix de la construction des bâtiments augmente dans le cas de la construction d'une chaudière collective, le réseau de chaleur à plus grande échelle est en revanche pris en charge par la collectivité territoriale. Le développement de ce modèle n'en demeure pas moins coûteux et les infrastructures sont financées par la région et le Fonds Chaleur. La production et la distribution se fait finalement sur un modèle relativement classique celui de la délégation de services auprès des deux entreprises historiques détenant le monopole de l'énergie en France avant l'ouverture du marché de l'énergie imposé par l'UE (Cofely branche d'Engie ex-Gaz de France et Dalkia branche d'EDF). Tandis que cette évolution s'installe, la RE2020 de son côté pousse aux verdissements de ces réseaux afin de rester compétitif par rapport aux autres solutions comme la pompe à chaleur. Cela étant la pompe à chaleur, solution à l'échelle du bâtiment mis en avant par la RE2020, semble d'être davantage investie par les promoteurs dans les projets où la solution centralisée n'est pas imposée par l'aménageur.

En ce qui concerne la solution des panneaux photovoltaïques, après un engouement dans les années 2008 en raison d'un prix de rachat attractif puis d'un ralentissement conséquent à la suite du retour d'expériences relativement négatives en raison de vices d'installations et de problèmes de gestion et du moratoire, on relève le retour du photovoltaïque suite à la mise en place de l'autoconsommation collective. Ce retour se formalise par une véritable évolution de l'échelle d'implantation et de la gouvernance. Alors qu'auparavant, l'installation photovoltaïque était la solution complémentaire au réseau de chaleur porté par chacun des promoteurs à l'échelle de son bâtiment, aujourd'hui la production se fait à l'échelle du quartier par un unique opérateur dit tiers-payeur. Par ailleurs, ces opérateurs détiennent la gestion du parc dépassant ainsi les problèmes soulevés auparavant par les parcs non branchés ou hors service en raison de l'absence des capacités d'exploitation. L'investissement et la production est plus massive, le coût financier ne repose plus sur le promoteur mais est pris en charge par ces opérateurs, nouveaux acteurs qui cette fois ne sont plus uniquement les acteurs historiques de l'énergie. Tandis que le contexte de la RE2020 n'exclut pas les panneaux photovoltaïques des constructions neuves, l'utilisation unique des panneaux dans le projet ne permet pas respecter les seuils réglementaires concernant l'énergie. Ainsi, les panneaux photovoltaïques sont une solution complémentaire à la production d'EnR en plus de la chaleur et de l'ECS. La diminution de la facture d'électricité dans le modèle d'autoconsommation pourrait être une incitation à leur développement. Leur développement s'amplifie grâce à l'avancement de la législation concernant l'autoconsommation collective et les changements concernant le tarif d'Obligation d'achat qui demande aux opérateurs de changer leur modèle économique auparavant basé sur la revente de la totalité de la production au réseau centralisé. Toutefois, la solution PV risque prochainement d'être fragilisée par la RE2020, compte tenu du lieu de fabrication des panneaux (32 % en Chine, 13,9 % aux États-Unis et 9,3 % au Japon, de la localisation des métaux rares utilisés, des injustices sociales pointées lors leur extraction et de leur recyclage) ce qui pourra impulser le rétablissement de la filière en France.

Finalement, la transmission de la responsabilité du portage et du financement des objectifs énergétiques se fait aux mains d'acteurs historiques pour les réseaux de chaleur, qui reviennent sur l'avant de la scène après l'ouverture du marché européen, et de nouveaux acteurs pour les parcs de panneaux photovoltaïques, à une échelle élargie, limitant ainsi l'impact financier sur la promotion immobilière et in fine sur le coût du logement. Cette évolution de prise en charge relativement récente de la question énergétique par la puissance publique ou des acteurs privés énergéticiens, observable plutôt sur les projets les plus récents, montre une réelle adaptation des acteurs et une prise en charge de la question énergétique à l'échelle territoriale par la puissance publique, celle de l'intercommunalité. Il aura certainement fallu attendre un minimum de structuration de ce nouvel échelon de collectivité pour voir s'opérer des changements. Ces derniers permettent notamment d'alléger financièrement la promotion

immobilière sur la production d'EnR, ce qui ne semble pas anodin lorsqu'on sait que la RE2020, intégrant la décarbonation (RE2020 vs 2028) impliquera une augmentation prévue de 20 à 30 % du coût de construction des bâtiments.

### **8.3. RE2020 : Décarbonation des énergies et de la construction**

En plus d'augmenter les exigences sur la sobriété et la performance énergétique, la RE2020 impose, pour la première fois, le sujet de la décarbonation pour tous les acteurs de la construction y compris les filières industrielles. Ainsi, elle marque un changement profond d'approche de la construction, l'impact du bâtiment en termes des émissions de GES est considéré dans l'intégralité de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières jusqu'à la destruction et le traitement des déchets. Désormais, la performance environnementale tout comme la performance énergétique du bâtiment doivent se réfléchir avec une nouvelle perspective, celle du comportement du bâtiment dans son cycle de vie (50 ans) et du confort d'usage pendant toute l'année, l'hiver comme l'été dès le permis de construire. La RE2020 vient donc en complément de la RT2012 qui visait surtout le confort d'hiver. Cependant, une cohérence de projet d'aménagement avec les outils comme le PCAET, prenant en compte le contexte régional comme son climat, les gisements et les moyens de production d'énergie, n'est pas exigée pour l'instant. Contrairement à la RT2012, la RE2020 impose des nouvelles normes progressives, avec les échelons 2025, 2028, 2031, permettant ainsi à toute la chaîne de la construction de s'adapter. Si cela est perçu comme un avantage pour la mise en œuvre de la réglementation, le temps long des projets urbains demande néanmoins au maître d'ouvrage de viser déjà les seuils 2025 ou 2028.

Si auparavant le sujet d'énergie était la préoccupation principale des acteurs, aujourd'hui c'est le choix des matériaux de la construction par rapport à leur impact carbone. La RE2020 met l'accent sur les matériaux biosourcés et recyclés. Avec l'objectif de limiter au maximum les émissions de CO2 pendant le cycle de vie de bâtiment, le calcul valorise l'usage de ces deux types de matériaux. Tandis que l'utilisation des matériaux biosourcés comme le bois commence à se mettre en place dans les projets, développer une réflexion plus englobante sur les choix des matériaux et une vraie économie circulaire nécessitera encore du temps et un véritable changement de pratique des acteurs de la production urbaine y compris des industriels. Pour donner quelques exemples, citons l'enjeu de l'organisation des commandes de matériaux auprès des filières, les formations sur les nouveaux matériaux et leurs manipulations ou l'impossibilité des bureaux d'études de prescrire certains matériaux dans les constructions publiques. Une structuration des filières de matériaux alternatifs et du marché autour de la réutilisation des équipements va devoir se mettre en place. Si la structuration n'est pas consolidée pour certains matériaux tout de même performants d'un point de vue carbone, leur utilisation sera pénalisée dans le calcul de performance et d'autant plus si leur provenance n'est pas locale.

La RE2020 a ainsi identifié un levier pour la décarbonation des filières industrielles. Pour calculer l'impact carbone du bâtiment une base de données (FDES) sur tous les matériaux de construction et les équipements a été établie. Pour l'instant contesté pour la qualité de ses données, cette base est un moyen d'impacter le secteur de l'industrie en lui imposant ainsi un effort à faire concernant la décarbonation. Toutefois, le coût élevé de la production d'une FDES individuelle, donnant la valeur précise du produit, risque de fragiliser les petits industriels, seuls les plus grands pouvant se payer cette FDES. Si les autres peuvent se regrouper pour produire collectivement une FDES, le fait que la pire valeur sera retenue fragilise clairement leur place sur le marché.

Enfin, les débuts de la mise en œuvre de la RE2020 pointent déjà des changements à venir dans la production de l'aménagement urbain. Premièrement, la réflexion sur le choix de matériaux et l'estimation du prix et de l'impact carbone en amont de la conception du projet nécessitent un changement d'ordre d'intervention des différents acteurs comme par exemple, l'intervention des bureaux d'étude et même des constructeurs en amont au moment du montage du projet pour le permis de construire pour réaliser les calculs carbones et estimer les coûts d'ouvrage. Exercice pourtant difficile en raison du manque de précisions de la conception et du moment où le constructeur habituellement arrive dans le projet. Deuxièmement, les promoteurs cherchent des ajustements pour compenser l'augmentation du prix de la construction dans les espaces en commun, les parkings ou les tailles des logements ou dans les corps d'état de second œuvre mal définis dans le calcul carbone pour l'instant. A la différence des promoteurs, les bailleurs sont plus engagés et investissent dans leurs bâtiments portant une vision à plus long terme. Enfin, le maître d'ouvrage, quant à lui, n'étant pas directement impliqué par la réglementation, va privilégier, à partir d'autres paramètres, des solutions parfois moins vertueuses mais garantissant l'attrait des promoteurs pour répondre à l'appel d'offre, en particulier sur les territoires les moins attractifs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

ADAM M., 2016, La production de l'urbain durable. L'enrôlement des concepteurs et des habitants par l'intégration des contradictions, Thèse de doctorat, Géographie, Université François-Rabelais de Tours, Tours, 546 p.

ADEME, 2019, Le chauffage et l'eau chaude solaires - Le soleil, une énergie renouvelable pour la maison. Librairie de l'ADEME Guide - clés pour agir, Angers, 23 p.

BAL J-L., 2023, « Je demeure très optimiste pour le solaire. Interview », Plein Soleil, mars, n°79, p. 8-10.

BERTRAND F., RICHARD E., 2014, « L'action des collectivités territoriales face au « problème climat » en France : une caractérisation par les politiques environnementales », Natures Sciences Sociétés, vol. 22, n°3, p. 195-203.

CAILLAUD K., NESSI H., RULLEAU B., 2022, « Éditorial – Les services urbains en réseaux au prisme des interdépendances : portées et limites d'une notion de sciences sociales », Flux, vol. 128, n°2, p. 1-14.

CHANARD C., 2011, Territoire et énergie : politiques locales, échelles d'intervention et instruments de mobilisation, de connaissance et d'action, Thèse de doctorat, Géographie, Université de Franche-Comté, Besançon, 309 p.

Cerema, 2022, Les réseaux de chaleur et la RE2020 : Quelle place pour les réseaux de chaleur dans la RE2020 ? . Cerema Ouest, Nantes, 14p.

COINTE B., 2015, « From a promise to a problem: The political economy of solar photovoltaics in France », Energy Research & Social Science, vol. 8, p.151-161.

COINTE B., 2016, « Le tarif d'achat photovoltaïque comme outil d'innovation territoriale : l'exemple des Fermes de Figeac », Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], vol. 16, n°1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.17040>

COLOMBERT M., 2018, « Besoins énergétiques à l'échelle des projets d'aménagement urbain : du modèle à la décision, quels verrous ? », Natures Sciences Sociétés, vol. 26, n°3, p. 345-353.

COUTARD O., 2010, « Services urbains : la fin des grands réseaux », in Coutard O., Levy J-P. (dir.), Ecologies urbaines, Paris, Economica/Anthropos, p. 102-129.

COUTARD O., GALLEZ C., 2023, Vers une Île-de-France post-carbone ? : freins et leviers d'une transition énergétique régionale, Paris, l'Oeil d'or, p.330.

DAUBAIRE A., PUJOL J., 2021, Prix de l'énergie : carburants, gaz, électricité, un tiercé en hausse, Insee, <https://blog.insee.fr/prix-de-lenergie-carburants-gaz-electricite-un-tierce-en-hausse/>, consulté le 06/12/2022.

DUPONT F., 2022, « Le carbone, à nouvelle mesure nouvelle méthode ? », Urbanisme, numéro spécial 2, p. 14-15.

DUPUY G., 1991, L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes, Paris, Armand Colin.

DUPUY G., 2011, « Fracture et dépendance : l'enfer des réseaux », Flux, vol. 83, n°1, p. 6-23.

DURAND L., PECQUEUR B., SENIL N., 2015, « La transition énergétique par la territorialisation. L'énergie comme ressource territoriale », in Scarwell H-J., Leducq L., Groux A. (dir.), Transitions énergétiques : quelles dynamiques de changement ?, Paris, Edition l'Harmattan, p. 29-36.

DE SARTRE X-A., BAGGIONI V., BOUISSET C., 2021, « Potentialité et réalisations des politiques climatiques locales : vers l'institutionnalisation des plans climats territoriaux dans les villes moyennes françaises », Natures Sciences Sociétés, vol. 29, n°1, p. 23-35.

Eurostat, 2020, Data Browser, tableaux sur les politiques énergétiques de l'UE, lignes T2020\_RD320, NRG\_IND\_ID, NRG\_BAL\_S, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/>, consulté le 10/09/2022.

FONTENEAU T., 2021, « Autoconsommation collective ou solidarité nationale ? L'adaptation controversée de la tarification du réseau d'électricité pour les autoconsommateurs », Flux, vol. 4, n°126, p. 52-77.

- FTHENAKIS V., LECCISI E., 2021, « Updated sustainability status of crystalline silicon-based photovoltaic systems: Life-cycle energy and environmental impact reduction trends », *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 29, n°10, p. 1068-1077.
- GERARDIN H., DAMETTE O., 2020, « Quelle transition énergétique, quelles croissance et développement durables pour une nécessaire transition écologique ? Présentation », *Mondes en développement*, vol. 192, n°4, p. 7-23.
- GRUDET I., 2015, « Le « moment écoquartier » en France. Expérimentations et labellisation », *Cahiers RAMAU*, n°7, p. 22-37.
- GOUTY F., 2023, « Un démonstrateur qui séduit par son bilan carbone », *Environnement & Technique*, n°387, mars, p. 16-17.
- HALPERN C., POLLARD J., 2017, « Les effets du Grenelle de l'environnement sur l'action publique. Analyse comparée entre deux secteurs : déchets et bâtiment », *Gouvernement et action publique*, vol. 2, n°6, p. 107-130.
- Haut Conseil pour le Climat, 2020, *Redresser le cap, relancer la transition. Rapport annuel*, Paris, 159p.
- International Energy Agency (IEA), 2022, *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*, 124 p.
- LACROIX G., 2019, *Les équilibristes du développement durable. Une ethnographie des experts et de l'expertise en durabilité dans la fabrique urbaine*, Thèse de doctorat, Architecture et aménagement de l'espace, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, Saint-Denis, 438 p.
- LA BRANCHE S., BOSBŒUF P., 2017, « La prise en main de l'énergie par les collectivités territoriales : freins et moteurs », *Environnement urbain*, n°11. <https://doi.org/10.7202/1050497ar>
- LASCOURMES P., 1990, « Normes juridiques et mise en œuvre de politiques publiques », *L'année sociologique*, vol. 40, n°3, p. 43-71.
- LOPEZ F., 2019, *L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*, Genève, MétisPresses.
- MADOUI , 2023, « Photovoltaïque : les boucles locales en passe de devenir rentables », *Environnement Magazine*, Mars-Avril, n°1802, p. 24-27.
- NAUMANN M., BERNT M., 2009, « When the Tap stays dry: Water Networks in Eastern Germany », *Local Environment*, vol. 14, n°5, p. 461-471.
- NESSI H., 2018, « Mobilità dei modelli e resistenze del locale: Il caso masterplan di Jeremy Rifkin a Roma e il fallimento della transizione energetica », in Coppola A., Punziano G. (dir.), *Roma in Transizione*, Rome, Planum Publisher Editorial Staff, vol. 2, p. 510-521.
- NESSI H., 2019, « La transposition d'un modèle de transition énergétique international à l'échelle locale. Entre solutions techniques standardisées et outil d'aide à la décision », *Les Annales de La Recherche Urbaine*, n°113, p. 220-233.
- NESSI H., 2023, « Le rôle-clé des promoteurs face aux stratégies de transition énergétique des collectivités », in Coutard O., Gallez C. (dir.), *Vers une Île-de-France post-carbone ? : freins et leviers d'une transition énergétique régionale*, Paris, l'Oeil d'or, p.28-311
- PICON A., 2002, *Les saint-simoniens*, Paris, Belin.
- POUPEAU F-M., 2013, « Quand l'État territorialise la politique énergétique. L'expérience des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie », *Politiques et management public*, 30(4), p. 443-472.
- POUPEAU F-M., 2017, *Analyser la gouvernance multi-niveaux*. Presses universitaires de Grenoble. <https://doi.org/10.3917/pug.poupe.2017.01>
- POUPEAU F-M., BOUTAUD B., 2021, « La transition énergétique, un nouveau laboratoire de l'action publique locale ? », *Pouvoirs Locaux*, vol. I, n°119, p. 28-36.
- RENAULD V., 2012, *Fabrication et usage des écoquartiers français: éléments d'analyse à partir des quartiers De Bonne (Grenoble), Ginko (Bordeaux) et Bottière-Chénaie (Nantes)*, Thèse de doctorat, Architecture, aménagement de l'espace, INSA de Lyon, Villeurbanne, 460 p.
- RIFKIN J., 2013, *La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*, Paris, Acte Sud.

SOUAMI T., 2008, « Le développement durable change-t-il le monde des urbanistes ? », Les Annales de La Recherche Urbaine, n°104, p. 19-27.

TABURET A., 2012, Promoteurs immobiliers privés et problématiques de développement durable urbain. Thèse de doctorat, Géographie, Université du Maine, le Mans, 373 p.

TRIBOUT S., 2015, Les concepteurs en agence d'architecture, d'urbanisme et de paysage à l'épreuve du développement durable, Thèse de doctorat, Aménagement de l'espace et urbanisme, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Nanterre, 449 p.

VIAL V., CHAMPY R., SPECHT H., 2022, « Le rôle clé de l'aménageur pour les filières bas-carbone », Urbanisme, numéro spécial 2, p. 12-13.

WAST M., 2023, « Bilan Uniclima 2022 - Prévisions 2023 : toujours plus haut, plus fort, ou presque », Zepros, n°77, février-mars, p. 4-5.

## REFERENCES LEGISLATIVES

---

### Européennes

Commission européenne (CE), 2008, Paquet Énergie-Climat 3x20  
Commission européenne (CE), 2014, Paquet Énergie-Climat 2030  
Commission européenne (CE), 2019, Le pacte vert pour l'Europe.  
Directive 2009/28/CE du Parlement Européen et du Conseil. Journal officiel de l'Union européenne. L 140/16  
TFUE, 2012, Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne. Journal officiel de l'Union européenne. C 326/49.

### Françaises

Arrêté du 9 mai 2017  
Arrêté tarifaire photovoltaïque du 6 octobre 2021 le S21  
Arrêté du 21 octobre 2021  
Code de l'énergie  
Loi Énergie-Climat du 9 novembre 2019  
Loi Grenelle 1 - Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement  
Loi Grenelle 2 - Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement  
Loi MAPTAM - Loi de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d’Affirmation des Métropoles publiée le 28 janvier 2014.  
Loi NOTRe - Loi portant sur la Nouvelle Organisation Territoriale de la République publiée le 7 août 2015  
Loi PACTE - Loi du 22 mai 2019  
Loi POPE - Loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique publiée le 13 juillet 2005  
Loi TECV - Loi de la Transition Énergétique pour la Croissance Verte publiée le 18 août 2015  
Loi n°2021-1104 portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets  
Loi n° 2023-175 du 10 mars relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables publiée le 11 mars 2023  
PPE - La programmation pluriannuelle de l'énergie, Stratégie française pour l'énergie et le climat, 2019-2023 2024-2028, Synthèse  
RT2005 Réglementation thermique de 2005  
RT2012 Réglementation thermique de 2012  
RE2020 Réglementation environnementale de 2020

## INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

---

### TABLEAUX

Tableau 1 - Les objectifs des Paquets Climat air et énergie 2008, 2014, 2019, Source : CE, 2008 ; 2014 ; 2019, Auteur : Hélène NESSI .....	19
Tableau 2 - Les coefficients de conversion, Source : Cerema (2022, p.6) .....	33

### FIGURES

Figure 1 - Part des EnR dans la consommation finale brute d'énergie en 2020 par Etat membre au regard de son objectif national pour 2020. Source : Eurostat, 23/01/2020 .....	9
Figure 2 - Transposition des engagements énergétiques européens en France et vision des acteurs enquêtés sur l'évolution des technologies mises en oeuvre dans le projet d'aménagement urbain. Auteur : Hélène NESSI .....	11
Graphique 1 - Prix à la consommation d'ensemble et prix des énergies, Source : Daubaire, Pujol, 2021 .....	14
Figure 3 - Les six indicateurs de la RE2020 par domaine, Source : Cerema (2022, p.2) .....	16
Figure 4 - Principe de l'analyse de cycle de vie, Source : Cerema (2022, p.14) .....	17
Graphique 2 - Mix de production énergétique européenne et en France en 2020, Source : Eurostat-Données 2020, Auteur : Hélène NESSI .....	18
Graphique 3 - Mix énergétique utilisé pour la consommation européenne et en France en 2020, Source : Eurostat-Données 2020, Auteur : Hélène NESSI .....	19
Graphique 4 - Production de l'électricité en 2020 au niveau de l'UE et France, Source : Eurostat-Données 2020, Auteur : Hélène NESSI .....	21
Graphique 5 - Consommation d'électricité en 2020 au niveau de l'UE et France, Source : Eurostat-Données 2020, Auteur : Hélène NESSI .....	21
Graphique 6 - Facteurs d'émissions de GES pour l'usage logements, Source : Cerema (2022, p.8) .....	34

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

## INFLUENCES DES ENGAGEMENTS EUROPEENS SUR L'ÉVOLUTION DES CHOIX TECHNOLOGIQUES VISANT LA TRANSITION ÉNERGETIQUE DANS LE PROJET URBAIN

Ce premier rapport vise à analyser les transformations techniques et matérielles spécifiques aux territoires dans des projets d'aménagement urbain d'envergure, qu'ils soient portés par des entités publiques ou privées. Peu de recherches ont analysé les freins à la transition énergétique dans ces projets, de la définition initiale du projet jusqu'à sa construction. En s'appuyant sur une approche sociotechnique, l'étude considère que le choix des solutions énergétiques découle autant des injonctions environnementales européennes, les politiques et aides financières nationales, des possibilités techniques que des préférences des acteurs locaux et des caractéristiques spatiales propres à chaque territoire, ce qui influence fortement la faisabilité de la transition énergétique.

À cette échelle, les actions publiques pour la transition énergétique se structurent en deux volets principaux : (1) la planification de la production énergétique à l'échelle territoriale, accompagnée d'outils opérationnels comme l'étude de faisabilité des énergies renouvelables et le classement des réseaux de chaleur ; (2) la réglementation thermique et environnementale, qui impose aux bâtiments des objectifs de performance énergétique renforcés, encadrés par des certifications et labels. Ces deux volets, visant à intégrer la production d'énergie renouvelable et à garantir des performances élevées dans les projets de construction et d'aménagement, sont parfois en inadéquation.

### *Essentiel à retenir*

*Les objectifs énergétiques européens entament trois dynamiques de transition énergétique dans les projets urbains : la réduction des consommations d'énergie, l'inclusion des énergies renouvelables et la territorialisation de la production d'énergie. La mise en place de ces dynamiques nécessite un processus de conception plus collaboratif et une forte augmentation des compétences techniques dans ce processus.*

*Dans les projets urbains, on observe des répercussions des enjeux environnementaux via l'apparition de nouveaux schémas qui se distinguent par 1) l'emboîtement dans les échelles de la gouvernance des différents régimes énergétiques (cf. réseau de chaleur et centrale photovoltaïque), 2) l'interaction entre le système de la conception urbaine et les régimes énergétiques et par 3) l'articulation entre l'échelle du projet et celle du bâtiment.*

*Inflexibilité des choix technologiques et dépendance au sentier : L'adoption précoce de solutions énergétiques spécifiques (panneaux solaires, réseaux de chaleur) crée une dépendance structurelle aux choix initiaux, limitant la capacité d'adaptation aux imprévus du projet urbain, qui s'étend pourtant sur un temps long. Cette rigidité impose aux acteurs un cadre qui, malgré des bénéfices environnementaux, limite la flexibilité décisionnelle des promoteurs, aménageurs et usagers.*

